UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE

“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA MANTENIBILIDAD (MTTR) MEDIANTE HERRAMIENTAS DE CALIDAD (LEAN)”

JULIO ANTONIO LÓPEZ RIVERA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: ING. LUIS GUZMÁN BONET

PROFESOR CORREFERENTE: ING. NELSON ALVAREZ CAMPILLAY

DICIEMBRE 2020

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo general, elaborar un plan de mejoramiento de la mantenibilidad, a través del uso de herramientas de la filosofía Lean Maintenance. En particular, el objetivo es optimizar las actividades que forman parte del proceso genérico de mantenimiento correctivo, en busca de la reducción del tiempo medio de reparación (MTTR).

El plan de trabajo diseñado para alcanzar este objetivo consta de 5 pasos. En primer lugar, en el capítulo 3 se realiza una descripción del proceso genérico de reparación de una falla imprevista, a través del mapeo de su cadena de valor (VSM). Con esto es posible identificar actividades que no agregan valor al proceso, y todos los desperdicios que hacen crecer el MTTR de una máquina.

En el capítulo 4 se realiza un análisis a los desperdicios encontrados anteriormente, usando la herramienta 5W + 1H, que define el qué, por qué, cómo, quién, cuándo y dónde se presenta cada uno de ellos en el proceso. Así, de un total de 16 desperdicios se obtienen 10 causas raíces distintas.

Luego en el capítulo 5, las causas raíces son definidas como oportunidades de mejora, las que son evaluadas según su criticidad en una matriz de costo – beneficio, considerando la dificultad de su implementación y el impacto esperado sobre el MTTR. En base a los resultados se establece una escala de prioridad, de dónde sólo 6 de las 10 oportunidades de mejora logran calificar para seguir siendo parte del estudio.

El capítulo 6 comienza con la selección de herramientas del Lean Maintenance para desarrollar cada oportunidad de mejora. Entre ellas se encuentran: TPM (en sus 8 pilares), 5S, JIT/PULL, control visual, Poka – Yoke, SMED.

En este mismo capítulo, se diseña el plan de mejora definitivo para cada oportunidad, considerando todos los resultados obtenidos anteriormente, y explicando en detalle los procedimientos para llevar cabo acciones específicas de mejora que permitan disminuir el MTTR.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales del trabajo, donde se reconoce el cumplimiento de los objetivos específicos planteados a través de los 5 pasos del plan, y se realizan recomendaciones para la aplicación y/o adaptación de esta tesis en casos particulares de empresas, entendiendo que el trabajo no incluye una aplicación en un caso específico, pero si sirve y tiene la capacidad para formar parte importante de los cimientos que abren y promueven la investigación del mantenimiento correctivo en las empresas.

ABSTRACT

The general objective of the thesis is to develop a plan to improve maintainability, through the use of tools of the Lean Maintenance philosophy. In particular, the objective is to optimize the activities that are part of the generic corrective maintenance process, in search of the reduction of the average repair time (MTTR).

The work plan designed to achieve this objective consists of 5 steps. First, Chapter 3 provides a description of the generic process of repairing an unforeseen failure, through his Value Stream Mapping (VSM). With this it is possible to identify activities that do not add value to the process, and all the waste that grows the MTTR of a machine.

Chapter 4 analyses the wastes found above, using the 5W+ 1H tool, which defines what, why, how, who, when and where each of them is presented in the process. Thus, a total of 16 wastes come from 10 different root causes.

Then in Chapter 5, root causes are defined as opportunities for improvement, which are evaluated according to their criticality in a cost-benefit matrix, considering the difficulty of their implementation and the expected impact on MTTR. Based on the results, a priority scale is established, from where only 6 of the 10 opportunities for improvement manage to qualify to remain part of the job.

Chapter 6 begins with the selection of Lean Maintenance tools to develop each opportunity for improvement. Among them are: TPM (in its 8 pillars), 5S, JIT/PULL, visual control, Poka – Yoke, SMED.

In this same chapter, the final improvement plan is designed for each opportunity, considering all the results obtained above, and explaining in detail the procedures to carry out specific improvement actions that allow to decrease MTTR.

Finally, the general conclusions of the work are presented, which recognizes the fulfillment of the specific objectives raised through the 5 steps of the plan, and recommendations are made for the implementation and / or adaptation of this thesis in particular cases of companies, understanding that the work does not include an application in a specific case, but if it serves and has the capacity to be an important part of the foundations that open and promote the research of corrective maintenance in companies.

ÍNDICE

RESUMEN i
ABSTRACT ii
ÍNDICE iii
ÍNDICE DE FIGURAS v
ÍNDICE DE TABLAS vi
1. INTRODUCCIÓN viii
1.1. Breve contexto y motivación viii
1.2. Objetivos x
1.3. Plan de trabajo xi
2. ESTADO DEL ARTE 1
2.1. Lean Maintenance 1
2.2. Mantenibilidad 2
2.3. Mean Time To Repair (MTTR) 4
2.4. Conectando conceptos: Los 8 desperdicios 5
2.5. Métricas secundarias 8
2.6. Estudios recientes 10
2.6.1. TPM 10
2.6.2. RCM en reversa, PMO 2000 12
2.6.3. Softwares privados: Vorne 14
3. ANÁLISIS DEL PROCESO GENERAL DE REPARACIÓN DE UNA FALLA .. 15
3.1. Mapeo de la cadena de valor (VSM) 15
3.2. Identificación de desperdicios 20
3.3. Conclusiones del capítulo 27
4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LOS DESPERDICIOS 29
4.1. Herramienta 5W + 1H 29
4.2. Análisis aplicado al proceso 30
4.3. Conclusiones del capítulo 41
5. OPORTUNIDADES MEJORA 44

5.1. Matriz costo beneficio 46
5.2. Valorización y elección de oportunidades 47
5.3. Conclusiones del capítulo 50
6. PROPOSICIÓN DEL PLAN DE MEJORA 53
6.1. Selección de herramientas Lean Maintenance 53
6.2. Planificación de la mejora del proceso 57
6.3. Conclusiones del capítulo 75
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES 77
8. REFERENCIAS 79
9. ANEXOS 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3-1. Diagrama del plan de trabajo de título. Fuente: Elaboración propia. xi
Figura 2.1-1. Principales herramientas del Lean Maintenance. Fuente: Elaboración propia.....2
Figura 2.2-1. Principales factores de los que depende la mantenibilidad. Fuente: [2].....3
Figura 2.3-1. MTTR como la suma de los tiempos de sus 4 fases. Fuente: [2]. 5
Figura 2.4-1. El término Downtime escrito como el acrónimo de los 8 tipos de desperdicios tratados por el Lean Maintenance. Fuente: [4].....7
Figura 3.1-1. VSM del proceso general de reparación de una falla (mantenimiento correctivo). Fuente: Elaboración propia, utilizando programa https://www.lucidchart.com. 17
Figura 3.2-1. Costo correctivo total por trabajos con y sin planificación. Fuente: [2]. 24
Figura 4.3-1. A la izquierda los desperdicios del proceso general de reparación correctiva de una falla, y a la derecha con sus respectivos colores las causas raíces encontradas. Fuente: Elaboración propia. 42
Figura 6.3-1. Herramientas de la filosofía Lean Maintenance escogidas para desarrollar las oportunidades de mejora encontradas en la búsqueda de la disminución del MTTR. Fuente: Elaboración propia. 75
Figura 7-1. Desarrollo del plan de trabajo definido para la tesis, desde el proceso original de mantenimiento correctivo a analizar, hasta la obtención del plan de mejora. Fuente: Elaboración propia.....78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1-1. Simbología base utilizada para el diseño de un mapa de flujo de valor o VSM. Fuente: [11]. 16
Tabla 3.2-1. Tiempos de diagnóstico y reparación de equipos de acuerdo a su naturaleza constructiva. Fuente: [12]. 23
Tabla 3.3-1. Clasificación resumen de los desperdicios hallados en el proceso general de reparación de una falla. Fuente: Elaboración propia. 27
Tabla 4.2-1. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario; Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas. Fuente: Elaboración propia. 30
Tabla 4.2-2. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Exceso de movimiento en los trámites; Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva; Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo. Fuente: Elaboración propia. 32
Tabla 4.2-3. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Demora en la detección de ocurrencia de una falla. Fuente: Elaboración propia. 33
Tabla 4.2-4. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Altos tiempos de espera por la llegada de mantenedores al lugar. Fuente: Elaboración propia. 34
Tabla 4.2-5. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina. Fuente: Elaboración propia. 36
Tabla 4.2-6. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Altos tiempos de estabilización y alcance del régimen normal de operación; Arranques con defectos y poco seguros. Fuente: Elaboración propia. 37
Tabla 4.2-7. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Errores de diagnóstico e investigaciones hechas con otro foco de trabajo distinto a la real avería de la máquina; Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia; Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa. Fuente: Elaboración propia. 38
Tabla 4.2-8. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo; Mal uso del capital humano en la generación de ideas; Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla. Fuente: Elaboración propia. 40

Tabla 5.1-1. Puntajes en una escala de 10 niveles para el beneficio y costo asociado a la creación e implementación de una oportunidad de mejora en el proceso. Fuente: [14]. 47
Tabla 5.2-1. Valorización de beneficio y costo para cada una de las 10 oportunidades de mejora definidas anteriormente. Fuente: Elaboración propia. 47
Tabla 5.3-1. Valorización de cada oportunidad de mejora planteada para el proceso general de reparación de una falla (mantenimiento correctivo). Fuente: Elaboración propia. 50
Tabla 6.1-1. Herramientas Lean Maintenance seleccionadas para trabajar cada oportunidad de mejora. Fuente: Elaboración propia. 53
Tabla 6.2-1. Plantilla base de presentación para el plan de mejora asociado a cada oportunidad de mejora del proceso. Fuente: Elaboración propia. 58
Tabla 6.2-2. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #1. Fuente: Elaboración propia. 58
Tabla 6.2-3. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #2. Fuente: Elaboración propia. 61
Tabla 6.2-4. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #3. Fuente: Elaboración propia. 63
Tabla 6.2-5. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #5. Fuente: Elaboración propia. 64
Tabla 6.2-6. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #9. Fuente: Elaboración propia. 68
Tabla 6.2-7. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #10. Fuente: Elaboración propia. 71

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Breve contexto y motivación

Desde sus comienzos a principios del siglo XX y hasta la actualidad, la función y el objetivo del mantenimiento han sufrido constantemente modificaciones desde un punto de vista conceptual. Estos cambios generalmente responden al abandono de viejos paradigmas definidos por los actuales factores claves de sobrevivencia de las organizaciones.

Durante mucho tiempo fue costumbre mantener de forma correctiva (tomando acciones reactivas no programadas), dado que los objetivos de productividad de aquellos tiempos no hacían necesaria la especialización de tareas. Pero luego, con el paso de los años, el gran proceso evolutivo de las industrias y el sostenido desarrollo de la tecnología, han traído consigo un notable crecimiento en el conocimiento de cada una de las ramas del mantenimiento, lo que permite hoy en día tener una diversa gama de estrategias, metodologías, instrumentos y técnicas disponibles para establecer una gestión más integral del mantenimiento, que busca ser efectiva, segura y además económica para las empresas y sus activos.

A modo general, todos los avances mostrados en la historia del mantenimiento pueden enmarcarse en un proceso de transformación: “Desde la ejecución a la prevención”. Es claro cómo ha cambiado el foco de trabajo, dejando en el olvido la definición de mantenimiento como una mera prestación de servicios de reparación de averías, para pasar a preocuparse también del anticipo de las fallas aplicando métodos de análisis para evitar su recurrencia o mitigar sus consecuencias. Además, se ha integrado en ciertos casos la modificación genética de activos para aumentar disponibilidad y/o capacidad.

Sin embargo, y aún con los estudios más recientes sobre confiabilidad operacional, es imposible eliminar totalmente el mantenimiento correctivo. Esto debido principalmente a dos grandes razones. Primero, la experiencia dice que el 89% de los activos no responden al tiempo, ese decir que una vez pasada la etapa inicial de la vida útil, las fallas son puramente aleatorias: los modos de falla no atienden a patrones de desgaste o envejecimiento. Segundo, no siempre trae el máximo provecho integral prevenir que sucedan todos los modos de falla, ya que en cierto punto

los esfuerzos por evitar acciones reactivas comienzan a costar más que sus consecuencias, sobre todo cuando éstas no son graves para la seguridad, medio ambiente o producción de los activos relevantes del negocio. Por esto, es importante entender que siempre existirán averías las cuales por conveniencia o necesidad es mejor solucionarlas con acciones correctivas.

La motivación de este trabajo nace entonces de la idea de retomar un concepto tan desestimado y rehusado como es el mantenimiento correctivo, en el que por lo mismo existen claras oportunidades reales de desarrollo y mejora.

Es importante recordar que este trabajo de tesis no incluye aplicación sobre un proceso en específico, ya que desde un comienzo en el objetivo general se planteó tomar el proceso general o genérico de reparación de una falla, entendiendo que los mayores problemas y desperdicios de un mantenimiento correctivo son comunes para la mayoría de los procesos, independiente de sus modos de falla particulares. De esta forma puede obtenerse un análisis más completo que considere la solución a una mayor cantidad de desperdicios.

Por otro lado, el alcance en términos temporales abarca desde la verificación de la falla hasta el retorno del equipo a su operación, incluyendo todas las etapas y factores tanto internos como externos que afectan directa o indirectamente en el tiempo correctivo total.

Las herramientas utilizadas son algunas de las pertenecientes a la filosofía Lean Maintenance, entendiendo que el principal beneficio de un modelo de gestión ajustado es la creación de flujo de valor mediante la reducción de desperdicios, sobre todo cuando factores como el tiempo y las personas son el mayor recurso dentro del proceso, como lo es justamente el caso de la reparación de una falla.

Por último, y aunque el objetivo principal de este trabajo es la reducción de los tiempos en el mantenimiento correctivo, no deben descuidarse otras variables que también hablan sobre el desempeño del proceso, como lo son la seguridad, los costos y la calidad del mantenimiento. No estaría bien reducir el tiempo de ciclo de una tarea para reducir su seguridad, por ejemplo. Por esto es importante estar constantemente haciendo un seguimiento a estas “métricas secundarias”, para evitar que empeoren y tengan efectos colaterales negativos sobre el resultado de la mejora hecha al proceso.

1.2. Objetivos

El objetivo general del trabajo de título es:

"Elaborar un plan de mejoramiento de la mantenibilidad basado en la reducción del MTTR, mediante el uso de herramientas de calidad asociadas a la filosofía Lean Maintenance. En este, se detalla el modo y conjunto de medios necesarios para llevar a cabo cada acción de mejora diseñada para enfrentar, minimizar y eliminar las principales pérdidas y desperdicios propios del proceso general de reparación de una falla".

Para lograrlo se plantean los siguientes objetivos parciales (secuenciales) o específicos:

1. Analizar el proceso general de reparación de una falla mediante la herramienta Value Stream Map (VSM), con la que es posible identificar todas aquellas actividades que no agregan valor al proceso, así como también las pérdidas y desperdicios existentes en cada una de las etapas del Mean Time To Repair (MTTR).

2. Realizar un análisis de causa raíz utilizando alguna de las técnicas y herramientas existentes para el análisis de fallas, con el objetivo de determinar las causas que provocan la existencia de los desperdicios encontrados anteriormente.

3. Definir, en base al análisis de causa raíz realizado, una serie de oportunidades de mejora que son evaluadas según su criticidad en una Matriz de Costo – Beneficio, considerando la dificultad de su implementación y el impacto esperado sobre el MTTR.

4. Proponer la aplicación de herramientas del Lean Maintenance como medios necesarios para la realización de las acciones de mejora específicas a definir para cada oportunidad de mejora.

5. Diseñar un plan de mejoramiento de la mantenibilidad que considere no sólo las acciones, sino también estándares de procedimientos y ejecución detallados que permitan una mejor planificación y programación del proceso de reparación de una falla, y con esto una disminución del MTTR.

1.3. Plan de trabajo

Para llevar a cabo este trabajo se ha diseñado un metódico plan de acción, el que se resume en la siguiente figura. A la izquierda se observan las etapas, y a la derecha las herramientas utilizadas para desarrollar cada una de ellas:

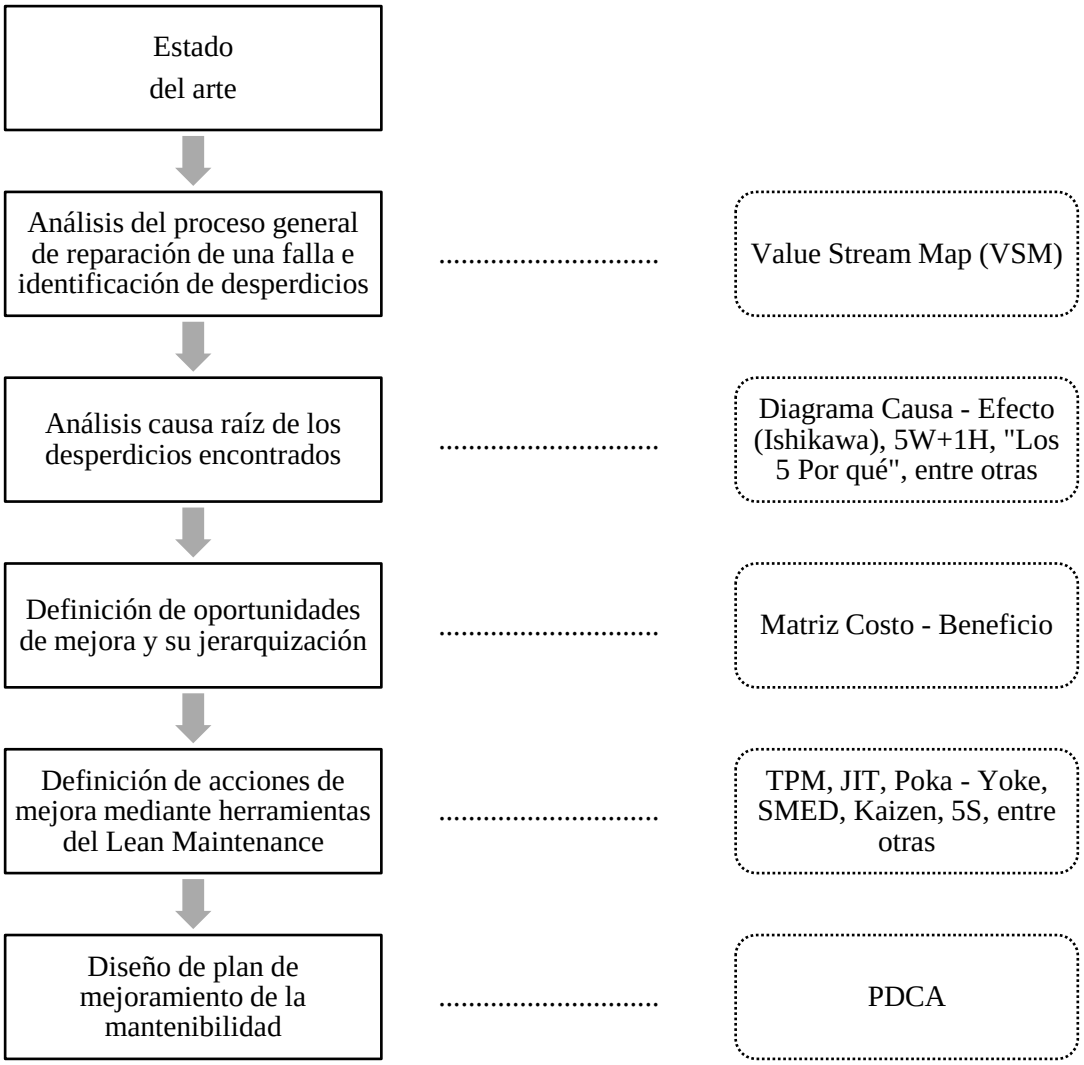


Figura 1.3-1. Diagrama del plan de trabajo de título. Fuente: Elaboración propia.

Este plan es la referencia que dicta el desarrollo de esta tesis, y que permite alcanzar más de forma más eficiente los objetivos planteados anteriormente.

2. ESTADO DEL ARTE

Este capítulo es resultado de la investigación realizada en el tema del Lean Maintenance y su relación con el concepto de MTTR (tiempo medio de reparación). Se presenta primero una breve definición y explicación de los conceptos y cómo es que se conectan entre sí, para luego hacer una revisión de los principales avances mostrados actualmente sobre la mejora del mantenimiento correctivo en pos de un menor Downtime.

2.1. Lean Maintenance

De la traducción literal, “Lean” tiene como significado “magro”, “esbelto” (falto de grasa). Suele asociarse mayormente con términos como thinking (mentalidad) o manufacturing (fabricación), haciendo referencia a la mejora en los procesos de producción, para asegurar que las máquinas continúen realizando sus funciones utilizando para ello los mínimos recursos necesarios (ajustados, sin grasa).

Entonces, considerando que “Maintenance” se traduce como “mantenimiento”, el “Lean Maintenance” puede entenderse como el conjunto de operaciones destinadas a la optimización de los procesos de mantenimiento, para así garantizar que la actividad de una empresa sea lo más fluida posible, minimizando tiempos muertos de reparación y espera y procurando mantener (de allí la palabra) un ambiente de productividad óptima permanente, con los mínimos recursos necesarios [1].

La aplicación de esta filosofía se encuentra sólidamente sustentada en una serie de técnicas y herramientas altamente calificadas para cumplir con sus objetivos. En la Figura 2.1-1 se muestran algunas de las principales. Cada una tiene su enfoque y ventaja comparativa respecto a las demás en distintos tipos de tareas (son más o menos aplicables según la naturaleza del problema), pero todas pueden ser usadas para ayudar en el proceso de optimización del mantenimiento. En el Anexo 1 se incluye una pequeña descripción de ellas.

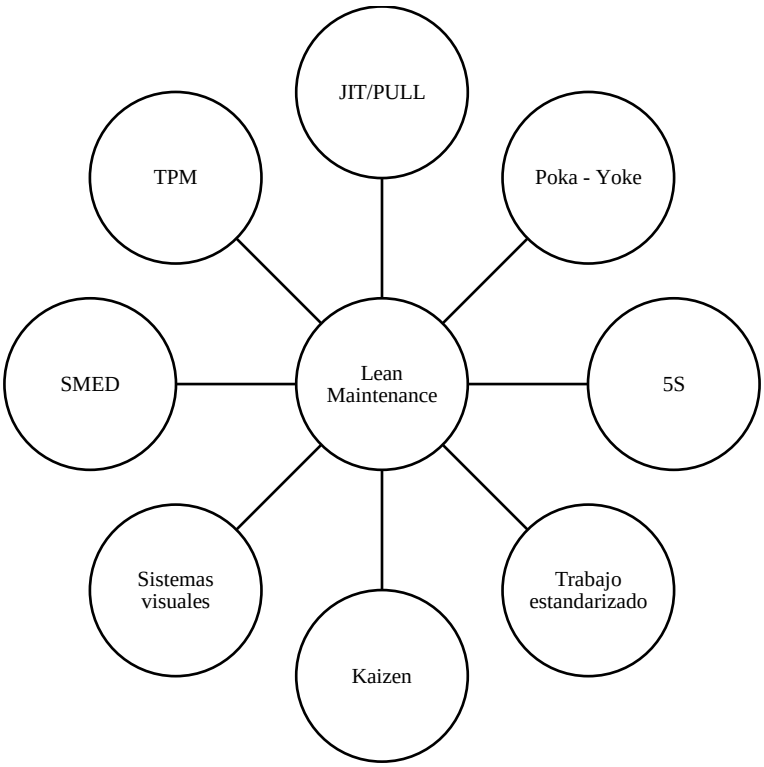


Figura 2.1-1. Principales herramientas del Lean Maintenance. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Mantenibilidad

Se entiende la mantenibilidad como la propiedad de un equipo que representa la cantidad de esfuerzo requerido para restaurar su funcionamiento normal una vez se ha presentado una falla. Es una característica sumamente importante para aquellos equipos controlados bajo mantenimiento correctivo y cuyo tiempo de reparación es significativo.

En términos probabilísticos, Pistarelli [2] establece: “La mantenibilidad es un parámetro estadístico que se define como la probabilidad que tiene un ítem en estado de falla de ser diagnosticado y reparado con éxito en un tiempo t, y en el contexto de operación establecido”.

Es importante destacar que la mantenibilidad de un equipo no sólo depende de las condiciones de uso en las que se encuentra y de los procedimientos y recursos establecidos para su reparación, sino también de la naturaleza y criticidad de la falla a la que se vio afectado. De hecho, un mismo equipo puede poseer una alta mantenibilidad para unos tipos de falla, pero otra muy baja para

otros. En estos casos la figura de mantenibilidad general provendrá de un promedio ponderado en el que la importancia o peso relativo de cada tipo de falla será la probabilidad de su ocurrencia.

Son muchos y muy diversos los factores que afectan la mantenibilidad: accesibilidad, localización, peso, forma, capacidad técnica y recursos materiales de los reparadores, etc. Algunos de los más importantes pueden clasificarse de manera bastante simple en dos grandes familias: internos (intrínsecos al sistema) y externos (asociados a la organización del mantenimiento).

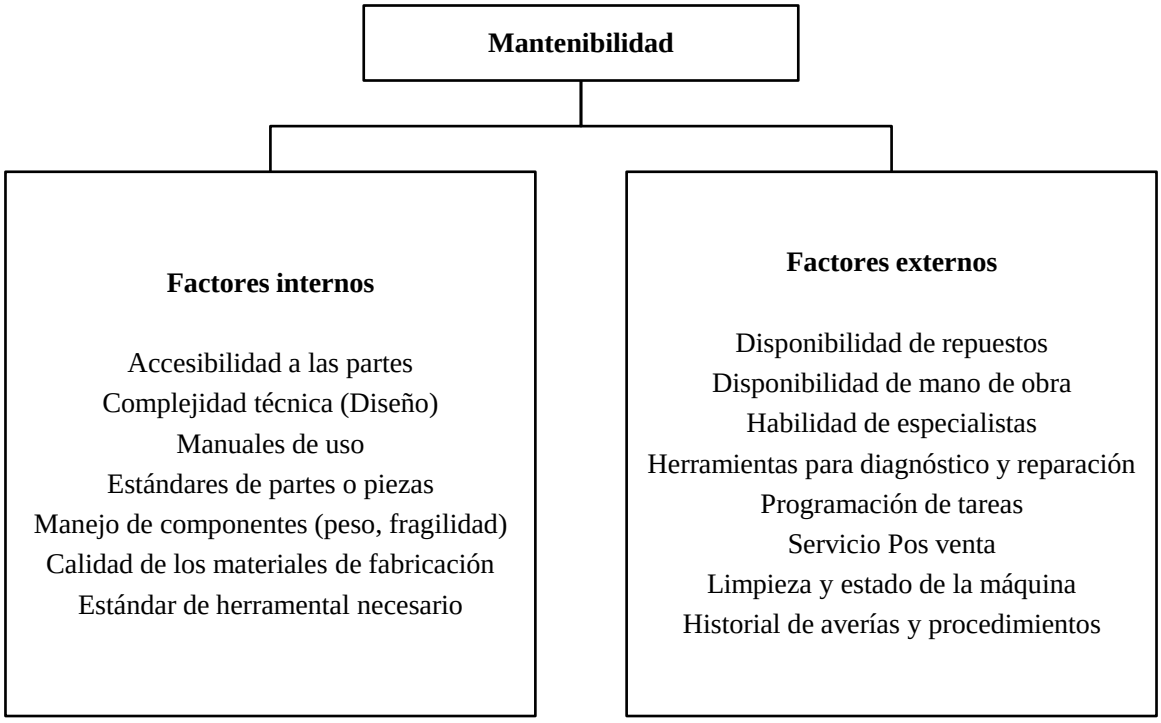


Figura 2.2-1. Principales factores de los que depende la mantenibilidad. Fuente: [2].

Así por ejemplo, a mayor complejidad técnica y menor capacidad del equipo humano de mantenimiento, mayor será el tiempo efectivo de diagnóstico y reparación de la falla.

Todas las componentes mostradas de la mantenibilidad, tienen su conversión en términos de tiempo, que es la variable a reducir en este trabajo de investigación.

2.3. Mean Time To Repair (MTTR)

El tiempo medio de reparación (MTTR, Mean Time To Repair) es la medida básica de la mantenibilidad de los equipos reparables. Corresponde al tiempo promedio requerido para reparar un equipo o componente fallido.

De manera general, cuando se conocen los datos históricos de cada reparación y sus duraciones, el MTTR de un equipo queda expresado matemáticamente como la relación entre el tiempo total de intervenciones por restauración T_{tr}, y el número total de reparaciones C_r.

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_r} \tag{1}$$

La inversa del MTTR se denomina tasa de reparación (ε), y suele tomarse como el indicador clave de la mantenibilidad.

$$\varepsilon = \frac{1}{MTTR} \tag{2}$$

Bien es sabido que el mantenimiento correctivo no es programable aunque sí planificable, según sea el caso. Luego, es posible dividir el tiempo total correctivo en dos partes: tiempo de diagnóstico y tiempo de reparación [2].

El tiempo de diagnóstico corresponde al utilizado por los especialistas de mantenimiento para determinar qué ha sucedido en la máquina (hallar su causa raíz) y cómo lograr una rápida solución (de la forma más eficiente posible). El tiempo de reparación es aquel destinado a solucionar el problema en sí, y lograr que el equipo reestablezca su condición normal de funcionamiento. Para mayor claridad, el tiempo de reparación suele dividirse a su vez en tres etapas: planificación (que está directamente relacionada con los gastos de mantenimiento), ejecución (destinada exclusivamente a la reparación de la falla) y verificación (para comprobar que el equipo quedó efectivamente reparado y es capaz de alcanzar su régimen nominal de operación).

Con todo esto, el procedimiento general de reparación de una falla puede dividirse en 4 grandes etapas:

Figura 2.3-1. MTTR como la suma de los tiempos de sus 4 fases. Fuente: [2].

Es importante aclarar que en la literatura suele asociarse el MTTR única y exclusivamente con el tiempo de ejecución de las tareas de reparación, mientras al tiempo total de inactividad (suma de las 4 etapas) se le denomina Downtime, donde sí se incluyen todos los tiempos extras relacionados con la logística del proceso: emisión de órdenes y permisos de trabajo, traslado de personal y herramientas, dificultades de comunicación, etc. De todas formas, al no existir un consenso sobre el alcance exacto del concepto de MTTR, en este trabajo se adoptara su forma más completa (o Downtime), entendiendo que abarcar una mayor cantidad de variables permite tener también un mejor potencial de mejora total en la mantenibilidad.

2.4. Conectando conceptos: Los 8 desperdicios

¿Por qué utilizar Lean Maintenance para reducir el MTTR, y no otras herramientas de calidad estadísticamente probadas como el Six Sigma? ¿Cuál es la relación entre estos conceptos?

Cómo ya se mencionó en la primera sección de este capítulo, el principal objetivo del Lean Maintenance es optimizar las tareas de mantenimiento, dejarlas ajustadas o “magras”. Para ello tiene que minimizar y eliminar la “grasa”, que es aquella parte del proceso que es pérdida e impide el buen flujo de valor dentro del sistema: los desperdicios (o también conocidos como mudas).

“Muda” es una palabra japonesa que significa “inutilidad; ociosidad; desperdicio; superfluidad” y es un concepto clave en el Sistema de Producción Toyota (TPS) (sistema reconocido como el gran precursor del pensamiento Lean), que forma parte de los tres tipos de residuo: “muda”, “mura”, “mun”. Toyota escogió estas tres palabras que comenzaban con el prefijo “mu” que es reconocido en Japón como referencia a un programa o campaña de mejora de un producto [3].

Taiichi Ohno, quien fuera ingeniero en jefe de Toyota, definió los siguientes “siete residuos” que clasifican los recursos que generalmente son desperdicios dentro de la cadena de valor de un proceso:

1. Exceso de inventarios: Ya sea en forma de materias primas, productos en proceso o productos terminados, representa un desembolso de capital que aún no ha producido un ingreso.
2. Exceso de movimiento: Todo movimiento innecesario de personas o equipamiento que no añada valor al producto que el cliente espera.
3. Transporte de material: Cada vez que un producto es movido, tiene el riesgo de ser dañado, perdido, retrasarse, etc. Además es una acción que no agrega valor, ya que no hace ninguna transformación al producto que el cliente está dispuesto a pagar.

4. Tiempos de espera: Son los tiempos durante la realización del proceso productivo en los que no se añade valor. Esto incluye esperas de material, de información, de máquinas o de herramientas, retrasos en el proceso, averías adicionales encontradas durante el reparo, cuellos de botella, papeleo de recursos humanos, etc.
5. Sobre-procesamiento: Se produce cada vez que se realiza más trabajo de lo necesario. Incluye por ejemplo el uso de herramientas más complejas y costosas de lo estrictamente necesario, o proveer de controles de calidad más altos que los requeridos por el cliente.
6. Defectos: Los defectos de producción que culminan en errores en los productos son un enorme desperdicio, ya que se consumen materiales y mano de obra yendo todo a pérdida. También implican hacer reproceso y tener que atender quejas del cliente.
7. Sobreproducción: Es identificada como la causa de la mayoría de los otros desperdicios y se define como el procesamiento de productos en mayor cantidad o lotes más grandes que los requeridos por el cliente (por tanto producir más de lo demandado o producir algo antes de que sea necesario).

Últimamente se ha considerado el desaprovechamiento del talento humano como el octavo desperdicio, y se refiere a no utilizar la creatividad e inteligencia de la fuerza de trabajo de las personas como el recurso que son y el gran potencial de desarrollo que representan.

Ahora bien, si hay un proceso que por su naturaleza convive constantemente con todos estos tipos de desperdicios es justamente la reparación no programada de un equipo en estado de falla.

Coincidencia o no, el tiempo de inactividad o DOWNTIME queda definido como el acrónimo de los 8 tipos de desperdicios, juego que hace referencia al gran problema existente en el actual manejo en la industria frente a una falla inesperada y a la necesidad de contar con una planificación seria que pueda minimizar y en el mejor de los casos eliminar estos desperdicios.

Figura 2.4-1. El término Downtime escrito como el acrónimo de los 8 tipos de desperdicios tratados por el Lean Maintenance. Fuente: [4].

Las mayores desventajas del mantenimiento correctivo frente a otros tipos de mantenimiento yacen en la falta de gestión con la que se maneja en gran parte de las empresas actualmente.

La impredecibilidad en la ocurrencia de las fallas con la que se trabaja hace que normalmente esta forma de mantener se asocie a la urgencia y a la improvisación. De allí que entre sus mayores problemas se encuentren:

- Falta de disponibilidad de materiales: El desconocimiento acerca de los posibles modos de falla de las máquinas y de las herramientas necesarias para reparar cada uno de ellos puede provocar la falta de materiales en bodega, lo que trae más y mayores tiempos de espera, y en concreto un mayor tiempo promedio de reparación. Inclusive, muchas veces por este motivo se tiene que recurrir a cambiar el plan de trabajo, viéndose obligado a solucionar el problema "con lo que haya" en el momento, y no con lo que se necesita realmente.
- Falta de trabajo en el foco de la avería: Muchas veces el mantenimiento correctivo se asocia únicamente al ahorro de tiempo mediante el "apagar incendios". Luego, es normal que la

mecanización adquirida en los mantenedores produzca una pérdida en la profundidad del análisis en la etapa de diagnóstico de la falla, y sólo ataquen lo superficial, quedando lejos de proteger realmente al equipo, ya que probablemente este vea reducida su vida útil y termine colapsando por el mismo problema que se "apagó" mil veces pero nunca de raíz.

- Mayores costos de imagen: El mantenimiento correctivo por lo general se aplica cuando se cree que los costos de detención y reparación serán menores que la inversión requerida para su símil preventivo, pero este filtro muchas veces sólo toma en cuenta los costos monetarios y olvida los humanos. Cuando se produce una falla catastrófica los efectos negativos pueden incluso llegar a afectar la reputación de la empresa, por el riesgo que hay para la seguridad de sus trabajadores y lo que pueda pensar el cliente externo respecto a la forma en que se está trabajando.
- Falta de estándares en la tareas: La gran variabilidad que pueden presentar las frecuencias de ocurrencia de ciertos modos de falla en una máquina hace estrictamente necesario idear y redactar instructivos que detallen paso a paso el modo de actuar frente a una avería conocida en el caso que los mantenedores no se encuentren disponibles y sean los operadores u otras personas presentes en el lugar quienes tengan que enfrentar el problema.

2.5. Métricas secundarias

Como ya es sabido, el MTTR es la variable objetivo de este trabajo, entonces sería normal pensar que el progreso y desempeño de la mejoras a realizar, pueden medirse únicamente por la disminución del tiempo que toma un proceso de mantenimiento correctivo.

Sin embargo, haciendo referencia a la teoría del Seis Sigma [5], el MTTR en este caso sólo sería la "métrica primaria", es decir la forma de medir el resultado principal del proceso y de colocar metas específicas de mejoramiento, pero todo proyecto Lean requiere de un seguimiento completo, que incluya también la revisión de potenciales consecuencias negativas sobre las llamadas "métricas secundarias", que son otras medidas importantes del desempeño del proceso y no deben ser descuidadas al momento de buscar la mejora de la métrica primaria.

No hay metas de mejoramiento implícitas o explícitas para las métricas secundarias, sólo se debe evaluar que no empeoren. Por ejemplo, no estaría bien reducir el tiempo de ciclo de una tarea

correctiva para al mismo tiempo reducir su seguridad. Esta debería al menos mantenerse, pero nunca disminuir.

Las métricas secundarias más relevantes de este proceso son:

- Seguridad: Existen aspectos básicos de seguridad e higiene que deben cumplirse para todo trabajo de intervención de una máquina, aunque esta se encuentre detenida. Entre ellos, la des energización de equipos principales y/o periféricos para trabajos eléctricos, la limpieza de los lugares y eliminación de polvos que puedan producir un amago de incendio, por ejemplo.
  Por supuesto no debe olvidarse el uso constante del equipo de protección personal necesario para la tarea específica a realizar, así como los equipos de apoyo por ejemplo para el movimiento de partes pesadas mediante puentes grúa o lifters.
  Es normal tener un aumento del riesgo de accidentes, cuando la mirada sólo se fija en disminuir los tiempos (métrica primaria), porque para ello se suele actuar de forma acelerada y caótica.

- Costos: Toda iniciativa de mejora tiene además de beneficios, costos. Idealmente, si estos son monetarios no deben escapar del presupuesto, sino lo ganado en tiempo se pierde en dinero y la mejora suele verse desde fuera como una mera inyección extra de recursos para acelerar las cosas. Por ejemplo, podría pensarse que para aumentar el nivel de planificación previo a la ejecución del mantenimiento, se necesitaría de un crecimiento del plantel permanente en planta, lo que aumenta los gastos fijos. Sin embargo, como se ve más adelante en este trabajo, lo que en realidad se busca en este punto es tener mayor orden, establecer procedimientos y construir finalmente una mejor logística en la preparación de las acciones.

- Calidad: Esta métrica implica mantener la calidad del proceso, a pesar de ver reducidos sus tiempos de planificación, ejecución y verificación. Para esto es muy importante seguir cuidadosamente los planes de mejora generados en esta tesis, sin obviar u omitir ninguno de sus pasos, por muy simples que parezcan. Un indicador clave de la calidad del reparo es el MTBF (Mean Time Between Failures) o tiempo medio entre fallas, ya que no sólo habla de la confiabilidad del equipo por sí mismo, sino también de la buena ejecución de los mantenedores, para realizar reparos exentos de fallas tempranas y que sean duraderos en el

tiempo. Con un MTBF elevado y un MTTR bajo, el sistema estará trabajando en su máxima capacidad.

2.6. Estudios recientes

En la actualidad son muchas las maneras que se están estudiando a favor de la reducción del MTTR. Entre las más destacadas se encuentran:

- Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Benchmarking interno y externo (fijación de metas)
- Eliminación de tareas poco productivas (RCM en reversa, PMO 2000).
- Evaluación del uso de contratistas especializados.
- Planes auditables de mantenimiento.
- Sistemas o softwares privados.

2.6.1. TPM

El Mantenimiento Productivo Total o TPM (por sus siglas en inglés) corresponde a la metodología o conjunto de actividades llevadas a cabo para mantener y mejorar la integridad y calidad de los sistemas de producción, procesos, máquinas y equipos, mediante la integración y participación de todos los sectores y niveles de la organización. Implementar TPM excede ampliamente al área de mantenimiento, ya que se busca gestionar la empresa como un todo, teniendo siempre como objetivo final aumentar la eficacia integral de los activos fijos instalados en la compañía.

Todo sistema de gestión industrial que pretenda aplicar la metodología TPM, requiere de procesos que articulen correctamente los distintos campos de esta potente herramienta organizacional. A estos, el TPM los llama “pilares”. Los 8 pilares sobre los que se apoya el TPM son [2]:

- ✓ Mantenimiento Autónomo
- ✓ Mantenimiento Planeado
- ✓ Mejora Enfocada

- ✓ Gestión Temprana o Inicial
- ✓ Mantenimiento para la Calidad
- ✓ Capacitación y Desarrollo
- ✓ Gestión de los Sectores Administrativos
- ✓ Higiene, Seguridad y Medio Ambiente

Todos estos puntos tienen aplicación y utilidad dentro de este trabajo de investigación. Es más, los pilares de mantenimiento autónomo y gestión temprana destacan por ser ideas que nacen pensando justamente en reducir los costos y tiempos asociados principalmente al mantenimiento correctivo.

Bajo la aplicación del mantenimiento autónomo, el personal que opera el equipo incorpora a sus funciones tareas de mantenimiento llamadas de *primera línea* [2]: rutinas básicas de inspección, limpieza, lubricación, purga, ajustes menores e incluso cambio de piezas. Estas le son transferidas de acuerdo a sus capacidades y tiempo disponible, haciendo a la vez más eficiente la utilización de los talentos humanos dentro de la organización, evitando caer en el octavo de los desperdicios vistos en la sección 2.4. Si el grupo de operadores es capacitado de buena manera, sus habilidades pueden incluso llegar a permitirles realizar tareas de carácter reactivo reponiendo la funcionalidad de las máquinas detenidas, pasando de ser operadores a "diagnosticadores" por excelencia, dada su cercanía y familiaridad con los equipos.

El pilar de gestión temprana tiene dentro de sus objetivos principales contar con equipos confiables, mantenibles y fáciles de operar desde el inicio del servicio (puesta en marcha), entonces su trabajo se enfoca en eliminar tempranamente problemas de diseño o errores de fabricación, que impidan un correcto *arranque vertical* de la máquina (se entiende como arranque vertical aquel donde la producción comienza inmediatamente es encendida la máquina, siendo libre de defectos y riesgos en la seguridad). La implementación de la gestión temprana en los equipos permite entonces entre otras cosas, instalar equipos diseñados para ser fáciles de diagnosticar, reparar y con buen desempeño en su puesta marcha luego de un eventual proceso de reparación de una falla, con lo que se reduce la magnitud y variabilidad en los tiempos de verificación por parte del equipo de mantenimiento.

2.6.2. RCM en reversa, PMO 2000

El mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM (por sus siglas en inglés) es una herramienta desarrollada durante las décadas de los 60's y 70´s en la industria aeronáutica estadounidense, con la finalidad de ayudar a las organizaciones a determinar lo que se debía hacer en ese entonces para asegurar el cumplimiento de las funciones de sus activos físicos y así manejar de mejor forma sus posibles fallas y consecuencias. Sus bases se encuentran en las normas internacionales SAE JA1011 y SAE JA1012.

Este método de trabajo permite definir la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada equipo según su contexto operativo real, por eso se dice que cambia el paradigma de la mantención de equipos (noción de absolutismo) hacia el aseguramiento de las funciones (carácter relativista).

La eficacia del RCM y su creciente popularidad a través de los años lo posiciona hoy en día como uno de los métodos más utilizados a nivel mundial en muchos y diferentes tipos de industrias, conduciendo también a la investigación y desarrollo de numerosos métodos derivados, tales como "RCM en reversa" y "PMO".

"*Cualquier proceso RCM debe asegurar que se respondan satisfactoriamente las siguientes siete preguntas, y en esta misma secuencia"* [6]:

- *¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del activo en su actual contexto operativo (funciones)?*
- *¿En qué formas no puede cumplir sus funciones (fallas funcionales)?*
- *¿Qué ocasiona cada falla funcional (modos de falla)?*
- *¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?*
- *¿En qué forma es importante cada falla (consecuencias de la falla)?*
- *¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de labores)?*
- *¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada (acciones por defecto)?*

Su enfoque retroactivo o mejor conocido como “RCM en reversa” busca primero identificar el modo de falla que generó cada estrategia de mantenimiento escogida, para luego trabajar hacia adelante de nuevo a través de los últimos tres pasos del proceso de decisión RCM original, lo que permite reexaminar las consecuencias de cada falla e identificar un plan de manejo de fallas más efectivo. Los enfoques retroactivos son muy llamativos por tener como principal ventaja reducir la carga de trabajo preventivo en las organizaciones (el efecto neto es usualmente una reducción entre 40% y 50%), pero también se consideran peligrosos porque en la mayoría de los casos un gran número de dispositivos de protección en las máquinas continuará sin recibir atención en el futuro, dado que en el pasado no se especificaron labores para ellos.

La Optimización del Mantenimiento Planeado o PMO (por sus siglas en inglés) es una modificación del RCM que tiene su aplicación sobre activos en funcionamiento, a diferencia del proceso original que busca aplicarse en la fase de diseño del ciclo de vida de los activos. La metodología para llevar a cabo este proceso se conoce como PMO 2000, la cual a grandes rasgos consta de los siguientes nueve pasos [7]:

- ✓ *Paso 1: Recopilación de Tareas*
- ✓ *Paso 2: Análisis de Modos de Falla (FMA)*
- ✓ *Paso 3: Racionalización y Revisión del FMA*
- ✓ *Paso 4: Análisis Funcional (Opcional)*
- ✓ *Paso 5: Evaluación de Consecuencias*
- ✓ *Paso 6: Definición de la Política de Mantenimiento*
- ✓ *Paso 7: Agrupación y Revisión*
- ✓ *Paso 8: Aprobación e Implementación*
- ✓ *Paso 9: Programa Dinámico*

Entre sus ventajas sobre el RCM destacan la mayor velocidad: Los modos de falla insignificantes no son analizados por PMO mientras que RCM analiza todos los modos de falla posibles. Además, usando la metodología PMO 2000 varios modos de falla pueden unirse y analizarse en conjunto, mientras que RCM analiza cada modo de falla por separado. Evidentemente esto puede llegar verse como una debilidad si lo que se prioriza en la empresa es la profundización del método por sobre el tiempo de ejecución del mismo. Otro punto a favor es su flexibilidad: RCM no puede decidir en qué momento son analizados los modos de falla (es al azar), por ello requiere

de la presencia de todos los especialistas durante su desarrollo. Con PMO es posible analizar las actividades de una especialidad en particular, ya que el análisis inicia según las tareas actuales de mantenimiento, siendo posible filtrar según la eficacia y eficiencia de cada una de ellas.

2.6.3. Softwares privados: Vorne

Pasando de la teoría a la práctica, desde el sector privado han surgido organizaciones como Vorne [8], una compañía estadounidense fundada en 1970 que hasta el día de hoy trabaja en la fabricación y diseño de productos de soporte para mejorar la productividad de sus clientes mediante softwares que permiten organizar y procesar mejor la información sobre la producción en las máquinas y con esto reducir el MTTR.

En base a sus propios estudios han generado un servidor web integrado que entre sus servicios ofrece:

- Seguimiento más preciso del Downtime mediante sensores y sistema computarizado.
- Categorización y jerarquización de cada tiempo de inactividad sufrido por el equipo según los motivos que generaron la falla.
- Conocimiento del estado instantáneo de toda una línea de producción o planta inclusive, lo que permite evaluar más globalmente la situación y decidir correctamente sobre dónde focalizar los esfuerzos del mantenimiento.
- Solución directa a la fuente predominante de las caídas de un equipo en particular. Esto permite un desarrollo más sistemático y eficiente en el proceso de reducción del Downtime.

Otros sistemas más conocidos en esta labor de automatizar el área productiva de las empresas mediante un seguimiento computarizado de las máquinas son por ejemplo los SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [9] y los MES (Manufacturing Execution Systems) [10].

3. ANÁLISIS DEL PROCESO GENERAL DE REPARACIÓN DE UNA FALLA

En este tercer capítulo se da inicio al trabajo del plan mostrado en el capítulo 1, más específicamente se abarca el primer objetivo de la memoria, que es describir y analizar lo más profunda y detalladamente el proceso general de reparación de una falla (acción correctiva), para así identificar las pérdidas y desperdicios existentes que incrementan el MTTR de las máquinas.

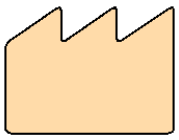
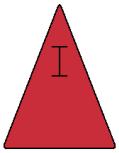
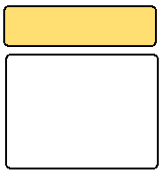
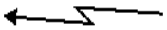
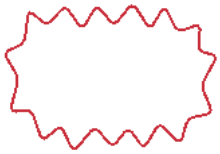
3.1. Mapeo de la cadena de valor (VSM)

Un mapa de cadena de valor o VSM (por sus siglas en inglés) es una herramienta gráfica muy utilizada actualmente, que sirve para conocer y entender a profundidad los procesos, ya que se encarga de identificar los flujos de información y materiales dentro de una cadena productiva, desde el proveedor hasta el cliente final, además de destacar retrasos o procesos que no agregan valor (desperdicios en general).

En la práctica, el mapeo de valor se ha convertido en una actividad esencial ante la formulación de planes de mejora, formando parte tanto del diagnóstico del proceso (VSM actual), como de la proposición de estrategias de mejoramiento (VSM mejorado o futuro).

Para ir interiorizando más sobre el diseño de este tipo de mapas, a continuación se muestran algunos de los símbolos más comunes utilizados para su confección:

Tabla 3.1-1. Simbología base utilizada para el diseño de un mapa de flujo de valor o VSM. Fuente: [11].

	Cliente / Proveedor: Representa al cliente del proceso en la esquina superior derecha y al proveedor en la esquina superior izquierda del diagrama.
	Inventario de materiales necesarios para la consecución y fluidez entre dos etapas contiguas del proceso.
	Cada una de las etapas principales del proceso. En amarillo sus nombres, y en el cuadro blanco una pequeña descripción de las tareas que les corresponden.
	Información transmitida de forma electrónica (llamadas telefónicas, radios, correos, etc.).
	Flujo de información (cualquier medio en general).
	Envíos de materia prima, materiales y herramental en general, ya sea desde los proveedores al proceso productivo o desde este último hacia el cliente final.
	“Estallido Kaizen”: Símbolo de alerta que resalta un problema en el proceso y la necesidad de atacarlo para hallar los desperdicios que lo originan (entrega guías para el trabajo de mejora del proceso).

En la Figura 3.1-1 se muestra el resultado del mapa diseñado para un procedimiento general de reparación de una falla o avería. Cabe recalcar que este proceso corresponde al concepto universal o genérico de mantenimiento correctivo, por lo que especificaciones sobre tiempos de ciclo, número de operarios/mantenedores necesarios, y cualquier otro dato cuantitativo sobre materiales o eficiencias de cada tarea queda fuera del objetivo y alcance de este trabajo.

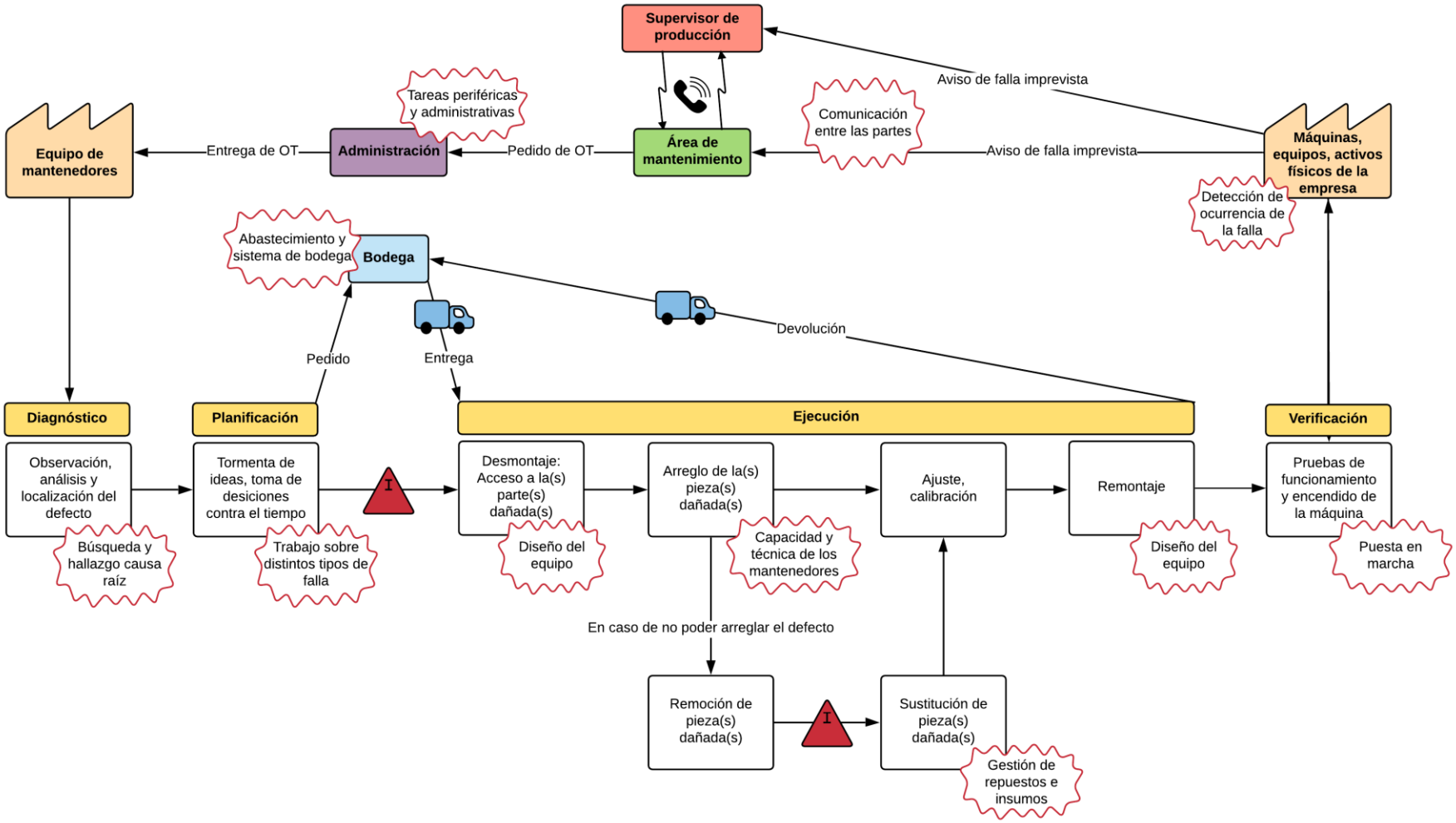


Figura 3.1-1. VSM del proceso general de reparación de una falla (mantenimiento correctivo). Fuente: Elaboración propia, utilizando programa https://www.lucidchart.com.

El proceso comienza con la ocurrencia de una falla imprevista / no planificada en la máquina (arriba a la derecha en el VSM), siendo esta el cliente y punto de partida del flujo de valor. De allí el operador y/o ayudante de la máquina, una vez han detectado el desperfecto (generalmente marcado por la repentina parada del equipo), dan aviso inmediato al supervisor de producción de turno o idealmente y de forma más directa al equipo de mantenimiento (sobre todo cuando este se encuentra haciendo rondas de inspección o trabajo preventivo en la planta).

En seguida la situación es informada a la persona encargada en administración de emitir los permisos y órdenes de trabajo necesarias para la intervención de la máquina. Es importante mencionar en este punto que se está hablando de fallas o averías de mediana o mayor magnitud, las cuales por sus características no pueden ser resueltas de manera directa por el operador y requieren de un tiempo considerable para su reparo, por eso la necesidad de formalizar la situación. Una vez listo el trámite administrativo, el jefe del área de mantenimiento (o su representante en el equipo en caso de no estar él presente) recibe la aprobación y planifica y ordena de la manera más rápida posible su equipo y designa a los mantenedores encargados de ir a solucionar el problema. Ellos buscan sus kit básicos de trabajo (herramientas generales, ya que todavía no se conoce bien el problema en específico que tiene la máquina) e inmediatamente se dirigen al lugar en cuestión.

Cuando el equipo de eléctricos, mecánicos y otros especialistas llegan a la máquina afectada, se procede a la desconexión del equipo, y mientras este se enfría se comienza con la primera etapa principal del proceso: el **Diagnóstico**. Mediante la observación detallada y también la entrega de información por parte del operador a los mantenedores, entre todos los presentes se intenta hallar lo más rápido posible el elemento dañado (o defecto en general, que puede ser del tipo mecánico, hidráulico, eléctrico, electrónico, entre otros). Si es necesario debe recurrirse a inspeccionar más profundamente la máquina mediante su desarme, análisis de planos, y cualquier herramienta técnica en busca de una posible falla oculta.

Una vez encontrado el defecto y su causa raíz, sigue la segunda etapa del proceso: la **Planificación**. En este punto debe decidirse sobre la forma en que se resolverá la falla, esto es qué acciones se tomarán (definir también el alcance del trabajo a realizar según lo visto en el diagnóstico), qué herramientas, repuestos, insumos se utilizarán (lubricantes, electrodos, combustibles, etc.), qué instrumentos de medición y tipo de mano de obra será la necesaria

(operadores, técnicos, especialistas, ingenieros), así como los equipos de apoyo que sean necesarios (puentes grúas o lifters por ejemplo para el levantamiento de equipos pesados). En la mayoría de las reparaciones correctivas la planificación es sólo mental y poco formal, por ende es normal que cambie constantemente conforme se desarrollan los acontecimientos, pero por esto mismo es que muchas veces se comete el error de caer en la improvisación, siendo que toda decisión debe ser tomada a conciencia y en conjunto entre todos los presentes (lluvia de ideas grupal, complementaria).

Cuando ya están decididos sobre los materiales y elementos que utilizarán para trabajar, se realiza el pedido a bodega. Dependiendo del tipo de relación y procedimientos establecidos junto con el encargado de inventarios, las herramientas se pedirán según su mismo nombre o mediante códigos que los identifiquen. En ciertos casos como las llaves, se deberá especificar sobre sus medidas o marca para evitar errores que provoquen un reproceso en que las herramientas recibidas deban devolverse para en un segundo pedido recibir las correctas. Luego de llegado el herramental a manos de los mantenedores se inicia la tercera etapa del proceso: **Ejecución**.

La etapa comienza con el desmontaje de la sección que contiene la pieza dañada, para así tener una mejor idea de la gravedad de la falla, y si es posible hacer un arreglo rápido en ese mismo momento o definitivamente es necesario recurrir a un repuesto (esto implica 2 posibles caminos, tal como puede verse en el VSM). Si el caso es el primero, la capacidad técnica de los mantenedores determinará el tiempo de reparo y el posterior reajuste y calibración de la pieza arreglada, para luego volver a montar la sección y dejar todo listo para las pruebas de verificación finales. En el segundo caso, cuando del análisis se concluye que no es posible o no conviene reparar el defecto, es la gestión del inventario de repuestos/insumos la que determinará mayormente el tiempo requerido para llegar a la etapa final de verificación.

En el peor de los casos, cuando se decide reparar el defecto en la pieza pero luego de un cierto tiempo no logra hacerse, la pérdida de tiempo es muy notoria ya que debe buscarse tardíamente el repuesto, habiendo hecho un paso de más en el proceso.

Terminada la etapa de ejecución, corresponde la devolución de las herramientas/materiales pedidas a bodega.

El proceso de mantenimiento acaba con la cuarta y última etapa: **Verificación**. Corresponde a las tareas y tiempo destinado para las pruebas de funcionamiento de la máquina, con el fin de comprobar que el sistema quedó efectivamente reparado y es capaz de alcanzar su régimen nominal de operación satisfactoriamente. Los criterios y/o parámetros utilizados para la aceptación de la entrada en servicio de la máquina pueden requerir desde pocos minutos hasta horas inclusive, pero lo importante es que estos sean revisados en presencia también de los operadores y supervisores de producción. Estos últimos por cierto, aparecen encabezando el diagrama VSM, para destacar lo importante de su función como gestores y facilitadores para todas las áreas involucradas en el proceso y el buen flujo de información entre ellas.

3.2. Identificación de desperdicios

Como se mencionó anteriormente, mediante el mapa de la cadena de valor o VSM, es posible también identificar pérdidas y desperdicios dentro del proceso. Estos suelen encontrarse ocultos en los símbolos de inventario y en los llamados “estallidos Kaizen”, además de en aquellas tareas que mal realizadas impliquen reprocesos en el flujo de valor.

En el VSM hecho para el proceso de reparación de una falla (Figura 3.1-1) pueden verse 10 distintos focos de mejora, resaltados como “estallidos Kaizen” (término definido en la Tabla 3.1-1). A continuación se profundiza más sobre el porqué la colocación de cada uno sobre el mapa y los desperdicios que traen consigo.

Estallido Kaizen #1: **Detección de ocurrencia de la falla**

Un aspecto muy relevante en la rapidez de la reparación de una falla, es tener una buena supervisión de los equipos, de modo que la detección de cualquier anomalía sea oportuna y el inicio del mantenimiento lo más instantáneo posible. Muchas veces las fallas inesperadas vienen precedidas de síntomas que, por muy pequeños que sean, pueden ser reconocidos a tiempo (ruidos no comunes, fallas en partes menores de la máquina, bajas en el rendimiento, etc.) para ganar minutos mientras el equipo de mantenedores recibe el aviso y los trámites administrativos son desarrollados.

Es común ver como el operario, concentrado únicamente en la eficiencia de su trabajo, puede llegar a abstraerse durante varios minutos de lo que ocurre a su alrededor, perdiendo el cuidado de su máquina y pasando por alto esos pequeños detalles antes mencionados, que probablemente culminen en la parada de la máquina.

Desperdicios asociados: ***Demora en la detección de ocurrencia de una falla.***

Estallido Kaizen #2: **Comunicación entre las partes**

Para una rápida respuesta por parte del área de mantenimiento ante la falla imprevista, se necesita de una eficiente y efectiva comunicación entre operarios, supervisores y mantenedores.

Muchas veces el operario está obligado a permanecer en su puesto de trabajo mientras el equipo siga funcionando, aunque esté con un desperfecto, lo que dificulta aún más el rápido aviso a mantención. En estos casos el supervisor de producción en turno actúa como mediador y responsable de que la entrega de información sea lo más clara y exacta posible.

Desperdicios asociados: ***Altos tiempos de espera por la llegada de mantenedores al lugar.***

Estallido Kaizen #3: **Tareas periféricas y administrativas**

Tal como se muestra en el VSM, una vez el grupo de mantenimiento ha recibido el aviso de falla, se encuentra en el camino con barreras impuestas por administrativos de la empresa, quienes tienen la tarea de emitir la orden y/o permiso de trabajo que da paso a la ejecución de las actividades de reparación. Estos trámites suelen ser muy ineficientes (por exceso de movimientos de personas y papeles), e incluyen muchas veces trabajos que no agregan valor al proceso. Todo esto se traduce en altos tiempos de espera para poder iniciar el trabajo del equipo de mantenimiento.

Otro problema asociado a este punto, es la falta de criterios claros para determinar la prioridad que se les da a distintos tipos fallas. Esto es crucial cuando se tienen avisos simultáneos y aparentemente de similar gravedad, ya que la capacidad del equipo de mantenedores sólo da abasto para atacar 1 o 2 a la vez. Es sumamente importante tener establecido de antemano el método de cuantificación del impacto que cada tipo de falla tiene sobre la disponibilidad del equipo y sobre el proceso productivo total.

Desperdicios asociados: ***Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva; Exceso de movimiento en los trámites; Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo.***

Estallido Kaizen #4: **Abastecimiento y sistema de bodega**

Para realizar sus labores de reparación, por lo general cada mantenedor del equipo posee su propio kit básico de herramientas (llaves corrientes, desengrasantes, martillo, instrumentos de medición, por mencionar algunas), pero al momento de ir en ayuda a una falla imprevista, se suman a la lista otros accesorios propios de las características de la máquina en cuestión y su modo de falla específico.

Cuando la relación entre mantenedores y bodegueros no es la mejor, comienzan los problemas de traslado de herramientas, demorando más de lo esperado e incluyendo más o menos materiales de los realmente pedidos, lo que podría implicar una merma en sus capacidades técnicas al momento de la ejecución de las tareas manuales.

El orden y conocimiento de las distintas herramientas por parte de los bodegueros es fundamental para lograr una conversación dentro de los mismos términos junto con los mantenedores, y así evitar retrasos y errores en los envíos.

Desperdicios asociados: ***Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas.***

Estallido Kaizen #5: **Búsqueda y hallazgo de causa raíz**

Los métodos utilizados para el diagnóstico de la situación y la búsqueda de causas raíces del problema, son parte sustancial del proceso, ya que son las bases que justifican la forma en que se trabajará durante todo el tiempo que tome la reparación. Muchas veces por acelerar esta etapa, se termina trabajando sobre un punto que no es la causa raíz del problema, lo que le quita eficacia y relevancia a todo el proceso en general.

El tiempo que toma el diagnóstico, depende entre otras cosas, de la capacitación de los mantenedores sobre la máquina en cuestión y sus experiencias personales previas. Por esto es importante saber qué personas son las indicadas para ir en ayuda a cierto tipo de fallas.

Depende también de la disponibilidad que se tenga de instrumentos de medición, para una rápida revisión de las variables del proceso productivo: presiones, temperaturas, velocidades, etc. Este punto en particular está incluido de todas formas más adelante en la parte de gestión de inventarios de repuestos e insumos.

El peso relativo de la etapa de diagnóstico dentro del MTTR puede variar enormemente, dependiendo del tipo de falla. La práctica dice que, en las especialidades: eléctrica, electrónica e instrumentación, los tiempos de diagnóstico son mayores que los de ejecución; mientras en mecánica e hidráulica ocurre lo contrario, ya que allí por lo general el tiempo en reparar es mayor al de identificación de la falla.

Tabla 3.2-1. Tiempos de diagnóstico y reparación de equipos de acuerdo a su naturaleza constructiva. Fuente: [12].

$\boldsymbol{Naturaleza}$	$\boldsymbol{T_{\text{Diagnóstico}}}$	$\boldsymbol{T_{\text{Reparación}}}$
Mecánica	10%	90%
Hidráulica	20%	80%
Eléctrica	60%	40%
Electrónica	90%	10%

Desperdicios asociados: ***Mal uso del capital humano en la generación de ideas; Errores de diagnóstico e investigaciones hechas con otro foco de trabajo distinto a la real avería de la máquina.***

Estallido Kaizen #6: **Trabajo sobre distintos tipos de fallas**

Después de haber encontrado la causa raíz del problema viene la planificación de las tareas, donde se decide sobre la manera en que se solucionará la falla, especificando las herramientas necesarias y las personas encargadas para cada operación. Es normal en un mantenimiento correctivo ver personas trabajando al mismo tiempo, el problema es cuando lo hacen sobre la misma tarea específica, ya sea por urgencia del momento o falta de organización. Mientras uno actúa, otro detrás opina y un tercero observa. Esto ocurre muy seguido y es fatal porque deja otras tareas sin atención. Por esto, es clave establecer previamente las funciones específicas de cada persona, con tal de tener una ejecución lo más ordenada y limpia posible.

Por otro lado, la real conveniencia de una planificación se relaciona con la duración del mantenimiento. Así lo demuestra el gráfico de la Figura 3.2-1.

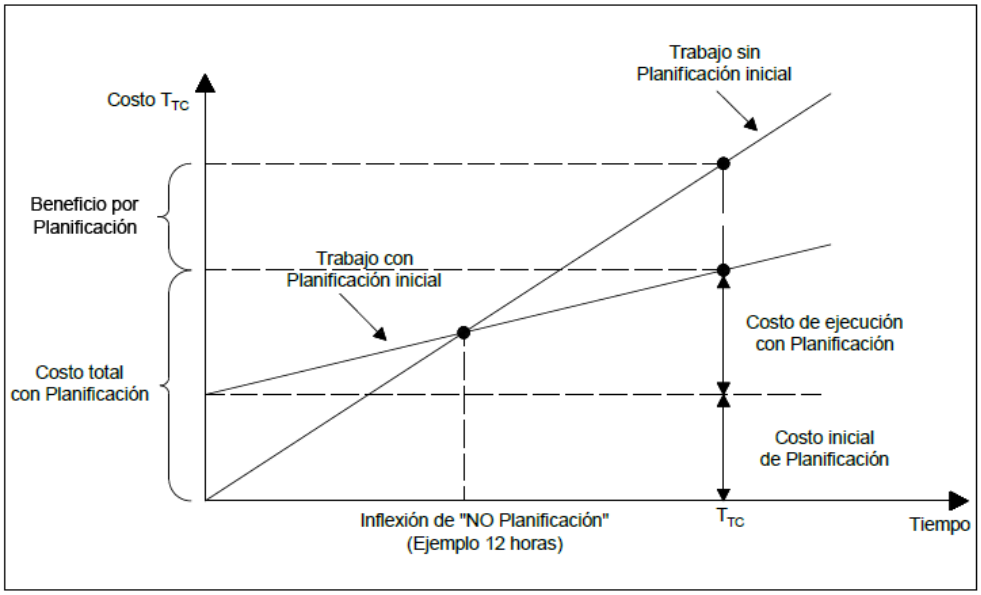


Figura 3.2-1. Costo correctivo total por trabajos con y sin planificación. Fuente: [2].

El punto de inflexión en la conveniencia económica de aplicar o no una planificación formal y documentada en lugar del trabajo correctivo, explica el por qué ciertas organizaciones separan las acciones correctivas de acuerdo al tiempo estimado de trabajo, constituyendo dos grupos: aquellas que demoran más de 12 horas (de planificación obligatoria), y las que insumen menos de 12 horas (donde una planificación "mental" es suficiente).

Desperdicios asociados: ***Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia; Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa.***

Estallido Kaizen #7: **Diseño del equipo**

Este foco de mejora se presenta en dos sub-etapas distintas del proceso: montaje y desmontaje. Hace referencia a cómo la concepción de la forma y configuración general de la máquina influye en la dificultad de arme y desarme de sus distintas secciones y piezas, ambas tareas claves para el flujo del proceso ya que marcan el inicio y el cierre de la etapa de ejecución.

Un problema de diseño o un error en la fabricación del equipo implicará luego mayores trabas y pérdidas de tiempo durante la manipulación de sus piezas. Este punto se oculta también en las etapas de sustitución de piezas y puesta en marcha, ya que es responsabilidad de los mismos diseñadores y fabricantes asegurar la existencia y compatibilidad de repuestos para las partes dañadas, además de ofrecer un rápido y seguro alcance de velocidad nominal de la máquina, es decir, asegurar un arranque vertical. Se puede notar que todo esto tiene estrecha relación con el pilar de Gestión Temprana dentro del TPM, tema ya explicado en la sección 2.5.1.

Desperdicios asociados: ***Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina (arme/desarme, sustitución de piezas).***

Estallido Kaizen #8: **Capacidad y técnica de los mantenedores**

Dentro de la ejecución de la tarea correctiva y más específicamente en el reparo mismo del defecto, existe un foco de desperdicio y de oportunidades de mejora, esto debido a la preponderancia que tienen en esta parte los conocimientos y capacidades de las personas que componen el grupo humano de mantenedores.

Suele ocurrir que la dotación de personal no es la suficiente, o mejor dicho no la necesaria, porque aunque sí en cantidad puedan ser varios, en calidad no siempre lo son. Esto pasa cuando no se delegan correctamente las distintas tareas a las distintas personas. Teniendo técnicos especializados para cada área, es responsabilidad del jefe de mantenimiento, con su experiencia, conocer las fortalezas y debilidades de cada uno, saber aprovechar sus talentos en cada ocasión y trabajar sobre sus puntos bajos.

Tener un modelo de gestión de personas vigente y en constante actualización ayudará a encontrar un equilibrio entre la carga correctiva en la empresa y la dotación de mantenedores óptima para cubrirla sin problemas.

Desperdicios asociados: ***Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo; Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla.***

Estallido Kaizen #9: **Gestión de repuestos e insumos**

Un segundo punto débil en el área de bodega, tiene que ver con la calidad del orden y el uso del inventario de repuestos e insumos.

Cuando no se tiene una buena gestión de repuestos, es normal perder el control sobre la disponibilidad de aquellas piezas más utilizadas, las con mayor rotación. Esto se vuelve un problema mayor cuando las piezas faltantes llegan a atrasar un mantenimiento correctivo. Por otro lado, cubrir de sobre manera las reservas podría generar la acumulación de un "capital ocioso", ítems almacenados que han quedado obsoletos por no usarse a tiempo, que ocupan espacio y dificultan el orden.

El no tener claro cómo enfrentar estos dos casos para así encontrar el equilibrio en un nivel ideal de stock, ha sido históricamente un problema muy repetido en las empresas y por lo mismo es elemental incluirlo como desperdicio en el proceso.

Es muy importante también para una buena ejecución de los reparos, tener disponibles los equipos de apoyo para el rápido levantamiento de posibles partes pesadas involucradas (un puente grúa instalado sobre el área suele ser una solución bastante versátil), ya que son movimientos que si no están previamente preparados podrían tomar bastante tiempo.

Desperdicios asociados: ***Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario.***

Estallido Kaizen #10: **Puesta en marcha**

Terminando con el proceso, y en la etapa de verificación del reparo y chequeo del correcto funcionamiento del equipo, se observa un estallido Kaizen en la puesta en marcha.

Los problemas que surgen tienen que ver con las pruebas de aceptación para la entrada en servicio del equipo, ya que aun teniendo establecidos los procedimientos, estos en algunos casos pueden extenderse durante varios minutos e incluso horas. La no participación de los operadores en esta tarea podría dificultar la labor de los mantenedores, ya que los primeros son las personas que más tiempo pasan junto a la máquina y por ende conocen de mejor manera su comportamiento y síntomas de posibles fallas tempranas que puedan ocurrir durante la puesta en marcha e impidan un exitoso cierre del mantenimiento.

Es normal ver como mantenedores, cumpliendo con el reparo de la avería dan por terminado su trabajo, sin esperar la partida de la máquina y la verificación de su buen funcionamiento. Es importante que este y otros detalles sobre el cierre del mantenimiento correctivo queden firmemente declarados en un estándar de trabajo que asegure la real efectividad del mismo.

Desperdicios asociados: ***Arranques con defectos y poco seguros; Altos tiempos de estabilización y alcance del régimen normal de operación.***

3.3. Conclusiones del capítulo

A modo resumen, sobre lo visto en la sección anterior de identificación de desperdicios, en la Tabla 3.3-1 se listan y clasifican todos los desperdicios encontrados, según las 8 (7+1) categorías revisadas en la sección 2.4.

Como era de esperarse, la mayoría de los desperdicios que afectan al proceso tienen que ver con retrasos y tiempos de espera, todas variables que suman directamente como extras MTTR y no necesitan de conversión alguna para la cuantificación de la magnitud de sus efectos.

Tabla 3.3-1. Clasificación resumen de los desperdicios hallados en el proceso general de reparación de una falla. Fuente: Elaboración propia.

Tipos de desperdicio	**Desperdicios proceso de reparación**
Exceso de inventarios	– *Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario*
Exceso de movimiento	– *Exceso de movimiento en los trámites.*
Transporte de material	– *Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas.*
Tiempos de espera	– *Demora en la detección de ocurrencia de una falla.* – *Altos tiempos de espera por la llegada de mantenedores al lugar.* – *Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva.* – *Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina.* – *Altos tiempos de estabilización y alcance del régimen normal de operación.*

Sobre-procesamiento	– *Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo.*
Defectos	– *Errores de diagnóstico e investigaciones hechas con otro foco de trabajo distinto a la real avería de la máquina.* – *Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia.* – *Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo.* – *Arranques con defectos y poco seguros.*
Sobreproducción	– *Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa.*
No aprovechamiento del talento humano	– *Mal uso del capital humano en la generación de ideas.* – *Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla.*

Otra categoría predominante fue la de defectos, gran parte de los cuales son originados por errores humanos y no de la máquina misma, principalmente por falta de preparación en las tareas, poco o nada de planificación y la ausencia de estándares de procedimientos repetitivos que faciliten la mecanización y un mejor resultado del proceso.

Con esto se da por terminada la tarea de análisis sobre el proceso y sus pérdidas. Gracias al VSM fue posible explicar de forma más simple el proceso y a la vez se pudo identificar y rescatar una gran cantidad (representativa) de desperdicios a lo largo del flujo de valor del proceso general de reparación de una falla imprevista.

Luego, se ha cumplido satisfactoriamente el primero de los cinco objetivos específicos planteados para este trabajo:

- ✓ *“**Analizar** el proceso general de reparación de una falla mediante la herramienta Value Stream Map (VSM), con la que es posible **identificar** todas aquellas actividades que no agregan valor al proceso, así como también las pérdidas y **desperdicios** existentes en cada una de las etapas del Mean Time To Repair (MTTR)”.*

4. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE LOS DESPERDICIOS

En este cuarto capítulo se abordan cada uno de los desperdicios hallados en el capítulo anterior y categorizados en la Tabla 3.3-1, en el sentido de desarrollarlos de manera más completa para poder determinar sus causas raíces. Esto facilitará en los próximos capítulos dar solución a cada punto, ya que se tendrá el origen exacto sobre el cual trabajar para eliminarlos de forma definitiva.

4.1. Herramienta 5W + 1H

Para este análisis se utiliza la técnica de las 5W + 1H, *"un método de hacer preguntas acerca de un proceso o un problema asumido para mejorar"* [13].

Al igual que el método RCA (*Root Cause Analysis*), se considera que es una técnica *post-mortem* porque es utilizada después de ocurrido el problema, es decir no ayuda a evitar que suceda, sino más bien a minimizar su recurrencia.

Las palabras (preguntas) que dan origen a su nombre, y en las que se basa el método, son:

- Qué (**W**hat): Se pretende saber cuál es el efecto concreto durante la eventualidad. ¿Qué sucede cuando se manifiesta?, ¿cuál es el problema que se observa?
- Cuándo (**W**hen): ¿Cuándo se produce el problema, en qué ocasiones sucede?
- Dónde (**W**here): ¿Dónde se observa el problema o efecto desfavorable? Debe hacerse una declaración específica del lugar físico dentro de la empresa, o parte en la máquina en la que el desperdicio se presenta.
- Quién (**W**ho): Se busca determinar si el problema se relaciona con la habilidad de ciertas personas. Bajo ningún motivo puede tomarse como la búsqueda de responsables. ¿Quién opera el equipo cuando ocurre el problema?, ¿quién realiza las tareas de mantenimiento previas a la aparición de la falla?
- Por qué (**W**hy): ¿Por qué sucede el problema?, ¿por qué ocurre en ese lugar?, ¿por qué se presenta en ese momento y no en otro? En este punto deben responderse todas las

interrogantes sobre el porqué de la existencia del problema y sus características, ya que esto es clave para luego encontrar la causa raíz.

- Cómo (**H**ow): ¿En qué forma ocurre el problema?, ¿cómo se cometen los errores?, ¿cómo impacta en otras áreas? Debe hallarse el modo y la secuencia de los sucesos que forman o desencadenan el problema.

4.2. Análisis aplicado al proceso

Las 6 preguntas del 5W + 1H se desarrollan a continuación en tablas para analizar todos los desperdicios mostrados en la Tabla 3.3-1.

Para comenzar, hay 2 desperdicios íntimamente relacionados y asociados al manejo de repuestos en bodega y su distribución a mantenedores:

Tabla 4.2-1. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario; Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Acumulación o falta de repuestos e insumos en bodega, los que en el primer caso han quedado obsoletos y ocupan un importante espacio dentro de ella, mientras en el segundo caso, se necesitan con urgencia para terminar un mantenimiento en específico y no hay unidades disponibles. Lo mismo aplica para los instrumentos de medición y equipos de apoyo, elementos claves para una rápida planificación y ejecución del mantenimiento. El segundo desperdicio es la mala utilización del stock: No existe un orden establecido para el guardado y la distribución de los pedidos que entran y salen.
Cuándo	Cuando en un largo período de tiempo la máquina no presenta fallas en la parte que contiene la pieza a reponer, o en el caso contrario, cuando una pieza falla reiterativamente (sobre lo presupuestado). Cuando después del mantenimiento, se hace en bodega la devolución de las herramientas o instrumentos, y estos no se encuentran identificados con algún código o marca que faciliten su almacenamiento.
Dónde	El problema ocurre directamente en la bodega de mantenimiento, y es visible entre

	el desorden que se genera por el poco cuidado que hay en el movimiento de herramientas, instrumentos y repuestos en general. Sin embargo, en la realidad el mismo desorden esconde la falta de ciertos ítems críticos, al estar todo amontonado sobre las repisas, y el problema sólo es reconocido al momento de un requerimiento no programado, como lo es cualquier reparación correctiva.
Quién	Personas que tienen que ver con este problema son el jefe de bodega (y sus ayudantes si corresponde), la forma de trabajar que tienen establecida, y cómo se comunican con el equipo de mantenedores para los pedidos de piezas de repuesto e insumos en general.
Por qué	El problema no ocurre como consecuencia de una acción o suceso en específico, sino más bien es el resultado un historial de malas prácticas en el trabajo de bodega, tanto estratégica como operacionalmente. Por otro lado, podría ser muestra de una posible mal planificación y toma de decisiones de los mantenedores al momento de realizar el pedido de ciertos ítems o insumos.
Cómo	Este problema puede permanecer oculto bastante tiempo antes de ser detectado, pues su impacto se nota en momentos puntuales, cuando un tipo específico de reparación no puede llevarse a cabo por falta alguna pieza en particular. Por otra parte, cuando el tema se trata de la acumulación y/o desorden de inventario es más sencillo de notar, lo que depende de todas formas del nivel de observación y gestión del bodeguero. Ambos casos corresponden a errores que con ciertas fallas de máquina, pueden llegar a afectar muy gravemente el MTTR.

Causa raíz: **Mal sistema de gestión de repuestos e insumos en bodega.**

Los siguientes 3 desperdicios se encuentran dentro del tercer estallido Kaizen: “tareas periféricas y administrativas”, definido en la sección 3.2, por tanto se analizarán juntos en el mismo 5W + 1H.

Tabla 4.2-2. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Exceso de movimiento en los trámites; Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva; Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Qué	El exceso de trabas administrativas que normalmente requiere un proceso de mantenimiento para ser ejecutado formalmente. Todos los trámites y el sobre-procesamiento de datos que estos puedan tener, suelen no tener relevancia en la eficacia o eficiencia del mantenimiento, teniendo como único efecto seguro la suma de tiempo muerto durante los momentos previos al inicio del proceso.
Cuándo	El problema se produce cada vez que se necesita hacer una intervención no programada, porque necesitan de la aprobación de una solicitud (aviso de trabajo) de reparación para poder realizarse. Esto se agudiza cuando no hay un método concreto en la cuantificación de la severidad de las fallas y se tienen dos o más simultáneas, pudiendo errar en las prioridades que se les da para ser atendidas.
Dónde	En el área administrativa encargada del SIM (sistema informático de mantenimiento), donde se canaliza y lleva el registro de todas las necesidades de las áreas productivas (como las solicitudes de reparación correctivas).
Quién	El grupo de personas que trabaja dentro del equipo a cargo del seguimiento y manejo del SIM, además de los mismos usuarios del sistema, ya que la forma en que estos ingresen sus solicitudes también influye sobre la eficacia en la generación de una óptima OT y la eficiencia del mantenimiento correctivo.
Por qué	El exceso de movimiento y el sobre – procesamiento se relacionan directamente con una mala implementación del SIM, una estructura poco sólida y robusta frente a distintos requerimientos por parte de producción, de ahí que no se puedan manejar bien los datos, las órdenes de trabajo estén mal planteadas y los tiempos administrativos sean muy mayores. Naturalmente este problema es más grave en los casos de acciones correctivas en comparación con las preventivas, donde la programación de las tareas dentro de un plan previamente estudiado reduce las probabilidades de errores y/o retrasos en el sistema.
Cómo	La mayor parte de la información manejada por el equipo de mantenimiento al momento de ir en ayuda de una falla inesperada en alguna máquina se centraliza y

	canaliza a través de las órdenes de trabajo emitidas por el SIM, por tanto cuando este sistema no tiene una buena gestión de los reportes, o posee una línea de funcionamiento poco eficiente y con exceso de trabas administrativas (como solicitudes de permisos o firmas adicionales), los datos específicos sobre la falla van perdiendo importancia, se tergiversan y tardan más de los presupuestado en aceptarse.

Causa raíz: **Mal sistema de gestión de la información y manejo de los datos de mantenimiento.**

En tercer lugar y dentro de la categoría de desperdicios por tiempo de espera, se encuentra la demora en la detección de la ocurrencia de la falla.

Tabla 4.2-3. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Demora en la detección de ocurrencia de una falla. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Es el tiempo extra que toma notar el manifiesto de una falla que requiere la intervención de mantenimiento para ser reparada. Esto implica un retraso en el inicio del proceso, ya que el equipo de mantenimiento no es avisado a tiempo sobre lo sucedido, además posibilita un empeoramiento de la situación, en el caso que la falla se desencadene y extienda a partes mayores de la máquina.
Cuándo	Este problema es de carácter grave cuando la falla no implica una parada repentina del equipo, al menos no en su totalidad. Y es que hay fallas que vienen precedidas por síntomas visuales o auditivos en pequeñas partes de la máquina o en alguna de sus funciones menores. Este el primer desperdicio del proceso, y es muy probable que ocurra por ejemplo luego de un cambio de turno, cuando el relevo de operario no contemple traspaso de información y novedades sobre el comportamiento previo de la máquina.
Dónde	En el lugar físico donde se encuentra la máquina, dentro del área de trabajo propiamente tal, ya que desde ahí debe salir el aviso sobre la falla.
Quién	La función del operario no sólo es cumplir con la operación misma de la máquina, sino también asegurarse del orden, limpieza y correcto funcionamiento del proceso

	como un todo. Debe estar atento al ambiente, que todo esté dentro de los parámetros y normas de seguridad correspondientes. Este rol de inspección lo lidera naturalmente el supervisor de producción, por tanto él también se relaciona con este desperdicio.
Por qué	El problema aparece porque no siempre una falla tiene como consecuencia inmediata la detención de la máquina, y porque el operario o las personas que trabajan alrededor de esa área no están capacitados o el equipo en cuestión carece de un sistema de alerta que avise sobre anormalidades durante su funcionamiento.
Cómo	Este desperdicio nace una vez que el equipo presenta un desperfecto que necesita de un mantenimiento correctivo y el operario o supervisor de planta no se percatan a tiempo, retrasando el inicio del proceso. Todos los minutos que transcurran en el entretanto, se suman directamente al MTTR, por ende es un factor sumamente importante dentro de este trabajo.

Causa raíz: **Mal sistema de detección de fallas y/o síntomas en máquinas**

Otro desperdicio del tipo "tiempo de espera" es el que viene inmediatamente después de la demora en la detección de la falla: el tiempo que demora en llegar el equipo de mantenimiento a la máquina.

Tabla 4.2-4. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Altos tiempos de espera por la llegada de mantenedores al lugar. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Una vez el área de producción da aviso a mantenimiento sobre la falla ocurrida, comienza a correr este tiempo muerto de espera hasta que el equipo de mantenedores llega al lugar. Todo tiempo extra que no sume valor al proceso es un desperdicio, y este es uno de ellos. Según lo visto en el VSM del proceso, este tiempo incluye las tareas administrativas asociadas a la emisión de la OT (que como se vio tienen sus propios desperdicios). Pero en este análisis en particular, el problema se asocia puntualmente al nivel de comunicación entre producción y mantenimiento.
Cuándo	Ocurre cada vez que hay un proceso de reparación, sea cual sea, porque primero el

	operario tiene que dar aviso al supervisor de producción de turno, y éste luego informar a los mantenedores disponibles, para que ellos inicien el proceso de solicitud para llevar a cabo el mantenimiento correctivo como corresponde. En esos dos pasos se tienen tiempos que, al sumarse, y dependiendo del nivel y efectividad de la comunicación entre las partes, pueden resultar en varios minutos de espera.
Dónde	En el lugar de trabajo donde se encuentra la máquina a reparar, mientras se espera por la llegada de mantenimiento.
Quién	Personal de producción, supervisores de turno y el equipo de mantenimiento (jefe + mecánicos de turno) son los tres grandes grupos responsables de trabajar sobre este desperdicio, es decir, todo o casi todo el personal de planta.
Por qué	El tiempo que demoren los mantenedores en llegar a la máquina, depende (además de la ya mencionada aprobación administrativa o la búsqueda de los kit básicos de trabajo) de la cercanía y buena conexión que tengan operarios, supervisores y mecánicos dentro de la planta, por tanto este problema suele agravarse cuando estas áreas no trabajan unidas y cada una hace lo suyo, olvidando que todos son parte del mismo proceso, tal como se puede ver en el VSM. Si no existe una relación cercana, donde la comunicación sea fluida y exista retroalimentación entre las partes, este problema será imposible de solucionar como corresponde.
Cómo	El operario de la máquina detecta la falla y da aviso a su supervisor o si puede directamente a algún miembro de mantenimiento que se encuentre en el sector. Pero esto no siempre ocurre oportunamente, ya que hay veces que el operario no puede moverse porque su presencia condiciona la continuidad del proceso, o bien no estar presente aunque sea unos segundos pone en riesgo el funcionamiento estándar del equipo. En estos casos el inicio del proceso de reparo en sí es atrasado por esta espera y el estado de la máquina puede incluso empeorar, ya que el operario muchas veces no tiene el poder de detener la producción sin la autorización del supervisor.

Causa raíz: **Ineficiente plan de trabajo y forma de comunicación entre mantenimiento y producción.**

Al comienzo y al final de la etapa de ejecución, se destaca el estallido Kaizen #7: Diseño del equipo. Este se relaciona principalmente con las tareas de desmontaje y remontaje de la sección de la máquina a reparar, y contiene al siguiente desperdicio a continuación analizado:

Tabla 4.2-5. Análisis 5W + 1H para el desperdicio: Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Se refiere a las trabas y problemas que surgen en una máquina que presenta partes o piezas en específico que por diseño son de difícil acceso o manejo en general. Esto implica una pérdida de tiempo en tareas como el arme y desarme del equipo.
Cuándo	Ocurre desde el inicio de la intervención de los mantenedores (con el desarme), y puede extenderse incluso durante todo el tiempo que tome el reparo, dependiendo de la configuración de cada parte de la máquina.
Dónde	El problema se agrava en ciertas piezas particularmente más complejas de manipular, aquellas que se encuentran diseñadas y posicionadas pensando sólo en la operación y no en el mantenimiento, o bien porque tienen una configuración desfasada respecto a los modelos actuales de partes o repuestos importantes, dejando nula la opción de adaptación e inclusión de piezas alternativas.
Quién	El área de ingeniería es la que en un comienzo realiza el estudio del proceso productivo y busca la maquinaria específica para ponerlo en marcha. Ellos deben ser capaces de diseñar el proceso de tal forma que las máquinas no sólo cumplan con alcanzar cierto estándar productivo, sino que además tengan buena mantenibilidad, en el sentido de contener la menor cantidad de trabas que dificulten su intervención manual.
Por qué	El desperdicio de tiempo nace por un error de diseño o fabricación del equipo, donde la dificultad en el acceso y manipulación en general de ciertas piezas impiden un fluido trabajo por parte de los mantenedores. Sistemas complejos o lentos para armar y desarmar no hacen más que quitarle fluidez al proceso de reparación.
Cómo	Un mal diseño de aquellas piezas con mayor tasa de falla, hará que repetidas veces los mecánicos se vean enfrentados a obstáculos que merman la rapidez de su trabajo: cubiertas selladas o atornilladas, tapas pesadas, puntos claves ubicados en zonas difíciles de observar, poca o nula compatibilidad con repuestos comunes, etc. Todo

	el tiempo extra que lleve sobrepasar estos obstáculos se suma directamente al MTTR.

Causa raíz: **Diseño y/o fabricación de componentes, equipos o sistemas sin un enfoque hacia la facilidad en la operación del mantenimiento.**

En la cuarta y última etapa del proceso general de mantenimiento correctivo, la verificación (específicamente en la puesta en marcha), se obtuvieron los siguientes 2 desperdicios a continuación analizados:

Tabla 4.2-6. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Altos tiempos de estabilización y alcance del régimen normal de operación; Arranques con defectos y poco seguros. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Se refiere a la demora que existe para que la máquina una vez reparada, alcance sus condiciones normales de operación (velocidad, presión, temperatura) y asegure su buen funcionamiento en el tiempo, descartando la posibilidad de nuevos defectos que puedan aparecer dentro de los primeros minutos luego de la partida.
Cuándo	Ambos desperdicios se ubican en la cuarta y última etapa del proceso de mantenimiento: Verificación.
Dónde	El problema ocurre en la máquina misma, ya sea por errores internos o factores externos que alteren su contexto normal de operación durante la partida.
Quién	Son dos las partes asociadas a la existencia de estos desperdicios. En primer lugar, el mismo equipo de mantenimiento, quienes tiene la obligación de asegurar un buen cierre de su trabajo y dejar la máquina en óptimas condiciones para su partida. En segundo lugar, el equipo de diseño y construcción de la máquina, ya que de ellos depende tener un modelo de máquina que asegure arranques confiables y libres defectos.
Por qué	Características intrínsecas de la máquina pueden hacer que su puesta en marcha sea por defecto muy demorosa. Otras causales del problema tienen que ver con la preparación por parte del equipo de mantenedores al momento del alistamiento de la máquina, ya sea por falta de conocimiento o por la no existencia de protocolos de trabajo que ayuden a tener todo bajo control.

Cómo	Una vez terminada la etapa de ejecución del reparo, viene su respectiva verificación. Cuando no se le dedica el tiempo necesario a esta etapa, es que ocurren defectos o fallas tempranas en el equipo, que no permiten cerrar el ciclo del mantenimiento, teniendo que volver a apagar y revisar por completo el equipo, lo que se considera reproceso y por tanto afecta gravemente al MTTR. Por otro lado, cuando no se tiene una rápida estabilización del equipo y el tiempo requerido para el alcance del régimen normal de operación es muy alto, hay más probabilidades de tener un error temprano, por eso también es que ambos desperdicios están íntimamente relacionados.

Causa raíz: **(1) Equipos poco confiables que no aseguran un arranque seguro, rápido y libre de defectos. (2) Mantenedores sin un trabajo planificado en la etapa de verificación y puesta en marcha del equipo.**

Continuando con el análisis, dentro de las dos primeras etapas del proceso (diagnóstico y planificación), fueron 3 los desperdicios encontrados:

Tabla 4.2-7. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Errores de diagnóstico e investigaciones hechas con otro foco de trabajo distinto a la real avería de la máquina; Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia; Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Estos desperdicios corresponden a los errores que se cometen en la etapa previa a la ejecución del reparo: Diagnósticos erróneos en la búsqueda de la causa raíz de la falla, planes de trabajo ineficaces que no resuelven de buena manera el problema de la máquina, tiempos excesivos y veces innecesarios en la preparación de las tareas del mantenimiento, etc.
Cuándo	En la sección 3.2. de identificación de desperdicios pudo verse que estos se encuentran en los estallidos Kaizen #5 y #6, en las etapas de diagnóstico y planificación del proceso. Pueden llegar a ser muy significativos cuando se carece de planes de trabajo específicos según los distintos modos de falla, y todo lo que se piensa, decide y hace, es sobre la marcha.
Dónde	Dentro del equipo humano de mantenimiento, mientras intentan descifrar el porqué

	de la falla (causa raíz) y sus posibles formas de solución (planes de acción).
Quién	Los encargados de resolver estos problemas en el proceso son lógicamente los diagnosticadores y planificadores de turno que están a cargo de la preparación del mantenimiento (siendo muchas veces ellos mismos quienes ejecutan las tareas mecánicas de reparo en la máquina).
Por qué	La falta de una acabada planificación en el mantenimiento correctivo es la principal causante de todos estos errores. No establecer una relación entre el diagnóstico de la falla y la definición de los trabajos a realizar es aún más fatal. Es muy importante tener procedimientos detallados sobre la acción de los mecánicos, porque pueden llegar a ser varios modos de falla los más comunes en un equipo, y no todos se resuelven rápidamente. Otra por qué de estos problemas es la falta de experiencia en los mantenedores, o más bien la falta de acceso a información clave, como por ejemplo el historial de fallas del equipo, o una lista de causas probables (documentos que agilicen las etapas previas a la ejecución del reparo, y por ende que reduzcan el MTTR).
Cómo	Una vez que se informa sobre la falla ocurrida, comienzan los preparativos en el área de mantenimiento. Cuando se llega a la máquina, la capacidad de observación y análisis de los mantenedores es crucial para localizar rápida y efectivamente la causa raíz. Lo que sucede aquí es que no siempre se tienen o manejan las herramientas necesarias para hacer un buen diagnóstico de la situación, lo que deriva en una decisión errónea que afecta directamente la siguiente etapa del proceso: la planificación. La forma de trabajar normalmente ya está definida para cada modo de falla, y por ende el no realizar un correcto análisis de causa raíz podría implicar un gran reproceso y pérdida de tiempo. Esto empeora cuando la planificación no es tan estricta como debiese ser, o cuando no está justificada para lo simple de la falla (análisis de conveniencia técnica – económica visto en la sección 3.2., estallido Kaizen #6).

Causa raíz: **(1) Falta de conocimiento y/o herramientas en el diagnóstico de la falla. (2) No contemplar una seria planificación del mantenimiento correctivo.**

Por último, se analizan los desperdicios que tienen que ver directamente con las personas y el mal aprovechamiento de sus capacidades y talentos:

Tabla 4.2-8. Análisis 5W + 1H para los desperdicios: Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo; Mal uso del capital humano en la generación de ideas; Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla. Fuente: Elaboración propia.

Qué	Todas las pérdidas debidas a errores en la forma de pensar y actuar de las personas. Equivocaciones en la planificación (que suele ser sólo mental y poco fundamentada) junto a errores en tareas básicas de mecánica (por falta de conocimiento o especialización), son por cierto desperdicios comunes en las empresas, implican reproceso y aumentan considerablemente el MTTR.
Cuándo	Principalmente estos problemas ocurren en la etapa de ejecución de la reparación, ya que es aquí donde la capacidad y técnica que tiene el personal de mantenimiento cobra real importancia, ya que de su habilidad manual y experiencia en la máquina depende la eficacia y eficiencia del reparo.
Dónde	Esto ocurre dentro del equipo humano de mantenimiento, al momento de decidir sobre formas de enfrentar la falla o de proceder por ejemplo en el desarme de una pieza del equipo, su manipulación, posicionamiento o cualquier ajuste en general que tenga que ver con el conocimiento mecánico general sobre la máquina.
Quién	El jefe de mantenimiento y todos sus colaboradores son justamente los responsables de ser un equipo capacitado y altamente calificado para las distintas tareas del tipo correctivas que puedan aparecer, además de por supuesto asegurar una dotación suficiente de personal en fallas críticas.
Por qué	La poca dedicación en el cuidado de las personas, y el no aprovechamiento del capital humano, son parte del origen de este desperdicio. Porque si bien los errores humanos son imposibles de eliminar por completo, sí se pueden minimizar mediante la capacitación y ejercitación. El compartir experiencias entre todos, ayuda a crear conocimiento en el equipo, y tener por ejemplo mejores análisis grupales de lluvias de idea, para la búsqueda de causas raíces.
Cómo	Los inconvenientes comienzan normalmente cuando el equipo de mantenimiento no se conoce lo suficiente a sí mismo, o tiene poco interés y cuidado sobre su nivel de conocimiento y experiencia dentro de la empresa. Cuando las cosas se hacen sin

	rigor y con ligereza, empiezan a aparecer estos contratiempos por falta de exactitud, teniendo que hacer re-procesos de por ejemplo el desarme o la sustitución de piezas.. Otro problema que a menudo ocurre es la incorrecta delegación de tareas entre el equipo, donde finalmente las personas más expertas en un tema terminan haciendo falta donde más se les necesita.

Causa raíz: **Poco interés sobre el equipo humano de mantenimiento.**

4.3. Conclusiones del capítulo

Utilizando como herramienta de trabajo el análisis 5W + 1H, fue posible describir a cabalidad todos los desperdicios encontrados en el capítulo anterior para el proceso general de reparación de una falla, y con eso hallar sus principales causas raíces.

Como resultado, a partir de la tabla 3.3-1 (donde hay un total de 16 desperdicios), se obtuvieron las siguientes 10 causas raíces:

1. Mal sistema de gestión de repuestos e insumos en bodega.
2. Mal sistema de gestión de la información y manejo de los datos de mantenimiento.
3. Mal sistema de detección de fallas y/o síntomas en máquinas.
4. Ineficiente plan de trabajo y forma de comunicación entre mantenimiento y producción.
5. Diseño y/o fabricación de componentes, equipos o sistemas sin un enfoque hacia la facilidad en la operación del mantenimiento.
6. Equipos poco confiables que no aseguran un arranque seguro, rápido y libre de defectos.
7. Mantenedores sin un trabajo planificado en la etapa de verificación y puesta en marcha del equipo.
8. Falta de conocimiento y/o herramientas en el diagnóstico de la falla.
9. No contemplar una seria planificación del mantenimiento correctivo.
10. Poco interés sobre el equipo humano de mantenimiento.

De manera más gráfica, a continuación se presenta la relación hallada entre los desperdicios y las causas raíces, como un resumen de los resultados obtenidos desde los análisis 5W + 1H.

DESPERDICIOS			CAUSAS RAÍCES	
Exceso de inventarios Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario **Exceso de movimiento** Exceso de movimiento en los trámites. **Transporte de material** Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas	**Tiempos de espera** Demora en la detección de ocurrencia de una falla. Altos tiempos de espera por la llegada de mantenedores al lugar. Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva. Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina. Altos tiempos de estabilización y alcance del régimen normal de operación. **Sobre – procesamiento** Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo.	**Defectos** Errores de diagnóstico e investigaciones hechas con otro foco de trabajo distinto a la real avería de la máquina. Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia. Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo. Arranques con defectos y poco seguros. **Sobreproducción** Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa. **No aprovechamiento del talento humano** Mal uso del capital humano en la generación de ideas. Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla	Mal sistema de gestión de repuestos e insumos en bodega Mal sistema de gestión de la información y manejo de los datos de mantenimiento Mal sistema de detección de fallas y/o síntomas en máquinas Ineficiente plan de trabajo y forma de comunicación entre mantenimiento y producción Diseño y/o fabricación de componentes, equipos o sistemas sin un enfoque hacia la facilidad en la operación del mantenimiento	Equipos poco confiables que no aseguran un arranque seguro, rápido y libre de defectos Mantenedores sin un trabajo planificado en la etapa de verificación y puesta en marcha del equipo Falta de conocimiento y/o herramientas en el diagnóstico de la falla No contemplar una seria planificación del mantenimiento correctivo Poco interés sobre el equipo humano de mantenimiento

Figura 4.3-1. A la izquierda los desperdicios del proceso general de reparación correctiva de una falla, y a la derecha con sus respectivos colores las causas raíces encontradas. Fuente: Elaboración propia.

Así, se cierra el cuarto capítulo del trabajo. Mediante la aplicación de un análisis 5W +1H a cada desperdicio (o grupo de desperdicios dependiendo del caso), pudieron obtenerse satisfactoriamente 10 causas raíces del proceso general de reparación de una falla, y con esto cumplir con el segundo de los cinco objetivos específicos planteados para esta tesis:

- ✓ *"Realizar un* ***análisis de causa raíz*** *utilizando alguna de las técnicas y herramientas existentes para el análisis de fallas, con el objetivo de* ***determinar las causas que provocan la existencia de los desperdicios*** *encontrados anteriormente".*

5. OPORTUNIDADES MEJORA

El quinto capítulo trata sobre la definición y selección de las mejores oportunidades de mejora para proceso general de reparación de una falla imprevista. Para ello, cada una de las 10 causas raíces recién encontradas, se plantean ahora en forma de oportunidad de mejora, es decir, desde una mirada positiva de mejoría, lo que luego sirve como base para buscar herramientas específicas de solución a cada problema.

1. Mal sistema de gestión de repuestos e insumos en bodega.
   - ✓ Modificar el actual o crear un nuevo modelo de gestión de repuestos e insumos (activos de bodega en general), que facilite la búsqueda de materiales, optimice el nivel de inventarios y reduzca el riesgo de sufrir un desabastecimiento durante un mantenimiento correctivo.

2. Mal sistema de gestión de la información y manejo de los datos de mantenimiento.
   - ✓ Modificar el actual o crear un nuevo modelo de gestión administrativa, que facilite el registro de datos y agilice el manejo de estos, para así aumentar la velocidad en la generación de avisos, reportes u otros permisos necesarios para realizar un mantenimiento correctivo.

3. Mal sistema de detección de fallas y/o síntomas en máquinas.
   - ✓ Modificar o crear un sistema visual y/o auditivo de detección sobre síntomas de fallas en las máquinas, que permita alertar con mayor anticipación y así reducir el tiempo de llegada del equipo de mantenimiento al lugar.

4. Ineficiente plan de trabajo y forma de comunicación entre mantenimiento y producción.
   - ✓ Definir formalmente un protocolo para la buena comunicación entre los operadores de máquina, supervisores y equipo de mantenimiento. Tener una conexión fluida entre las partes involucradas en el proceso ayudaría a anticipar y agilizar los traslados, y así acortar los tiempos de espera en general.

5. Diseño y/o fabricación de componentes, equipos o sistemas sin un enfoque hacia la facilidad en la operación del mantenimiento.
   - ✓ Establecer un modo de trabajo en conjunto entre diseñadores de máquinas y mantenedores, de tal forma que mediante un intercambio de conocimientos se logre tener equipos simples de diagnosticar y manipular en un proceso de mantenimiento. Tener máquinas con configuraciones pensadas para un fácil acceso e intervención de sus partes ayudaría de gran forma a las tareas de arme, desarme y ejecución misma de cualquier proceso de mantenimiento.

6. Equipos poco confiables que no aseguran un arranque seguro, rápido y libre de defectos.
   - ✓ Aumentar la confiabilidad de las máquinas en el proceso de puesta en marcha, para que así las tareas de verificación y cierre del proceso de reparación sean más efectivas y eficientes. Obtener pruebas de funcionamiento rápidas con arranques verticales y libres de fallas tempranas que requieran un reproceso de la etapa.

7. Mantenedores sin un trabajo planificado en la etapa de verificación y puesta en marcha del equipo.
   - ✓ Establecer claramente la manera de proceder por parte del equipo de mantenimiento en la etapa de verificación de la reparación, para disminuir al mínimo la posibilidad de errores posteriores a la puesta en marcha. Mediante la creación de un plan o guía de procedimientos generales, se espera que el trabajo de los mantenedores quede normado y no dé lugar a la improvisación.

8. Falta de conocimiento y/o herramientas en el diagnóstico de la falla.
   - ✓ Revisar distintas técnicas de análisis de fallas y considerar su aplicación para mejorar el trabajo en la etapa de diagnóstico. Disponer de estos medios contribuiría al buen uso de la información disponible por ejemplo sobre el historial de fallas y sus causales, además de un mejor aprovechamiento de las ideas del equipo humano.

9. No contemplar una seria planificación del mantenimiento correctivo.
   - ✓ Desarrollar una mejor forma de proceder en la planificación de un mantenimiento correctivo, considerando instructivos de trabajo con estándares claros. Por otro lado, planificar los trabajos en base a los resultados del diagnóstico, dará coherencia al proceso y aumentará por tanto su efectividad total.

10. Poco interés sobre el equipo humano de mantenimiento.
   - ✓ Mediante la capacitación y el desarrollo de los talentos de cada miembro del equipo de mantenimiento, será posible contar con un grupo altamente competente y capaz de alcanzar prácticamente cualquier objetivo. Además, un plan de trabajo bien elaborado en conjunto con el área de recursos humanos, permitiría que el conocimiento adquirido se transmita a operarios y ayudantes de máquinas, para que así el resultado beneficie a nivel global en la empresa, y cada trabajador se sienta considerado, seguro de sus habilidades, convencido y dispuesto a dar lo mejor de sí.

Dado que cada una de las oportunidades de mejora definidas tiene sus propios beneficios y costos asociados a su real implementación, debe establecerse un orden de prioridad en su ejecución, considerando que los recursos en una organización son limitados, e intentar aplicar todas las mejoras al mismo tiempo probablemente sea perjudicial para el éxito de cada una por separado. El análisis comienza ahora con la primera sección de este capítulo, donde se presenta la herramienta con la cual esta tarea de jerarquización se lleva a cabo.

5.1. Matriz costo beneficio

El análisis de costo beneficio es una simple y sistemática técnica que permite estimar las fortalezas y debilidades de una alternativa (idea, proyecto, negocio, propuesta en general) mediante la valorización (numérica o no) de sus costos y beneficios, con lo que es posible determinar la factibilidad de su implementación. Al trabajar con escalas, es posible también utilizar este análisis para comparar distintas alternativas según el resultado de cada una.

En este trabajo de tesis, la herramienta es utilizada para analizar las 10 oportunidades de mejora recientemente definidas, considerando al beneficio como el aporte real (en términos de tiempo) a la disminución del MTTR, y al costo como la suma de los recursos humanos y monetarios que se necesiten para implementarlas.

En la siguiente tabla (matriz) se define la valorización numérica de cada ítem según su gravedad, con lo que es posible comparar los resultados de las 10 oportunidades de mejora y así ordenar la lista.

Tabla 5.1-1. Puntajes en una escala de 10 niveles para el beneficio y costo asociado a la creación e implementación de una oportunidad de mejora en el proceso. Fuente: [14].

Puntaje	1 – 2	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 10
Beneficio	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Costo	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

5.2. Valorización y elección de oportunidades

A continuación se presenta la evaluación de cada oportunidad de mejora y su justificación, donde la suma de los puntajes en beneficio y costo define su nivel de prioridad entre las demás.

Tabla 5.2-1. Valorización de beneficio y costo para cada una de las 10 oportunidades de mejora definidas anteriormente. Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora N°1	
Beneficio	Ayuda a reducir los tiempos de abastecimiento de repuestos e insumos, tanto previo al reparo como durante la ejecución del mismo. **(7)**
Costo	Creación de estándares para el trabajo desarrollado dentro de bodega: establecimiento de reglas y formas específicas de trabajar el almacenamiento y manejo de repuestos, insumos e instrumentos de medición. **(5)**
Puntaje total	**12**
Oportunidad de mejora N°2	
Beneficio	Acorta los tiempos de espera por la aprobación de la acción correctiva, al eliminar el sobre-procesamiento de los aspectos permisivos que administración

	impone al comienzo del proceso. **(7)**
Costo	Creación de estándares en los procedimientos administrativos del mantenimiento correctivo, donde se incluyan pasos claros a seguir según el modo de falla, y las funciones específicas de cada persona dentro del departamento. **(4)**
Puntaje total	**11**
Oportunidad de mejora N°3	
Beneficio	Permite adelantar el inicio del proceso, y evita que la falla ocurrida se agrave o extienda a otras partes de la máquina por la espera. **(5)**
Costo	Creación de un sistema de alertas visuales y/o sonoras incorporadas a la máquina (tecnología no muy avanzada). **(6)**
Puntaje total	**11**
Oportunidad de mejora N°4	
Beneficio	Reduce los tiempos de reacción del equipo de mantenimiento y otros tiempos muertos generados por la mala comunicación entre las partes. **(3)**
Costo	Creación de procedimientos, reglas y códigos de buenas prácticas para asegurar una comunicación efectiva durante un proceso de mantenimiento correctivo. **(6)**
Puntaje total	**9**
Oportunidad de mejora N°5	
Beneficio	Reduce considerablemente el tiempo en la etapa de ejecución del mantenimiento, desde el acceso a las partes de la máquina, la manipulación misma de las piezas dañadas y el remontaje. **(8)**
Costo	Desarrollo de un completo plan de mejora en los equipos, que incluya las etapas de planificación y diseño de nuevas instalaciones, así como un trabajo de rediseños para up-grades en máquinas ya existentes. **(3)**
Puntaje total	**11**
Oportunidad de mejora N°6	
Beneficio	Reduce el tiempo de la etapa de verificación del reparo, ya que proporciona arranques más verticales y seguros, evitando reprocesos por fallas tempranas. **(5)**
Costo	Aplicación de técnicas de análisis orientadas a la identificación de riesgos en las puestas en marchas de los equipos; desarrollar soluciones funcionales y/o

	estructurales en los equipos para mitigar la aparición de estas situaciones de riesgo. **(4)**
Puntaje total	**9**
Oportunidad de mejora N°7	
Beneficio	Reduce directamente los tiempos de pruebas de funcionamiento de los equipos reparados. **(4)**
Costo	Desarrollar listas de chequeos y cronogramas de puesta en marcha, estandarizar el trabajo en la etapa de verificación mediante la validación de una serie de aspectos claves para un arranque rápido y seguro. **(5)**
Puntaje total	**9**
Oportunidad de mejora N°8	
Beneficio	Reduce el tiempo de diagnóstico de la falla, mejorando la capacidad del equipo de mantenimiento para observar, analizar y localizar efectivamente la verdadera causa raíz del problema. **(5)**
Costo	Buscar y aplicar variadas técnicas de análisis causa raíz; capacitar y entrenar al personal de mantenimiento para un buen uso de estas herramientas en contra del tiempo, como suele ser en un mantenimiento correctivo. **(4)**
Puntaje total	**9**
Oportunidad de mejora N°9	
Beneficio	Ayuda a reducir el tiempo que toma la etapa de ejecución del mantenimiento, a la vez que la hace más eficiente al optimizar el consumo de repuestos y materiales en general. **(9)**
Costo	Considerar el estudio y aplicación de una rigurosa planificación del trabajo del departamento de mantenimiento en todos sus ámbitos, que incluya si es necesario restructuraciones del equipo y un software de gestión de sus recursos y resultados en planta. **(3)**
Puntaje total	**12**
Oportunidad de mejora N°10	
Beneficio	Personal altamente capacitado y motivado para responder a cualquier tipo de trabajo imprevisto que pueda surgir; Equipo humano convencido y apto para trabajar contra el tiempo con total seguridad en sus acciones y con el mínimo de

	errores. **(8)**
Costo	Constituir un área de trabajo dentro de la organización encargada de estudiar y dar soporte al capital humano del equipo de mantenimiento. Considerar metodologías de estudio de las personas y la gestión de sus talentos. **(4)**
Puntaje total	**12**

5.3. Conclusiones del capítulo

Con el análisis recién realizado a cada oportunidad de mejora por sí sola, es posible comparar sus resultados para determinar cuáles finalmente son consideradas para el trabajo de mejora de esta tesis. En la siguiente tabla se muestra resumidamente la valorización realizada en la sección anterior:

Tabla 5.3-1. Valorización de cada oportunidad de mejora planteada para el proceso general de reparación de una falla (mantenimiento correctivo). Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora	Beneficio	Costo	Puntaje Total
# 1	7	5	**12**
# 2	7	4	**11**
# 3	5	6	**11**
# 4	3	6	**9**
# 5	8	3	**11**
# 6	5	4	**9**
# 7	4	5	**9**
# 8	5	4	**9**
# 9	9	3	**12**
# 10	8	4	**12**

En la tabla, un puntaje de beneficio o costo menor a 5 es marcado con rojo para resaltar un estado deficiente. La decisión sobre que oportunidades incluir en el plan final de mejora y cuáles no, se

hace en base al puntaje total, donde se obtuvieron 4 oportunidades de mejora bajo los 10 puntos (media de 5 entre beneficio y costo), quedando desde este momento fuera del alcance de esta tesis:

Oportunidad de mejora #4: Si bien tener una buena comunicación entre las partes que participan del proceso es muy importante para la fluidez del mismo, el beneficio directo que tendría sobre el MTTR aplicar un protocolo a nivel organizacional para este punto no es sustancial, considerando que lo imprevisto y particular de cada modo de falla hace que en el intercambio de información prevalezca el fondo por sobre la forma. Actualmente lo más usado en las empresas son las radios portátiles – también conocidas como *walkie – talkie* – los que a pesar de su sencillez logran cumplir bastante bien su función.

Oportunidad de mejora #6: La idea de buscar arranques verticales y seguros en las máquinas queda fuera del estudio de esta tesis. Los análisis de riesgo o situaciones de peligro de las puestas en marcha, es común hacerlos con herramientas específicamente diseñadas para eso, como el HAZOP (Hazard and operability), metodología que está fuera del pensamiento y modelo Lean Maintenance. Por otro lado, esta oportunidad de mejora sugiere considerar reestructuraciones o cambios en la configuración interna/externa de las máquinas, lo que implica costos muy superiores respecto al beneficio que en particular traería sobre el MTTR.

Oportunidad de mejora #7: Acá ocurre algo similar a la oportunidad #4, donde si bien el costo es satisfactorio (en este caso puntaje 5), el beneficio no es suficiente (puntaje 4), siendo las 2 únicas oportunidades de mejora que reprueban este ítem. El poco beneficio que entrega, se debe en primer lugar a que los tiempos de prueba de funcionamiento del equipo son por lo general muy menores respecto al de ejecución del reparo, por tanto el impacto que tiene sobre MTTR total una mejora en esta etapa, suele ser muy menor al impacto de una mejora en la etapa de ejecución. En segundo lugar, y cómo se ve en los próximos capítulos, esta oportunidad de mejora, junto con la número #6 están íntimamente relacionadas e incluidas de algún modo en el posterior desarrollo de la número #5.

Oportunidad de mejora #8: La eficacia y eficiencia de la etapa de diagnóstico queda mayormente determinada por la calidad del análisis de falla y/o las técnicas que se utilicen para hallar sus causas raíces. Así, el desarrollo de esta oportunidad de mejora no es aplicable a este trabajo de

tesis, ya que implica recurrir a herramientas propias de la teoría de análisis de fallas, que no se encuentran dentro de lo que es la metodología Lean. Por ejemplo Pareto, Diagrama de Ishikawa, RCA, Árbol de fallas, por nombrar algunas.

Finalmente, las otras 6 oportunidades de mejora califican para entrar al desarrollo del próximo capítulo, donde se estudian y presentan sus formas de solución.

Con el término del quinto capítulo se da por cumplido el tercer objetivo específico de la tesis:

- ✓ *"**Definir**, en base al análisis de causa raíz realizado, una serie de **oportunidades de mejora** que son **evaluadas según su criticidad** en una Matriz de Costo – Beneficio, considerando la dificultad de su implementación y el impacto esperado sobre el MTTR".*

6. PROPOSICIÓN DEL PLAN DE MEJORA

Del capítulo anterior se obtuvieron 6 oportunidades de mejora a resolver para el proceso general de reparación de una falla imprevista (mantenimiento correctivo). El trabajo sigue con la elección de una o más herramientas del Lean Maintenance como recurso para llevar a cabo cada una de ellas, para finalmente en base a eso establecer formalmente el plan de mejora definitivo.

6.1. Selección de herramientas Lean Maintenance

La siguiente tabla resume la selección de las herramientas Lean Maintenance a utilizar en cada caso. Bajo esta y de forma extendida, se explica y justifica cada una.

Tabla 6.1-1. Herramientas Lean Maintenance seleccionadas para trabajar cada oportunidad de mejora. Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora	**Herramienta(s) Lean Seleccionada(s)**
# 1 y # 2	TPM (pilar Gestión de los sectores administrativos), 5S, JIT/PULL
# 3	Sistemas Visuales: Andon
# 5	TPM (pilar Gestión Temprana), Poka - Yoke
# 9	TPM (pilar Mantenimiento Planeado), SMED
# 10	TPM (pilar Capacitación y Desarrollo y pilar Mantenimiento Autónomo)

Las dos primeras oportunidades de mejora (**#1** y **#2**) se encuentran relacionadas, al tratarse ambas sobre problemas de gestión y manejo de datos: La primera de repuestos/insumos, y la segunda de permisos y órdenes de trabajo.

Es común pensar que la herramienta necesaria para resolver estos desperdicios debiese ser algún tipo de solución informática que se encargue del almacenamiento, gestión y uso de la información. Los sistemas informáticos de mantenimiento (SIM o CMMS – Computerized Maintenance Management System) son actualmente lo más utilizado para este objetivo. Un SIM es a grandes rasgos, una gran base de datos que almacena registros y puede mostrarlos de forma particular gracias a funciones específicas e interdependientes que posee. La alta eficiencia de

ciertos algoritmos le permite programar acciones de mantenimiento a gran velocidad, y eximir a administrativos de efectuar tareas de bajo valor agregado.

Sin embargo, y aunque hoy en día estos sistemas siguen perfeccionándose a la par con el avance tecnológico, es normal ver empresas donde la implementación de un SIM no resulta como se esperaba. Lourival Augusto Tavares [12] explica: "*Existe la seguridad que más del 50% de los sistemas comercializados no llegan a satisfacer adecuadamente a las empresas…*". Esto en parte se debe a que la mayoría opta por paquetes informáticos estándares de menor precio, sin considerar una adecuación al caso particular de su empresa.

Es por esto que se han escogido las siguientes herramientas del Lean Maintenance para complementar y perfeccionar la solución que un SIM puede dar a las 2 oportunidades de mejora mencionadas anteriormente:

TPM (pilar Gestión de los sectores administrativos):

Este pilar TPM tiene 2 objetivos específicos. El primero, apunta a mejorar la eficiencia global de las tareas administrativas de soporte, reduciendo trabajos innecesarios (sin valor agregado), demoras (tiempos de espera), reprocesos, costos monetarios, etc. En este sentido, el TPM habla sobre transformar los departamentos administrativos en "fábricas de información" [15] y no únicamente en grandes generadoras de datos. La información son datos ordenados de tal forma que permiten tomar decisiones rápidas y seguras ante una demanda urgente, como por ejemplo una tarea imprevista de mantenimiento correctivo. Por tanto, una buena "fábrica de información" es aquella que trabaja con y para las áreas de producción y mantenimiento, debiendo estar siempre atenta a sus requerimientos, entregando únicamente los datos estrictamente pedidos y en un tiempo mínimo (modo "**Just in Time**" (JIT)).

El segundo objetivo es crear ámbitos de trabajo saludables y cómodos. Los trabajadores de oficina, es normal que permanezcan muchas horas en sus puestos (a veces más de lo necesario), por lo que debe procurarse que el lugar sea grato y genere gusto por trabajar. La experiencia japonesa aconseja aplicar la estrategia de las **5S** para alcanzar este objetivo.

La tercera oportunidad de mejora (**#3**) a resolver es la que se obtuvo luego de analizar el por qué los procesos de mantenimiento correctivo por lo general demoran tanto en iniciar a tiempo:

"*La mayor parte de la información que captan las personas proviene de las señales y los signos*" [16]. Por otro lado, dentro de lo que es el área productiva de una empresa, es común tener máquinas con altos niveles de ruido y operadores trabajando con protectores auditivos, lo que hace que cualquier desperfecto que sea síntoma de una falla, y que se manifieste mediante algún sonido en particular, sea muy difícil de reconocer por el operador, quien está concentrado mayormente en cumplir con su función específica en la máquina.

Se necesita entonces algún mecanismo que ayude con el control del estado de la máquina, un sistema que comunique al operador de forma evidente, clara y sencilla, ojalá con señales visuales y auditivas que logren sobresalir dentro del ruido propio del contexto operativo.

Para esto se ha escogido **Andon**, *"una expresión de origen japonés que significa "lámpara""* [17], y que forma parte del mundo TPM al estar inserto en la rama del control visual. A su vez, es considerado como un elemento clave de la filosofía Lean, ya que incluye todas aquellas medidas y prácticas de comunicación utilizadas con el propósito de plasmar, de forma directa y simple (a bajo costo), el estado de algún sistema productivo.

La implementación de este sistema facilita la detección de una desviación en el funcionamiento normal del equipo, y por tanto adelanta el aviso que tiene que dar el operario para que comience el proceso de reparación (mantenimiento correctivo).

La cuarta oportunidad de mejora aprobada por el análisis costo beneficio (la número **#5**), habla de cómo un correcto diseño y fabricación de las máquinas puede ayudar considerablemente a las tareas manuales que los mecánicos ejecutan en el reparo de la falla.

Entre los 8 pilares del TPM se encuentra la "**Gestión Temprana**", denominada así por pretender eliminar precozmente los problemas de diseño o errores en la fabricación de los nuevos equipos (pudiéndose aplicar también en rediseños o grandes mejoras en equipos ya existentes). Tiene como objetivo principal garantizar componentes, equipos y sistemas confiables, mantenibles y fáciles de operar. Este último punto es clave para su elección, ya que desde la Figura 2.2-1 se puede ver que dentro de los factores internos de la mantenibilidad, están la accesibilidad a las partes, la complejidad técnica y el manejo de los componentes, todas variables tratadas por la gestión temprana.

Otra herramienta del Lean Maintenance que es útil para sacar provecho de esta oportunidad de mejora es el "**Poka – Yoke**". Desde Japón, con "poka" (error inadvertido) y "yoke" (prevención), nace la idea de crear sistemas a prueba de errores, útiles por ejemplo en las tareas de ensamblado y montaje de componentes. Requiere incorporar al diseño de máquinas, una visión de prevención frente a posibles errores humanos en la manipulación de sus partes, o piezas más expuestas.

En quinto lugar se encuentra la oportunidad de mejora **#9**, que nace del no contemplar una correcta planificación para el mantenimiento correctivo.

En este punto, se ha escogido como herramienta principal el pilar TPM "**Mantenimiento Planeado**", o **MP** por sus siglas. Su propósito fundamental es el "cero errores" y eliminar la improvisación, para así también reducir gastos operativos y de mantenimiento.

Cuando un equipo falla y sus tiempos medios de reparación (MTTR) son grandes, aún las paradas planificadas suelen ser muy extensas por la complejidad técnica de la intervención. Con una planificación rigurosa, el MP puede reducir drásticamente el tiempo de ejecución, el consumo de repuestos, materiales, y el riego de accidentes.

La planificación debe incluir instrucciones claras sobre la forma de proceder para que así los mantenedores se vayan familiarizando con cada modo de falla y la forma de resolverlo. Para ello, un complemento que también es parte del Lean Maintenance y ayuda mucho en procesos de reparación que incluyen tareas repetitivas es el **SMED** (acrónimo de Single Minute Exchange of Die), método de reducción de desperdicios en procesos de alistamiento de equipos, que tiene como objetivo último asegurar un tiempo de cambio de herramienta de un solo dígito de minutos.

Las distintas tareas de alistamiento dentro de una intervención a la máquina pueden dividirse en 2 categorías:

- Operaciones internas (OI): Aquellas que deben realizarse con la máquina detenida.
- Operaciones externas (OE): Aquellas que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento.

Evidentemente el foco de este trabajo son las operaciones internas (en mantenimiento correctivo, con la máquina detenida), más específicamente la optimización del tiempo que toman los cambios, ajustes y calibraciones de piezas.

En sexto y último lugar se encuentra la oportunidad de mejora **#10**, obtenida desde el desperdicio de no aprovechar y maximizar las capacidades y talentos humanos del equipo de mantenimiento.

Para trabajar este punto, se ha escogido una vez más el TPM, en este caso dos de sus pilares: **Capacitación y Desarrollo** (CyD), y **Mantenimiento Autónomo** (MA).

El pilar CyD constituye un soporte para articular las demás ramas del TPM, porque su aplicación está dirigida a cubrir aspectos metodológicos y de formación del TPM. Este pilar entrega guías sobre cómo estudiar y orientar los talentos humanos de las organizaciones, para que todos los esfuerzos vayan en un mismo sentido, que para este trabajo de tesis en particular es disminuir los tiempos de reparación de una falla imprevista.

Pero las mejoras no sólo deben hacerse dentro del equipo de mantenimiento. Se tiene la posibilidad también de capacitar al operario de la máquina: prepararlo para que tenga las herramientas necesarias para él mismo poder mantener su máquina en buen estado, realizar tareas de revisión y ajustes menores. Luego podrá inclusive participar más activamente dentro del proceso de mantenimiento si es necesario. Sobre este último punto en específico trata el pilar TPM Mantenimiento Autónomo (MA), también conocido en occidente como “mantenimiento de uso”.

6.2. Planificación de la mejora del proceso

Para culminar el trabajo de esta tesis, en la presente sección se expone el plan de mejora definitivo obtenido para cada una de las 6 oportunidades de mejora seleccionadas. Para ello, y teniendo en consideración todos los análisis previamente realizados, utilizando las correspondientes herramientas del Lean Maintenance fue posible llegar a ejecutar las ideas y transformarlas en acciones concretas de mejora.

La elaboración del plan final incluye entre sus partes (para cada oportunidad de mejora):

- Las acciones a tomar.
- Responsables de que se lleven a cabo.
- Recursos humanos y materiales necesarios para ejecutarlas.

- Indicador(es) clave(s) de la mejora (KPI(s) objetivo(s)).
- Desperdicios que se atacan y sus causas raíces.

Para la presentación de cada plan y su contenido, se creó la siguiente plantilla base:

Tabla 6.2-1. Plantilla base de presentación para el plan de mejora asociado a cada oportunidad de mejora del proceso. Fuente: Elaboración propia.

Definición	Se enuncia la oportunidad de mejora que existe	
Desperdicios	Tipo de desperdicio que se quiere eliminar y en qué consiste	
Causa Raíz	Se nombra la causa raíz del desperdicio	
Meta	**KPI**	**Entregables**
	Se establece el indicador clave que mide el desempeño del plan de mejora y sirve para su monitoreo en el tiempo.	Se definen los reportes y/o documentos a entregar y su frecuencia, para el seguimiento de los avances de la mejora.
Recursos utilizados	**Humanos**	**Materiales**
	Personal y capacidades humanas necesarias para llevar a cabo la mejora.	Costos monetarios y/o bienes físicos concretos necesarios para ejecutar el plan de mejora.
Herramienta(s) Lean Seleccionada(s)		
Se nombran las herramientas del Lean Maintenance escogidas para resolver la oportunidad de mejora en particular.		
Acciones de mejora		
Se desarrollan en detalle y paso a paso las acciones de mejora definidas para alcanzar la meta del plan.		

A continuación y en serie, se muestran los resultados:

Tabla 6.2-2. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #1. Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora #1	Modificar el actual o crear un nuevo modelo de gestión de repuestos e insumos (activos de bodega en general), que facilite la búsqueda de materiales, optimice

<table>
<tr><td></td><td colspan="3">el nivel de inventarios y reduzca el riesgo de sufrir un desabastecimiento durante un mantenimiento correctivo.</td></tr>
<tr><td>Desperdicios</td><td colspan="3">– Acumulación/Falta de repuestos e insumos en el inventario.
– Mala utilización e ineficiente transporte de herramientas.</td></tr>
<tr><td>Causa Raíz</td><td colspan="3">Mal sistema de gestión de repuestos y herramientas en bodega.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Meta</td><td colspan="2">KPI</td><td>Entregables</td></tr>
<tr><td colspan="2">- Tiempo promedio (y su variabilidad) de búsqueda y entrega de repuesto, insumo o instrumento de medición.
- % Disponibilidad de equipos de protección personal (control de inventarios de EPP).</td><td>Reporte semanal completo sobre el estado de la bodega (orden y stocks críticos); avances en la implementación de las 5S.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Recursos utilizados</td><td>Humanos</td><td colspan="2">Materiales</td></tr>
<tr><td>Encargado de bodega.
Usuarios del almacén de repuestos e insumos.</td><td colspan="2">Estanterías/Repisas, separadores.
Contenedores y tarjetas Kanban para cada tipo de insumo.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Herramientas Lean Seleccionadas</td></tr>
<tr><td colspan="4">Just in Time, Kanban, 5S</td></tr>
<tr><td colspan="4">Acciones de mejora</td></tr>
<tr><td colspan="4">La idea central de un sistema de inventario Just in Time es que las cosas (insumos, instrumentos de medición, herramientas, repuestos, etc.) estén:
– En el lugar indicado.
– En la cantidad justa
– En el momento preciso; ni antes ni después.
En base a eso, se plantean las siguientes acciones de mejora:
✓ Implementar un sistema visual tipo Kanban de contenedores estandarizados para cada tipo de ítem, con tarjetas de identificación que contengan:
o Nombre del instrumento/herramienta/repuesto
o ID del ítem.
o Número de ítems en el recipiente.
o Stock de seguridad deseado.
o Consumidor (proceso o máquina sumidero) y proveedor (fuente).</td></tr>
</table>

- ✓ Considerar compras de ítems en cantidades exactas (e idealmente en pequeños lotes).
- ✓ Disponer de un número pequeño de proveedores (el menor posible).
- ✓ Mantener una relación cercana y constante comunicación entre mantenimiento y bodega (intercambio de todo tipo de información pertinente, considerando el envío formal de un informe diario sobre el estado general de cada parte).

Todo estos puntos ayudan con el orden y cuidado del lugar físico de la bodega, lo cual debe formalizarse mediante la implementación de técnica de las **5S**, la cual se ejecuta en 5 sencillos pasos:

1. **S**eiri (Clasificación/Organización): El primer paso es separar (clasificar) los elementos necesarios de los innecesarios, dejando sólo los que con seguridad serán utilizados. Quedan fuera por ejemplo piezas o herramientas dañadas o rotas, repuestos obsoletos, artículos menores sobrantes como cajas vacías, carpetas o archivadores sin uso. Toman importancia ítems elementales como instrumentos de medición (útiles en el análisis de la falla), o herramientas de uso constante como llaves y destornilladores.
2. **S**eiton (Orden): En este paso los ítems seleccionados en Seiri se ordenan según su ID y se guardan en formato Kanban. Para la ubicación de cada ítem deben considerarse aspectos como el grado de uso, rotación, seguridad y peligrosidad. Según estos factores, los distintos grupos o categorías de ítems se dispondrán estratégicamente en las estanterías de la bodega.
3. **S**eiso (Limpieza): Limpieza profunda para identificar y eliminar fuentes ocultas de contaminación. Síntomas sobre el deterioro de ciertos ítems pueden pasar desapercibidos bajo la acumulación de suciedad, polvo, grasa, tierra, etc. Así, con la limpieza se tendrá mayor inspección y conocimiento sobre fortalezas y debilidades del área física de bodega.
4. **S**eiketsu (Estandarizar): Conectando con el punto anterior, la limpieza debe incorporarse como parte importante dentro de la rutina diaria de trabajo. La idea es hacer costumbre el mantener los lugares limpios y ordenados (cambio de filosofía). Deben crearse reglas que dicten el buen uso de la bodega, tanto para mantenedores como para cualquier trabajador.
5. **S**hitsuke (Disciplina): Por último, debe asegurarse el cumplimiento de todas las normas establecidas en el paso anterior. La disciplina de cada usuario de la bodega juega un rol fundamental en esta tarea. Las personas deben comprometerse con el cuidado de sus espacios y el de los demás. Un comportamiento profesional ante las reglas generales respecto al uso de la bodega garantizará el buen resultado de la aplicación de las 5S.

Tabla 6.2-3. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #2. Fuente: Elaboración propia.

<table>
<tr><td>Oportunidad de mejora #2</td><td colspan="3">Modificar el actual o crear un nuevo modelo de gestión administrativa, que facilite el registro de datos y agilice el manejo de estos, para así aumentar la velocidad en la generación de avisos, reportes u otros permisos necesarios para realizar un mantenimiento correctivo.</td></tr>
<tr><td>Desperdicios</td><td colspan="3">− Exceso de movimiento en los trámites.
− Altos tiempos de espera en la aprobación de la acción correctiva.
− Sobre – procesamiento en aspectos permisivos sobre órdenes de trabajo.</td></tr>
<tr><td>Causa Raíz</td><td colspan="3">Mal sistema de gestión de la información y manejo de los datos de mantenimiento.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Meta</td><td colspan="2">KPI</td><td>Entregables</td></tr>
<tr><td colspan="2">- Tiempo transcurrido entre el aviso/pedido de intervención por mantenimiento correctivo, y la emisión de la orden de trabajo (OT).
- Cantidad de OT’s entregadas incompletas o no correspondientes al tipo de falla.</td><td>Propuesta de formato OT correctiva.
VSM actual y mejorado del trabajo administrativo dentro de mantenimiento correctivo.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Recursos utilizados</td><td>Humanos</td><td colspan="2">Materiales</td></tr>
<tr><td>Polivalencia y orden en el personal administrativo de producción.</td><td colspan="2">Documentación actual asociada al proceso de emisión de una OT correctiva.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Herramientas Lean Seleccionadas</td></tr>
<tr><td colspan="4">TPM (pilar Gestión de los sectores administrativos), 5S</td></tr>
<tr><td colspan="4">Acciones de mejora</td></tr>
<tr><td colspan="4">Dentro del TPM, el trabajo del pilar “Gestión de los sectores administrativos” se resume en 4 grandes pasos:
<u>Paso 1: Situación Actual</u>
− Diseñar un diagrama de flujo de proceso (estilo VSM) que represente las funciones del sector administrativo dentro de lo que es un proceso general de reparación de una falla imprevista.
− Dividir el proceso en subprocesos. Cuantificar el tiempo y los recursos requeridos para cada</td></tr>
</table>

subproceso.

- Identificar tiempos muertos y restricciones del proceso.

Paso 2: Plantear objetivos y priorizar

- Redefinir las funciones llevándolas a su esencia y priorizar aquellas con mayor valor agregado en la generación de la OT correctiva.
- Establecer objetivos específicos y cuantificables de eficiencia y eficacia para las funciones seleccionadas, que sean medibles y alcanzables en el mediano plazo.
- Definir puntos y métodos de control de las variables objetivo y sus resultados.

Paso 3: Acciones de mejora

- Propiciar un ambiente de trabajo saludable y agradable en el sector administrativo. Aplicar estrategia de las **5S** en el área (ver Anexo 1).
- Capacitar al personal para desarrollar distintas aptitudes y obtener un grado de polivalencia para los distintos subprocesos definidos en el paso1.
- Utilizar la polivalencia de talentos en momentos de alta demanda laboral.

Paso 4: Consolidar las mejoras

- Una vez implementada la polivalencia funcional, evaluar nuevamente la estructura administrativa (funciones y cargas de trabajo por persona).
- Involucrar paulatinamente a la totalidad del departamento administrativo en la mejora.
- Hacer un seguimiento cercano al control de las variables objetivo e ir resolviendo inmediatamente posibles desvíos que puedan aparecer.

Ahora bien, independiente del modelo funcional de la empresa, todo proceso de mantenimiento correctivo requiere de una orden de trabajo (OT) para llevarse a cabo. El circuito que debe hacer la OT dentro del sector administrativo, hace que esta vaya pasando por distintos estados (emitida, abierta, liberada, notificada, terminada y cerrada), y es importante que cada cambio de estado dependa de la menor cantidad de personas posibles, para así agilizar el proceso. Una OT correctiva debe ser simple y fácil de leer y llenar. En el Anexo 2 se encuentra la información básica que estas deben contener.

Tabla 6.2-4. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #3. Fuente: Elaboración propia.

<table>
<tr><td>Oportunidad de mejora #3</td><td colspan="3">Modificar o crear un sistema visual y/o auditivo de detección sobre síntomas de fallas en las máquinas, que permita alertar con mayor anticipación y así reducir el tiempo de llegada del equipo de mantenimiento al lugar.</td></tr>
<tr><td>Desperdicios</td><td colspan="3">Demora en la detección de ocurrencia de una falla.</td></tr>
<tr><td>Causa Raíz</td><td colspan="3">Mal sistema de detección de fallas y/o síntomas en máquinas.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Meta</td><td colspan="2">KPI</td><td>Entregables</td></tr>
<tr><td colspan="2">- Tiempo transcurrido entre la ocurrencia de la falla y su detección (localización y verificación de la falla).
- Gastos de implementación y mantenimiento de sistemas Andon en maquinaria.</td><td>Propuesta de diseño de sistema Andon en cada máquina. Documentación sobre normas e instrucciones de uso del sistema.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Recursos utilizados</td><td>Humanos</td><td colspan="2">Materiales</td></tr>
<tr><td>Operarios, ayudantes y supervisores de producción (capacitación sobre el sistema a instalar).</td><td colspan="2">Costos de la estructura física de los sistemas de alarmas, su instalación y conexión con las principales partes de cada máquina. Costos de mantenimiento de los sistemas.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Herramientas Lean Seleccionadas</td></tr>
<tr><td colspan="4">Sistemas Visuales: Andon.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Acciones de mejora</td></tr>
<tr><td colspan="4">De los distintos tipos de sistemas Andon que existen, se ha considerado el desarrollo de los siguientes: torretas, alarmas y tableros de indicadores.
11. Torretas: Lámparas de colores, que son instaladas en cada máquina con el propósito de hacer visible el estado de las mismas. Cada color representa un estado:
– Verde: La máquina y todas sus partes mayores operan con normalidad.
– Amarillo: Alguna parte mayor de la máquina se encuentra dañada o presenta anormalidades. La máquina sigue operando, pero con riesgos en la calidad del proceso y síntomas de una inminente detención total.</td></tr>
</table>

- Rojo: La máquina sufrió una detención repentina de alguna de sus partes mayores, y necesita de una acción correctiva inmediata para recuperar su funcionamiento.

12. Alarmas: Como complemento a las torretas, un simple sistema de alarmas puede ayudar a comunicar anormalidades en las máquinas. Se asigna un sonido particular al color amarillo, y otro más reconocible o de urgencia al color rojo.
13. Tableros de indicadores: Se instalan a la vista del operario, tableros que contengan información clave sobre cada variable del proceso: temperatura, presión, caudal u otras. Estos datos medidos en tiempo real serán puestos en colores, utilizando el verde cuándo se encuentre dentro de cierto rango permitido alrededor del estándar, y el rojo para cuando la variable esté fuera de dicho rango.

Todo lo anterior en conjunto, permite llevar un control y seguimiento automático y continuo por parte del operario sobre su máquina, y por ende mejora los tiempos de respuesta ante una falla imprevista que requiera de mantenimiento correctivo inmediato.

Tabla 6.2-5. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #5. Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora #5	Establecer un modo de trabajo en conjunto entre diseñadores de máquinas y mantenedores, de tal forma que mediante un intercambio de conocimientos se logre tener equipos simples de diagnosticar y manipular en un proceso de mantenimiento. Tener máquinas con configuraciones pensadas para un fácil acceso e intervención de sus partes ayudaría de gran forma a las tareas de arme, desarme y ejecución misma de cualquier proceso de mantenimiento.	
Desperdicios	Pérdidas de tiempo considerables durante la manipulación de la máquina.	
Causa Raíz	Diseño y/o fabricación de componentes, equipos o sistemas sin un enfoque hacia la facilidad en la operación del mantenimiento.	
Meta	**KPI**	**Entregables**
	- Tiempo promedio (y su variabilidad) en las tareas de: desarme, ajuste, calibración y armado. Esto para cada pieza de cada máquina. - Número de observaciones de seguridad en la	Informes semanales de avance y estado de los distintos proyectos que surjan para la creación de

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">implementación de sistemas de automatización poco seguros para el operador y/o mantenedor.</td><td>una nueva máquina o para una mejora de una ya existente en planta.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Recursos utilizados</td><td>Humanos</td><td colspan="2">Materiales</td></tr>
<tr><td>Diseñadores y mantenedores. Conocimientos personales y capacidad de trabajo en equipo, relaciones interpersonales, traspaso de conocimiento.</td><td colspan="2">Partes o piezas diseñadas por el equipo para el armado de la nueva máquina o mejora de una antigua. Dispositivos Poka-Yoke adicionales creados en las partes críticas para el mantenimiento.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Herramientas Lean Seleccionadas</td></tr>
<tr><td colspan="4">TPM (pilar Gestión Temprana), Poka – Yoke</td></tr>
<tr><td colspan="4">Acciones de mejora</td></tr>
<tr><td colspan="4">Diseñadores y mantenedores deben trabajar juntos. La idea es aunar criterios básicos de fabricación (como confiabilidad y mantenibilidad) junto con otros relacionados a la facilidad en el diagnóstico y operación en el mantenimiento.
Para ello se aplica el pilar TPM de Gestión Temprana, que permite ordenar y orientar la manera de llevar proyectos de diseño, fabricación y montaje de nuevos equipos, a través de los siguientes 5 pasos:
<u>Paso 1: Selección y justificación del proyecto</u>
– Seleccionar el proyecto de inversión.
– Definir un líder de proyecto y un equipo multidisciplinario de colaboradores, entre diseñadores y mantenedores (en lo posible de dedicación exclusiva en el proyecto).
– Realizar estudio de factibilidad técnica y económica.
– Establecer criterios básicos y primordiales de diseño (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, seguridad, etc.).
– Establecer condiciones y plazos para las etapas de diseño, fabricación y montaje.
<u>Paso 2: Planificación y diseño</u>
– Seleccionar proveedores (de partes y piezas de la máquina).
– Investigar debilidades comunes de diseños ya existentes para el tipo de máquina. Capitalizar la experiencia de mantenedores en la operación de estas máquinas, para robustecer el nuevo diseño en pos de tener un mejor MTTR.</td></tr>
</table>

- Fijar y utilizar formas de control y seguimiento del proyecto.
- Capacitar a operadores y mantenedores sobre el modelo de la futura nueva máquina.
- Estudiar la viabilidad de externalizar servicios asociados a la fabricación y montaje de la nueva máquina. Crear lista de chequeos para la correcta instalación de la máquina dentro de la planta.

Paso 3: Información y documentación

- Formar un grupo de trabajo para liderar la puesta en marcha.
- Efectuar análisis de riesgo y mejorar el diseño según resultados.
- Desarrollar manuales de operación y planes de mantenimiento específicos para la nueva máquina. Capacitar a operarios y mantenedores de planta sobre el funcionamiento de la máquina y sus labores en torno a esta.
- Clasificar y guardar toda la información técnica generada en etapas previas (layout, planos, fichas técnicas, especificaciones, lista de repuestos, etc.).
- Crear lista de chequeos y cronogramas de puesta en marcha.

Paso 4: Instalación y puesta en marcha

- Monitorear el traslado, entrega, montaje e instalación del nuevo equipamiento.
- Realizar durante el proceso los chequeos de instalación.
- Verificar que se cumplan las normas de seguridad.
- Realizar finalmente los chequeos correspondientes durante la puesta en marcha.

Paso 5: Pruebas y chequeo de régimen

- Supervisar e identificar defectos tempranos que puedan manifestarse en los minutos posteriores luego de que el equipo alcanza su “velocidad nominal”.
- Durante las primeras semanas, y para verificar el buen resultado del proyecto:
  - Hacer seguimiento al comportamiento de la máquina durante las partidas.
  - Revisar y constatar el cumplimiento de los planes de mantenimiento.
  - Revisar y constatar el cumplimiento de los procedimientos de operación.
  - Validación definitiva de la instalación y entrega formal a producción.

Naturalmente el seguimiento a cada proyecto debe ser a largo plazo, para poder identificar todas las nuevas oportunidades de rediseño que puedan surgir del contacto diario de mantenedores con las máquinas. Ellos deben manifestar dificultades puntuales que encuentren en la manipulación de las partes de la máquina, para que diseñadores puedan ayudar implementando mejoras del tipo

"**Poka – Yoke**" o "A prueba de errores". A modo general, son 3 los tipos de sistemas Poka – Yoke: de contacto, de valor fijo, y de secuencia de pasos. Algunos ejemplos son:

De contacto:

- Piezas o accesorios alámbricos de las máquinas con conectores asimétricos que restrinjan las posibilidades de conexión a una sola posición.
- Formas de piezas donde prevalezca la simplicidad y facilidad del encastre o ensamble por sobre el aspecto visual.

De valor fijo:

- Tornillos o pernos marcados hasta cierto punto de la rosca, por ejemplo sumergiéndolos en pintura diluida, esto para que el mantenedor pueda ver fácilmente si ha realizado el apriete por ejemplo a todo de un grupos de tornillos en el armado de alguna sección de la máquina.
- Dentro del kit de herramientas, disponer de los pernos, tuercas, golillas o cualquier otro grupo de elementos pequeños, empaquetados en las cantidades necesarias exactas para completar el proceso de arme o desarme de cierta máquina en específico.

De secuencia de pasos:

- Dispositivo de mando que requiera de dos botones separados para su activación. Al necesitar de sus dos manos para activarlo, el operador no podrá iniciar un paso de la secuencia antes o junto a otro que corresponde primero. Esto libra al proceso de saltos en sus pasos y brinda seguridad a la persona.
- En el caso de contar con dispensadores de herramientas y piezas específicas para cada paso del proceso de mantenimiento, añadir un dispositivo con sensores de movimiento que detecten cuando se extraen los componentes de un dispensador en particular , y así saber cuáles ya han sido usados y cuáles siguen, eliminando el salto de pasos.

A su vez, la implementación de cualquier tipo de Poka – Yoke puede hacerse en dos formatos: de control y de advertencia.

De control es cuando, ocurrida una anormalidad en el equipo, la solución es directamente apagar la máquina, o idealmente bloquear aquellas partes comprometidas para evitar que el problema se agrave o propague afectando otras piezas.

De advertencia es cuando se advierte al trabajador de la anormalidad ocurrida, llamando su atención mediante una alarma o una luz.

Tabla 6.2-6. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #9. Fuente: Elaboración propia.

<table>
<tr><td>Oportunidad de mejora #9</td><td colspan="3">Desarrollar una mejor forma de proceder en la planificación de un mantenimiento correctivo, considerando instructivos de trabajo con estándares claros. Por otro lado, planificar los trabajos en base a los resultados del diagnóstico, dará coherencia al proceso y aumentará por tanto su efectividad total.</td></tr>
<tr><td>Desperdicios</td><td colspan="3">− Planes de trabajo poco rigurosos y de baja eficacia.
− Tiempo perdido en la planificación de tareas que por conveniencia técnica – económica no requieren de un mayor análisis, o viceversa.</td></tr>
<tr><td>Causa Raíz</td><td colspan="3">No contemplar una seria planificación del mantenimiento correctivo.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Meta</td><td colspan="2">KPI</td><td>Entregables</td></tr>
<tr><td colspan="2">- Tiempo promedio de planificación para cada tipo de falla.
- Tiempo de ejecución de sub-tareas repetitivas de mantenimiento.
- Gastos operativos de mantenimiento (control de costos).</td><td>- Reportes y presentación de proyectos de MP sobre cada equipo de la planta.
- Reportes y presentación de cada mejora SMED aplicada en la planta.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Recursos utilizados</td><td colspan="2">Humanos</td><td>Materiales</td></tr>
<tr><td colspan="2">- MP: Gerencia, jefe de planta, jefe de mantenimiento y supervisores de producción (área estratégica).
- SMED: Mantenimiento (jefe y técnicos).</td><td>- Antiguos instructivos de trabajo (IT) a actualizar.
- Archivos de vídeo SMED.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Herramientas Lean Seleccionadas</td></tr>
<tr><td colspan="4">TPM (pilar Mantenimiento Planeado), SMED</td></tr>
<tr><td colspan="4">Acciones de mejora</td></tr>
<tr><td colspan="4">Implementar correctamente el Pilar Mantenimiento Planeado (MP) tiene como resultado 2 grandes beneficios: disminuir el MTTR y reducir los gastos operativos en el mantenimiento, gracias a la mejora en la gestión de los activos que resulta de la confección de procedimientos para las tareas rutinarias dentro del proceso.
Desplegar el Pilar MP requiere completar 3 pasos:</td></tr>
</table>

Paso 1: Evaluar los equipos, sus criticidades y contextos operativos.

- Definir uno o más criterios para priorizar equipos (recurrencia y gravedad de sus fallas, valor de sus MTTR, etc.).
- Seleccionar en base a los criterios anteriores, los equipos sobre los que se desplegará el pilar MP. Definir sus contextos operativos.
- Definir objetivos e indicadores claves del grado de cumplimiento de los mantenimientos correctivos sobre dichos equipos.

Paso 2: Diseñar estándares especializados.

- Creación de un Instructivo de Trabajo (IT) para cada tipo de falla en cada máquina, donde se detalle las tareas a realizar y el tiempo de ejecución estimado.
- Independiente de la clase de tarea de la acción correctiva (restauración, recambio, ajuste, limpieza), toda IT deberá contener al menos: códigos de repuestos/materiales necesarios, elementos de protección personal (EPP), parámetros de calidad, indicadores de cumplimiento del trabajo. Además de cualquier otra observación útil para mejorar la eficiencia y efectividad del reparo.

Paso 3: Verificación y mejora continua.

- Establecer una revisión periódica de los Instructivos de Trabajo creados, aplicando actualizaciones en función de los resultados obtenidos y posibles mejoras que vayan surgiendo con la experiencia.
- Adicionalmente, y según la necesidad de cada especialidad (mecánica, eléctrica, etc.), revisar y mantener en constante mejora la calidad de los materiales y repuestos disponibles.

El trabajo del Pilar MP recién planteado puede ayudarse de un SMED sobre aquellas tareas de reparo específicas que son críticas para el MTTR. Estas pueden ser desde una restauración general, a un cambio de pieza, un ajuste o simplemente una limpieza de una parte específica de la máquina. Las llamaremos “sub-tareas de mantenimiento”.

Para pensar y lograr un SMED se recomienda seguir los siguientes pasos:

1) Preparación Previa
   1.1) Investigación: Conocer la máquina, su funcionamiento y proceso de desarme y arme de piezas claves en un mantenimiento correctivo, instructivos de trabajo (IT) asociados a cada sub-tarea de mantenimiento.

1.2) Conformación del grupo: Entre mantenedores de planta, operarios y ayudantes de producción de cada máquina en particular.

1.3) Formación: Darle al grupo la formación necesaria sobre fundamentos básicos del SMED: idea, métodos, aplicaciones, ejemplos.

1.4) Medios: Dotar al equipo con las herramientas para poder trabajar SMED: Cámaras de vídeo de calidad, con suficientes baterías y tarjetas de memoria. Planos de la máquina y su distribución en planta. Papel y lápiz. Calculadora. Un lugar de reunión para el análisis de los datos y visualización de las grabaciones (centro de trabajo del grupo).

2) Análisis de la actividad sobre la que se va a centrar el SMED.

2.1) Se filman en detalle todas y cada una de las actividades que se realizan durante la ejecución de la sub-tarea de mantenimiento en específico. En el caso de que intervengan en él varias personas, todas deberán ser grabadas.

Si al término de la sub-tarea, se encuentra algún error que requiera repetir y corregir una parte del proceso, el tiempo debe seguir corriendo hasta cumplir con ese reproceso. Este último punto sólo aplica a detecciones hechas antes de la puesta en marcha del equipo (porque desde allí en adelante es parte de la etapa de verificación, no ejecución del mantenimiento).

2.2) Una vez realizadas las grabaciones y ya instalado en la sala de reuniones, el grupo SMED usará los vídeos para detallar todas las actividades de las que consta la sub-tarea de mantenimiento en cuestión, y así determinar su duración. De esta forma se obtiene el tiempo de ciclo estándar del proceso.

3) Reducción de tiempos de actividades.

3.1) En esta fase el equipo debe plantear ideas de mejora para reducir los tiempos de ejecución de todas las actividades que componen la sub-tarea.

3.2) Una vez que se ha definido una idea de mejora y esta ha sido aceptada por todos, el equipo debe definir el plan de acción a seguir para implementar esa idea de mejora. Esto es, definir: Que se va hacer, quien lo va hacer y cuando debe estar terminado.

4) Seguimiento.

4.1) Una vez terminado el primer taller SMED de una sub-tarea en particular, es vital

	continuar con el seguimiento para ver si el nuevo estándar definido sufre desviaciones (cambios en los tiempos, revisar valores máximos, mínimos y promedios), y así tomar acciones correctivas inmediatas.

Tabla 6.2-7. Plan de mejora definitivo obtenido para la oportunidad de mejora #10. Fuente: Elaboración propia.

Oportunidad de mejora #10	Mediante la capacitación y el desarrollo de los talentos de cada miembro del equipo de mantenimiento, será posible contar con un grupo altamente competente y capaz de alcanzar prácticamente cualquier objetivo. Además, un plan de trabajo bien elaborado en conjunto con el área de recursos humanos, permitiría que el conocimiento adquirido se transmita a operarios y ayudantes de máquinas, para que así el resultado beneficie a nivel global en la empresa, y cada trabajador se sienta considerado, seguro de sus habilidades, convencido y dispuesto a dar lo mejor de sí.	
Desperdicios	− Re-trabajos por falta de conocimiento o exactitud en la acción de reparo. − Mal uso del capital humano en la generación de ideas. − Dotación de personal no adecuada para el tipo de falla.	
Causa Raíz	Poco interés sobre el equipo humano de mantenimiento.	
Meta	**KPI**	**Entregables**
	- Tiempo promedio perdido dentro de un mantenimiento correctivo en re-procesos de tareas manuales debido a errores humanos. - Desempeño profesional de cada operario y mantenedor dentro de los procesos de mantenimiento correctivo. - Aumento en el número de accidentes producto de las nuevas tareas asignadas al operador dentro del mantenimiento autónomo.	- Plan Maestro de Capacitación. - Reportes de evaluaciones mensuales al desempeño de cada colaborador en la empresa. - Normas y estándares actualizados sobre el procedimiento de Mantenimiento Autónomo a implementar.
Recursos	**Humanos**	**Materiales**
	Implementación de un PMC en	Documentación técnica y

utilizados	mantenimiento, y del pilar MA en operarios y ayudantes de producción.	herramientas para llevar a cabo la capacitación tanto de mantenedores como de operadores.
Herramientas Lean Seleccionadas		
TPM (pilar Capacitación y Desarrollo y pilar Mantenimiento Autónomo)		
Acciones de mejora		

Lo primero es asegurar un buen equipo de mantenedores, que sea capaz de trabajar independientemente y manejar de forma óptima los tiempos que tiene para cumplir satisfactoriamente con cada tarea que se le encarga.

Para esto, y con ayuda del área de recursos humanos de la empresa, se plantea instalar lo que en TPM se conoce como el pilar "Capacitación y Desarrollo". Este se ocupa de los talentos de un equipo humano, y constituye por tanto un soporte para articular todos los demás procesos vistos de la metodología TPM. Su primer y mayor objetivo es crear un Plan Maestro de Capacitación (PMC), basado en las matrices de habilidad de las personas. Son 4 grandes pasos para implementarlo:

Paso 1: Analizar la situación actual:

- Estudiar el programa de Capacitación y Desarrollo actual:
  - Determinar el nivel de conocimiento y habilidad para cada función (puesto de trabajo) de operación y mantenimiento.
  - Utilizar matrices de habilidad.
  - Medir el nivel de competencias de los talentos actuales.
  - Cuantificar los GAP's para cada puesto de trabajo.

Paso 2: Plan Maestro de Capacitación (PMC):

- Elaborar un Plan Maestro de Capacitación (PMC):
  - Definir metas, objetivos y prioridades.
  - Proponer planes de capacitación y formación en el área de mantenimiento.
  - Proponer planes de capacitación y formación en operadores.
- Promover y estimular la polivalencia funcional.
- Diseñar los planes de capacitación en etapas equilibradas.

Paso 3: Capacitación y Formación:

- Implementar los planes de capacitación, utilizando:

    - Manuales de aprendizaje.
    - Instructivos de Trabajo para desarrollo en aulas.
    - Instructivos para el lugar de trabajo.
    - OPL's (lecciones de un punto) confeccionadas por la misma persona.
- Estimular la práctica, el autoaprendizaje y el intercambio de opiniones.
- De ser necesario, incorporar capacitación externa.
- Medir la evolución de las personas y reforzar sus debilidades.

Paso 4: Consolidar el PMC:

- En función de los resultados del paso anterior, redefinir las metas del PMC.
- Elaborar un plan de carrera para los cargos del equipo.
- Implementar evaluaciones regulares de desempeño.
- Permitir y promover el autoaprendizaje en el lugar de trabajo.

Como pudo verse, dentro del plan se incluyó también el área de operación (operarios y ayudantes de máquinas), entendiendo que la mejora debe hacerse a un nivel global en la empresa. Considerar a los operarios como partícipes activos del cambio es un beneficio sobre todo para los mismos mantenedores, quienes con el tiempo podrán ir delegando ciertas tareas menores de cuidado preventivo en las máquinas e incluso recibir la ayuda de los operarios durante un mantenimiento correctivo como tal.

Luego, esta idea debe ser tomada y liderada por el equipo de mantenedores, para aplicarla formalmente sobre los operarios en base a lo que en TPM se conoce como "Mantenimiento Autónomo" (MA). Este pilar se implementa gradualmente mediante una secuencia de pasos claramente concebidos:

Paso 1: Limpieza Inicial:

Se introduce al operario sobre puntos básicos de cuidado de la máquina:

- Eliminación profunda de tierra, grasa, suciedad, etc. de cada parte del equipo; Detección de elementos obsoletos o innecesarios en el área de trabajo.
- Importancia de tomar conciencia y garantizar la seguridad de las personas y su entorno. Elaboración de un mapa de seguridad de la máquina y análisis de riesgo en la zona operativa.
- Identificación del estado de deterioro de la máquina mediante el uso de:

- Tarjetas de anomalías o defectos.
- Lista de problemas y OPL's.
- IOA's (Inspección Operativa Autónoma) provisorias.
- Lista de fuentes de contaminación
- Lista de lugares de difícil acceso.

Paso 2: Primeras mejoras:

- Eliminar problemas y fuentes de contaminación identificadas en el Paso 1.
- Plantear arreglos o modificaciones en aquellos lugares inaccesibles (punto que se conecta con la gestión temprana vista en la oportunidad de mejora #5).
- Plantear ideas de optimización sobre los procedimientos actuales de limpieza, lubricación y ajuste.

Paso 3: Estándares de limpieza / inspección:

- Asegurar la condición básica de la máquina mediante la definición de:
  - Estándares de limpieza, lubricación y ajuste.
  - Estándares de calidad.
  - IOA's definitivas.
  - Uso intensivo de controles visuales (lo que en TPM se conoce como gestión visual).

Paso 4: Realizar inspecciones generales de máquina:

- Desarrollar operadores competentes en la operación y en el mantenimiento de la máquina (para evitar errores humanos).
- Extender el uso de los controles visuales.

Paso 5: Realizar inspecciones generales de proceso:

- Desarrollar operadores competentes que comprendan el proceso.
- Extender el uso de IOA's a las fronteras del equipo.

Paso 6: Sistematizar el Mantenimiento Autónomo:

- Introducir normas de calidad y seguridad en la gestión del activo.
- Mejorar las eficiencias de las IOA's.
- Crear un sistema para detectar y corregir defectos de calidad.

Paso 7: Practicar la autogestión plena:

- Reducir el costo de Mantenimiento y Operación del equipo.

- Consolidar las actividades de mejora alcanzadas en los pasos anteriores.
- Medir parámetros de Confiabilidad y Mantenibilidad.

6.3. Conclusiones del capítulo

Este sexto capítulo cierra el trabajo de tesis. En la sección 6.1. se seleccionó y justificó el uso de herramientas específicas del Lean Maintenance para el posterior desarrollo de acciones de mejora en cada una de las 6 oportunidades obtenidas en el capítulo 5. Con esto, se da por completado el cuarto objetivo específico de la tesis:

- ✓ *"**Proponer** la aplicación de **herramientas del Lean Maintenance** como medios necesarios para la realización de las **acciones de mejora específicas** a definir para cada oportunidad de mejora".*

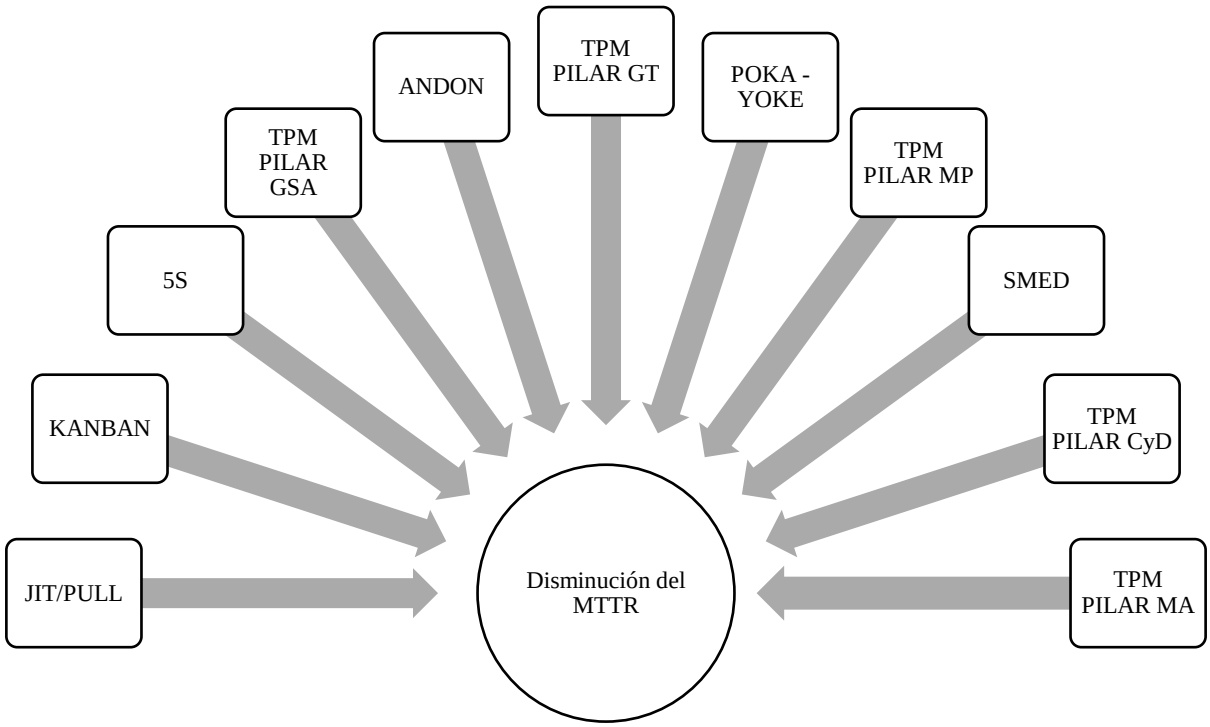


Figura 6.3-1. Herramientas de la filosofía Lean Maintenance escogidas para desarrollar las oportunidades de mejora encontradas en la búsqueda de la disminución del MTTR. Fuente: Elaboración propia.

En la sección 6.2 se termina de dar forma al plan de mejoramiento de la mantenibilidad, a través de la creación de una plantilla tipo (Tabla 6.2-1), que resume para cada oportunidad de mejora todo el trabajo realizado en los capítulos previos, y detalla el paso a paso de las acciones de mejora según la metodología de las herramientas Lean seleccionadas en la sección anterior.
De esta manera se da por cumplido el quinto y último objetivo específico de este trabajo de tesis, sobre el diseño final del plan de mejora:

- ✓ *"**Diseñar un plan de mejoramiento** de la mantenibilidad que considere no sólo las acciones, sino también **estándares de procedimientos y ejecución detallados** que permitan una mejor planificación y programación del proceso de reparación de una falla, y con esto una disminución del MTTR".*

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Se concluye acerca del cumplimiento del objetivo general planteado para este trabajo de tesis:

*"Elaborar un **plan de mejoramiento de la mantenibilidad** basado en la **reducción del MTTR**, mediante el uso de herramientas de calidad asociadas a la filosofía **Lean Maintenance**. En este, se detalla el **modo y conjunto de medios necesarios** para llevar a cabo cada **acción de mejora** diseñada para enfrentar, minimizar y eliminar las principales pérdidas **y desperdicios** propios del **proceso general de reparación de una falla**".*

El desarrollo del trabajo comenzó en el capítulo 3, con la elaboración del *Value Stream Map* (VSM) para el **proceso general de reparación de una falla** imprevista (mantenimiento correctivo), de donde pudieron rescatarse 10 focos de trabajos o "estallidos kaizen". De allí se obtuvieron 16 **desperdicios** (listados y categorizados en la tabla 3.3-1). El tipo de desperdicio más repetido fue el de "tiempo de espera", con 5 apariciones. Estos a priori se asocian a una débil relación y/o comunicación poco fluida entre las partes que participan del proceso, y se caracterizan por sumarse directamente sobre el total del MTTR.

Otro tipo de desperdicio repetido fue el de "defecto", con 4 apariciones. Estos se deben principalmente a una incorrecta y/o poco seria planificación del mantenimiento correctivo.

Luego en el capítulo 4, se profundizó sobre cada desperdicio encontrado, describiéndolos y explicando sus causas y efectos a través de la herramienta 5W + 1H. Así, se obtuvo un total de 10 **causas raíces**, asociadas al aumento del MTTR (figura 4.3-1).

En el capítulo 5, y para comenzar con la búsqueda de soluciones, cada causa raíz fue enunciada en forma de **oportunidad de mejora**. Estas fueron valorizadas según los costos y beneficios de su implementación, análisis del cual 6 de las 10 oportunidades iniciales resultaron aceptadas para seguir siendo trabajadas.

Finalmente, en el capítulo 6 se toman estas oportunidades de mejora y se resuelven a través del **Lean Maintenance**. En la primera sección del capítulo se justifica la selección de cada herramienta Lean a utilizar, y en la segunda sección se muestra el resultado final, que es el **plan**

de mejoramiento de la mantenibilidad, consistente en 6 tablas resumen, todas con el mismo formato (tabla 6.2-1), donde se encuentra condensada la información sobre los desperdicios y causas raíces asociadas a cada oportunidad de mejora, las metas (KPI's y entregables), los **recursos utilizados**, y los más importante, un estándar de procedimiento que contiene paso a paso las **acciones de mejora** específicas requeridas para concretar la mejora, según la metodología propia de cada herramienta del Lean Maintenance.

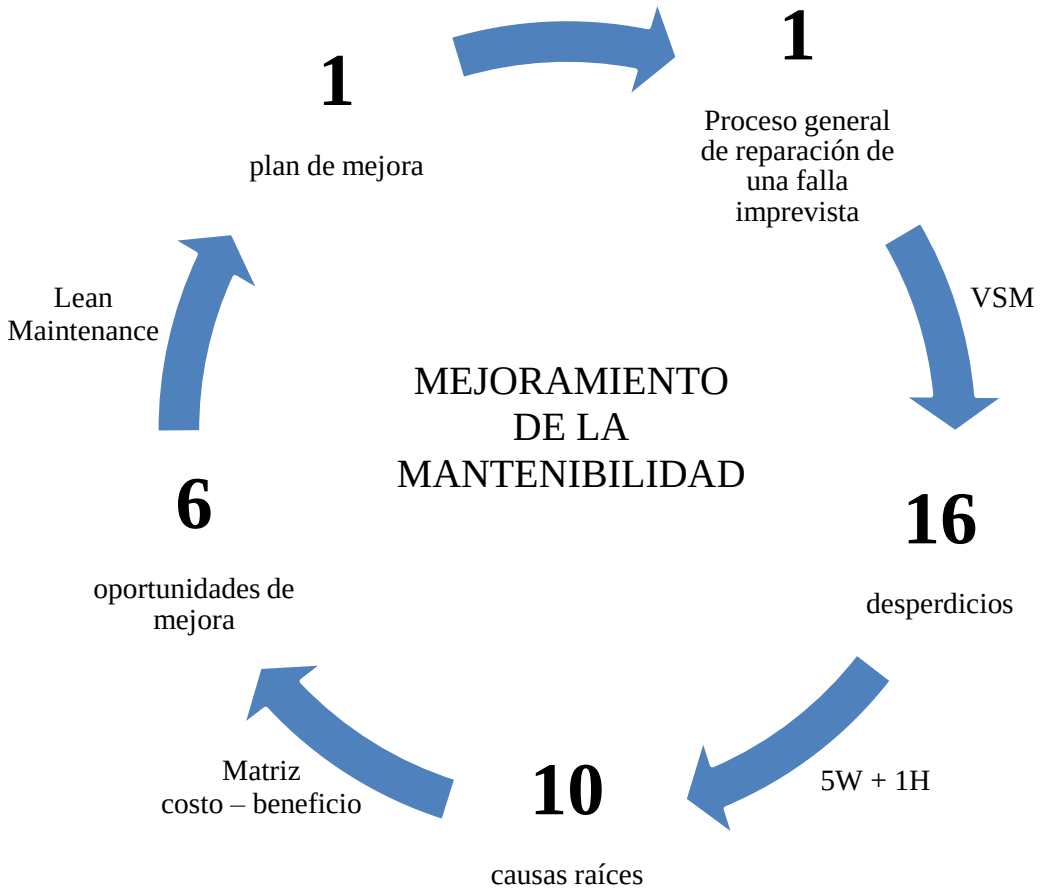


Figura 7-1. Desarrollo del plan de trabajo definido para la tesis, desde el proceso original de mantenimiento correctivo a analizar, hasta la obtención del plan de mejora. Fuente: Elaboración propia.

Con esto se da por finalizado el trabajo de mejora sobre el MTTR, que es la métrica primaria de esta tesis. Como primera recomendación, se considera importante recordar el cuidado que se debe tener sobre las métricas secundarias antes explicadas (seguridad, costos y calidad del mantenimiento correctivo), para evitar que estas empeoren y tengan efectos colaterales negativos al momento de implementar los planes de mejora.

Por otro lado, si bien cada plan de mejora trata sobre un área particular dentro de las empresas (bodega, administración o mantenimiento), el éxito de su implementación depende del interés y participación de todas las áreas en conjunto, por lo que se recomienda extender la información y de una u otra forma hacer a todos partícipes de las iniciativas planteadas en esta tesis, para así aumentar las probabilidades de éxito y asegurar la continuidad de las mejoras en el tiempo.

Como fue mencionado desde un comienzo, este trabajo de tesis no incluye la aplicación de sus resultados dentro de una empresa en específico. Para esta tarea se sugiere desarrollar uno a uno los 6 planes por separado, y así ir alcanzando de forma escalonada una disminución del tiempo de mantenimiento correctivo total que sea considerable.

Para definir el orden en la implementación de cada plan de mejora, se recomienda usar algún método conocido de priorización (matriz costo – beneficio, teoría de las restricciones), de modo que la mejora tenga resultados rápidamente visibles en los aspectos más críticos de cada empresa, y con esto promover la investigación en la optimización del mantenimiento correctivo.

8. REFERENCIAS

[1] https://mine-class.com/que-es-el-lean-maintenance-y-para-que-sirve/

[2] Alejandro J. Pistarelli, Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización, 2010.

[3] https://spcgroup.com.mx/7-mudas/

[4] https://www.slideshare.net/goleansixsigma/lean-six-sigma-the-8-wastes-goleansixsigmacom

[5] Humberto Gutiérrez, Control estadístico de la calidad y Seis Sigma, Segunda edición 2009.

[6] http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/tipos%20rcm.pdf

[7] https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pmo-optimizacion-de-mantenimiento

[8] https://www.vorne.com/solutions/reduce-down-time-in-manufacturing.htm

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA

[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_execution_system

[11] https://www.lucidchart.com/pages/es/iconos-y-simbolos-de-mapas-de-flujo-de-valor

[12] Lourival Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, 1999.

[13] https://controlestadisticocarloscastillo.weebly.com/159-w-1h.html

[14] http://i4is.blackberrycross.com/app/cms/www/index.php?pk_articulo=861

[15] http://www.actiongroup.com.ar/el-tpm-en-las-areas-administrativas/

[16] https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/andon-control-visual/

[17] https://nihonkasetsu.com/es/andon-control-visual-procesos/

Otras fuentes de información utilizadas (trabajos de tesis):

1. SVENSSON, Victor y SUNDIN, Fredric. “Lean study on the maintenance division at Sandvik Coromant”. Tesis (Proyecto de grado. Universidad de Uppsala, Suecia, 2014). Disponible en: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:723613/FULLTEXT01.pdf

2. CORREDOR, Ivonne. “Sin identificación de los 7 desperdicios no hay Lean”. Tesis (Maestría en ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2015). Disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7710/Tesis.pdf

9. ANEXOS

ANEXO 1: Herramientas Lean Maintenance

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es una metodología, o más bien una filosofía dentro del mantenimiento donde la manera de gestionar permite asegurar la disponibilidad y confiabilidad prevista de las operaciones, de los equipos y del sistema, a través de la aplicación de los conceptos de: prevención, cero defectos, cero accidentes, y por sobre todo el de participación total de las personas. Se describe de manera más completa en el capítulo de estado del arte, sección 2.5.1.

JIT/PULL

La finalidad del método JIT es mejorar la capacidad de una empresa para responder económicamente al cambio. El método señalará y dará prioridad a los flujos críticos de la empresa que bloqueen su capacidad de responder al cambio rápidamente. Además, una vez que se hacen visibles todos y cada uno de los flujos críticos, el método JIT fuerza a emprender acciones sobre ellos, estimulando con ello el uso del control de calidad total.

El sistema de jalar (pull) es un enfoque de gestión de operaciones donde la fabricación o la compra de artículos se realiza en respuesta a la demanda, a diferencia del sistema de empujar (push), donde las operaciones se llevan cabo en base a lo que se planea o anticipa.

El enfoque pull se asocia con los sistemas JIT (Just in Time) y es considerado como un sistema flexible. Cuando es la demanda del producto es lo que determina cuánto y cuándo producir, los tamaños de las órdenes de producción son pequeños, se generan bajos costos por inventarios, y un bajo riesgo por obsolescencia del producto.

POKA – YOKE

Técnica creada a finales de la década del 50 por el japonés Shigeo Shingo, ante la frustración de no lograr alcanzar 0 defectos al final del proceso de manufactura. Se popularizó una década más tarde, en la línea de producción de Toyota dentro de lo que se conoce como Sistema de Producción Toyota (TPS), gran precursor del pensamiento Lean.

Su idea se basa en que los errores son siempre humanos, no de la máquina. De allí el desarrollo de procesos “a prueba de errores”, que buscan la imposibilidad de que el operario pueda equivocarse o que, como mínimo, al equivocarse sea tan evidente el defecto, que se vea casi obligado a corregirlo.

5S

Herramienta también japonesa, creada para hacer más eficiente el uso de los lugares de trabajo, mediante la eliminación de sus desperdicios. El sistema de aplica en 5 pasos, cada uno de los cuales comienza con la letra S:

1. Clasificación (**S**eiri): Eliminar elementos innecesarios del área.
2. Orden (**S**eiton): Identificar y organizar el almacenamiento.
3. Limpieza (**S**eiso): Limpiar e inspeccionar el área de forma regular.
4. Estandarizar (**S**eiketsu): Incorporar procedimientos operativos.
5. Disciplina (**S**hitsuke): Asignar responsabilidades. Seguimiento al sistema.

Estos pasos se alimentan entre sí, por lo que la seguir el orden de la secuencia es importante:

- Eliminar los elementos innecesarios en el paso 1, proporcionará el espacio necesario para organizar los elementos importantes en el paso 2.
- Una vez que el espacio de trabajo esté despejado y organizado, la suciedad y la mugre pueden detectarse y eliminar más fácilmente en el paso 3.
- Las nuevas tareas en el área de trabajo deben reflejarse en procedimientos actualizados a través del paso 4.
- Los nuevos procedimientos no serán suficientes, a menos que se asigne responsabilidades y haga un largo seguimiento del progreso en el área, como se pide en el paso 5. Así los trabajadores adoptarán esta forma de trabajar y aplicarán constantemente la secuencia de pasos, cerrando un gran ciclo de mejora continua.

Kaizen

Dentro de los 8 pilares del TPM nombrados en la sección 2.5.1. se encuentra el de “Mejora Enfocada” (Kobetsu Kaizen). Como su nombre lo indica, las actividades desarrolladas en este pilar **enfocan** u orientan los esfuerzos de un grupo de personas para resolver problemas

específicos, concretos y de cierta complejidad. Puede aplicarse, por ejemplo, para mejorar la eficiencia global de un equipo o sistema productivo completo.

Se forma un equipo interdisciplinario con personal de producción, operadores, especialistas de mantenimiento, ingenieros o cualquier integrante de la compañía que conozca y tenga alguna vinculación con el tema a resolver. Luego, se aplica un método del tipo paso a paso que incluya al conocido Ciclo de Deming o PHVA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar). El pilar de Mejora Enfocada hace uso de esta herramienta y pone en marcha un círculo virtuoso para la resolución de problemas.

Sistemas visuales

La "gestión visual" es una conocida herramienta Lean, que ayuda a mantener informados y enterados a todos los involucrados de un proceso sobre sus avances y actualizaciones. La clave está en saber comunicar a través de señales llamativas y fáciles de entender, con la menor cantidad de palabras posibles.

Es una valiosa arma dentro del TPM, más específicamente en el pilar "Mantenimiento Autónomo". Aquí se aplica por ejemplo, colocando sobre las máquinas, placas o marcas que identifiquen los lugares estratégicos como puntos de lubricación. Se utiliza una convención de colores o números que vinculan unívocamente un punto de lubricación con el tipo de lubricante, disminuyendo el riesgo de lubricar puntos con productos no apropiados. También puede identificarse el sentido de giro en motores, el desplazamiento máximo de mecanismos, el sentido de flujo de cañerías, o cualquier otra variable importante tanto para la operación de la máquina, como para su mantenimiento.

SMED

"Single-Minute Exchange of Dies" es un sistema de reducción en los tiempos de cambios en la maquinaria de un proceso. Su esencia es la optimización de cada movimiento que los mantenedores realizan durante la ejecución de algún cambio de piezas o reparo en general. Un SMED exitoso tendrá los siguientes beneficios:

- Lotes más pequeños (cambios más rápidos permiten aumentar su frecuencia).

- Mejora la capacidad de respuesta a la demanda del cliente (lotes más pequeños permiten una programación más flexible).
- Menores niveles de inventario (lotes más pequeños posibilita inventarios más pequeños).

ANEXO 2:

EMPRESA	Página:
	Orden de trabajo N°:
	Trabajo programado N°:

Datos de Cabecera

Fecha de emisión:	Centro de Costo:
Especialidad:	Sector:
Activo Físico:	Elemento a intervenir:
N° de Serie:	Frecuencia de la tarea:
Ubicación:	Condición:

Datos de Trabajo

Descripción del trabajo:	Riesgos Potenciales y EPP:
Procedimiento/s:	Fecha Programada de inicio:

Tareas / Especialistas

N°Tarea	Descripción de la tarea	Especialista	Hs Previstas	Respuesta
# 1				
# 2				
# 3				
# 4				
# 5				
# 6				

Lista de Materiales

Código	Descripción del material	Cantidad	UM

Lista de Herramientas

Código	Descripción de la herramienta	Cantidad	UM

Firma Responsable de Producción:	Firma Responsable de Seguridad:

Firma Supervisor de Mantenimiento:

Figura I Anexo 2. Modelo característico de Orden de Trabajo (OT) Fuente: [2].