

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



“MANEJO DE LA CADENA DE
ABASTECIMIENTO Y LOGÍSTICA EN UN
MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO”

VALENTINA ANDREA JIMÉNEZ DÍAZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA:	Ing. RAFAEL MENA YANSSEN
PROFESOR CO-REFERENTE:	Ing. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

JULIO – 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a quienes me inspiraron a tomar este camino profesional, a mis profesores por las enseñanzas entregadas que van mucho más allá de lo técnico, y por haberme hecho sentir como en familia durante mis años de estudiante.

A mi profesor guía por apoyarme y creer en mis habilidades y talentos desde hace años y por acompañarme en este último desafío.

También a mis amigos, quienes siempre fueron un gran apoyo incondicional y casi una familia para mí durante estos ocho años.

Muy especialmente a mi mamá, ya que, sin su apoyo incondicional, su motivación de superación, su ejemplo de vida y amor no habría podido llegar a conseguir este gran logro para ambas.

RESUMEN

Este trabajo busca generar las bases para la gestión de la cadena de suministro y la logística de un modelo de gestión de mantenimiento con el objetivo de mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de los equipos mediante el uso de herramientas de mejora continua, metodologías Lean y Six Sigma aplicadas a logística y suministros, para lograr los objetivos, tanto de mantenimiento como de la empresa, basados en la agregación de valor eliminando las no conformidades en el proceso.

Para generar la propuesta, se realizó un estudio de las metodologías existentes para Supply Chain Management que se basan en la mejora continua y que son aplicables a ciclos y procesos de mantenimiento, y en las cuales se identifican oportunidades de mejora en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.

Posteriormente, se realiza un análisis de la influencia y la relación entre los procesos de abastecimiento y las etapas de un modelo de gestión del mantenimiento genérico, concluyendo sobre la forma en que los procesos interactúan con cada una de las etapas.

Luego, se realiza un análisis para determinar los procesos críticos de abastecimiento de mantenimiento y la relación que estos tienen con el modelo de negocios. Se asignan las responsabilidades y liderazgos para cada proceso.

Finalmente se presenta una propuesta de metodología para la mejora de los procesos de abastecimiento y logística en base a la mejora continua y agregación de valor.

ABSTRACT

This work seeks to generate the bases for the management of the supply chain and the logistics of a maintenance management model with the aim of improving the availability and reliability indicators of the equipment through the use of continuous improvement tools, Lean and Six Sigma methodologies applied to logistics and supplies, to achieve the objectives, both maintenance, and the enterprise, based on the value aggregation by eliminating non-conformities in the process.

To generate the proposal, a study has been made of the existing methodologies for Supply Chain Management that are based on continuous improvement and that are applicable to maintenance cycles and processes, and in which improvement opportunities are identified in the availability and reliability indicators.

Subsequently, an analysis of the influence and relationship between the supply processes and the stages of a generic maintenance management model is made, concluding on the way in which the processes interact with each of the stages.

Then, an analysis is carried out to determine the critical maintenance supply processes and the relationship they have with the business model. Responsibilities and leadership are assigned for each process.

Finally, a methodology proposal is presented to improve the supply and logistics processes based on continuous improvement and value aggregation.

GLOSARIO

ACR: Análisis de causa raíz.

ACSI: Administración de la cadena de suministro interna

Activo: Es un bien que posee una empresa y que puede convertirse en dinero o en otros medios líquidos u equivalentes.

Ajuste estratégico: Análisis que se realiza dentro del proceso de evaluación y selección de estrategias para reconocer o identificar aquellas alternativas u opciones estratégicas que son oportunas o convenientes para la empresa.

AMFE: Análisis de modo de falla y efectos.

ARC: Administración de la relación con el cliente.

ARP: Administración de la relación con el proveedor.

Backlog: Acumulación de demanda no satisfecha.

Cadena de valor: Modelo que permite describir las actividades de una organización que permiten agregar valor al producto final (Michael Porter).

Ciclo de vida del activo: Involucra todo lo que le sucede al activo desde su incorporación a un proyecto hasta su descarte.

Costo de oportunidad: Hace referencia a lo que se pierde o a lo que se renuncia al momento de tomar una decisión. También se refiere al costo de la inversión de los recursos a costa de la mejor alternativa de inversión disponible.

EBITDA: Beneficio bruto antes de impuestos, intereses, amortizaciones y depreciaciones.

FMECA: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

KPI: (Key Performance Indicator) Indicador clave de rendimiento. Permite medir el nivel de rendimiento de un proceso.

Manufactura esbelta: Modelo de gestión que se enfoca en la creación de flujo entregando el máximo valor a los clientes, utilizando la menor cantidad de recursos necesarios posible.

Metodología: Grupo de mecanismos o procedimientos racionales que se emplean para el logro de un objetivo.

Misión: Corresponde al primer paso de la planificación estratégica describe el concepto y la naturaleza de la organización, justifica la existencia, propósitos y funciones de esta.

Outsourcing: Es el término que se refiere a la subcontratación, en donde una empresa externaliza recursos a través de un contrato.

Plan de negocio: Documento donde se describe y explica un negocio a realizar. Incluye los objetivos, estrategias, estructura organizacional, el monto de inversión, entre otros aspectos.

Producción: Actividad que aporta valor agregado por creación y suministro de bienes y servicios. También se refiere a la capacidad de un factor productivo para crear determinados bienes en un periodo de tiempo. Además, se refiere al área encargada de llevar a cabo los objetivos del factor productivo.

Proveedores: Es el ente, ya sea una empresa o persona, que abastece a otros con artículos que serán transformados.

RCM: (Reliability Centered Maintenance) Mantenimiento centrado en confiabilidad.

ROA: Relación entre el beneficio logrado en un determinado período y los activos totales de una empresa.

SAE-JA1011/ SAE-JA1012: Conjunto de normas que establecen criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para corresponder a un RCM.

Stock: Cantidad de bienes o productos destinados a un objetivo con el cual cuenta una organización.

TIR: Tasa interna de retorno, porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida relativa de la rentabilidad.

TPM: (Total Productive Maintenance) Mantenimiento productivo total, es una filosofía que se enfoca en la eliminación de las pérdidas en la producción debidas al estado de los equipos, busca aumentar su disponibilidad para la capacidad de producción máxima de productos con una calidad esperada.

Valor Agregado: Valor económico adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados durante el proceso productivo.

Visión: Corresponde al lugar en donde la organización quiere posicionarse estratégicamente en un futuro definido.

Waste: Corresponde al desperdicio o no conformidades de un proceso, a todo aquello que no agrega valor al producto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
GLOSARIO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN.....	xiii
1 Objetivos y Planteamiento del Problema.....	14
1.1 Objetivos	14
1.2 Problema de Investigación	15
1.3 Antecedentes	15
1.4 Alcances	16
1.5 Marco Teórico	16
2 Influencia de la Cadena de Abastecimiento y Logística en las etapas y procesos de la gestión del mantenimiento.....	72
2.1 Análisis de la relación entre la Cadena de Abastecimiento y un Modelo de Gestión del Mantenimiento.....	73
3 Relación entre Procesos críticos de abastecimiento y el modelo de negocios	88
3.1 Procesos críticos de abastecimiento.....	88
3.2 Modelo de negocios	89

3.3	Asignación de liderazgos a los procesos críticos de abastecimiento	92
4	Propuesta de metodología para el manejo logístico y de abastecimiento de mantenimiento	98
4.1	Recursos clave del abastecimiento de mantenimiento.....	99
4.2	Metodología de manejo de abastecimiento y logística para el mantenimiento	105
4.3	Ejemplo de aplicación de la metodología de manejo de abastecimiento y logística para una compañía minera en Chile.....	112
5	Recomendaciones generales para la implementación de la metodología propuesta	126
	CONCLUSIONES.....	128
	REFERENCIAS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resumen de Tipos de Falla y Modos de Falla. Fuente: Manual de Mantenimiento: Ingeniería Gestión y Organización.	48
Tabla 3.1: Asignación de Liderazgos a Procesos de Abastecimiento. Fuente: Elaboración Propia	98
Tabla 4.1: Detenciones por Mantenimiento Correctiva de palas Ocurridas en 2016. Fuente: Mejora del Proceso de Mantenimiento para Equipamiento Minero de Gran Envergadura Utilizando el Ciclo de Gestión de Riesgo.	122
Tabla 4.2: Fallas de Equipos de Carguío con Tiempos Superiores a 100 hrs. Ocurridas entre 2015-2016. Fuente: Mejora del Proceso de Mantenimiento para Equipamiento Minero de Gran Envergadura Utilizando el Ciclo de Gestión de Riesgo.	122
Tabla 4.3: Tiempos Reales por Imprevisto. Fuente: Mejora del Proceso de Mantenimiento para Equipamiento Minero de Gran Envergadura Utilizando el Ciclo de Gestión de Riesgo.	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama del Modelo de Gestión del Mantenimiento con sus 8 Etapas. Fuente: The Maintenance Management Framework 1ª ED.....	20
Figura 1.2: Ciclo de Trabajo del Mantenimiento. Fuente. Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales 1ª Ed.....	25
Figura 1.3: Procesos de Empuje/Tirón. Fuente: Administración de la Cadena de Suministro.	28
Figura 1.4: Ciclos de los Procesos de una Cadena de Abastecimiento. Fuente: Administración de la Cadena de Suministro.....	29
Figura 1.5: Espectro de la Capacidad de Respuesta. Fuente: Administración de la Cadena de Suministro.	32
Figura 1.6: Zona de Ajuste Estratégico. fuente: Administración de la Cadena de Suministro.	32
Figura 1.7: Factores Internos y Externos para el Aumento de la Mantenibilidad. Fuente: Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización.....	54
Figura 1.8: Esquema de Disponibilidad. Fuente: Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización.....	57
Figura 2.1: Frontera Eficiente Costo - Capacidad de Respuesta Fuente: Administración de la Cadena de Suministro.....	76
Figura 2.2: Comparación entre Cadenas de Suministro Eficientes y con Capacidad de Respuesta. Fuente: Administración de la Cadena de Suministro.	79
Figura 2.3: Curva de la Bañera. Fuente: mantenimientoindustrialdeequipos.blogspot.com/p/blog-page_1.html	80
Figura 2.4: Matriz de Criticidad Genérica. Fuente: Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería.	81
Figura 3.1: Procesos Críticos de Abastecimiento de Mantenimiento. Fuente: Elaboración Propia.	89
Figura 3.2: Modelo de Negocios Genérico.....	90

Figura 4.1: Metodología de manejo de abastecimiento y logística de mantenimiento. Fuente: Elaboración Propia.	107
Figura 4.2: Ciclo de trabajo de mantenimiento y abastecimiento genérico. Fuente: Elaboración Propia.	108
Figura 4.3: Procesos de Planificación de Mantenimiento de Palas. Fuente: Mejora del Proceso de Mantenimiento para Equipamiento Minero de Gran Envergadura Utilizando el Ciclo de Gestión de Riesgo.	115
Figura 4.4: Procesos de mantenimiento en base a la metodología Propuesta. fuente: Elaboración Propia.	118
Figura 4.5: diagrama de Ishikawa para el Problema de Información del Sistema Elipse. Fuente Elaboración Propia.	120

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria chilena se han estado incorporando diversas herramientas de mejora continua tanto en los ámbitos administrativos como operacionales, generando propuestas de valor a diversos niveles organizacionales.

Las herramientas de mejora continua han sido utilizadas ampliamente en las áreas dedicadas al mantenimiento de equipos, específicamente centradas en un incremento en la disponibilidad y confiabilidad de equipos que prestan servicios a producción, y enfocados netamente en los procesos y procedimientos de mantenimiento puro.

Sin embargo, se presentan alternativas de mejora para los indicadores de mantenimiento a través de la mejora de los procesos de soporte a estas actividades, como lo son el abastecimiento y la logística.

Este trabajo de título busca generar un vínculo entre el mantenimiento y sus procesos de logística y suministros, de tal forma que se pueda ver y entender la manera en que éstos agregan valor a los procesos de mantenimiento, y como a través de ellos se puede obtener un mejor ajuste estratégico entre los objetivos de la organización y los objetivos del mantenimiento.

Para lo anterior, se realiza un análisis de los modelos de gestión de mantenimiento, su relación con el modelo de negocios y con los procesos de abastecimiento y logística, y se propone una metodología de mejora continua basada en las filosofías Lean y Six Sigma aplicadas a Supply Chain y logística.

1 OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es proponer una metodología basada en la teoría de Supply Chain Management para la administración de los recursos de mantenimiento que permita incrementar indicadores de confiabilidad y disponibilidad, mediante la búsqueda de eficiencia en procesos de abastecimiento y logística que permitan una mejora en la gestión de repuestos, mano de obra, externalización de servicios y contratos con proveedores.

Para el cumplimiento del objetivo general se deben alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar antecedentes y analizar el estado del arte.
- Analizar la influencia de la cadena de abastecimiento en los procesos y etapas de un modelo de gestión de mantenimiento genérico de referencia.
- Identificar procesos críticos de la cadena de abastecimiento y determinar cómo afectan al modelo de negocios.
- Proponer un manejo logístico y de abastecimiento que mejore los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.
- Generar recomendaciones para el manejo de la cadena de abastecimiento y logística.
- Concluir respecto de la factibilidad, restricciones e impacto de la metodología propuesta y analizada.

1.2 Problema de Investigación

Dentro de un modelo de gestión del mantenimiento de excelencia, se identifican etapas necesarias para la realización del proceso de mantenimiento, dentro de las cuales se encuentra el diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios, y en específico la determinación de repuestos críticos.

La forma de proveer los recursos al mantenimiento repercute en las demás etapas del proceso, afectando los niveles de mantenibilidad requeridos, tanto incrementándolos como disminuyéndolos.

Se busca establecer la forma en que el manejo de la cadena de abastecimiento y logística afecta a las demás etapas del proceso de mantenimiento e identificar puntos críticos que repercuten en la estrategia del modelo de negocios, para generar recomendaciones que permitan mejorar los niveles de disponibilidad y confiabilidad de los equipos a cargo del área de mantenimiento, así como mejorar la calidad de servicio que la unidad presta al área de producción.

1.3 Antecedentes

Este trabajo representa una propuesta de metodología aplicable a un modelo de gestión del mantenimiento de excelencia basado en teorías de administración de la cadena de abastecimiento y gestión de logística que han sido propuestas para la producción y distribución de productos terminados, por lo tanto, se han interpretado de tal forma que se puedan incorporar solo aquellos aspectos que son aplicables a la logística de abastecimiento del mantenimiento, o bien aquellos que se pueden asimilar a los procesos de mantenimiento.

El análisis teórico y las propuestas metodológicas a plantear se basan en un Modelo de Gestión de Mantenimiento de Excelencia de ocho etapas basado en un ciclo de mejora continua presentado en 2011 en la revista Chilena de Ingeniería por los profesores del Departamento de Industrias USM, F. Kristjanpoller, R. Stegmaier y P. Viveros, y los profesores del Departamento de Mantenimiento Industrial de la Universidad de Sevilla, L. Barbera y A. Crespo [1]. El Modelo antes mencionado ha sido incorporado por el Profesor R. Valdenegro del Departamento de Ingeniería Mecánica USM, a un trabajo en donde una recopilación de modelos de gestión está siendo adaptada a la realidad de la gran industria minera en Chile, y que busca que los objetivos y prioridades estratégicas del negocio sean incorporadas a la gestión del mantenimiento.

1.4 Alcances

El presente trabajo entrega una visión de las aplicaciones de “Supply Chain Management y “Lean Six Sigma Logistics” para apoyar las tareas y procesos de mantenimiento en un contexto general aplicable a diversos rubros que consideren un modelo de negocios similar al planteado como base para el análisis.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Conceptos Básicos

1.5.1.1 Cadena de Abastecimiento

La Cadena de Abastecimiento es el conjunto global de actores que están involucrados en la elaboración de un producto terminado, vale decir, proveedores, transportistas, almacenes, vendedores finales o detallistas, entre otros, que permiten la satisfacción de los clientes indirectamente, ya sea abasteciendo a la producción de partes o materias primas, o bien poniendo el producto terminado a disposición del cliente.

El manejo de la Cadena de Suministro busca generar lazos estratégicos con aliados a lo largo de la misma y así contribuir al desarrollo exitoso del modelo de negocios, optimizando el flujo de los recursos y contribuyendo a la competitividad de la empresa en el mercado, mediante la agregación de valor a la cadena.

Según los autores Chopra y Meindl, “El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. El valor que una cadena de suministro genera es la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena incurre para cumplir la petición de este” [2].

La mayoría de las teorías de “Supply Chain Management” están enfocadas al manejo de recursos para modelos de fabricación de productos. Sin embargo, es posible abstraer la metodología para la gestión de los recursos de mantenimiento, entendiendo al área como un prestador de servicios de mantenimiento a producción, transformándose a la vez en un aliado estratégico y un ente de la cadena de abastecimiento de producción.

1.5.1.2 Logística

La Logística es un concepto que tiene su origen en lo militar, y que posteriormente se extendió a un uso civil, definiéndose como un “proceso en donde se administra el flujo y almacenamiento de materias primas, de existencias en proceso y de bienes terminados desde su origen hacia el consumidor final, de forma estratégica” [3].

Los procesos logísticos están presentes en diversos aspectos de la vida humana tanto en la vida cotidiana como en la planificación de la producción, y al ser un proceso intrínseco del ser humano muchas veces es considerado como un proceso implícito de la planificación del trabajo. Con los años el estudio de la logística ha demostrado la gran oportunidad de mejora que se presenta a partir de la gestión de la logística, no solo para los procesos de producción, sino para la cadena de suministro completa, afectando a todas las organizaciones que la componen.

La logística consta de tres componentes: logística de aprovisionamiento, logística interna y logística de distribución. Todas las que en un mayor o menor grado pueden relacionarse con los procesos del mantenimiento.

Dentro de los objetivos de la gestión logística se encuentran: objetivos financieros, objetivos del mercado, objetivos dentro de la empresa, objetivos de gestión de stocks y de transporte. Cada uno presenta oportunidades de mejora de la cadena de abastecimiento, pero dada la naturaleza del mantenimiento el presente trabajo abordará los objetivos de gestión de stock y de transporte.

1.5.2 Modelo de Gestión del Mantenimiento de Excelencia

En esta sección se expone un modelo de gestión de mantenimiento de excelencia que, se ha conformado mediante el análisis de diversos modelos de gestión propuestos y en base a una recopilación de modelos que están vigentes en la industria. El modelo considerado nace de la necesidad de incorporar la visión estratégica y operacional de la empresa al contexto del mantenimiento y así convertir la teoría en un modelo lo más aproximado a la realidad posible.

El modelo genérico cuenta con dos puntos de partida, es decir, si el modelo se aplica desde la etapa de diseño del proyecto, entonces se debe partir por el análisis del ciclo de vida del activo (LCCA). Si el proyecto al cual se le aplicará el modelo de gestión ya se encuentra en funcionamiento, entonces se comienza por la jerarquización de equipos críticos.

En la Figura 1.1 se muestra un esquema del modelo de gestión del mantenimiento referenciado.

A continuación, se realiza un resumen analítico de lo planteado por los profesores F. Kristjanpoller, R. Stegmaier y P. Viveros, y los profesores del Departamento de Mantenimiento Industrial de la Universidad de Sevilla, L. Barbera y A.Crespo.

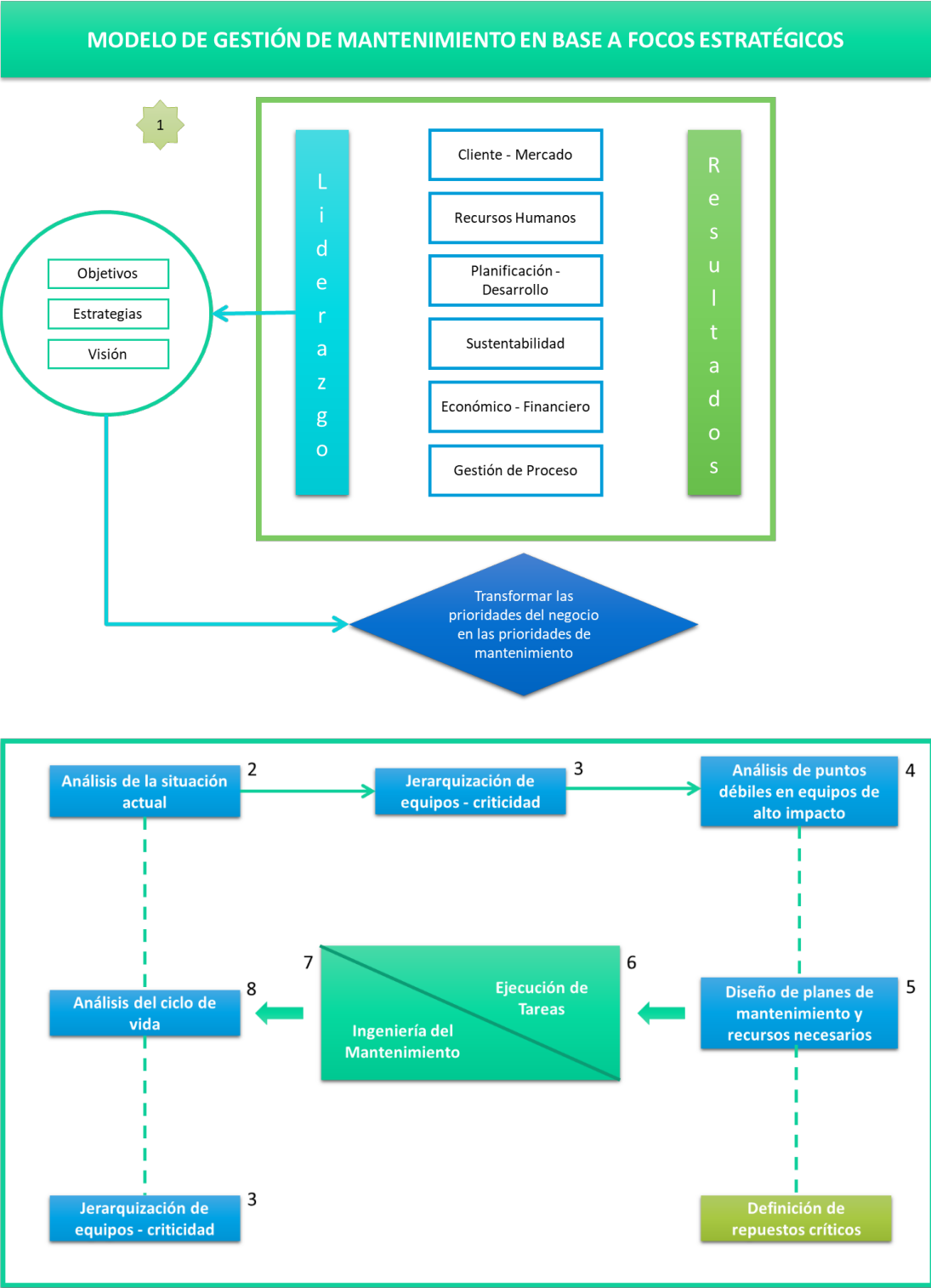


FIGURA 1.1: DIAGRAMA DEL MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CON SUS 8 ETAPAS. FUENTE: THE MAINTENANCE MANAGEMENT FRAMEWORK 1ª ED.

1.5.2.1 Etapa 1: Establecer los propósitos de la empresa

La empresa debe definir y declarar su Misión, Visión y Valores, con el fin de establecer su estrategia y construir su plan de negocio, además de jerarquizar sus objetivos. En base a lo anterior son definidas las prioridades del área de mantenimiento.

1.5.2.2 Etapa 2: Análisis de la situación actual del mantenimiento

Corresponde a un diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento de la empresa, en donde se revisan y definen (si no existen) los objetivos, estrategias y responsabilidades establecidas. Se evalúan aspectos relacionados al mantenimiento de equipos, recursos financieros relacionados al mantenimiento, impacto económico en producción, entre otros. Por otra parte, es fundamental revisar la integración de herramientas y sistemas informáticos (ERP, Softwares de Mantenimiento, Softwares de Gestión del Mantenimiento).

Con respecto al correcto desempeño de la gestión del mantenimiento, se ha de establecer un marco estratégico tendiente al alcance de los objetivos planteados, el cual debe determinar las responsabilidades, del personal de operaciones y de gerencia. Para el diseño de la estrategia se recomienda:

- Determinar los objetivos de mantenimiento en base a los objetivos de la empresa.
- Comparar el rendimiento real de producción con las capacidades nominales.

- Determinar indicadores clave para la evaluación del rendimiento de producción.
- Describir la situación actual de la ejecución del mantenimiento.

A partir de lo anterior, se define un plan genérico de mantenimiento, el cual se enfoca en los activos críticos para producción (a definir en la Etapa 3). A continuación, se establece la asignación de recursos necesarios para el cumplimiento del plan. Lo anterior genera como resultado un programa detallado incorporando las tareas y los recursos correspondientes.

Cabe señalar que se espera que el área de operaciones asegure que las tareas de mantenimiento puedan llevarse a cabo adecuadamente.

1.5.2.3 Etapa 3: Jerarquización de equipos

Se jerarquizan los equipos según nivel de criticidad, es decir, según el impacto que generan tanto en el sistema productivo global, así como en la seguridad del sistema.

Para efectos de la jerarquización se pueden considerar diferentes métodos ya sean cualitativos, cualitativos – cuantitativos, o cuantitativos. Usualmente, el proceso que se utiliza es el de RCM (Reliability Centered Maintenance), en el cual se realizan análisis como Modo de Falla y FMECA. Luego de clasificar los activos, se deben considerar los de mayor criticidad para su análisis. Existe la posibilidad de no contar con datos o antecedentes de los equipos, en estos casos se puede recurrir a una metodología cualitativa.

1.5.2.4 Etapa 4: Análisis de puntos débiles de equipos de alto impacto

Antes de llevar a cabo las acciones del plan de mantenimiento en los equipos críticos se debe realizar un análisis de posibles fallos repetitivos o crónicos, es decir, aquellos que su frecuencia se puede considerar excesiva. Lo anterior se puede realizar mediante un Análisis de Causa Raíz (ACR) y se debe considerar todo el historial del equipo.

1.5.2.5 Etapa 5: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

El proceso de construcción de un plan de mantenimiento consta de dos etapas principalmente. La primera es la recopilación de información de los equipos, en donde se establecen las funciones del equipo en el contexto operacional y las posibles fallas para cada una de ellas (incluyendo un AMFE y ACR). Con la información recopilada, se realiza una evaluación de las consecuencias de la falla, en los ámbitos operacional, seguridad, medio ambiente y costo.

En una segunda etapa, se establecen las tareas preventivas que se realizarán en los equipos, siempre y cuando éstas sean rentables económicamente y técnicamente factibles. Asimismo, se fija la frecuencia con que se deben realizar las tareas, los responsables de estas y los recursos necesarios. Finalmente se indica el riesgo resultante de la aplicación del plan preventivo de mantenimiento.

Se recomienda la aplicación del proceso de RCM para la elaboración de los planes de mantenimiento, ya que es ampliamente utilizado y conocido, además, se rige por las normas SAE-JA1011 y SAE-JA1012.

1.5.2.6 Etapa 6: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos

El Ciclo Corto del Mantenimiento, o Ciclo Habitual, corresponde a las tareas de mantenimiento. El ciclo consta de 3 etapas:

- **Realizar programación detallada:** Se incorporan todas las actividades de mantenimiento considerando las necesidades de producción y su costo de oportunidad. La programación se debe realizar optimizando los recursos y minimizando el impacto en la producción. Esto se debe realizar a corto, mediano y largo plazo.
- **Ejecutar el mantenimiento:** Intervención de los equipos y tareas propias del mantenimiento, cumpliendo con los procedimientos y estándares establecidos.
- **Evaluar y controlar la ejecución del mantenimiento:** Se evalúan y controlan las desviaciones para revisar que la ejecución del mantenimiento se haya realizado de acuerdo con los objetivos, para ello se utilizan indicadores clave para el proceso. La información para esta etapa se obtiene desde las hojas u ordenes de trabajo, las cuales deben tener un formato estándar y simple en donde se recopile información relevante para los indicadores, procurando que ésta sea lo más fiable posible.

1.5.2.7 Etapa 7: Ingeniería de Mantenimiento

Corresponde al Ciclo Largo de Mantenimiento, en él se busca mejorar y proyectar el mantenimiento, tomando como base la información recopilada y analizada en la etapa anterior, incorporando las estrategias de mejoramiento continuo.

En la Figura 1.2 se puede visualizar el ciclo que se lleva a cabo en esta etapa.

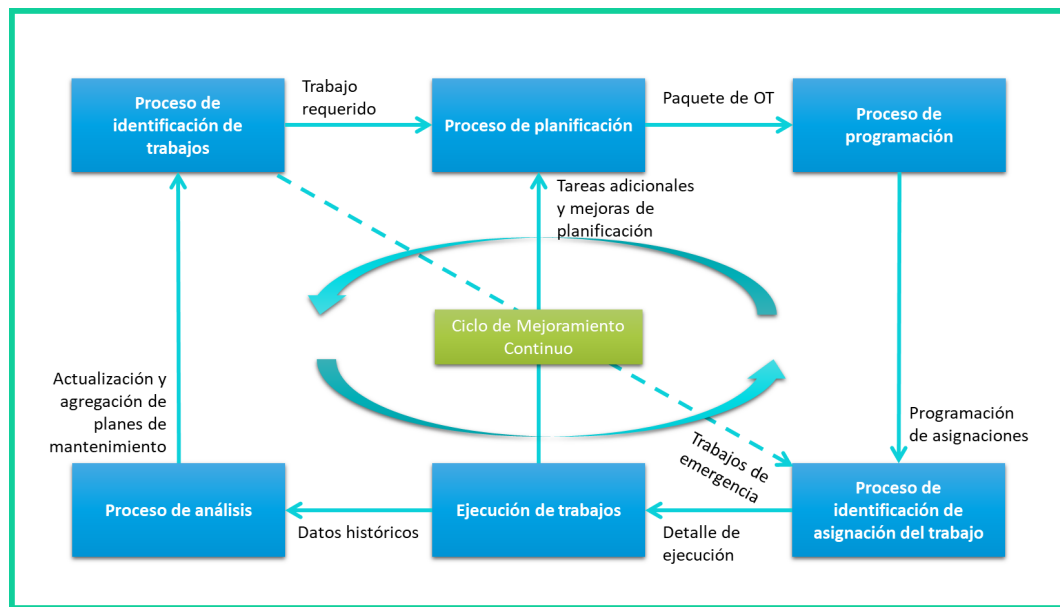


FIGURA 1.2: CICLO DE TRABAJO DEL MANTENIMIENTO. FUENTE. INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN PLANTAS INDUSTRIALES 1ª ED.

1.5.2.8 Etapa 8: Análisis del ciclo de vida del activo

Se valora la importancia del ciclo de vida de los activos respecto del impacto económico de éste. Se deben considerar los factores adecuados, tales como: costos, repuestos, capacitación de mantenedores y operadores, aspecto de operación y mantenimiento, entre otros, para evaluar el cumplimiento de objetivos. Se busca

maximización del retorno sobre los activos (ROA), minimizar el costo del ciclo de vida (LCC) y conseguir una adecuada tasa de retorno sobre inversión (TIR).

Existen herramientas que facilitan la correcta gestión de activos, por ejemplo, OIM (Optimización Integral del Mantenimiento), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y TPM (Mantenimiento Productivo Total).

1.5.3 Administración de la Cadena de Suministro

Anteriormente se ha mostrado una definición de lo que es la Cadena de Suministro, según lo que plantean los autores Chopra y Meindl, no obstante, en esta sección se profundizará en términos de su administración y los objetivos que ésta persigue para el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

Se abordarán los aspectos que se han considerado relevantes y aplicables al caso de la Cadena de Suministro para el mantenimiento, por lo que varios de los temas que los autores antes mencionados describen en su trabajo, Administración de la Cadena de Suministro, han quedado fuera de esta sección, que busca resumir y exponer de forma sintetizada lo que los autores Chopra y Meindl proponen.

Como ya se ha mencionado, el objetivo principal de la Cadena de Suministro es maximizar el valor total generado. Lo anterior puede medirse en base al Superávit de la Cadena, vale decir, la rentabilidad global de la cadena, ya que es un error medir el éxito en función de la ganancia de cada etapa, puesto que no permite obtener una visión completa del aporte de la cadena en general.

1.5.3.1 Fases de decisión de una cadena de suministro

El flujo de información de la Cadena de Suministro es uno de los aspectos más importantes desde el punto de vista estratégico pues permite realizar la toma de decisiones para la correcta y exitosa administración. La toma de decisión está compuesta por tres fases, las que dependen del momento y frecuencia durante la cual tiene impacto la decisión tomada. Las fases se pueden clasificar como diseño, planeación y operación.

1.5.3.2 Enfoque de procesos de una cadena de suministro

La Cadena de Suministro corresponde a una secuencia de flujos y procesos los que ocurren dentro de las distintas etapas y se configuran para satisfacer las necesidades del cliente. En este sentido, existen dos enfoques de proceso en los cuales puede basarse la configuración de la cadena. A continuación, se describen ambos enfoques:

- **Enfoque de ciclo:** Los procesos se dividen en series de ciclos que se realizan en la interfase entre dos etapas sucesivas de la cadena.
- **Enfoque de empuje/tirón:** Los procesos se llevan a cabo de acuerdo con las necesidades del pedido del cliente, es decir, en respuesta al pedido o con anticipación al pedido. El proceso de empuje se inicia con anticipación y el de tirón junto con el pedido.

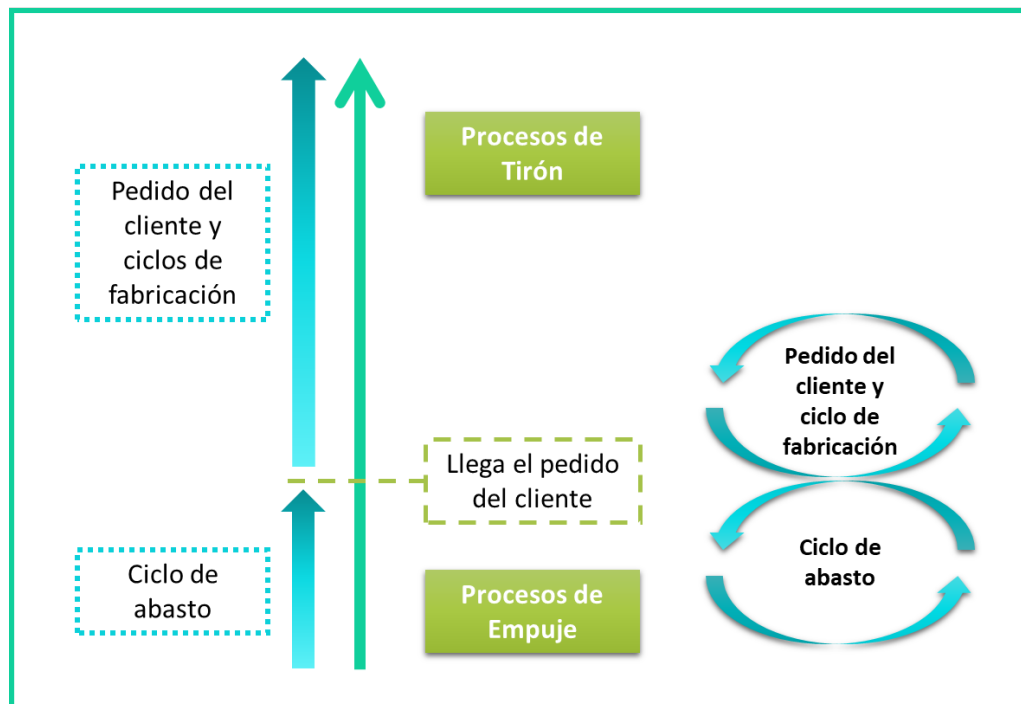


FIGURA 1.3: PROCESOS DE EMPUJE/TIRÓN. FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

Cada ciclo de la cadena se puede subdividir en 4 etapas, las que se ubican entre un ciclo y otro, y corresponden a los ciclos de procesos. Los ciclos y las etapas se pueden visualizar en la Figura 1.4.

El enfoque de ciclo define los procesos claramente y establece a quién pertenece cada una de las etapas, especifica las funciones y responsabilidades de los miembros de la cadena y los objetivos planteados para cada etapa, ayudando así a la toma de decisiones operacionales.



FIGURA 1.4: CICLOS DE LOS PROCESOS DE UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO. FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

1.5.3.3 Procesos macro de la cadena de suministro

Todas las actividades relacionadas a la Cadena de Suministro dentro de una empresa pertenecen a un proceso macro. Existen tres procesos macro los que apuntan a administrar el flujo de información, productos y recursos necesarios para generar, recibir y cumplir con la petición del cliente. Todos los procesos macro apuntan a servir al mismo cliente, y para conseguir el éxito de la cadena es necesario que todos los procesos macro se encuentren bien integrados. A continuación, se detallan y describen los procesos.

- **Administración de la relación con el cliente (ARC):** Corresponde a todos los procesos que se orientan a la interacción con el cliente (mercado, precio, venta, administración de pedidos, etc.).
- **Administración de la cadena de suministro interna (ACSI):** Procesos internos de la empresa (planificación estratégica, planificación de la demanda, planificación del suministro, etc.).
- **Administración de la relación con el proveedor (ARP):** Procesos correspondientes a la interacción entre la empresa y sus proveedores (fuentes, negociación, compra, colaboración para diseño y suministro, etc.).

1.5.3.4 Lograr un ajuste estratégico

El ajuste estratégico se refiere a que tanto la estrategia de la Cadena de Suministro, como la estrategia de la empresa deben estar alineadas para que el cumplimiento de objetivos sea exitoso. Esto se desprende del hecho de que los procesos y funciones la cadena de valor contribuyen al éxito o fracaso de la empresa, estas dos consecuencias están ligadas estrechamente a las siguientes claves:

- La estrategia competitiva y las estrategias funcionales deben ajustarse de forma total y coordinada.
- Las funciones de la empresa deben estructurar sus procesos y recursos para que las estrategias sean ejecutadas exitosamente.
- El diseño y la funciones de la Cadena de Suministro deben ser alineados para apoyar la estrategia de la cadena.

Para alcanzar el ajuste estratégico existen 3 pasos fundamentales, los cuales serán descritos a continuación:

- **Entender al cliente y la incertidumbre de la cadena de suministro:** La compañía o el área debe entender cabalmente las necesidades de sus clientes para poder satisfacer de manera adecuada la demanda teniendo en cuenta el nivel de incertidumbre que existe en la cadena. Para ello se ha de conocer e identificar claramente lo siguiente: la cantidad de producto necesaria; el tiempo de respuesta que los clientes están dispuestos a tolerar; la variedad de productos necesarios; el nivel de servicio requerido; el precio del producto; y el nivel de innovación requerido. La incertidumbre de la cadena y la de los clientes se combinan para ubicarse en el espectro de la incertidumbre.
- **Entender las capacidades de la cadena de suministro:** Corresponde a la capacidad para satisfacer la demanda en un ambiente de incertidumbre. Las Cadenas de Suministro poseen características que influyen tanto en la eficiencia como en la capacidad de respuesta, ésta última debe ser capaz de responder a amplios rangos de demandas; cumplir con cortos períodos de entrega; manejar una gran variedad de productos; construir productos altamente innovadores; cumplir con alto nivel de servicio; y manejar la incertidumbre de la demanda. El espectro de la capacidad de respuesta puede visualizarse en la Figura 1.5.
- **Lograr el ajuste estratégico:** El último paso para lograr el ajuste estratégico consiste en correlacionar la capacidad de respuesta de la cadena con el nivel de incertidumbre implícita de la oferta y de la demanda. Tanto las estrategias funcionales como la estrategia de la empresa deben apuntar a reforzar la capacidad de respuesta de la cadena. En la Figura 1.6 se puede observar un gráfico que combina la zona de incertidumbre con la capacidad de respuesta para encontrar la zona de ajuste estratégico.

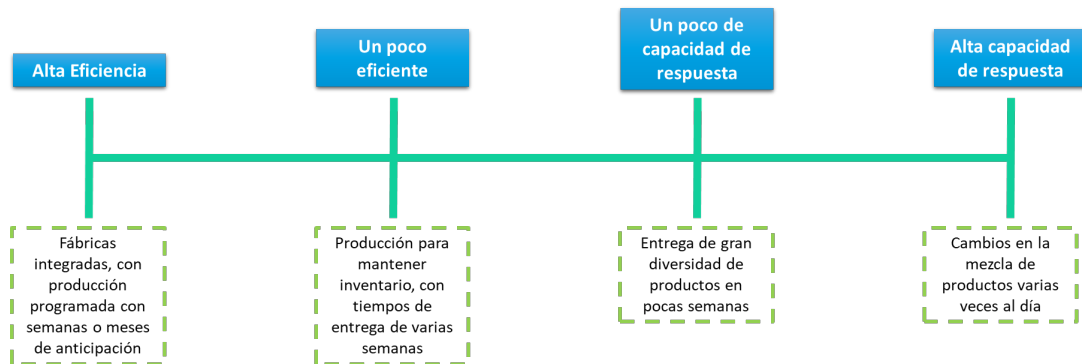


FIGURA 1.5: ESPECTRO DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA. FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

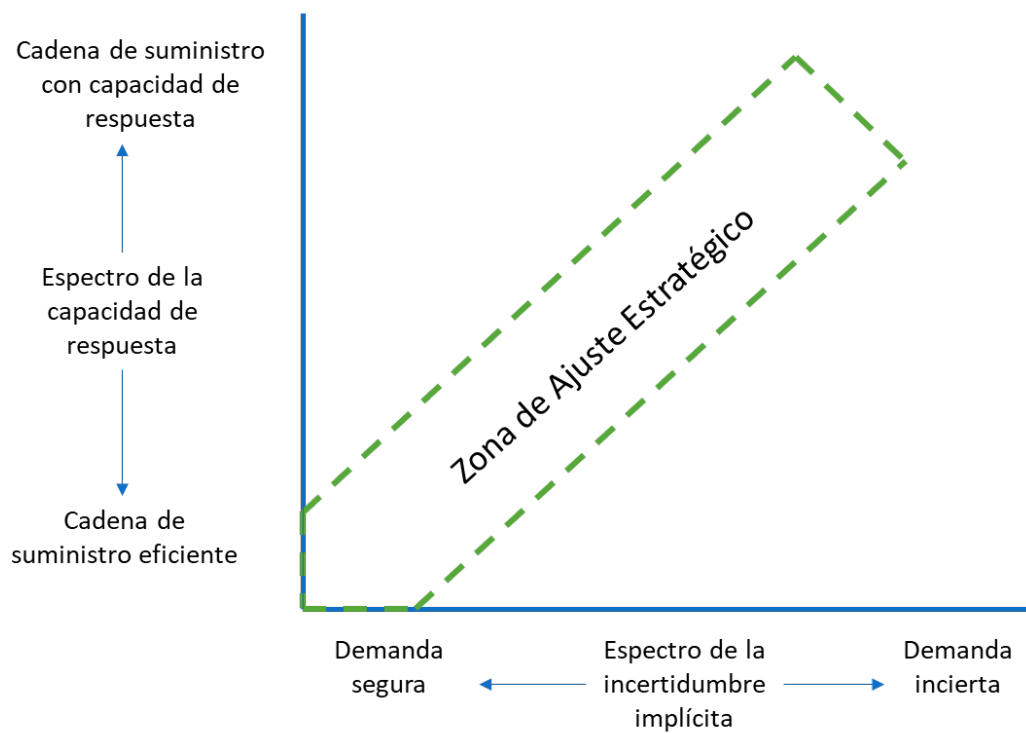


FIGURA 1.6: ZONA DE AJUSTE ESTRATÉGICO. FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

1.5.3.5 Directrices y métricas de la cadena de suministro

En el capítulo 3 del trabajo de Chopra y Meindl, se encuentra información respecto de las directrices y métricas que permiten medir el desempeño de la Cadena de Suministro, en cuanto al alcance de su ajuste estratégico, es decir, qué tanto es capaz la cadena de alcanzar el equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia para satisfacer la estrategia competitiva.

Para determinar el alcance del ajuste estratégico se analizan directrices lógicas (instalaciones, inventario y transporte) y directrices interfuncionales (información, abastecimiento y fijación de precios), las que interactúan para determinar la capacidad de respuesta y eficiencia de la cadena.

- **Instalaciones:** Instalación física donde los productos se almacenan, ensamblan o fabrican. Existen instalaciones de fabricación y de almacenamiento, sin embargo, para el caso del mantenimiento, se considerarán como instalaciones aquellas de almacenamiento de repuestos e insumos. Las decisiones que se deben tomar en cuanto a las instalaciones son: ubicación, tamaño, capacidad y flexibilidad.
- **Inventario:** Se define como la materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados dentro de la cadena, sin embargo, solo serán considerados bienes terminados para el mantenimiento.
- **Transporte:** La forma en que se trasladan los inventarios tiene un gran impacto en la capacidad de respuesta y eficiencia de la cadena. Se debe seleccionar el medio de transporte adecuado a los objetivos.
- **Información:** Consta de análisis y datos de las tres directrices antes mencionadas, incluyendo información de costos, precios y clientes. El correcto manejo de la información le da a la cadena una mayor capacidad de respuesta y eficiencia.

- **Aprovisionamiento:** Tiene relación con la decisión de quién realizará las actividades específicas de la cadena, y permite determinar cuáles tareas serán realizadas por la empresa o serán subcontratadas, de esta forma, el aprovisionamiento puede afectar tanto a la eficiencia como a la capacidad de respuesta.
- **Precio:** La fijación del precio determina el monto del cobro que se realizará por los bienes o servicios que se prestan, lo cual determina el comportamiento del comprador influyendo en el desempeño de la cadena.

1.5.3.6 Pronóstico de la demanda en una cadena de suministro

Se considerarán ciertos aspectos del capítulo 6 del libro Administración de la Cadena de Suministro de los autores Chopra y Meindl, tomando en consideración a la demanda, por una parte, como la necesidad de trabajos de mantenimiento por parte de producción, y por otra, como la necesidad de recursos, servicios, repuestos e insumos para la realización del mantenimiento.

Los pronósticos de la demanda son la base para la toma de decisiones. Éstos deben basarse en datos históricos los cuales se utilizan como material para modelos de predicción y además para estimar la precisión del pronóstico. Algunos de los factores que afectan a la demanda son: la demanda pasada, el tiempo de entrega de los productos, y la publicidad o campañas de marketing, estado de la economía, descuentos de precio pactados, acciones de los competidores. Lo anterior, sin embargo, depende del tipo de industria con la que se esté tratando.

Existen diversos métodos de pronóstico, los cuales se clasifican en:

- **Cualitativos:** Se basan en el criterio humano y son utilizados cuando no se dispone de información histórica, cuando se dispone de estudios de mercado, o cuando se desea proyectar la demanda de una nueva industria a varios años.
- **Series de tiempo:** Utilizan información histórica para proyectar la demanda futura. Son apropiados cuando el patrón de la demanda no varía significativamente año a año. Es el método más simple de implementar.
- **Causal:** Suponen que la demanda pronosticada está correlacionada con factores del ambiente, como el estado de la economía o las tasas de interés. Se utilizan estimados de los factores ambientales para realizar la proyección.
- **Simulación:** Se basan en la imitación de las elecciones de los clientes para determinar la demanda. Generalmente se combina con otro de los métodos para la toma de decisiones.

1.5.3.7 Planeación agregada en una cadena de suministro

La planeación agregada corresponde al proceso en el cual las empresas determinan sus niveles de producción, capacidad, inventario, desabasto, subcontratación y precios, para un rango de tiempo determinado, generalmente entre 3 y 18 meses, con el objetivo de maximizar sus utilidades y satisfacer la demanda. La planeación agregada entrega una planificación global de la producción para un período de tiempo, y permite tomar medidas en cuanto a la eficiencia de la producción.

Usualmente la planeación agregada se realiza tomando en cuenta procesos internos de la empresa, pero necesariamente debe recoger información de toda la

cadena para poder ejecutarse, a esto se le llama pronóstico colaborativo y tiene un gran impacto en toda la cadena.

Para la realización de la planeación agregada deben identificarse los siguientes parámetros operacionales:

- **Tasa de producción:** Cantidad de unidades producidas por unidad de tiempo.
- **Fuerza de trabajo:** Cantidad de trabajadores por unidades de capacidad necesarias para la producción.
- **Tiempo extra:** Cantidad de tiempo agregada a la producción planeada.
- **Nivel de capacidad de máquina:** Capacidad de máquinas necesarias para la producción.
- **Subcontratación:** Capacidad subcontratada requerida en el horizonte de planeación.
- **Desabasto:** Demanda no satisfecha en el período que se transfiere a períodos futuros (“backlog”).
- **Inventario disponible:** Es aquél que es transferido a varios períodos en el horizonte de planeación.

Los planificadores deben tener a su disposición la siguiente información para poder realizar la planeación correctamente:

- Pronóstico de la demanda para cada período en el horizonte de planificación.
- Costos de producción (mano de obra, subcontratos y cambios de capacidad).
- Horas de máquina (recursos) y mano de obra requeridas.

- Costos de mantener inventario.
- Costo de “backlog”.
- Restricciones de sobretiempo y despidos, de proveedores, de capital disponible y de “backlog”.

Una vez procesada la información, la compañía está en condiciones de poder tomar decisiones en cuanto a cantidad de producción, inventario mantenido, cantidad de “backlog”, fuerza de trabajo y capacidad.

1.5.3.8 Aprovisionamiento en una cadena de suministro

El abastecimiento corresponde al proceso en el cual la empresa adquiere (compra) materias primas, productos, componentes o servicios, entre otros, de sus proveedores para desarrollar sus operaciones.

Dentro de las decisiones más significativas del proceso de abastecimiento, se encuentra la posibilidad de subcontratación o “outsourcing”, modalidad en la cual las funciones son realizadas por una empresa externa. Para tomar la decisión de subcontratar o realizar el trabajo en la empresa, los autores Chopra y Meindl plantean las siguientes interrogantes:

- ¿Se verá incremento en el superávit de la cadena al subcontratar comparado con realizar las tareas internamente?
- ¿Cuánto aumentan los riesgos debido al “outsourcing”?

Si la respuesta a estas preguntas es favorable para la empresa y se toma la decisión de subcontratar, se debe desarrollar el proceso de aprovisionamiento correspondiente, en el cual se debe llevar a cabo la selección de los proveedores, el diseño de contratos, el abastecimiento de materiales o servicios, el diseño colaborativo del producto o servicio, y la evaluación del desempeño de los proveedores.

Para la selección del proveedor se utiliza la información de la evaluación de desempeño de los proveedores, en donde se califican en base a ítems como el tiempo de espera, confiabilidad, calidad y/o capacidad de diseño. Cabe señalar que no sería correcto tomar una decisión de subcontratar solo en base a un criterio de precios, pues los demás factores también afectan al costo total del negocio. Acorde a la puntuación obtenida por el proveedor, se realiza su selección y finalmente se negocia un contrato de abastecimiento el cual debe diseñarse para incrementar las utilidades de la cadena y beneficiar tanto al comprador como al proveedor.

Se debe señalar que un adecuado manejo de los procesos de abastecimiento facilita los procesos de planeación y de pronóstico, y mejoran la coordinación con el proveedor lo que disminuye los inventarios y mejora el ajuste entre oferta y demanda. Además, un buen contrato permite que el riesgo sea compartido entre ambas empresas generando mayores utilidades tanto para el proveedor como para el comprador.

Un tercero puede incrementar el superávit de la cadena agregando valor al cliente o disminuyendo el costo de la cadena. Lo anterior se puede llevar a cabo si el tercero es capaz de agregar los activos o flujos de la cadena a un nivel más alto del que la compañía que contrata puede lograr. Los mecanismos que un tercero puede utilizar para incrementar el superávit consisten en la agregación de capacidad, inventario, transporte entrante o saliente, almacenaje, abastecimiento, información, cuentas por cobrar, o relaciones a niveles que la compañía por sí misma no puede manejar. Otra

forma de aumentar el superávit es cuando el tercero cuenta con costos considerablemente más bajos o calidad superior debido a la especialización.

En cuanto a los riesgos a los que se expone la cadena al subcontratar se encuentran: la pérdida de control de los procesos, subestimación del costo de la coordinación entre empresas, reducción del contacto entre la empresa y sus clientes o proveedores, pérdida de la capacidad interna y aumento del poder del tercero, fuga de datos, contratos ineficaces, entre otros.

1.5.4 Inventario de Mantenimiento, Reparaciones y Operaciones (MRO).

El inventario MRO usualmente es gestionado mediante las áreas de abastecimiento de las empresas de producción, donde suele ocupar un lugar secundario en gestión debido a dos causas principales, la primera es que se prioriza la gestión del inventario de producción y la segunda es la calidad de la información que se maneja, lo cual, es consecuencia de la primera causa.

La gestión de los inventarios MRO es complicada debido, a la variedad de materiales, la criticidad, la variabilidad en los tiempos de entrega, el precio y la demanda. El autor José Contreras expresa esta situación claramente indicando que en el caso de este tipo de inventarios se cumple el principio de Pareto, en donde cerca del 10% de los materiales es utilizado frecuentemente, por lo que su demanda se puede pronosticar con cierta certeza y por ende ser gestionado de mejor manera. El resto de los materiales, que corresponden al 90%, tienen una demanda muy variable por lo que es muy difícil predecirla. Cabe señalar que el principio también aplica al costo de los materiales, en donde cerca del 5% de ellos concentra el 80% del costo de inventario.

La falta de una gestión adecuada para los inventarios de mantenimiento genera un efecto perjudicial para los programas de confiabilidad, es decir, la disponibilidad de los repuestos no es la adecuada para los niveles de confiabilidad requeridos. Dado que se espera que los repuestos críticos se encuentren siempre disponibles para no aumentar el tiempo medio de reparación, es que se toma la decisión de mantener un “stock” de seguridad, que generalmente se establece en base a información y datos históricos erróneos, lo que conlleva un aumento de los costos de mantener inventario y obsolescencia de los repuestos, entre otros efectos.

Para optimizar la gestión de los inventarios MRO es necesario conocer cuándo, cuánto y cuáles repuestos y artículos son los que deben reponerse, los niveles de seguridad y los repuestos que deben ser tratados de forma especial, ya sea por su criticidad, costo o por ser discontinuados. Para determinar lo anterior se debe conocer el Punto de Pedido, la Cantidad de Pedido y el Tiempo de Entrega de cada artículo, basado en una metodología de gestión de inventarios que sea adecuada a la estrategia de la empresa.

Es posible mejorar el desempeño operacional y financiero mediante la gestión del inventario de mantenimiento a través de:

- Mejora de la disponibilidad de repuestos.
- Reducción del “Stock”.
- Reducción del costo de inventario.
- Disminución del tiempo de reparación.

Para una adecuada gestión de optimización de inventarios MRO se debe tener total claridad sobre el riesgo de la indisponibilidad de los repuestos críticos, como señala el autor José Contreras, se debe intentar eliminar problemas como:

- Quiebres de stock.
- Puntos de reorden incorrectos.
- Excesos de inventario.
- Cantidades incorrectas de pedido.
- Inventario obsoleto.
- Tiempo de entrega inexacto.
- Compra de inventario de uso decreciente.

Cuando éstos han sido identificados y tratados se puede obtener mejoras significativas en los niveles de disponibilidad de los equipos, intercambio de repuestos e identificación de repuestos críticos.

La optimización de inventarios tiene como objetivo “tener disponible la cantidad correcta de los artículos necesitados por los clientes” [4], entendiendo como clientes a las áreas de producción y mantenimiento, además de minimizar los costos de realizar los aprovisionamientos. Lo anterior requiere determinar el nivel de servicio requerido y desarrollar procedimientos para garantizar la reposición oportuna, esto depende de las siguientes consideraciones:

- Almacenamiento de los artículos.
- Criticidad.
- Precio unitario.

- Costo del pedido.
- Costo de almacenamiento.
- Demanda.
- Tiempo de entrega.

1.5.5 Gestión de Inventarios

1.5.5.1 Funciones del inventario

Los inventarios permiten flexibilizar las operaciones, las cuatro funciones principales que cumplen son las siguientes:

- Desacoplar partes del proceso productivo.
- Aislar fluctuaciones de la demanda y proporcionar un “stock” de mercancías.
- Aprovechar descuentos por cantidad.
- Protegerse contra la inflación y aumento de precios.

1.5.5.2 Gestión de inventarios

Los encargados de operaciones del área deben determinar un modo de gestionar los inventarios a través de un sistema establecido. Existen dos elementos que se deben incorporar a los sistemas ya que se pueden adecuar a las diferentes realidades de los inventarios, lo cual sugieren los autores Heizer y Render, estos son el Análisis ABC y la Exactitud de los Registros de Inventarios. El primero permite clasificar el inventario y jerarquizarlo según su volumen anual en costos siguiendo el principio de Pareto, se busca que las políticas de inventario se enfoquen en los pocos artículos críticos del

inventario (mayor volumen de costos). El segundo elemento tiene relación con tener registros exactos que faciliten las decisiones de compra programación y distribución.

1.5.5.3 Modelos de inventario

Los modelos de control de inventario se basan en dos tipos de demanda: dependiente e independiente de un artículo con otros. El principal objetivo de los modelos de inventarios es minimizar los costos asociados, entre los que se encuentran los costos de almacenamiento, lanzamiento y preparación.

1.5.5.4 Modelos de inventario con demanda independiente

- **Modelo básico de cantidad económica de pedido o lote económico (EOQ: Economic Order Quantity):** Es una técnica fácil de usar y está basada en ciertas hipótesis que le quitan precisión. Las hipótesis son: la demanda es conocida, constante e independiente; el plazo de aprovisionamiento es conocido, constante e igual a cero; la recepción del inventario es instantánea y completa; no existen los descuentos por cantidad; los únicos costos variables son los costos de pedido y costos de mantenimiento; se evitan las roturas de “stock” realizando los pedidos en el momento adecuado. Al utilizar estos supuestos el gráfico del volumen de inventarios en función del tiempo toma la forma de diente de sierra, lo que se explica por la demanda uniforme, ya que el inventario disminuye uniformemente a lo largo del tiempo, y cuando el nivel llega a cero se incrementa en una cantidad Q debido a la emisión y recepción del pedido.
- **Modelo de descuento por cantidad:** Empresas ofrecen a sus clientes descuentos por volúmenes de compra en función del tamaño del pedido, así se obtiene un precio reducido del artículo. La dificultad que presenta

este modelo es que al aceptar el descuento por cantidad se incrementa el costo de mantenimiento del inventario, por lo que se debe aceptar este modelo siempre y cuando el descuento compense los costos añadidos.

1.5.6 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por su sigla en inglés (Reliability-Centred Maintenance) es un “proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” [5]. El RCM transforma la relación entre los activos, sus usuarios u operadores y quienes los mantienen, y además permite que nuevos activos sean puestos en marcha de forma rápida, precisa y efectiva.

Este subcapítulo se basa en el trabajo expuesto en RCM II: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del autor John Moubray, a continuación, se exponen algunos de los aspectos más relevantes para entender el proceso de RCM.

1.5.6.1 Las siete preguntas de RCM

El autor Moubray plantea que existen siete preguntas que se deben formular en el proceso de RCM a partir del activo o sistema en revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo en su contexto operacional?

- ¿Cómo falla el activo al satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de dicha falla?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante la falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la falla?
- ¿Qué se debe hacer si no se encuentra una tarea preventiva adecuada?

Las preguntas anteriores permiten sistematizar el análisis del activo y comprender de mejor manera el contexto de este con la finalidad de aplicar el RCM de una manera adecuada, eficaz y eficiente.

1.5.6.2 Funciones y parámetros

Antes de instalar un activo para su funcionamiento, se debe determinar qué es lo que los usuarios esperan que haga y tener seguridad de que el activo es capaz de realizar esa función. El primer paso para realizar un proceso de RCM es definir las funciones del activo en su contexto operacional, en ese sentido existen dos tipos de funciones, las primarias y secundarias.

Las funciones primarias cumplen netamente la necesidad por la que fue adquirido el producto, por ejemplo, producción, velocidad, capacidad de almacenaje o carga, etc.

Las funciones secundarias, por otro lado, cumplen otras expectativas que los usuarios esperan de los activos, como seguridad, control, eficiencia, apariencia, economía, sustentabilidad, entre otros.

1.5.6.3 Fallas

En RCM el estado de falla se conoce como Falla Funcional, la que ocurre cuando el activo no puede cumplir una función bajo parámetros aceptables para el usuario. El proceso de RCM permite identificar las circunstancias que llevan a la falla y los eventos que permiten la falla del activo. A los eventos que provocan la falla se les llama Modos de Falla y es posible identificarlos a partir del análisis de otros equipos iguales o similares en un mismo contexto operacional. Los listados de modos de falla incluyen aquellos que son provocados por el uso normal del activo, fallas causadas por error humano y errores de diseño.

Cada modo de falla conlleva un Efecto de la Falla, en el cual se escribe lo que ocurre en el modo de falla, incluyendo la información necesaria para evaluar las consecuencias de la falla.

Cada falla tiene consecuencias para la empresa, las cuales pueden ser clasificadas según la repercusión que generan y la importancia que cada una tiene para la organización. El proceso RCM reconoce que las consecuencias de las fallas en sí son mucho más importantes que las características técnicas, es decir, que el mantenimiento preventivo no busca eliminar o prevenir las fallas propiamente tales, si no, prevenir las consecuencias de estas.

Las consecuencias de fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero pueden exponer a la organización a fallas múltiples con graves consecuencias. Por otra parte, las consecuencias ambientales o de seguridad tienen relación con la seguridad de las personas y el cumplimiento de la normativa o reglamento ambiental vigente, aspecto muy relevante hoy en día para asegurar la continuidad de la producción. Las

consecuencias operacionales tienen impacto directo en la producción, como retrasos, o disminución de producción. Y finalmente, las consecuencias no operacionales no afectan directamente a la producción o a la seguridad, pero si impactan en los costos directos de reparación.

La clasificación de los modos de falla sirve como apoyo a la toma de decisiones, debido a que permite enfocar el trabajo en aquellos modos cuyas consecuencias sean prioridad para la organización, el proceso de evaluación permite observar ampliamente el espectro de fallas de tal forma que se puedan manejar y prevenir adecuadamente. Las técnicas de manejo de fallas se clasifican en Tareas Proactivas y Acciones a Falta de. La primera se centra en que las tareas se emprendan antes de que ocurra la falla y corresponde a lo que se conoce como mantenimiento preventivo. Por otra parte, las acciones a falta de tratan con el estado de falla directamente y se efectúan cuando no es posible identificar una tarea proactiva para el estado de falla, aquí generalmente se realizan tareas de rediseño o mantenimiento a rotura.

Falla	Descripción
Funcional	Se presenta cuando un componente deja de cumplir total o parcialmente la función requerida.
Sintomática o potencial	Condición de estado verificable en un componente que indica que una falla funcional está en proceso, aunque el componente no haya dejado de funcionar.
Simultánea	En sistemas con protecciones la falla funcional ocurre cuando existe falla en el equipo y en la protección, lo que implica que la seguridad no está disponible.
Recurrente	Falla repetitiva fuera de la frecuencia aceptable, puede ser causada por un mismo modo de falla o diferentes actuando simultáneamente.

Modos de Falla			
Según el estado paramétrico		Según el origen	
Evidente	Se manifiesta a través de la falla funcional bajo condiciones normales de funcionamiento.	De diseño	Ocasionado por un mal diseño.
Oculto	Ocurre en los dispositivos de protección (funciones ocultas). La falla no es detectable en condiciones normales de trabajo.	De fabricación	Falla ocasionada durante el proceso de fabricación.
		De traslado y montaje	Modo de falla ocasionado durante las tareas de montaje e instalación, o traslado.
Recurrente	Falla repetitiva o crónica, se repite con frecuencia no aceptable de ocurrencia.	De uso u operación	Modo de falla causado por falta de idoneidad para el uso u operación del equipo.
Dominante	Aquel modo de falla que provoca la mayor cantidad de fallas en un componente.	Por eventos aleatorios	Modo de falla cuya probabilidad es totalmente aleatoria, por ejemplo, cambios repentinos en el contexto.
Común	Modo de falla que afecta a más de un componente simultáneamente.	Por desgaste natural o envejecimiento	Vinculado directamente a la vida operativa del elemento. También se denomina paramétrico.

TABLA 1.1: RESUMEN DE TIPOS DE FALLA Y MODOS DE FALLA. FUENTE: MANUAL DE MANTENIMIENTO: INGENIERÍA GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN.

1.5.6.4 Objetivos del RCM

La aplicación del RCM logra, principalmente, que el activo cumpla con su función y con las expectativas que busca el usuario, entre las que se encuentran:

- Mayor seguridad e integridad ambiental
- Mejorar funcionamiento operacional (cantidad, calidad, y servicio)
- Mejorar costo – eficacia del mantenimiento
- Mayor vida útil de elementos costosos
- Incorporar una base de datos global
- Incrementar la motivación del personal
- Mejorar el trabajo en equipo

1.5.7 Mantenimiento y Disponibilidad

1.5.7.1 Disponibilidad

El mantenimiento debe asegurar la Disponibilidad de las funciones, esta Disponibilidad debe ser la “suficiente para que el proceso productivo no se vea interrumpido o afectado de ninguna forma” [6].

Como señala el autor Pistarelli en su trabajo Manual de Mantenimiento, el mantenimiento busca obtener valores de Disponibilidad Operacional que se conserven en el tiempo dentro de límites establecidos.

La Disponibilidad Operacional se mantiene mediante la Confiabilidad y la Mantenibilidad. Para alcanzar cierto valor de Disponibilidad es necesario que el mantenimiento se encargue de realizar ciertas tareas a determinada frecuencia, lo que puede variar si los valores esperados de Disponibilidad cambian. Los Planes de Mantenimiento tienen como variable principal la Disponibilidad.

Para poder determinar los niveles de Disponibilidad es necesario el estudio de los Modos de Falla. Existen parámetros denominados Índices de Clase Mundial que permiten medir aspectos relativos a la falla.

Tiempo medio entre fallas (MTBF): “Meantime Between Failures” corresponde al período promedio entre dos fallas de un elemento en un contexto de funcionamiento. Cuando se analiza sólo un ítem, la expresión queda:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{Cf} \quad (1.1)$$

Donde T_o = Tiempo establecido para operar.

T_{np} = Tiempo por paradas no programadas.

Cf = Número total de fallas detectadas en el tiempo de operación.

Para el caso de un conjunto de equipos en línea la expresión queda:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np(MV)}}{Cf_{(MV)}} \quad (1.2)$$

Donde $T_{np(MV)}$ = Tiempo de paradas no programadas que afectaron a la máquina de menor velocidad en línea.

$Cf_{(MV)}$ = Cantidad de detenciones asociadas a la máquina de menor velocidad.

Tiempo medio para la falla (MTTF): “Meantime to failure”, indica con qué frecuencia se produce la falla del componente. El promedio se obtiene mediante la expresión:

$$MTTF = \frac{T_o \times n}{\sum_{i=1}^n Cf_{(i)}} \quad (1.3)$$

Donde T_o = Tiempo de operación considerado para el análisis.

n = Cantidad de unidades activas.

$Cf_{(i)}$ = Fallas ocurridas para cada unidad activa durante el tiempo T_o .

La aproximación será tanto más válida si el tiempo de operación y las cantidades de unidades consideradas es mayor.

Tiempo medio de reparación (MTTR): “Meantime to repair”, corresponde a la relación entre el tiempo total de reparación (T_{tr}) y el número total de reparaciones (C_t). Este índice se aplica aquellos ítems en donde el tiempo de reparación es significativo con respecto del tiempo de operación.

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_t} \quad (1.4)$$

El inverso del tiempo medio de reparación corresponde a un indicador de Mantenibilidad denominado Tasa de Reparación:

$$\varepsilon = \frac{1}{MTTR} \quad (1.5)$$

1.5.7.2 Confiabilidad

“El estudio de la Confiabilidad se origina en la industria aeroespacial. Tuvo una creciente evolución hasta nuestros días con la ayuda de la industria militar, aeronáutica y nuclear” [7]. La Confiabilidad es una medida de la garantía de funcionamiento de un componente. La Confiabilidad Inherente de un sistema en su contexto es una probabilidad resultante de la probabilidad de la no falla de sus partes, y el valor varía con el tiempo. La Confiabilidad es una teoría netamente estadística que no considera las causas ni la frecuencia de la falla.

En el trabajo del autor Pistarelli se define a la Confiabilidad como la probabilidad de que un componente satisfaga las funciones que se han establecido para él, en el contexto establecido y durante un tiempo dado sin fallas.

La Confiabilidad queda expresada como:

$$C(t) = 1 - F(t) \quad (1.6)$$

Donde $F(t)$ es la probabilidad de que se produzca un fallo.

$1 - F(t)$ es la probabilidad de que no ocurra un fallo.

La Confiabilidad puede ser representada a través de una distribución exponencial, el tiempo medio entre fallas es un indicador aproximado de Confiabilidad, aunque resulta mejor plantear una función de densidad del tipo:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad t > 0 \text{ y } \lambda > 0 \quad (1.7)$$

Donde λ = Tasa de fallas para la distribución exponencial, cuyo valor es constante e igual a:

$$\lambda = \frac{Cf}{T_o} = \frac{1}{MTTF} \quad (1.8)$$

Elementos con tasas de falla superiores a 10^{-4} se consideran poco confiables.

Por lo que la Confiabilidad, según la ley exponencial, quedaría expresada de la siguiente forma:

$$C(t) = 1 - F(t)dt = e^{-\lambda t} = e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)} \quad (1.9)$$

Las expresiones de Confiabilidad de Sistemas analizadas en este apartado son válidas cuando no se tiene en cuenta la Mantenibilidad.

1.5.7.3 Mantenibilidad

La Mantenibilidad es relevante en aquellos equipos que son reparados cuando fallan y que tienen un tiempo de reparación considerable. Según los estándares de servicio establecidos, el tiempo es la variable aleatoria en cuestión. El tiempo empleado depende de la dificultad técnica de diagnóstico y la capacidad de reparación, los que a su vez dependen de otros factores que definen el ciclo de vida del sistema.

Durante las etapas de diseño se define la capacidad de un equipo o sistema de ser mantenido mediante la ayuda de expertos en mantenimiento. De esta manera se puede diseñar para que se disminuyan los costos del ciclo de vida y se maximice la Mantenibilidad.

“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 y en un contexto de operación establecido” [8].

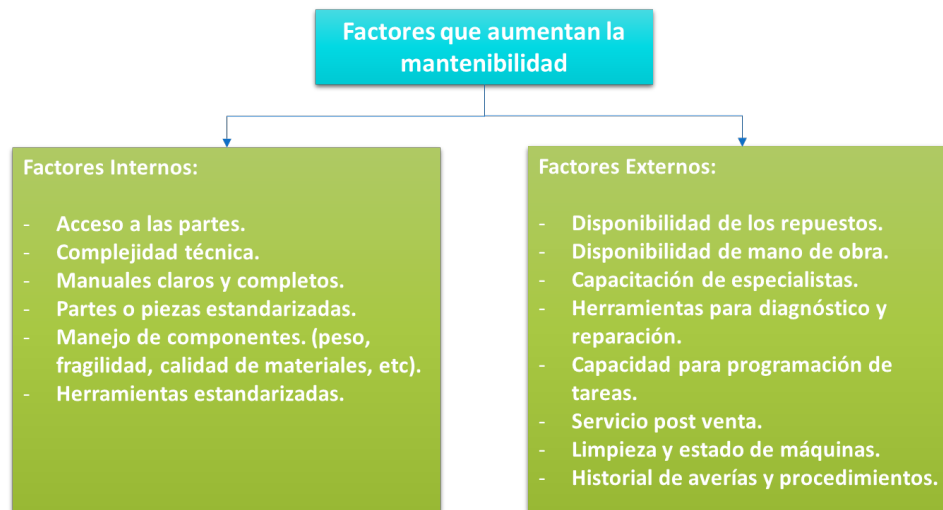


FIGURA 1.7: FACTORES INTERNOS Y EXTERNOS PARA EL AUMENTO DE LA MANTENIBILIDAD. FUENTE: MANUAL DE MANTENIMIENTO: INGENIERÍA, GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN.

“La Mantenibilidad Inherente se define como aquella que posee el equipo desde el punto de vista del diseño” [9], es decir, corresponde a la Mantenibilidad con que se concibe un diseño. Por otra parte, ya que el tiempo de reparación, así como los fallos son aleatorios, los tiempos de reparación también lo serán.

Para estudiar la Mantenibilidad se utilizan leyes de distribución de densidad, las más utilizadas son:

- Ley de Distribución Normal: El tiempo de reparación corresponde a tareas de desarme – armado.
- Ley de Distribución Exponencial: El tiempo de diagnóstico y tiempo medio de reparación (MTTR) son bajos.
- Ley de Distribución Lognormal: El tiempo total de reparación está compuesto por diferentes tiempos y la relación entre ellos no sigue un patrón.

1.5.7.4 Ley de distribución Lognormal para Mantenibilidad

En el modelo lognormal se asume que la distribución es normal, pero en función del logaritmo del tiempo.

La Mantenibilidad, en su forma general, se define como:

$$M(t) = 1 - e^{-\int_0^t \varepsilon(t) dt} \quad (1.10)$$

Donde ε = Tasa de Reparación o Tasa de Mantenibilidad, constante e independiente.

t = Tiempo, variable aleatoria.

Dado que la Tasa de Reparación es independiente de la variable aleatoria, esta queda expresada para cualquier instante t , como:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{MTTR} \quad (1.11)$$

A medida que se tenga una mayor cantidad de datos estadísticos para el equipo, mayor será la aproximación para la Tasa de Reparación. Luego la Mantenibilidad en función del tiempo medio de reparación (MTTR), queda expresada como:

$$M(t) = 1 - e^{-\varepsilon t} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (1.12)$$

1.5.7.5 Disponibilidad Operacional

“Se define Disponibilidad Operacional de un equipo, conjunto de equipos o línea de producción al porcentaje del tiempo en que estuvo disponible para el proceso de operación en las condiciones de seguridad y calidad establecidas” [10].

La Disponibilidad Operacional puede determinarse a través de la expresión:

$$D = \frac{T_o - T_{np}}{T_o} \times 100 \quad (1.13)$$

Donde T_o = Tiempo disponible para operar.

T_{np} = Tiempo de paradas no programadas.

Existen otras expresiones para determinar el grado de Disponibilidad, para equipos que son reparados una vez se produce la detención. Para este caso se debe considerar que el tiempo es mucho más grande que las otras variables involucradas.

$$D = \frac{\varepsilon}{\lambda + \varepsilon} \quad (1.14)$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (1.15)$$

En resumen, la Disponibilidad Operacional depende de dos pilares fundamentales que son la Confiabilidad y la Mantenibilidad. Para mejorar los indicadores de Disponibilidad se debe trabajar en optimizar las variables de ambos pilares como lo son: MTTR, MTBF, MTTF, repuestos, patrones de falla, causas raíz, vida útil, modos de falla, proveedores, contexto operativo, entre otras (ver Figura 1.8).



FIGURA 1.8: ESQUEMA DE DISPONIBILIDAD. FUENTE: MANUAL DE MANTENIMIENTO: INGENIERÍA, GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN.

1.5.8 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total o TPM por sus iniciales en inglés (“Total Productive Maintenance”), se origina, desarrolla y optimiza en Japón en la industria automotriz con el objetivo de alcanzar altos niveles de producción y calidad.

Como señala el autor Pistarelli, para la implementación de TPM se requiere el esfuerzo de toda la organización, ya que corresponde a una filosofía transversal, y escapa de lo que concierne netamente al mantenimiento. En TPM se busca gestionar a la empresa como un todo, la estrategia de gestión que emplea esta herramienta se orienta al logro de resultados y al cumplimiento de metas concretas y medibles a través del trabajo colaborativo y sistemático.

La completa y correcta implementación de TPM ajustada a las necesidades de la empresa genera una mejora en la eficiencia y productividad, reduce el riesgo y la tasa de accidentes, aprovecha la vida útil de los activos e incrementa la rentabilidad de los procesos. TPM mejora tanto las tareas administrativas como tecnológicas de mantenimiento.

Pistarelli señala que no sirve implementar el TPM solo en el área de mantenimiento, pues implica un cambio cultural a la hora de enfrentar el trabajo en la organización completa, desde las altas esferas hasta los colaboradores con menor responsabilidad. La alta jerarquía debe transmitir sus intenciones para implementar el proyecto hacia los niveles inferiores.

Dentro de los objetivos del TPM, uno de los más importantes tiene relación con “eliminar los efectos físicos y metodológicos de tipo crónico para alcanzar estándares de calidad y eficiencia supremos” [11]. La aplicación de TPM puede asegurar altos niveles de Disponibilidad y alta calidad de los productos.

En resumen, la visión del TPM se puede observar en los siguientes puntos:

- Cero tasas de accidentes e incidentes
- Cero tasas de defectos
- Cero tasas de averías
- Cero pérdidas

Como sistema de gestión industrial, el TPM cuenta con herramientas que permiten su implementación, las que son conocidas como Pilares del TPM y tienen la función de vincular el accionar de los sectores funcionales de la organización. Los pilares son:

- Mantenimiento Autónomo
- Mantenimiento Planeado
- Mejora Enfocada
- Gestión Inicial
- Mantenimiento para la Calidad
- Capacitación y Desarrollo
- Gestión de los Sectores Administrativos
- Higiene, Seguridad y Medio Ambiente

Gracias a estos 8 pilares es posible optimizar las tareas más relevantes de cada área. Cada pilar está subdividido en pasos, los cuales permiten auditar el avance de la implementación del sistema.

1.5.9 Metodologías de Mejora

1.5.9.1 Six Sigma

“Six Sigma” es una metodología de mejora basada en estadística que comenzó a implementarse en los años 80.

Esta metodología llama sigma al número de defectos por millón, por ejemplo, un proceso Sigma6 presentará 2,4 defectos por millón, y un proceso Sigma4 significa que el 99,38% de los resultados están dentro de los valores establecidos como buenos, es decir, 6200 defectos por millón.

Tal como los proyectos TPM, Six Sigma requiere de un esfuerzo y compromiso de los involucrados. El proyecto se organiza con un jefe de proyecto, quien actúa como dueño (“process owner”) quien es el responsable de llevarlo a cabo con éxito. La gran diferencia de esta metodología con TPM es que se trabaja en proyectos puntuales y cuyos resultados son de gran interés para la organización.

La metodología va cumpliendo secuencialmente los pasos establecidos utilizando herramientas auxiliares como: diagramas de flujo, diagramas causa – efecto (espina de pez), principio de Pareto, análisis de causa raíz (ACR), entre otras.

La implementación de los proyectos Six Sigma tiene una estructura funcional donde el máximo escalafón es ocupado por un Director de Proyecto o “Deployment Director”, encargado de incentivar, apoyar y promocionar el desarrollo del programa a nivel corporativo. Luego se incorporan los Dueños de Proyectos Críticos, (“Project Champions”) para liderar y prestar apoyo técnico a los “Black Belts”. Cada “Black Belt” lidera a un grupo de “Green Belts” quienes están directamente relacionados con los procesos e involucrados con la mejora.

1.5.9.2 Lean

El término “Lean Production” o Manufactura Esbelta fue presentado por primera vez por los autores Womack, Jones y Roos, en el trabajo “The Machines that Changed the World”, para “señalar la diferencia de 2:1 en productividad que encontraron entre las plantas de ensamble de automóviles de Japón y las plantas ubicadas en Europa” [12]. La filosofía incentiva a las empresas a encontrar su cadena de valor y a optimizarla.

De acuerdo con la definición presentada en el estudio “Lean Practices in the Supply Chain”, llevada a cabo por la empresa Jones Lang LaSalle, Lean es un enfoque sistemático que permite alcanzar mejores niveles de servicio y valor para el cliente a través de la eliminación del desperdicio o “waste”, tanto en tiempo, como en esfuerzo y materiales. Lo anterior se logra gracias a la mejora continua, haciendo que el producto sea más atractivo para el consumidor, enfocándose en obtener la perfección del producto.

Como explican los autores Goldsby y Martichenko, en el contexto de la logística, Lean busca eliminar los desperdicios de inventario, es decir, eliminar todo aquel inventario que no es requerido para apoyar las tareas de operaciones de la unidad, o bien aquel que no es necesario para satisfacer las necesidades de los clientes. Existen además otras fuentes de desperdicio en la logística, como: transporte, espacio e instalaciones, tiempo, packaging, administración y conocimientos. Cada uno de estos recursos necesarios para la logística presenta, en menor o mayor medida, un desperdicio cuando no están siendo utilizados eficaz y eficientemente para generar el mayor valor posible para el cliente y ganancias favorables para la compañía.

Existen 5 principios sobre los cuales se sustenta la filosofía “Lean” y que ayudan a la eliminación del desperdicio (waste o muda), que se define como cualquier actividad humana que consume recursos, pero no genera valor.

- **Valor** (Value): Definir el valor desde el punto de vista del cliente y erradicar aquellas actividades que no generen valor para él.
- **Flujo** (Flow): Manejar todas las tareas a lo largo del flujo de valor para que no existan puntos de parada, contraflujos o actividades que no generan valor.
- **Arrastre** (Pull): Iniciar los trabajos solo cuando se recibe un pedido del cliente (similar al enfoque empuje -tirón).
- **Sensibilidad** (Responsiveness): Ser capaz de responder al cambio.
- **Perfeccionamiento** (Perfection): Afinar los procesos continuamente para mejorar la eficiencia, los tiempos, los costos y la calidad.

Existen tres maneras en las que se ha intentado clasificar a Lean, mientras algunos lo definen como una filosofía, también existen enfoques que lo describen como un sistema o como un set de herramientas. Finalmente Lean es considerado como los 3 elementos juntos debido a que entrega las herramientas necesarias para eliminar el desperdicio de las organizaciones, es un sistema que permite focalizar los esfuerzos en la satisfacción de las necesidades del cliente, además es una filosofía que unifica a la organización y sale de los límites propios de la gestión de la manufactura.

1.5.10 Lean Supply Chain Management

Corresponde a un “conjunto de organizaciones directamente relacionada por flujos de productos, servicios, finanzas e información que trabajan colaborativamente

para reducir costos y desperdicio extrayendo de manera efectiva y eficiente lo que se requiere para satisfacer las necesidades de los clientes” [13].

El desperdicio, dentro de una Cadena de Abastecimiento, se genera cuando existen actividades o entes independientes unos de otros, generando desperdicio en costos monetarios, tiempo e incluso como contaminación ambiental.

Las empresas que buscan incorporar la metodología Lean a sus Cadenas de Abastecimiento esperan identificar y eliminar el desperdicio donde exista para aumentar y mejorar el valor de la cadena. Los principales recursos susceptibles de ser optimizados son: inventarios, almacenes, transporte, personas y capital de trabajo. Una cadena de abastecimiento esbelta (Lean) debe ser diseñada para un mínimo de ocupación de espacio de almacenes, un transporte optimizado para reducir el costo de mover inventarios, y establecer contratos de abastecimiento a largo plazo con el menor costo posible. Sin embargo, estos objetivos disminuyen la capacidad de la cadena para adaptarse a cambios en la demanda, abastecimiento u otros recursos, debido a la rigidez que conlleva un diseño de este tipo.

Una Cadena de Abastecimiento esbelta representa una nueva forma de plantear la red de abastecimiento. Los principios de la filosofía Lean requieren de relaciones de abastecimiento cooperativas, balanceando la competitividad con la cooperación para aprovechar las ventajas que la filosofía ofrece.

Los principios de Lean Supply Chain Management se basan en los principios de Lean revisados anteriormente:

- Enfoque en el valor de la cadena y la red de abastecedores.

- Eliminar el desperdicio y sincronizar el flujo, minimizar los costos de producción y de transacciones.
- Establecer relaciones colaborativas balanceando la cooperación y la competencia.
- Asegurar la transparencia y visibilidad en la cadena. Desarrollar capacidad de respuesta.
- Integrar a los proveedores en etapas tempranas de diseño y desarrollo. Manejar la incertidumbre y el riesgo.
- Alinear las competencias clave y las capacidades complementarias. Propiciar la innovación y compartir el conocimiento.

Lean Supply Chain Management busca reducir los costos y los tiempos del abastecimiento mediante diferentes métodos, además se enfoca en la optimización de toda la cadena y sus colaboradores. Para lograr los objetivos también es posible utilizar herramientas de Six Sigma, TQM, TOC, entre otras. Cabe destacar que una cadena de abastecimiento diseñada bajo metodología Lean puede ser perfectamente acoplada a un sistema de manufactura esbelta. Por último, uno de los principales objetivos es minimizar el inventario mediante diversas técnicas y metodologías.

1.5.11 Lean Six Sigma Logistics (LSSL)

Teniendo en cuenta que la logística corresponde principalmente al manejo de inventarios, Lean se centra en la velocidad, el flujo y la eliminación de desperdicio y Six Sigma busca reducir la variación en los procesos, LSSL se define como la “eliminación de desperdicios a través de disciplinados esfuerzos para entender y reducir la variabilidad, mientras se incrementa la velocidad y el flujo en una cadena de suministros” [14].

1.5.11.1 Logistics Bridge Model (LBM)

El modelo LBM sirve como guía para los profesionales de logística ayudando a enfrentar los desafíos planteados de una manera exitosa. “El modelo plantea que la logística con enfoque de Lean Six Sigma se basa en tres principios: flujo, capacidad y disciplina” [15]. A partir de estos tres principios los profesionales de logística pueden diseñar soluciones personalizadas y adaptadas a las necesidades y desafíos que plantea la organización a la cual pertenecen. Es importante que la organización y quienes la dirigen tomen consciencia del valor que la logística tiene para sus procesos, lo cual es facilitado por el modelo LBM. A continuación, se describe la importancia de cada uno de los tres principios:

- **Logistics Flow (Flujo):** Comprender y analizar el flujo de la empresa permite identificar y entender sus fortalezas, debilidades, oportunidades y restricciones, además es posible conocer la efectividad operacional de la organización. Los tipos de flujo de mayor interés para los directivos son: flujo de activos, flujo de información y flujo financiero. El análisis de esos flujos permite conocer cuán productivos son los activos de la empresa, cómo se maneja la información y cómo se está generando el retorno de las inversiones, respectivamente. Estos tres elementos deben estar completamente ligados a la gestión y a los procesos logísticos.
- **Logistics Capability (Capacidad):** La capacidad es importante para la organización dado que ésta es capaz en el mismo nivel en que su infraestructura lo es, vale decir, si se exige mejoras en cuanto a servicio, reducción de tiempos y costos, éstas no serán posibles si la infraestructura de la organización no la permite. Esto indica que la capacidad de un sistema es limitada. Definir, descubrir y articular la capacidad del sistema es responsabilidad de “Six Sigma”, en tanto mejorar la capacidad lo es de

“Lean”. El modelo LBM indica que un sistema capaz consta de predictibilidad, estabilidad y visibilidad, y que los gerentes deben buscar que sus sistemas puedan no solo satisfacer, si no que superar las expectativas de los consumidores o clientes, lo cual se logra a través de LSSL.

- **Logistics Discipline (Disciplina):** Entendiendo que la logística y el abastecimiento no consisten en sistemas tecnológicos, sino que están compuestos por personas y procesos, es que las empresas deben tomar consciencia de que para llevar a cabo un proceso logístico exitoso es que se debe tener un gran sentido de disciplina. Muchas de las estrategias propuestas en la filosofía “Lean” son de sentido común para los ejecutivos, sin embargo, muchas veces se falla en la implementación debido a que existe falta de disciplina. El modelo LBM indica que la disciplina se debe enfocar en la colaboración, optimización de sistemas y eliminar el desperdicio.

1.5.11.2 Herramientas para la implementación de LBM

Matriz XY: Es una herramienta que permite establecer prioridades del proyecto. Se utilizan variables del tipo X (inputs) e Y (outputs). A las variables de tipo Y se les asigna un puntaje de 0 a 100 según un criterio establecido, finalmente se suma el puntaje final por cada variable X multiplicando la ponderación y el puntaje asignado. La variable que obtenga el mayor puntaje será de mayor importancia para la organización.

DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar): Es una de las herramientas más sólidas en “Six Sigma”, que permite resolver problemas, en contraste con otras herramientas que permiten generar estrategias y planificar. En cada una de

las cinco etapas se debe dar respuesta a preguntas estratégicas para lo cual se pueden utilizar diferentes herramientas de planificación. Para cada una de las etapas las preguntas a resolver son las siguientes:

- Definir: ¿Cuál es el problema que se debe resolver?
- Medir: ¿Cuál es la capacidad de los procesos?
- Analizar: ¿Cuándo y cómo ocurren los defectos?
- Mejorar: ¿Cómo se puede mejorar la capacidad del proceso?
- Controlar: ¿Cómo se pueden mantener las mejoras en el tiempo?

Brainstorming (Lluvia de ideas): Herramienta que facilita el análisis de causas, facilita la conversación y la expresión de ideas, a la vez que involucra a los participantes en la búsqueda y resolución de problemas. Generalmente se pide a cada uno de los participantes que se enfoquen en una pregunta o problema, luego se solicita que entreguen sus ideas o impresiones para anotarlas en una pizarra a la vista de todos los participantes, en donde se van ordenando de acuerdo con el tema. Las ideas que no tengan mayor relevancia con el tema principal también deben ser anotadas, pero en una lista aparte para ser revisadas posteriormente. Usualmente se realizan mapas de ideas para conectar y poner en perspectiva las ideas recogidas.

Diagramas de Causa – Efecto: Conocido como diagrama de espina de pez o diagrama de Ishikawa, facilita el acercamiento a la resolución de problemas mediante un análisis cualitativo y estructurado de las posibles causas raíces del problema. También sirve como apoyo para el “Brainstorming” y el análisis preliminar del problema, sin embargo, no permite obtener un análisis profundo.

Cinco Por Qué: Es una herramienta potente de “Lean” ya que permite analizar las relaciones que existen entre las causas y efectos del problema. Para aplicar la herramienta es necesario enfocarse en un problema específico y preguntar sucesivamente cinco veces por qué, buscando la respuesta real a la causa del problema, dado que usualmente la primera causa entregada no corresponde a la causa raíz, sino más bien a un síntoma.

Modelo SIMPOC (Supplier, Inputs, Measurement, Procedure, Outputs, Customers): Define las variables clave y provee de un marco de trabajo para la estandarización de procesos, a través de las siguientes preguntas:

- ¿Quién provee los insumos de los procesos?
- ¿Cuáles son los insumos necesarios para llevar a cabo los procesos? (Materiales, personas, información, etc.).
- ¿Cómo se puede medir el proceso para asegurar el éxito?
- ¿Cuáles son los procedimientos del proceso? Se debe documentar las etapas de los procesos y el tiempo requerido para cada una.
- ¿Cuáles son los productos esperados del proceso? (Productos terminados, información, documentación, etc.).
- ¿Cuáles son los clientes del proceso y qué esperan obtener?

El modelo SIMPOC es una herramienta que permite comparar las condiciones actuales de un proceso y desarrollar operaciones estandarizadas.

1.5.12 Software de Ingeniería en Mantenimiento

Actualmente, muchas empresas tanto en el país como en el entorno industrial internacional están optando por introducir el uso de software de ingeniería de mantenimiento, debido a las ventajas que estos pueden proporcionar a la gestión del mantenimiento.

Para seleccionar un software de mantenimiento se debe tener en cuenta los factores que estarán involucrados en los procesos, así como los objetivos que tiene la organización al implementar el software de tal forma que efectivamente se pueda conseguir un retorno de la inversión. Algunos de los factores del software a ser considerados son: “funciones disponibles, servicio de postventa, investigación y desarrollo, adecuación, arquitectura del producto, diseño centrado en el usuario, personalización del producto, adaptabilidad, facilidad de uso, precio, idioma” [16].

Para determinar qué software será el apropiado para la organización se deben establecer objetivos estratégicos, metas, medidas de desempeño y requisitos del sistema, con esta información y mediante una asesoría es posible hallar un software con éxito.

Actualmente el mercado en Chile ofrece variada oferta de software, sin embargo, según señala la autora del estudio “Selección y Comparación de Software de Mantenimiento”, Edith Carmona, los softwares más utilizados son: RMES, Raptor, Blocksime y Relex. Mediante la aplicación de una encuesta, la autora plantea que el 66% de los encuestados afirma que se utilizan software relacionados con el mantenimiento en la empresa en la cual trabajan, así como también se manifiesta que el 50% de los encuestados se desempeñan en el rubro de la minería. Sin embargo, sólo 20 de los 94 encuestados confirma que se utiliza un software de ingeniería del mantenimiento, donde 9 indican que utilizan el software RMES de origen chileno, siendo este el más utilizado, y en segundo lugar Blocksime de origen estadounidense.

La autora consulta a los encuestados acerca de los factores preponderantes a la hora de elegir un software siendo los tres más importantes el potencial de análisis, la entrega de información y reportes, y las funciones disponibles.

A continuación, se presenta un resumen de las características de cada software mencionado en el estudio de la autora Carmona:

Reliability & Maintenance Engineering System RMES: Origen chileno. Idiomas: inglés, español, italiano y portugués. Definida por sus creadores como: “Una aplicación que da solución a los actuales desafíos en el área de mantenimiento de las empresas, a través de la proyección y simulación de diversos escenarios”.

Raptor: Origen estadounidense. Disponible sólo en idioma inglés. Según se describe en el sitio web de la aplicación es “una herramienta que simula las operaciones de cualquier sistema” además utiliza los algoritmos de Monte Carlo para entregar resultados.

Relex: Origen estadounidense, disponible en idiomas inglés y chino. Relex utiliza un motor de cómputo inteligente que analiza cada diagrama para determinar soluciones analíticas puras, simulación o una combinación de ambas. Los resultados entregados son rápidos y exactos

Blocksim: Origen estadounidense, disponible en idiomas: inglés, alemán, portugués y chino. El sitio web de la marca lo describe como un software que permite una “creación flexible del diagrama de bloque de confiabilidad, análisis de sistemas

reparables mediante simulación”, análisis del costo de ciclo de vida y otros relacionados.

En cuanto a aplicación, los softwares RMES, Relex y Blocksime demuestran una mayor variedad en la industria, mientras que Raptor es más utilizado en la industria aeronáutica, debido a que fue creado con esta finalidad.

En lo que se refiere a las funciones de las aplicaciones Raptor queda en desventaja con respecto a los demás softwares en cuanto a ingeniería de mantenimiento debido a que no permite configuraciones personalizadas. Blocksime y Relex permiten realizar algunas simulaciones como análisis de stock de componentes críticos, análisis económicos y predicción de confiabilidad. RMES permite realizar análisis en base a datos históricos, y presenta un mayor desarrollo en análisis RBD, análisis histórico e indicadores frente a los demás softwares del mercado. Relex por su parte incorpora un módulo para analizar el riesgo humano.

RMES, Relex y Blocksime poseen un alto nivel de adaptabilidad y personalización, en estos ítem destaca RMES, además de ser el software de mayor facilidad de uso debido a que se encuentra en idioma español. Blocksime y Relex cuentan con una vasta cantidad de funciones que no necesariamente serán de utilidad y que complican su uso.

El software RMES está enfocado en entregar un servicio integral de ingeniería de mantenimiento, destacando además que entrega capacitaciones y personaliza cada aspecto requerido por los clientes.

La autora Carmona señala que a partir de la encuesta realizada y su análisis posterior se puede concluir que existe un conocimiento bastante bajo de los softwares de ingeniería del mantenimiento, así como también poca aplicación, viéndose, en ese sentido, una oportunidad de mejora para la industria.

2 INFLUENCIA DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO Y LOGÍSTICA EN LAS ETAPAS Y PROCESOS DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Antes de analizar la influencia que tiene la Cadena de Abastecimiento y la Logística para la gestión del mantenimiento, se debe poner en perspectiva las funciones del área de Mantenimiento con respecto al modelo de negocios en la industria, en este caso de producción, y más específicamente a la gran minería del cobre en Chile.

En ese sentido el Mantenimiento debe ser visto como un eslabón de la Cadena de Abastecimiento de Producción actuando como un ente que presta servicios de mantenimiento a producción, por tanto, se transforma en un proveedor de esta área. El mantenimiento pasa a tener su propio modelo de negocios y gestión independiente, pero se pone al servicio de producción, su cliente, alineando sus objetivos para entregar un producto con un alto valor agregado.

Para que mantenimiento pueda lograr sus objetivos como uno de los eslabones de la cadena de producción, debe también establecer su propia Cadena de Abastecimiento y Logística buscando aprovechar las ventajas que un adecuado manejo garantiza para agregar valor a sus productos, en este caso, los servicios de mantenimiento.

Anteriormente se ha expuesto un modelo de gestión del mantenimiento basado en un ciclo de mejora continua, que consta de 8 etapas, y que busca alinear las estrategias de mantenimiento con las necesidades del negocio. El modelo se ha elaborado en base a una recopilación de propuestas y de modelos empleados en la industria actualmente.

2.1 Análisis de la relación entre la Cadena de Abastecimiento y un Modelo de Gestión del Mantenimiento

A continuación, se presenta un análisis de la relación que tiene cada una de las 8 etapas del Modelo de Gestión del Mantenimiento en Base a Focos Estratégicos con el manejo de la Cadena de Abastecimiento y Logística del área.

2.1.1 Etapa 1: Establecer los propósitos de la empresa

Como se ha revisado en el Primer Capítulo de este trabajo, esta etapa de la Gestión del Mantenimiento tiene relación con establecer, definir y declarar la Misión, Visión y Valores de la empresa con el objetivo de construir un plan de negocios y establecer focos estratégicos sobre los cuales se deben sustentar las estrategias y las prioridades de mantenimiento.

La teoría de Supply Chain Management indica que el desempeño de la Cadena de Abastecimiento depende directamente de su capacidad para lograr el ajuste y alcance estratégicos

La estrategia competitiva de una empresa define las necesidades que ésta busca satisfacer para sus clientes con sus productos y servicios [17]. Para que se pueda implementar la estrategia de la empresa cada una de las áreas debe, a su vez, desarrollar su propia estrategia, denominada estrategia funcional, la cual deberá ser consonante con los objetivos que la organización persigue. Cada área y función es fundamental para que la Cadena de Valor de la empresa entregue soluciones que satisfagan a sus clientes y a la vez generen rentabilidad. Sin embargo, ninguna de estas áreas debe desarrollar su estrategia funcional de forma aislada porque deben apoyarse una a la otra de tal forma de potenciar la Cadena de Suministro de Producción.

Los autores Chopra y Meindl señalan que para que la estrategia competitiva de una empresa sea exitosa, necesariamente debe estar alineada con la estrategia de la Cadena de Suministro, a lo cual se le llama Ajuste Estratégico. El diseño de la Cadena de Suministro debe enfocarse en el cumplimiento de sus funciones para apoyar a la Cadena de Valor de la organización.

Existen tres pasos para lograr el ajuste estratégico entre la estrategia competitiva y la estrategia de la Cadena de Abastecimiento.

Entender al cliente y la incertidumbre de la Cadena de Suministro: La empresa debe comprender cabalmente las necesidades de sus clientes para generar su estrategia de Cadena de Abastecimiento de tal forma que esta responda a los requerimientos específicos de manera eficiente teniendo en cuenta la demanda y el grado de imprevisibilidad de los requerimientos. Lo anterior sumado a la incertidumbre de los proveedores conlleva a definir el grado de incertidumbre que presenta la Cadena de Suministro de la empresa.

Para determinar la incertidumbre de la cadena se deben considerar los siguientes factores:

- Cantidad de producto de cada lote.
- Tiempo de respuesta máximo tolerado por los clientes.
- Variedad de los productos necesarios.
- Nivel de servicio requerido.
- Precio del producto.
- Tasa de innovación del producto deseada por el cliente.

Cabe señalar que estos aspectos se deben considerar para el diseño de todas las cadenas de las áreas de la empresa en consonancia con los objetivos y la estrategia competitiva de la empresa. En particular para el caso del Mantenimiento, los factores serán analizados más adelante.

Entender las capacidades de la Cadena de Suministro: Existen diferentes tipos de Cadenas de Suministro, cada cual ha sido diseñada para satisfacer diferentes necesidades y por ende cada diseño cuenta con capacidades distintas. En ese sentido es importante conocer y determinar para qué tareas se desea diseñar la Cadena de Suministro. Existen dos enfoques para el diseño, se busca que la cadena tenga Capacidad de Respuesta (Responsiveness) y que tenga Eficiencia. Ambas características se contraponen debido a que para aumentar la Capacidad de Respuesta se aumentan los costos, reduciendo la Eficiencia de la Cadena de Suministro. Para solucionar el problema anterior se busca que la cadena funcione en la Frontera Eficiente Costo – Capacidad de Respuesta en donde el costo más bajo se define en base a la tecnología existente [18]. En la Figura 2.1 se observa la frontera eficiente, una empresa cuya cadena se encuentra bajo la curva puede mejorar moviéndose hacia la frontera eficiente, y las cadenas que ya están sobre la frontera pueden mejorar incorporando tecnologías modificando su propia frontera.

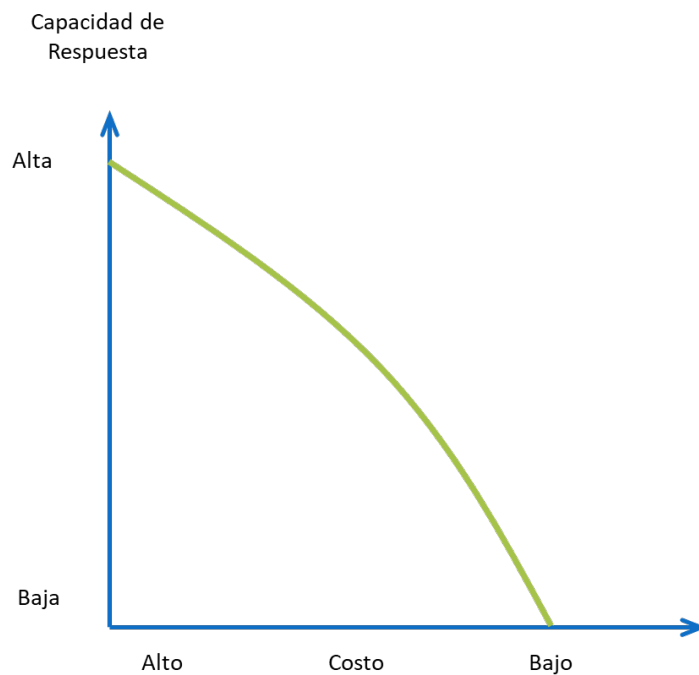


FIGURA 2.1: FRONTERA EFICIENTE COSTO - CAPACIDAD DE RESPUESTA FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

Lograr un ajuste estratégico: Se debe tener un completo ajuste entre el diseño de la cadena y las necesidades del cliente de tal manera que la cadena sea efectiva en su misión de apoyar la estrategia competitiva de la empresa. Si lo anterior no se logra se debe modificar el diseño de la cadena o bien la estrategia competitiva.

Cabe señalar que las etapas de la cadena pueden modificarse según eficiencia y capacidad de respuesta, es decir, algunas pueden hacerse más eficientes y otras pueden fortalecer su capacidad de respuesta de tal forma de potenciar aquellas etapas más importantes para lograr el ajuste estratégico.

“El alcance del ajuste estratégico se refiere a las funciones dentro de una compañía y a las etapas a lo largo de una cadena que crean una estrategia integrada con un objetivo compartido” [19]. Existen dos enfoques en los que se puede sustentar el alcance del ajuste estratégico. Por una parte, cada área puede adoptar una estrategia funcional independiente para optimizar su operación como área funcional dentro de la cadena de la organización. En contraste con la estrategia anterior, existe un enfoque donde todas las áreas funcionales trabajan de manera colaborativa para alcanzar un objetivo común., éste último es el enfoque más utilizado hoy en día y se le denomina Enfoque de Maximizar el Superávit de la Cadena de Suministro [20].

2.1.2 Etapa 2: Análisis de la situación actual de mantenimiento

Como se revisó en el capítulo anterior en esta etapa se realiza un análisis de la situación en la que se encuentra el área de Mantenimiento para que a partir de la información obtenida se pueda evaluar las condiciones en las que se encuentra la gestión del mantenimiento.

Para que se realice una correcta gestión del mantenimiento es necesario que se establezcan objetivos y una estrategia para alcanzarlos, la cual debe estar alineada a los objetivos de la empresa que se establecen en la primera etapa, revisada anteriormente.

Así como se debe realizar un ajuste estratégico entre la estrategia competitiva de la empresa y su cadena de suministro, es necesario que cada área realice el mismo ejercicio de tal forma que finalmente se logre maximizar el superávit de la cadena de suministro de la empresa.

Para establecer el diseño de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento se deben tomar en cuenta las necesidades específicas del cliente, que en el caso de mantenimiento es el área de producción, pensando en que el producto ofrecido corresponde a servicios de mantenimiento. En este sentido se han de tomar acciones tanto a nivel táctico como operativo de tal forma de asignar los recursos necesarios y asegurar la entrega de servicio acorde a las indicaciones y requerimientos plasmados en los programas de mantenimiento.

Como se señaló anteriormente, el área de mantenimiento debe seguir los mismos tres pasos que la empresa para lograr el ajuste estratégico de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento.

Referente a la incertidumbre de la cadena, los requerimientos del cliente y el grado de imprevisibilidad de estos serán determinantes. Para evaluar la incertidumbre es necesario tener claridad con respecto a:

- Cantidad de productos de cada lote, vale decir, la cantidad de repuestos e insumos que se requerirán para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.
- Tiempo de respuesta máximo tolerado por el cliente, donde se deben considerar los tiempos de preparación (logística) y tiempos de reparación en perspectiva con el costo de mantener los equipos fuera de servicio de producción.
- Variedad de productos necesarios, es decir, diferentes tipos de servicios ofrecidos a producción.
- Nivel de servicio requerido por el cliente, lo cual tiene directa relación con la capacidad de respuesta de la cadena a la vez que determina la disponibilidad de los equipos.

- Precio del producto, o costos de los servicios entregados.
- Tasa de innovación del producto deseada por el cliente, lo cual repercute directamente en los tiempos asociados al mantenimiento, al implementar procesos innovadores que puedan facilitar las tareas y disminuir los tiempos de reparación.

En cuanto la capacidad de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento se recomienda que se adopte un diseño que considere las estrategias de Tiempo de Entrega, Inventario y Proveedor, con relación a la Frontera Eficiente – Costo Capacidad de Respuesta. A continuación, se muestra un cuadro comparativo con las características de las estrategias antes mencionadas.



FIGURA 2.2: COMPARACIÓN ENTRE CADENAS DE SUMINISTRO EFICIENTES Y CON CAPACIDAD DE RESPUESTA. FUENTE: ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

Con respecto al ajuste estratégico entre la estrategia de mantenimiento y su Cadena de Abastecimiento se recomienda adoptar un enfoque que maximice el superávit, donde se consideren cabalmente las necesidades de la empresa, se comparta

información entre las funciones (áreas) y que se evalúen las posibilidades en el contexto de toda la Cadena de Suministro de la organización. Esta recomendación se realiza en base a que se considera que las necesidades y requerimientos de servicios de mantenimiento se comportan de una forma estática en el tiempo, es decir, que no varían considerablemente, esto debido a que, en general, la curva de falla de los equipos se comporta de acuerdo a la curva de la bañera (ver Figura 2.3), la cual indica que tanto al inicio de la vida útil, como hacia el final de ella se ve un incremento puntual de las fallas, sin embargo, luego de la etapa de mortalidad infantil y hasta antes del comienzo del período de envejecimiento o desgaste del activo, se observa una curva de falla constante. Se considera que en este lapso es donde se concentra la mayoría de las actividades de mantenimiento, por tanto, se asume constante.

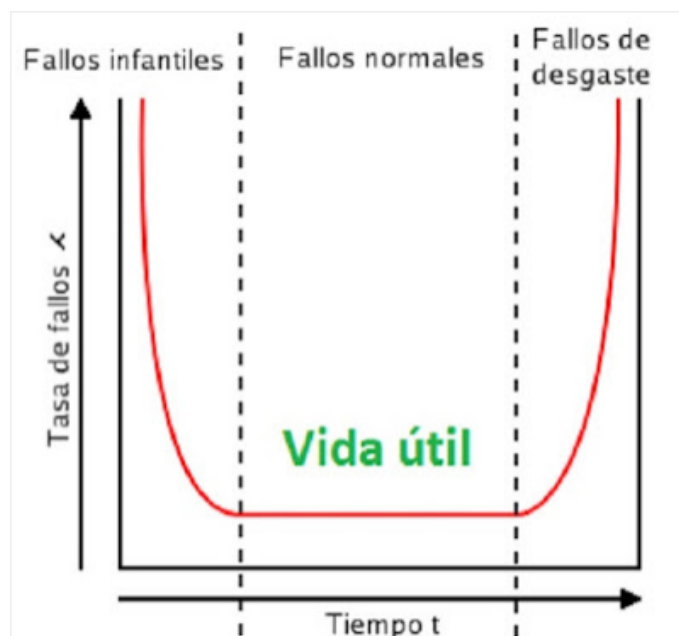


FIGURA 2.3: CURVA DE LA BAÑERA. FUENTE: MANTENIMIENTOINDUSTRIALDEEQUIPOS.BLOGSPOT.COM/P/BLOG-PAGE_1.HTML

2.1.3 Etapa 3: Jerarquización de equipos

Cuando ya se ha diseñado la estrategia de mantenimiento es necesario discretizar los activos físicos en base a su criticidad para el proceso productivo. De esta manera se tendrá la información para determinar cuáles son las prioridades de producción y del sistema y así jerarquizar según el parámetro de criticidad a los equipos a mantener. Con la jerarquización es posible direccionar los recursos técnicos y económicos hacia las áreas que tienen un mayor impacto en el negocio [22].

Para medir los niveles de Criticidad y Riesgo se utilizan métodos cualitativo – cuantitativos como la matriz genérica de criticidad, en donde los equipos se jerarquizan en No Crítico, Semi Crítico y Crítico. El riesgo es función de la consecuencia y la frecuencia. La consecuencia se compone del impacto operacional y su flexibilidad, los costos de mantenimiento y el impacto ambiental y en seguridad.

MATRIZ DE CRITICIDAD

FRECUENCIA	1	SC	SC	C	C	C	C	C
	2	SC	SC	SC	C	C	C	C
	.	NC	SC	SC	SC	C	C	C
	.	NC	NC	SC	SC	SC	C	C
		NC	NC	NC	SC	SC	C	C
	N	NC	NC	NC	NC	SC	SC	C
		1	2	.	.			M
		CONSECUENCIA						

FIGURA 2.4: MATRIZ DE CRITICIDAD GENÉRICA. FUENTE: PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y SUS PRINCIPALES HERRAMIENTAS DE APOYO. INGENIARE, REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA.

El proceso de jerarquización es una etapa importante del proceso de determinación de la incertidumbre de la Cadena de Abastecimiento, debido a que

permite comprender de mejor manera las necesidades del cliente y la criticidad de los equipos a los que se les realizaran servicios de mantenimiento. La jerarquización permite determinar con mayor precisión las consecuencias de las fallas (para producción); la frecuencia de falla con lo cual se genera la planificación del mantenimiento; los costos y tiempos de reparación que permiten determinar los costos de mantenimiento e identificar oportunidades de mejora de los procesos para incrementar el superávit de la Cadena de Suministro de Mantenimiento; impactos en la seguridad del personal e impacto ambiental concordando con los objetivos de Lean Supply Chain de reducir el desperdicio y garantizar seguridad y calidad en todos los ámbitos de impacto de la cadena.

2.1.4 Etapa 4: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto (análisis de riesgo y falla)

En esta etapa del modelo de gestión de mantenimiento se realiza una inspección técnico – visual a los equipos que han sido determinados como críticos en la jerarquización, así como se inspeccionan con menor rigurosidad aquellos categorizados como semi críticos. Los equipos no críticos no requieren de inspección alguna. Las inspecciones tienen como objetivo determinar los posibles fallos repetitivos y los modos de falla, mediante el registro de la frecuencia de falla y el análisis de causa raíz. El análisis anterior permite controlar los modos de falla de tal forma de alargar la vida útil de los equipos, evitando su eliminación y grandes costos por falla. La eliminación o el control de un modo de falla contribuye a incrementar el retorno de la inversión [23] lo que implica un aporte a los objetivos estratégicos de la organización y un incremento del superávit de la Cadena de Suministro de la empresa.

Por otra parte, la información sobre los modos de falla de los equipos críticos permite el correcto diseño y planificación de los programas de mantenimiento,

permitiendo un ahorro importante de recursos a la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento. Lo anterior se debe a que se evitan las sucesivas y constantes revisiones de diseño de los planes de mantenimiento a la vez que se tiene claridad de los recursos necesarios para solucionar los diferentes modos de falla, lo que contribuye a un mejor manejo de éstos y a un eficiente diseño del abastecimiento tanto de repuestos como de personal, en consonancia con las directrices de Lean en donde se busca eliminar todos los procesos y procedimientos que puedan estar de más en los planes de mantenimiento.

En esta etapa se ha de tener especial atención a las causas latentes, es decir, aquellas deficiencias organizacionales derivadas de errores humanos y que se transforman en crónicas, debido a que favorecen fallas en procedimientos y sistemas [24] y son contradictorias con LSSL y los lineamientos de Lean Supply Chain, dos herramientas que buscan precisamente la eliminación de este tipo de deficiencias para favorecer la dinámica de las Cadenas de Abastecimiento dentro de la organización.

2.1.5 Etapa 5: Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

A partir de la información recopilada se obtienen las funciones que realizan los equipos en su contexto operacional y para cada función los diferentes modos de falla. Se utiliza la información obtenida en las etapas 3 y 4 del modelo de gestión de mantenimiento y se confeccionan los planes de mantenimiento, herramientas que deben considerar tareas de mantenimiento preventivas y a la falla para todos los equipos, la frecuencia de realización de las tareas y los responsables de realizarlas. En el proceso se suele utilizar la metodología RCM, la que indica que en la redacción de los planes se debe incluir la asignación de recursos necesarios para la realización del mantenimiento.

El proceso descrito corresponde al diseño del servicio a entregar por mantenimiento a producción como un producto, por lo tanto, implica que cada uno de los planes deben ser analizados para incorporar los requerimientos de éstos como un “input” para el diseño de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento y al diseño del Modelo Logístico para el manejo de tiempo, recursos humanos, insumos, repuestos y servicios subcontratados.

La frecuencia de los servicios de mantenimiento determinará la demanda y la oferta del producto, lo que permitirá determinar la incertidumbre de la Cadena de Suministro de Mantenimiento. La demanda tiene un componente constante que corresponde a las tareas de mantenimiento preventivo y otro componente variable que corresponde a los servicios que se prestan una vez ocurrida la falla. Con relación a la oferta, ésta queda determinada por la capacidad de la Cadena de Suministro de Mantenimiento, es decir, por la capacidad técnica y económica del área para responder ante la demanda de Servicios de Mantenimiento. Cabe señalar que la capacidad se determina a partir de las necesidades de Producción y no viceversa.

En cuanto a la asignación de recursos es importante que se implemente un adecuado modelo de gestión de inventarios para los activos físicos como lo son insumos y repuestos, determinando, mediante los métodos mencionados en el apartado 1.4.5, aquellos necesarios eficiente para favorecer a la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento. Cabe señalar que la falta de un inventario adecuado para el mantenimiento perjudica directamente los indicadores de confiabilidad.

Los recursos de personal se distribuyen de forma que se pueda cumplir con los programas de mantenimiento de manera óptima y cumpliendo con los estándares de seguridad del personal y medioambiental. Adicionalmente, se debe supervisar el desempeño del personal y la correcta ejecución de las pautas para eliminar la

variabilidad en los procedimientos y estandarizar los servicios, en congruencia con los objetivos planteados en Lean.

2.1.6 Etapa 6: Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos

La programación detallada de las tareas de mantenimiento se denomina Ciclo Habitual del Mantenimiento y considera las tareas de programación, ejecución y control de los servicios de mantenimiento.

En el Ciclo Habitual de mantenimiento se consideran las necesidades de producción en una escala temporal y el costo de oportunidad para el negocio durante la ejecución de las tareas. “La programación de las actividades de mantenimiento pretende optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, así como minimizar el impacto en la producción” [25].

En la programación del mantenimiento se consideran todas las actividades a realizar, priorizando los servicios a equipos críticos y aquellas actividades que se realizan para garantizar el cumplimiento de las normativas de calidad y medioambiente. En esta programación se recomienda implementar Logistics Bridge Model para desarrollar un sistema de logística eficiente y con el menor desperdicio posible.

Para la ejecución de los servicios de mantenimiento se ha de procurar un flujo eficiente de comunicación entre mantenimiento y producción (mantenedores y operadores), y entre programadores de mantenimiento y mantenedores, así la ejecución

de los procesos se realizará de forma informada y ordenada, controlando los tiempos de preparación para la ejecución. Otro punto importante es el flujo de conocimientos entre operadores y mantenedores entendiendo que los primeros actúan como dueños de los equipos y son quienes tienen un mayor conocimiento de un equipo en particular, por lo tanto, son de vital ayuda al momento de diagnosticar y reparar los equipos.

Una vez realizada la ejecución de las tareas de mantenimiento es preciso realizar un control de los procedimientos para evaluar el desempeño del manejo de los recursos asignados y de la efectividad de las tareas de mantenimiento en los equipos intervenidos. Este proceso de control permite obtener retroalimentación para optimizar el diseño de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento y de la logística empleada. Este proceso se debe realizar constantemente para encausar los procesos hacia el estándar establecido y hacia la eliminación de desperdicios en todos sus flujos.

Cabe señalar que los tres procesos principales de esta etapa pueden ser apoyados por la implementación de la herramienta DMAIC, la cual permite sistematizar la resolución de problemas de optimización.

2.1.7 Etapa 7: Ingeniería de mantenimiento

La ingeniería de mantenimiento corresponde al Ciclo Largo del Mantenimiento, en donde se controlan, se proyectan y se mejoran los procesos de mantenimiento a partir de la información obtenida en el Ciclo Corto del Mantenimiento como parte del proceso de mejora continua que rige este modelo de gestión.

La ingeniería de mantenimiento permite identificar oportunidades de mejora tanto para los servicios entregados como para los procesos logísticos, y de esta manera, mejorar el diseño de la Cadena de Abastecimiento de Mantenimiento favoreciendo el valor que ésta agrega a la organización a través del incremento del superávit de la Cadena de Suministro global de la empresa. El desempeño de la cadena de mantenimiento puede ser medido mediante el establecimiento de KPI's de mantenimiento. El proceso de medición se debe apoyar en un robusto sistema de información, complementado con un software de gestión del mantenimiento adecuado a las necesidades del área.

2.1.8 Etapa 8: Análisis del ciclo de vida del activo

Para estimar el ciclo de vida de un activo se toman en cuenta una gran cantidad de variables. En el análisis de las variables se tiende a dejar de lado los costos asociados con las pruebas de instalación, producción, mantenimientos, capacitación de los operadores, entre otros. Una buena estimación del costo del ciclo de vida del activo se determina a partir de funciones en cada una de sus fases (diseño, fabricación, producción). Mediante este análisis se determina el costo que un activo tiene durante su vida útil, este costo depende principalmente de su confiabilidad, lo cual conlleva un análisis de tasa de fallas, piezas de recambio, tiempos de reparación y costos de los componentes.

Si bien el análisis del costo del ciclo de vida repercute directamente en la Cadena de Abastecimiento de la empresa y en los costos de producción, el componente relacionado a la vida útil del activo, específicamente aquellos ítem que afectan directamente a la confiabilidad, influye en el costo de los servicios de mantenimiento y por lo tanto en el diseño de la Cadena de Suministro de Mantenimiento y el costo de la logística de mantenimiento. Un buen manejo de los recursos y una certera

aproximación a los niveles de confiabilidad deseados se logra a través del diseño optimizado de la cadena. Como consecuencia de un manejo logístico de tipo Lean Six Sigma y una cadena esbelta se obtendrán menores costos de mantenimiento, por lo tanto, un menor costo de ciclo de vida de los activos de producción.

3 RELACIÓN ENTRE PROCESOS CRÍTICOS DE ABASTECIMIENTO Y EL MODELO DE NEGOCIOS

3.1 Procesos críticos de abastecimiento

Los procesos de una Cadena de Abastecimiento se pueden clasificar en tres procesos macro:

- Administración de la relación con el cliente (ARC).
- Administración de la cadena de suministro interna (ACSI).
- Administración de la relación con el proveedor (ARP).

En la Figura 3.1 se muestran los procesos de la cadena de abastecimiento en un contexto de mantenimiento según su clasificación en procesos macro.



FIGURA 3.1: PROCESOS CRÍTICOS DE ABASTECIMIENTO DE MANTENIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los procesos mostrados en la Figura 3.1, obedecen a un análisis de las etapas que se deben incluir al momento de diseñar una cadena de abastecimiento, en específico se centran en aquellos procesos clave para la gestión del mantenimiento, tomando como referencia a los procesos del manejo de inventarios MRO en un enfoque de abastecimiento integrado con un horizonte de evaluación de 12 a 24 meses [26].

3.2 Modelo de negocios

Un modelo de negocios corresponde a una representación de los conceptos relacionados al funcionamiento de una organización y al cumplimiento de sus objetivos estratégicos, que busca describir la forma en que la organización crea, entrega y recibe valor. En la Figura 3.2 se muestra el modelo genérico que se ha tomado como referencia para este análisis y se explican sus diferentes componentes.

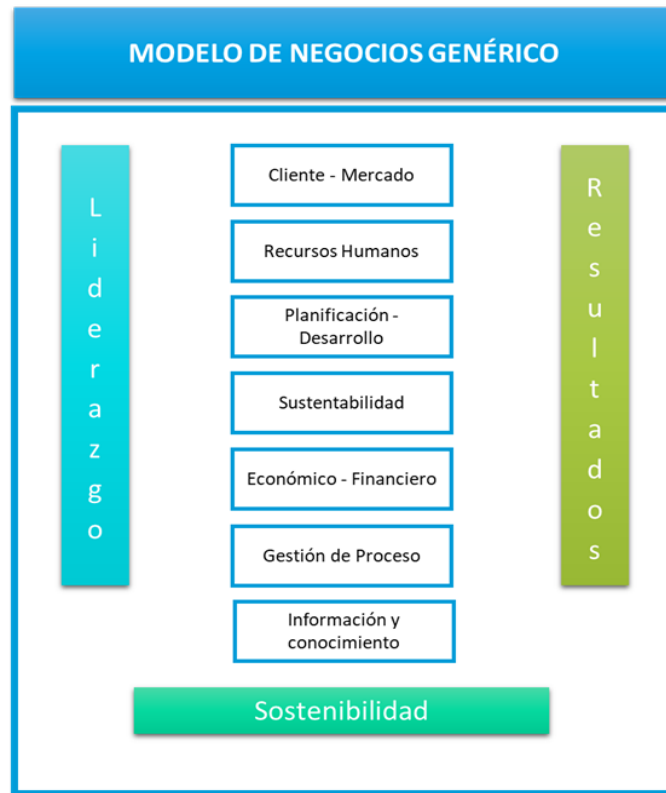


FIGURA 3.2: MODELO DE NEGOCIOS GENÉRICO.

Liderazgo: Incluye las declaraciones de Misión, Visión y Valores de la organización, que delinean los objetivos estratégicos. A través de las posiciones de liderazgo se diseñan estrategias y tareas para el desarrollo de los procesos y operaciones alcanzando los parámetros y estándares definidos para cumplir con la Misión de la empresa bajo los valores y políticas establecidas.

Cliente y mercado: Identificar y analizar a los clientes y sus necesidades en el contexto de mercado, específicamente a los clientes internos, como es el caso de las operaciones industriales.

Recursos humanos y desarrollo de personas: Los objetivos estratégicos de la empresa son alcanzados a través del compromiso, talento y competencia de las personas, quienes entregan ventajas competitivas a la organización mediante sus capacidades.

Planificación y Desarrollo: Corresponde a la elaboración de las bases de sostenibilidad del modelo de gestión y al establecimiento y planificación de tareas específicas para alcanzar los resultados esperados para el plan de negocio.

Sustentabilidad y RSE: Las actividades industriales de explotación han de orientar su planificación a la protección y cuidado del medio ambiente y las comunidades aledañas, procurando no solo dar cumplimiento a la normativa exigida, si no realizar una planificación con miras al desarrollo industrial sustentable en el largo plazo, adelantándose a las futuras exigencias y reduciendo las consecuencias e impacto, tanto para el medio ambiente como para las personas.

Económico – Financiero: Se busca maximizar los ingresos y minimizar los costos para aumentar las utilidades de la organización. Para concretar el objetivo descrito se recurre a un uso eficiente de los recursos. Desde el punto de vista del mantenimiento se busca una rebaja en los costos directos e indirectos, así como un aumento en la disponibilidad de los equipos (maximización del EBITDA).

Gestión de procesos: Identificar y analizar desde el punto de vista funcional los procesos operativos. Se establecen procedimientos y estándares que permiten alcanzar los parámetros definidos en el plan de negocio para alcanzar la excelencia operacional. En ese sentido el mantenimiento debe asegurar una adecuada gestión de activos que permita que estos cumplan la función asignada en su contexto operacional.

Información y conocimiento: En empresas con alta generación de información se ha de implementar sistemas que faciliten el almacenamiento, procesamiento y transmisión del conocimiento y la información, esto como parte de la estrategia de negocios para aprovechar las ventajas que el adecuado manejo de información puede otorgar a la gestión de la organización.

El modelo presentado busca que las figuras de liderazgo de cada una de las áreas o etapas aseguren la obtención de resultados, acorde a los objetivos planteados en la misión de la empresa, con los estándares y valores adoptados, procurando que los métodos empleados aseguren un desarrollo que satisfaga las necesidades presentes con miras a las necesidades futuras, es decir, agregando la dimensión de sostenibilidad al modelo de negocios.

En el contexto de lo expuesto anteriormente es que los liderazgos se relacionan en mayor o menor medida con el desarrollo de los procesos críticos de suministro de mantenimiento, esto debido a que a cada área o etapa del modelo de negocios debe hacerse cargo del cumplimiento de los objetivos de los procesos para garantizar su desarrollo de una forma eficiente y que cumpla con los estándares requeridos por la organización.

3.3 Asignación de liderazgos a los procesos críticos de abastecimiento

En esta sección se muestra el resultado de un análisis de la idoneidad de los diferentes liderazgos asociados a las etapas del modelo de negocios para garantizar el desarrollo satisfactorio de los procesos críticos de abastecimiento.

Cabe señalar que los liderazgos asociados a las áreas o etapas de recursos humanos, gestión de procesos y sustentabilidad deben estar presentes en cada uno de los procesos críticos de mantenimiento, por la lógica razón de que son transversales a los objetivos de todas las áreas de una organización.

Planeación de la demanda: Este proceso busca determinar la demanda de servicios que tendrá el área de mantenimiento de parte de producción. El liderazgo que debe realizar el estudio de la demanda de servicios es aquel que esté a cargo de analizar a los Clientes y el Mercado, en el caso de mantenimiento, analizar los requerimientos de producción. Lo anterior se puede desarrollar en conjunto con el área de Planificación y Desarrollo la cual es la encargada de implementar las tareas para la realización de la planificación de la demanda.

Determinación de costos de servicios de mantenimiento (precios): Dado que mantenimiento presta un servicio interno a producción no se puede hablar de precios de los servicios, a pesar de que en muchos casos estos se traspasan entre áreas tal y como se tratara de servicios prestados por empresas externas, por este motivo se analizarán los costos de mantenimiento entendiendo que estos se traspasan a producción de forma directa, sin cobrar el valor agregado que se asocia al concepto de precio. Los liderazgos asociados a la determinación de costos corresponden a Cliente y Mercado, y Económico-Financiero. Lo anterior se basa en que se deben establecer claramente las necesidades del cliente y los parámetros de calidad de servicio esperados para luego realizar un análisis económico-financiero de la prestación de servicios bajo los estándares requeridos, con lo que se obtendrán los costos para cada una de las tareas de mantenimiento a realizar considerando todos los factores que componen el costo (costo mano de obra, costo de materiales, costo transporte, costo tiempos de logística, etc.).

Planificación del Mantenimiento: En base a los resultados entregados por los procesos anteriores se planifican las tareas y recursos de mantenimiento en consonancia con los objetivos estratégicos planteados por el área y por el cliente. El proceso se lidera por el área de Planificación y Desarrollo inserta en el modelo de negocios.

Administración de la atención de equipos: Al igual cómo funciona la consulta de un médico, mantenimiento debe generar citas para la atención de los equipos, esto se puede asimilar, por ejemplo, a la labor que realizan las áreas de atención al público en consultorios y clínicas, donde se busca asignar el recurso tiempo de la forma más eficiente posible para lograr la mejor y mayor cantidad de atenciones, asignándoles el tiempo necesario para su ejecución. La tarea de la administración de los tiempos de atención de los equipos debe estar garantizada por el liderazgo asociado a las áreas de Planificación y Desarrollo, Información y Conocimiento, y Económico-Financiero, todas deben conjugarse para la asignación de los recursos de tal manera que la ejecución de las tareas de mantenimiento resulte eficiente y oportuna, para lo cual es vital la fluidez de información entre mantenimiento y producción, así como la entrega de recursos que garanticen el desempeño bajo los estándares solicitados.

Administrar órdenes de trabajo: Tiene directa relación con el proceso anterior descrito dado que parte de administrar la atención a los equipos es precisamente, desarrollar y administrar las órdenes de trabajo, las cuales funcionan como una guía, permiso y fuente de información para el control de los procedimientos de mantenimiento. En este proceso es fundamental el apoyo del área de Información y Conocimiento.

Planeación y administración de inventarios: Este proceso de abastecimiento requiere que se determine la incertidumbre del inventario de seguridad para asegurar un nivel de inventario óptimo que maximice la disponibilidad de los equipos de

producción. En el proceso de determinación del inventario óptimo se establecen plazos y frecuencias de recepción, economías de escala (dependiendo del tipo de suministro) y el formato en el que se desea que los materiales arriben al lugar de almacenamiento, esto último permite gestionar los espacios de inventario y optimizar las estrategias de almacenamiento para un ahorro de los recursos de manejo de inventarios. Las áreas del modelo de negocio que interactúan con los procesos de abastecimiento son principalmente Cliente y Mercado, y Planificación y Desarrollo. Los liderazgos de las fases mencionadas deben velar por la disponibilidad de insumos y repuestos críticos en pro de satisfacer las exigencias de mantenimiento solicitadas por producción.

Pronóstico de materiales y servicios: Para dar cumplimiento a los estándares de disponibilidad exigidos es que se debe realizar una proyección de los consumos de materiales (insumos, repuestos críticos, etc.) y de servicios de terceros que necesitará mantenimiento para la realización de las tareas. Lo anterior se lidera por el área de Planificación y Desarrollo en conjunto con el área de Mercado y de Información, con la información de proveedores obtenida mediante los estudios del mercado oferente y la información recopilada de los procedimientos de mantenimiento es posible determinar la necesidad de consumo, en cantidad y formato, de los materiales y servicios.

Transporte, manejo y recepción de materiales: En los procesos de selección y compra de materiales se incluye un análisis del transporte y del manejo de los materiales, tanto desde el proveedor hasta los almacenes propios, como dentro de los almacenes hasta el lugar físico de la ejecución del mantenimiento. Para optimizar los tiempos de mantenimiento y garantizar la integridad física de materiales y repuestos es que se debe determinar la manera más eficiente y adecuada para el tratamiento de las especies tanto en su transporte como en su recepción y almacenaje. El área encargada

de coordinar las necesidades de transporte y manejo de materiales tanto al interior de la organización como con los proveedores es la de Planificación y Desarrollo.

Decisiones de aprovisionamiento: Las decisiones que se toman en torno a: selección de proveedores, estrategias de compra, contratos de abastecimiento, contratos de servicio, entre otras. Las decisiones anteriores se deben analizar no solo en su dimensión técnica, sino que también en la económica. Para realizar el análisis se recurre a diferentes herramientas como pautas de puntuación de proveedores e información de precios de mercado. Este proceso consiste en la toma de decisiones tácticas a nivel de liderazgos y se ven involucradas las fases de Información y Conocimiento, Cliente y Mercado, y Económico – Financiero, las cuales deben velar por encontrar las mejores estrategias de abastecimiento para cada tipo de requerimiento, sean estos servicios, materiales o repuestos, desde un punto de vista técnico y financiero, procurando que las decisiones adoptadas propicien el aumento del valor de la cadena de suministros de mantenimiento.

Estrategia de compra y obtención de materiales y servicios: Usualmente la estrategia que se adopta para compras y servicios es de corte institucional, por lo tanto, mantenimiento debe adoptar las directrices que plantea la organización de forma centralizada y a nivel institucional. Las estrategias consisten en diversos tipos de negociación y de canales de obtención y suministro, así como múltiples políticas de pago a proveedores. La estrategia usualmente es determinada por las áreas de Cliente y Mercado y Económico-Financiero, y obedecerá no solo a las condiciones más favorables para agregar valor a la organización, sino también a las facilidades que entreguen los proveedores.

Evaluación y selección de proveedores: Este proceso consiste en estudiar el comportamiento de los proveedores en base al cumplimiento de los contratos y

acuerdos, plazos de entrega, calidad, entre otros factores, lo que permite realizar una selección acorde a las necesidades del área, como también descartar o dar término a contratos cuando las condiciones presentadas por el proveedor son deficientes. Las áreas que se encuentran a cargo de la recopilación de antecedentes y la toma de decisiones al respecto son Información y Conocimiento, Cliente y Mercado y Económico-Financiero.

Administración de órdenes de compra (OC): Para mantener un seguimiento y control del estado de las órdenes de compra usualmente se cuenta con un sistema informático que ayuda a procesar la información emitida y recibida desde y hacia los proveedores, así como la información de arribos a almacenes, quiebres de stock, entre otros. Lo anterior es controlado por un agente que, a través del sistema, puede emitir, seguir y dar prioridad a las OC según las necesidades y urgencias del área de mantenimiento. Las áreas del modelo de negocios involucradas en estos procesos son Información y Conocimiento, y Cliente y Mercado.

G e s t i ó n d e p r o c e s o s	S u s t e n t a b i l i d a d	R e c u r s o s H u m a n o s	Modelo de Negocios	Procesos de Abastecimiento
			Cliente y Mercado	- Planeación de la demanda. - Determinación de costos de servicios de mantenimiento. - Planeación y administración de los inventarios. - Pronóstico de materiales y servicios. - Decisiones de aprovisionamiento. - Estrategia de compra y obtención de materiales y servicios. - Evaluación y selección de proveedores. - Administración de órdenes de compra.
			Planificación y Desarrollo	- Planeación de la demanda. - Planificación del mantenimiento. - Administración de la atención de equipos. - Planeación y administración de los inventarios. - Pronóstico de materiales y servicios. - Transporte, recepción y manejo de materiales.
			Económico – Financiero	- Determinación de costos de servicios de mantenimiento. - Administración de la atención de equipos. - Decisiones de aprovisionamiento. - Estrategia de compra y obtención de materiales y servicios. - Evaluación y selección de proveedores.
			Información y Conocimiento	- Administración de la atención de equipos. - Administración de las órdenes de trabajo. - Pronóstico de materiales y servicios. - Decisiones de aprovisionamiento. - Evaluación y selección de proveedores. - Administración de órdenes de compra.

TABLA 3.1: ASIGNACIÓN DE LIDERAZGOS A PROCESOS DE ABASTECIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Es de vital importancia que se establezcan claros liderazgos con respecto a los procesos de abastecimiento, de esta manera se puede asegurar la gestión de mejora continua y el control de indicadores claves para cada proceso al designar responsabilidades y diseñar un método de control de avances y mejoras de los procesos.

4 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL MANEJO LOGÍSTICO Y DE ABASTECIMIENTO DE MANTENIMIENTO

Los procesos críticos de abastecimiento para mantenimiento considerados tienen estrecha relación con la administración de materiales, recursos humanos y contratos; todos recursos clave del mantenimiento, por lo que se planteará una metodología que

apunte a la mejora de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad en base a la gestión de estos recursos con el objetivo de mejorar los procesos ACR, ACSI y ARP.

La metodología de análisis se basa en el modelo de estandarización de procesos SIMPOC (supplier, inputs, measurements, procedure outputs, and customers), la cual provee un marco de trabajo para determinar y analizar variables clave.

Por otra parte, la metodología propuesta se basa en el modelo DMAIC, el cual es una de las herramientas de mejora continua que se plantean para la implementación de metodología Lean, tanto en Supply Chain como en Logística.

4.1 Recursos clave del abastecimiento de mantenimiento

4.1.1 Repuestos

El manejo de repuestos, en especial de repuestos críticos en mantenimiento tiene un papel clave en el desempeño de la disponibilidad de equipos. Es sabido que el no contar con los repuestos necesarios para un mantenimiento retrasa todo el proceso de atención del equipo con consecuencias variadas en todo el espectro dependiendo del retraso en la disponibilidad del material. Estas indisponibilidades pueden retrasar el plan de mantenimiento programado, forzando al equipo a trabajar horas extra a lo recomendado, por tanto, propiciando una falla aún mayor, o bien en el caso de un mantenimiento no programado, pueden hacer perder una gran cantidad de horas de producción, dependiendo de la falla, generando pérdidas significativas para la organización vinculadas a la disminución de producción y al costo de oportunidad relacionado al tiempo perdido.

Las mejoras en logística están netamente ligadas a las mejoras en inventarios, teniendo como premisa que el servicio de mantenimiento no puede ser entregado si no existen las herramientas e insumos necesarios disponibles en el tiempo adecuado para satisfacer las necesidades del cliente, se puede mejorar sustancialmente la logística de mantenimiento a través del adecuado manejo de stock de inventarios en almacenes y de la planificación de la compra de materiales mediante la correcta proyección de las necesidades. Lo anterior utilizando la información de los planes de mantenimiento programado y las estadísticas de falla actualizadas de los equipos.

Cuando se trata de alcanzar altos niveles de disponibilidad de equipos, se debe realizar el análisis costo/beneficio de la mantención de inventarios de repuestos críticos. Se tiende a pensar que mientras menor sea el nivel de inventarios, mejores serán los indicadores logísticos. Se debe considerar que muchos de los repuestos críticos tienen una baja disponibilidad en el mercado, o bien son complejos de conseguir debido a que el mercado se encuentra a una gran distancia geográfica o se entregan fabricados a pedido. Por lo anterior, es que para un buen manejo de repuestos es necesario tener un conocimiento cabal de los componentes de los equipos; la complejidad técnica de los mismos; los materiales; ubicación de proveedores; tiempos y plazos de reserva, fabricación y entrega; entre muchos otros aspectos.

Finalmente, para el diseño de un plan de abastecimiento y reserva de repuestos se deben considerar todos los aspectos mencionados anteriormente como un primer pie, pero ello depende además del tipo de equipo, tipo de negocio, condiciones de producción, entre muchos otros factores que se deben adecuar según las necesidades de mantenimiento que plantee el cliente del área o según los objetivos de la organización.

4.1.2 Mano de obra

El recurso humano es uno de los más importantes para el mantenimiento. La utilización de los recursos de tiempo de mano de obra tiene un gran potencial de optimización en cuanto a tiempos de logística y coordinación. Usualmente los mecánicos de mantenimiento cumplen las funciones de planificación logística y coordinación de los trabajos, como verificar el transporte, la disponibilidad de repuestos, coordinar los traslados y las detenciones de equipo, llevando estas tareas aproximadamente dos horas de la jornada de trabajo, ya que deben realizarse por cada trabajo de mantenimiento que se asigne en el día. La mano de obra calificada para el mantenimiento tiene un costo mucho mayor que la que se puede utilizar para realizar estas coordinaciones.

Por otra parte, la mano de obra afecta a los indicadores de mantenimiento en el sentido de su disponibilidad, es decir, no siempre se cuenta con el personal necesario para la realización de todas las labores del plan de mantenimiento programado, y más aún no se cuenta con personal para contingencia, es por ello que junto con la elaboración del plan de mantenimiento, se deben considerar los tiempos reales de las tareas y la cantidad real de mano de obra necesaria de tal forma de mantener un capital humano disponible acorde a las necesidades, y permita atender holgadamente las contingencias, sin perjudicar de sobremanera el plan de mantenimiento programado.

Para una mejora en la asignación del personal a las tareas de mantenimiento se pueden utilizar diversas herramientas; desde revisiones y comparaciones entre las órdenes de trabajo y los planes de mantenimiento, para verificar la variación entre los tiempos nominales y reales, disponer de programadores del mantenimiento quienes utilizan herramientas de planificación como cartas Gantt, entre otras; o bien apoyarse de algún software de mantenimiento.

4.1.3 Contratos de abastecimiento

Décadas atrás las personas encargadas del abastecimiento en una organización sólo debían asegurar un precio razonable para los materiales y asegurar la producción, es decir, que ésta no se detenga debido a un quiebre de stock. Hoy en día el abastecimiento moderno funciona de una forma muy diferente. A pesar de que muchas organizaciones aún funcionan con el enfoque antiguo, otras están buscando aumentar la eficiencia de sus procesos de compra y adquisiciones de servicios y bienes, debido a que se han dado cuenta de la importancia estratégica que tiene la gestión de abastecimiento para la competitividad y la agregación de valor en las organizaciones a través de dos frentes: eficiencia de costos y efectividad operacional.

Las mejoras en cuanto a materiales no solo tienen que ver con la disponibilidad de estos en el tiempo requerido, sino también en los costos de estos. Pequeñas reducciones en el costo de un material pueden generar un aumento significativo del margen antes de impuesto de una empresa. Lo anterior se consigue básicamente mediante dos estrategias, la primera es generar contratos de abastecimiento de materiales con proveedores que aseguren la disponibilidad en cantidad y plazos, traspasando los costos de almacenaje a largo plazo de los repuestos y materiales, y la segunda en base a un descuento por volumen de compra, lo cual generalmente se da en aquellos materiales genéricos que se adquieren por grandes volúmenes y que se almacenan en stock (por ejemplo: pernos, tuercas, golillas, sellos, etc.).

Para generar un contrato de abastecimiento es necesario, en primera instancia, tener un conocimiento acabado de las necesidades de materiales, en segundo lugar, reconocer las exigencias mínimas de calidad y estándares de los materiales o servicios requeridos y finalmente realizar un estudio del mercado oferente y los potenciales proveedores.

Usualmente se genera un ranking de proveedores o bien se llama a concurso o licitación en donde oferentes que cumplan con los requerimientos son seleccionados y clasificados de acuerdo con los criterios que disponga la organización. De esta forma se asegura que los contratos sean pactados con el proveedor que asegure la mejor relación precio/calidad de los materiales o servicios.

Otro punto que considerar en cuanto al abastecimiento es el tema de los repuestos críticos. Es importante tener a más de un proveedor para este tipo de materiales, esto para asegurar la disponibilidad y la continuidad del proceso. Otras estrategias por evaluar dependiendo de los estándares de la organización son: que el proveedor cuente con sus propios planes de contingencia para asegurar la disponibilidad del material, o bien manejar un stock crítico de repuestos.

4.1.4 Externalización de servicios

Usualmente la decisión de externalizar servicios de mantenimiento se toma con el objetivo de conocer y fijar de antemano los costos involucrados, o bien para que el contratista asuma algunos costos y riesgos que la organización ya no está dispuesta a asumir.

La externalización de los servicios de mantenimiento permite flexibilidad en la mano de obra, debido a que se puede ampliar o disminuir según las necesidades, se pueden extender turnos o trabajar en horarios extraordinarios, lo que muchas veces no se puede llevar a cabo con personal de planta.

Dentro de las razones a considerar una externalización se encuentra la mejora y exigencia de resultados. Cuando se requiere mejorar sustancial y rápidamente los resultados del área es una buena estrategia externalizar los servicios debido a que se puede estipular como condición de contrato el cumplimiento de los resultados buscados.

Existen 3 tipos de contratos más utilizados en mantenimiento: los de tiempo y materiales, en donde se factura por las horas trabajadas y los materiales empleados; contratos a precio cerrado, en donde se negocia una cantidad de servicios en fechas y plazos estipulados y algunos imprevistos; contratos full operación y mantenimiento, es un tipo especial en donde se entrega tanto la operación como el mantenimiento de la planta a un tercero, en donde la organización solo hace un usufructo comercial, sin embargo, este se dejará fuera de análisis, debido a que escapa de los límites planteados para este trabajo, ya que involucra una mayor cantidad de aspectos y recursos a considerar, y no sólo aquellos relacionados con el mantenimiento.

Finalmente, los contratos de servicios se elaboran en base a las necesidades y exigencias de la organización en cuanto a calidad, seguridad y protección del medio ambiente. Se selecciona al proveedor en base al estándar requerido, el precio y la experiencia de los oferentes, para finalmente firmar el abastecimiento del servicio por el lapso requerido.

4.1.5 Información

La información es uno de los recursos menos valorados en la mayoría de los procesos y áreas de todas las industrias debido a que es un recurso difícil de medir. Sin embargo, es uno de los recursos que puede generar mejoras mayores induciendo un

gasto mucho menor comparado con los demás. Uno de los ítems que garantiza mejoras es la calidad de la información. Muchas veces se cuenta con información disponible, ya sea en gran o baja cantidad, pero ésta no es adecuada, no es precisa o no aporta ningún valor al proceso.

La información extraída de los procesos debe tender siempre a reflejar la realidad y debe ser almacenada solo aquella información relevante para el control y la mejora de los procesos.

En la logística y abastecimiento de mantenimiento existen ciertos datos que son relevantes y deben tenerse en cuenta al momento de generar, almacenar y procesar información, estos son: tiempos de mantenimiento (proceso), tiempos de preparación, cantidad de personal destinado, tipo y cantidad de materiales utilizados.

La falta de una información certera y de calidad repercute en la capacidad de respuesta de la cadena de abastecimiento ante los eventos de mantenimiento, si no se realiza una buena programación del mantenimiento en base a la información veraz recopilada, se tendrán problemas con el abastecimiento de repuestos críticos, la asignación de la mano de obra, entre otros inconvenientes.

4.2 Metodología de manejo de abastecimiento y logística para el mantenimiento

La metodología utilizada en el análisis del problema (SIMPOC) sugiere realizar las siguientes preguntas, cuyas respuestas han sido orientadas a lo largo de este trabajo y que necesitan tener respuestas por parte de la organización antes de iniciar con la implementación de la metodología a presentar.

- ¿Quién provee los insumos del proceso de mantenimiento?
- ¿Cuáles son los insumos necesarios para los procesos de mantenimiento?
- ¿Cómo se pueden medir los procesos de mantenimiento?
- ¿Cuáles son los procedimientos de los procesos de mantenimiento?, ¿cuáles son sus etapas y tiempos?
- ¿Cuál es el o los productos esperados en los procesos de mantenimiento? (entendiendo como productos el servicio mismo, como la información, por ejemplo).
- ¿Quiénes son los clientes del proceso de mantenimiento?

Una vez la organización tenga completa claridad de la respuesta a estas interrogantes se puede comenzar a implementar una metodología para el abastecimiento y la logística.

A continuación, la figura 4.1 presenta un esquema de la metodología de manejo de abastecimiento y logística para mantenimiento planteada.

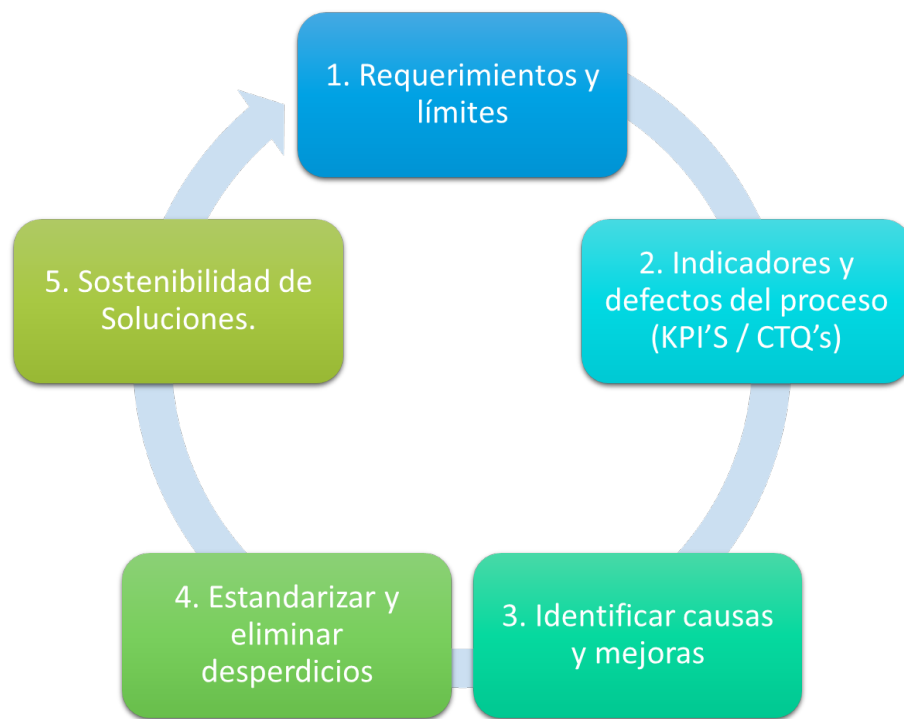


FIGURA 4.1: METODOLOGÍA DE MANEJO DE ABASTECIMIENTO Y LOGÍSTICA DE MANTENIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4.2.1 Requerimientos y límites

En esta etapa se establecen los objetivos en base a los requerimientos del cliente. En el caso del mantenimiento, estos serán los requerimientos de producción, que se relacionan con: aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de producción, en consecuencia, reducir los tiempos relacionados a la detención de equipos por falla, aumentar la calidad de las reparaciones, disminuir la frecuencia de fallas, todo con el objetivo final de aumentar la producción.

En esta etapa se deben establecer claramente los límites de los servicios de mantenimiento requeridos por producción. Lo anterior se logra a través de una fluida comunicación y un análisis en conjunto para determinar lo que producción necesita y

lo que mantenimiento está en condiciones de garantizar. Para lo anterior, se recomienda elaborar un diagrama o mapa del flujo de mantenimiento tomando como base los procesos de abastecimiento, de esta manera se logra visualizar claramente si la cadena está en condiciones de garantizar una respuesta a los requerimientos de producción.



FIGURA 4.2: CICLO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO Y ABASTECIMIENTO GENÉRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4.2.2 Indicadores y defectos del proceso

Se establecen indicadores clave de rendimiento para el proceso (KPI's) de abastecimiento en función del cumplimiento de los objetivos de mantenimiento, los cuales emanan directamente de los objetivos que persigue la organización en cuanto a producción y que se han establecido en la etapa inicial de este modelo. Los KPI's orientarán el proceso para inducir un incremento en la mejora de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, como en la obtención de las metas y requerimientos planteados por producción. Además, se pueden establecer parámetros de calidad críticos (CTQ), para identificar y satisfacer los requerimientos clave del cliente bajo un estándar de calidad.

A continuación, se muestra un listado de KPI's útiles para los procesos de abastecimiento de mantenimiento. No se incluyen los indicadores de mantenimiento analizados con detención en el capítulo 1.

Rotura de stock no planificada: Tiempo de paradas de producción debido a la rotura de stock. En el caso del mantenimiento, se refiere al tiempo de detención de los equipos de producción producto de la falta de repuestos para la reparación.

Errores de previsión de la demanda: Corresponde a la diferencia entre la demanda prevista y la demanda real de repuestos y materiales.

$$\text{Error P.D.} = \frac{\text{Previsión de la demanda} - \text{Demanda real}}{\text{Demanda real}} \quad (4.1)$$

Costo medio de orden de compra: Permite medir la desviación en los costos de las órdenes de compra emitidas por abastecimiento.

$$\text{Costo medio OC} = \frac{\text{Costo total aprovisionamiento}}{\text{Nº total de OC}} \quad (4.2)$$

Plazo de aprovisionamiento: Permite medir el cumplimiento de los tiempos definidos para el aprovisionamiento. A la vez se convierte en una herramienta para evaluar a los proveedores.

$$\text{Lead Time} = \text{Fecha de recepción del pedido} - \text{fecha de emisión del pedido} \quad (4.3)$$

Cumplimiento de pedidos: Permite medir el cumplimiento de los requerimientos de servicios de mantenimiento en un tiempo determinado.

$$\text{Cumplimiento de pedidos} = \frac{\text{Cantidad de pedidos recibidos}}{\text{Cantidad de atenciones a equipos}} \quad (4.4)$$

Documentación sin errores: Permite medir la calidad de la información en los documentos de mantenimiento y suministro, teniendo en cuenta que el flujo y la calidad de la información son una de las bases de la mejora continua. Se pueden medir entonces, órdenes de trabajo, órdenes de compra, planes de mantenimiento, etc. Para la elaboración de este KPI, se pueden realizar auditorías aleatorias y muestreos del total de documentos.

$$\text{Documentos sin errores} = \frac{\text{Documentos generados sin errores}}{\text{Total documentos generados}} \quad (4.5)$$

4.2.3 Identificar causas y mejoras

Esta etapa tiene como fin identificar las causas raíces de los defectos de abastecimiento y logística, y a través de ello proponer las mejoras que estén disponibles para ser implementadas acorde a la realidad de la organización y de las necesidades de producción. Las oportunidades de mejora para el proceso de abastecimiento se deben identificar y validar las causas de variación en los procesos logísticos y de abastecimiento, y se deben clasificar según la relevancia que estas tengan para el cliente, es decir, se debe analizar y plantear aquellas que impacten de mayor manera a los objetivos de producción: la continuidad operacional y el volumen de producción traducido a ingresos.

A continuación, se nombran algunas herramientas para identificar causas y mejoras y su forma de aplicación.

Diagrama de causa y efecto (Ishikawa): Permite establecer gráficamente las causas lógicas relacionadas a un síntoma.

Principio de Pareto: Ayuda a priorizar las causas de un problema según su incidencia, “solo un 20% de los elementos provoca un 80% de los problemas”.

Cinco por qué: Técnica que se desarrolla en conjunto, en donde los participantes buscan la causa raíz de un problema o síntoma preguntando el porqué de la situación o síntoma. Se espera que en aproximadamente cinco preguntas se llegue a dar con la verdadera causa raíz.

Diagramas de afinidad: Permiten establecer relaciones y vínculos entre situaciones e ideas que no se habían contemplado en un principio, y así encontrar soluciones más completas al problema planteado inicialmente, teniendo en consideración todas las variables que lo afectan.

4.2.4 Estandarizar y eliminar desperdicios

Se diseñan e implementan soluciones a las causas raíces de los problemas de abastecimiento y logística de mantenimiento. Se identifican aquellos aspectos inmersos en los procesos que no están agregando valor al servicio de mantenimiento o a la cadena de valor de la organización en general y se idean fórmulas para eliminar las disconformidades en cuanto a inventarios, adquisiciones, proveedores, información, etc. Además, se busca generar la estandarización del proceso para asegurar que las disconformidades y desperdicios se mantengan fuera de él, y así garantizar la calidad.

4.2.5 Sostenibilidad de las soluciones

En esta etapa se debe establecer un plan que contemple el monitoreo y el control de las soluciones implementadas en la etapa anterior de tal forma de garantizar que éstas se mantendrán generando valor para la cadena en el largo plazo. Aquí es vital la generación de planes de monitoreo, documentar los procesos y generar “check points” durante los procesos logísticos y de abastecimiento de mantenimiento que permitan extraer información de control y evaluar si los procesos se están llevando a cabo conforme al estándar determinado en el proceso anterior.

4.3 Ejemplo de aplicación de la metodología de manejo de abastecimiento y logística para una compañía minera en Chile

El siguiente ejemplo se basa en un problema real planteado por una compañía minera dedicada a la extracción y producción de concentrado, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno. La compañía utiliza el método de explotación a rajo abierto, por lo que para la extracción del material y estéril se emplean palas electromecánicas, las que representan el equipo más crítico del flujo de producción.

Antes de comenzar con el análisis, se aclara que éste se centrará en el mantenimiento de las palas electromecánicas y la mejora de su disponibilidad y confiabilidad en base al manejo de la cadena de abastecimiento y logística que acompaña el proceso.

Algunos antecedentes que considerar son:

“La compañía cuenta con 2 palas 495 BI Bucyrus, 4 palas 495 HR Bucyrus y 4 palas 4100XPC P&H, siendo 10 palas de gran envergadura, que alimentan a 102 camiones. En promedio cada equipo carga 700 mil toneladas diarias a la cadena de producción, por tanto, asegurar la confiabilidad de estos equipos permite dar continuidad operacional a los procesos de la mina.”

“Planificación mantención palas anualmente entrega un plan matriz de mantención, incluyendo principalmente: mantenciones preventivas, predictivas, monitoreo y condiciones, y cambios de componentes. La planificación de estas actividades se distribuye de acuerdo con las frecuencias de mantención y frecuencias de cambio de componentes establecidas por fabricante.” [27]

A continuación, se empleará la metodología propuesta para el manejo de abastecimiento y logística para este caso, y se dan posibles soluciones al problema a plantear.

4.3.1 Análisis del problema a través de la metodología SIMPOC.

Se responden las preguntas indicadas en la metodología a fin de identificar el problema.

- **¿Quién provee los insumos del proceso de mantenimiento?**

Existen dos fuentes de abastecimiento de repuestos, una es de repuestos genéricos comprados en el mercado, y la otra es la de repuestos reparados o fabricados en talleres

externos debido a su complejidad tanto técnica como de adquisición. El proveedor directo al proceso, sin embargo, es la bodega central de la organización.

- **¿Cuáles son los recursos necesarios para los procesos de mantenimiento?**

Los recursos necesarios para el mantenimiento de palas son: repuestos críticos de los subsistemas que presentan fallas, mano de obra, equipos auxiliares (grúas, grúas horquillas, camión grúa, camión alza hombre, camión plataforma, etc.), espacio físico de trabajo.

- **¿Cómo se pueden medir los procesos de mantenimiento?**

La compañía establece KPI para medir el desempeño de sus procesos de mantenimiento asociados a fallas críticas. Utilizan los indicadores de: MTBF, tasa de fallas, MTTF, indisponibilidad por falla, tiempo real de mantenimiento correctivo.

- **¿Cuáles son los procedimientos de los procesos de mantenimiento?,
¿cuáles son sus etapas y tiempos?**

A continuación, se presenta un cuadro con las etapas y procesos de mantenimiento de la compañía.



FIGURA 4.3: PROCESOS DE PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO DE PALAS. FUENTE: MEJORA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPAMIENTO MINERO DE GRAN ENVERGADURA UTILIZANDO EL CICLO DE GESTIÓN DE RIESGO.

Los procedimientos dentro de los procesos son:

Planificación a largo plazo: Planificación del mantenimiento anual y quincenal para reparaciones mayores (incluye cambios de componentes, mantenimiento preventivo, predictivo y monitoreo de condiciones).

Planificación a corto plazo: Elaboración del plan mensual de mantenimiento (incluye backlog y fallas críticas), control de órdenes de trabajo, ingreso de información a programa Ellipse.

Confiabilidad: Ejecuta un procedimiento de revisión y entrega de amenazas, las cuales se identifican y detectan a través del monitoreo de condiciones. Se elabora un listado de componentes los cuales se ordenan según criticidad mediante la confección de una matriz de amenazas. Se realizan procedimientos de visitas a terreno para supervisión del desarrollo de las actividades de mantenimiento.

Gestión de repuestos y reparables: Revisión de stock de repuestos, solicitud de componentes a bodega, catalogación de componentes nuevos en inventario. Lo anterior emana de la información contenida en los planes de mantenimiento. Los repuestos son solicitados a bodega a medida que se acerca la ejecución del plan.

Programación: Organiza las actividades planificadas y distribuye los tiempos de atención a equipos mediante carta Gantt, matriz de riesgo y posicionamiento de equipos. Es quien se encarga de la creación de los procedimientos para todas las especialidades de mantenimiento y se encarga de la recopilación de la información de los procedimientos (OT, procedimiento de trabajo, verificación de trabajo seguro).

- **¿Cuál es el o los productos esperados en los procesos de mantenimiento?**

Los productos de los procesos de mantenimiento son:

Planificación a largo plazo: Plan quincenal de Budget y cambio de componentes, plan matriz, disponibilidad anual por flota y equipo.

Planificación a corto plazo: Capex del quinquenio, informe de desviaciones del plan matriz, forecast del período, plan mensual y bimensual, listado de amenazas. KPI de fallas críticas.

Gestión de repuestos: Documentos QA/QC, inventario actualizado de repuestos.

Programación: Carpetas con procedimientos, precisión de servicio de PM y cambio de componentes, cierre OT.

- **¿Cuáles son los clientes del proceso y que esperan obtener?**
-

El cliente de mantenimiento en esta compañía es el área de producción, y se espera obtener servicios de mantenimiento.

4.3.2 Aplicación de la metodología de manejo de abastecimiento y logística propuesta.

4.3.2.1 Requerimientos y límites

Para el caso de análisis, el área de producción de la compañía requiere que las palas electromecánicas, a lo menos, mantengan sus indicadores de disponibilidad operacional, y se busca un aumento de la producción mediante el aumento de la disponibilidad operacional en el mediano y largo plazo.

Actualmente la capacidad de producción de carga diaria de las palas corresponde a 700 mil toneladas cada una.

Las palas son el único medio para alimentar la cadena de producción con el mineral, es decir, son el equipo más crítico de la cadena de producción.

Se puede visualizar el ciclo de trabajo de mantenimiento de la compañía en la Figura 4.3, mostrada anteriormente. A continuación, se muestra un esquema simplificado en base a la metodología propuesta.

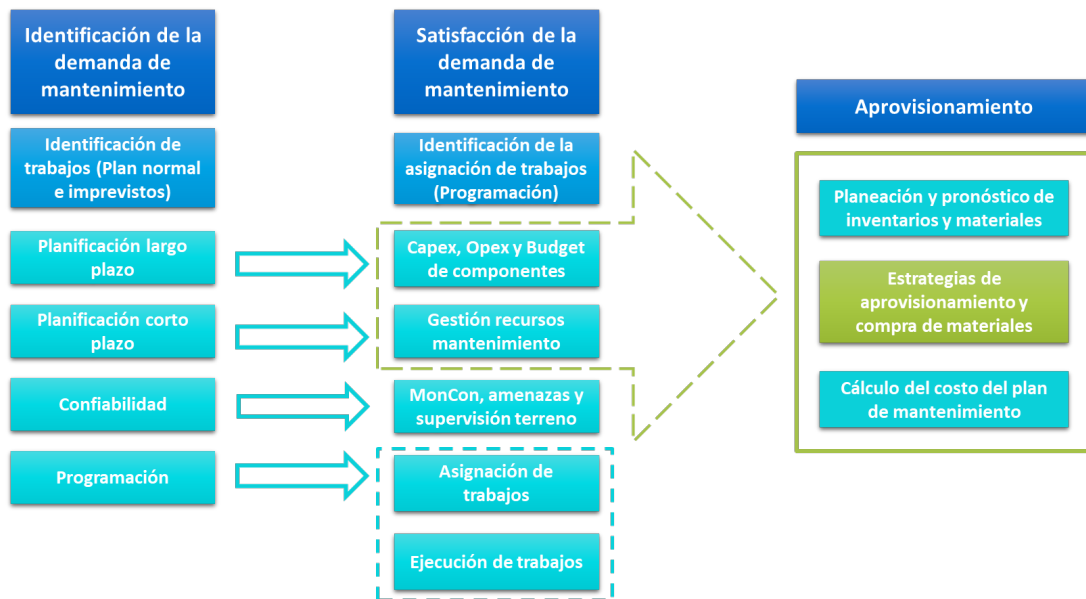


FIGURA 4.4: PROCESOS DE MANTENIMIENTO EN BASE A LA METODOLOGÍA PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En la Figura 4.4 se han clasificado los procesos existentes según correspondan a procesos para identificar la demanda o procesos para cumplir la demanda. En el trabajo tomado como referencia no se indica la estrategia de aprovisionamiento.

4.3.2.2 Indicadores y defectos del proceso

Los defectos del proceso de mantenimiento son considerados por Confiabilidad en donde se determinan en base a el análisis del monitoreo de condiciones., esto a partir de la elaboración de una matriz de amenazas. Se puede inducir que los defectos corresponden a condiciones que propician una falla inminente en los equipos, lo cual resulta en un mantenimiento no programado o imprevistos por falla.

Los indicadores de mantenimiento seleccionados son MTBF, tasa de fallas, MTTF, indisponibilidad por falla, tiempo real de mantenimiento correctivo.

Se sugiere que se incorporen algunos indicadores de abastecimiento e información, en base al diagnóstico de problemas que afectan al cumplimiento del plan matriz de mantenimiento.

- Rotura de stock no planificada: Debido a que se indica altos tiempos de detención de equipos por falta de componentes reparables y repuestos complejos.
- Errores en previsión de la demanda: Debido a que se diagnostica problemas con la disponibilidad de repuestos en bodegas y reparables en talleres.
- Plazo de aprovisionamiento: Permite medir los tiempos previstos para el suministro de repuestos, para este caso es muy útil para medir los tiempos de los componentes reparables en talleres externos.

4.3.2.3 Identificar causas y mejoras

En el trabajo realizado por la Ing. Palacio se identifica que las causas raíces del problema de la disponibilidad de las palas, asociado al mantenimiento tienen relación con lo siguiente:

- Información cargada al programa Ellipse

A continuación, se presenta un diagrama de Ishikawa en donde se pueden visualizar las causas raíces del problema. En verde las diagnosticadas por la Ing. Palacios y en celeste otras que se pueden atribuir al problema.

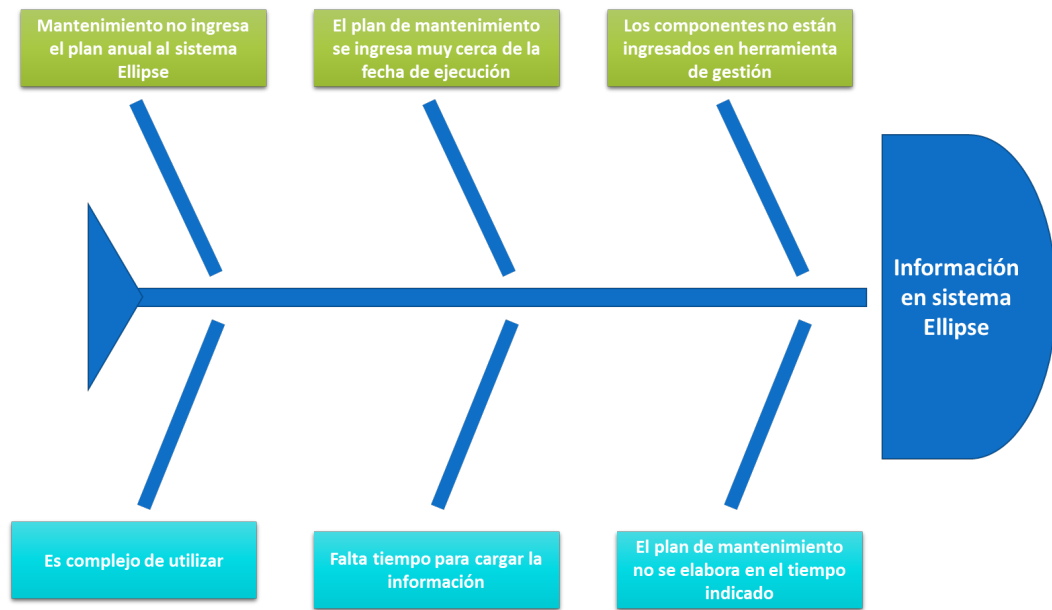


FIGURA 4.5: DIAGRAMA DE ISHIKAWA PARA EL PROBLEMA DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELIPSE. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.

A continuación, se entregan algunas propuestas de mejora a las causas identificadas para el problema de información en el sistema de gestión Ellipse.

- ✓ No se ingresan los planes anuales al plan matriz: Ingresar el plan anual dentro de un plazo que permita la planificación en el largo plazo para el plan. Establecer un calendario para el ingreso de información correspondiente al plan matriz.
- ✓ El plan de mantenimiento se ingresa muy cerca de la fecha: Al igual que en el problema anterior, ingresar los planes en un plazo establecido para ello.
- ✓ Los componentes no están ingresados en el sistema: El no ingresar los componentes no permite elaborar los pronósticos de materiales necesarios y tampoco se pueden generar los presupuestos del área. Genera pérdidas de tiempo de producción por falta de stock. Ingresar todos los componentes necesarios para el plan de mantenimiento en sistema.
- ✓ Es complejo de utilizar: Realizar un catastro del conocimiento real de la herramienta entre los colaboradores para determinar su nivel de manejo del sistema. Realizar una capacitación.
- ✓ Falta tiempo para cargar la información: Trabajar en una planificación que permita agendar un horario o un período para cargar los programas en el programa.
- ✓ El plan no se elabora en el tiempo indicado: Todos los planes deben elaborarse en período de planificación de largo plazo. Se debe revisar la planificación día a día del período de planificación de largo plazo.

- Imprevistos por falla

Afectan al plan matriz, debido a que al producirse estas fallas no programadas alteran la programación de ejecución del plan modificando los tiempos y los recursos que son destinados a la emergencia, en desmedro de otras atenciones. A continuación, se presentan las fallas por imprevistos más habituales.

Sistema	Sub-Sistema	Duración
Empuje	Cambio corredera empuje	58:14:01
Giro	Cambio bomba refrigeración hoist	34:49:57
Frenos	Cambio freno motor propel N° 1	13:12:26
Empuje	Quiebre diente cremallera	9:59:58
Aire	Corte correa compresor	6:23:16
Balde	Reposición caja laines	2:28:35
Balde	Regulación de pestillo	0:26:45

TABLA 4.1: DETENCIONES POR MANTENCIÓN CORRECTIVA DE PALAS OCURRIDAS EN 2016. FUENTE: MEJORA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPAMIENTO MINERO DE GRAN ENVERGADURA UTILIZANDO EL CICLO DE GESTIÓN DE RIESGO.

Sistema	Sub-Sistema	Duración
Levante	Falla transmisión hoist	677:25:39
Rodado	Cambio bastidores y mango	528:00:00
Giro	Falla polines de tornamesa	437:30:19
Propulsión	Eje propel derecho cortado	353:38:12
Rodado	Falla rodillos guía	225:01:43
Electro	Cambio transformador principal	109:15:53

TABLA 4.2: FALLAS DE EQUIPOS DE CARGUÍO CON TIEMPOS SUPERIORES A 100 HRS. OCURRIDAS ENTRE 2015-2016. FUENTE: MEJORA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPAMIENTO MINERO DE GRAN ENVERGADURA UTILIZANDO EL CICLO DE GESTIÓN DE RIESGO.

Tiempo real de Mant. Correctivo			
Equipo	Enero	Febrero	Marzo
PA06	57	56	94
PA08	58	35	31
PA09	188	66	74
PA10	92	35	74
PA11	55	54	20
PA12	20	16	25
PA13	132	6	28
PA14	20	7	28

TABLA 4.3: TIEMPOS REALES POR IMPREVISTO. FUENTE: MEJORA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPAMIENTO MINERO DE GRAN ENVERGADURA UTILIZANDO EL CICLO DE GESTIÓN DE RIESGO.

A partir del historial de fallas y de la contabilización de los tiempos de mantenimiento, mediante la utilización de un análisis de Pareto se logra determinar que la causa raíz más importante de las detenciones por falla imprevista corresponde al sistema de levante de las palas en todos los equipos analizados.

Se propone disminuir el tiempo de parada mediante la compra de un repuesto crítico reparable, el componente de transmisión del Hoist del sistema de levante. Además, se propone la incorporación de mayor personal para las labores de mantenimiento, o bien analizar la posibilidad de externalizar algunos servicios para así poder atender las contingencias de manera más diligente.

- Condiciones climáticas adversas

El mantenimiento de las palas debe realizarse al aire libre, sin embargo, está condicionado a las condiciones climáticas del momento debido a la ubicación geográfica de la faena. Realizar trabajos con condiciones adversas puede provocar accidentes al personal.

Se propone aplazar actividades de mantenimiento durante los períodos de malas condiciones climáticas, pero asegurar el cumplimiento de las actividades en donde no se intervenga mayormente el equipo o que puedan realizarse al interior de la cabina. Además, se sugiere la incorporación de una planificación semanal en base al tiempo atmosférico y utilizar herramientas de pronóstico climático.

Además, se sugiere definir un plan de mantenimiento acorde a las condiciones climáticas, ambientales y operacionales con las cuales opera el equipo.

- Disponibilidad de repuestos

Los componentes se solicitan de acuerdo con el plan mensual, y los reparables de acuerdo con el plan matriz. Los últimos presentan problemas con disponibilidad debido a demoras en los tiempos de recepción del componente en faena, estos de responsabilidad de los talleres externos a los cuales se envían a reparar.

Se recomienda realizar la compra de componentes críticos para mantener en stock, sobre todo de aquellos reparables que tienen un tiempo de recepción superior al programado, por ende, se traduce en forzar a los equipos a sobre exigirse, detonando fallas con mayor tiempo de detención que la alarma inicial. Además, se sugiere revisión de los tiempos de reserva de materiales asociados a los diferentes planes de mantenimiento para asegurar la disponibilidad de repuestos a través de la realización de pedidos a tiempo.

4.3.2.4 Estandarizar y eliminar desperdicios

Se identifican aquellos aspectos inmersos en la cadena que no están generando valor. En este caso el principal problema asociado es el manejo de información. Se propone estandarizar los tiempos de elaboración de planes, para luego generar un calendario de carga del plan al sistema Ellipse, de esta manera se elimina el problema de la disponibilidad de información.

Por otra parte, la información contenida en el programa no es precisa, sobre todo en cuanto a la determinación de los recursos, como lo son mano de obra y materiales. Se sugiere realizar una estandarización para el trato de las ordenes de trabajo y documentos de seguridad, además de una revisión de tiempos de reparación real y de

uso de mano de obra real, para asignar la cantidad de recursos necesarios reales a los planes y estimar de una forma mucho más aproximada a la realidad la demanda de estos recursos.

En cuanto a los retrasos en la recepción de reparables, se recomienda revisar los contratos con talleres externos, analizar las condiciones de entrega y reparación, generar una evaluación de los proveedores y finalmente buscar mejores formas de programar los pedidos y entregas, o buscar nuevos proveedores.

4.3.2.5 Sostenibilidad de las soluciones

Para garantizar que las medidas sugeridas se lleven a cabo se deben establecer algunos checkpoints dentro de los procesos de mantenimiento.

Dado que el principal problema es la información cargada al sistema Ellipse, se recomienda la generación de auditorías a los documentos emanados desde programación. Se puede realizar un muestreo aleatorio de los programas, planes, OT, etc. y evaluar la calidad de la información contenida en los documentos y si el plazo para que la información fuese cargada cumple con lo establecido.

En cuanto a los equipos, se recomienda realizar una planificación del mantenimiento y del abastecimiento de repuestos desde el momento de la compra o incorporación del equipo, lo que dará una visión a largo plazo mucho más global del panorama de la vida útil y los costos del ciclo de vida del activo.

Para dar sostenibilidad a las mejoras es vital que se genere un cambio cultural en el área, y que los involucrados vean el mantenimiento como una mejora e incremento a la vida útil del activo y no como un costo operacional.

Como comentario general, el trabajo de la Ing. Palacio llegó a la conclusión de que implementando las mejoras antes mencionadas se pudo aumentar un 5% la disponibilidad de equipos de carguío en la flota HR y un 3% en la flota P&H, proyectando un aumento en la extracción de mineral.

5 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para que la metodología propuesta tenga un resultado óptimo, en primera instancia se requiere una buena calidad de información, vale decir, contar con datos certeros y necesarios para el proceso que se está evaluando, en este caso, con datos confiables y recientes del abastecimiento del mantenimiento. El caso tomado para el ejemplo de aplicación tuvo que ser simplificado y reducido a un análisis más general, debido a que no se cuenta con información referente a quiénes son los proveedores, cuáles son sus plazos de entrega, cómo están conformados los contratos y qué exigencias tienen, entre muchos otros. Finalmente, la información que se tenga del proceso completo es vital para un análisis acabado entregando soluciones adecuadas.

Es importante contar, además, con información referente a presupuestos, como Capex y Opex de mantenimiento, junto con el Budget de componentes, como es el caso de análisis, en el cual no se cuenta con esta información, para determinar, por ejemplo, cuáles son aquellos repuestos que involucran una mayor inversión y así identificar oportunidades de mejora desde ese punto de vista.

Teniendo en cuenta que el principal objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad operacional, y que uno de los principales problemas que la afectan es la disponibilidad de materiales y recursos para el mantenimiento, sea cual sea su causa raíz, se concluye que se debe avanzar en la gestión del abastecimiento y de la logística en pos de mejorar los procedimientos y estándares que existen hoy para el tratamiento de la información de abastecimiento, en el control de los tiempos de entrega y recepción de los mismos, y en la asignación de las tareas de mantenimiento, lo último una cuestión de logística pura.

Una vez ejecutados los pasos de la metodología y teniendo claras las acciones a tomar para la implementación de las soluciones se recomienda realizar un arduo trabajo cultural con todas las personas involucradas en la cadena de valor del servicio, no solamente aquellos que pertenecen a la organización, sino también con aquellos externos que apoyan a la cadena, de esta manera se obtienen mejores resultados porque todos los involucrados logran comprender los procesos de una manera general y se comprometen con los objetivos al conocer y entender el propósito de su labor hacia el objetivo global.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una manera de abordar el manejo de la logística y el abastecimiento para el mantenimiento, desde un punto de vista que invita al área a alinearse con los objetivos globales de la organización, y busca que el modelo de gestión del mantenimiento se oriente al alcance de ellos.

Una oportunidad de mejora para alcanzar los objetivos de la organización y del mantenimiento es generar estrategias para analizar y gestionar la cadena de abastecimiento y la logística, entendiendo que ambas suponen una de las mayores fuentes de agregación de valor.

En este trabajo se busca generar relaciones estratégicas entre los procesos de abastecimiento y los procesos de mantenimiento de tal manera de que se muestren a los directivos a través de puntos en común, acercando las metodologías a un tipo de organización que no está usualmente familiarizada con el management de una forma directa.

El modelo busca generar de forma sistemática y simplificada, un análisis y un planteamiento de mejora tanto para un problema puntual de abastecimiento, como para un problema o situación mucho más general del área.

Aplicando los análisis correspondientes y generando las mejoras adecuadas para cada organización se pueden generar aumentos significativos en la disponibilidad y confiabilidad de equipos a través de la mejora de los procesos de abastecimiento y de logística, como lo son la distribución de tiempos de trabajo, planificación de compra

de materiales, y la mejora en la calidad y manejo de la información. Esto último es un punto muy importante que considerar ya que permite una correcta y completa elaboración de los planes de mantenimiento, teniendo en cuenta todos los aspectos relevantes para la planificación y ejecución del mantenimiento.

Lo anterior queda demostrado en el ejemplo de aplicación, en donde se toma una propuesta de mejora de disponibilidad de equipos y se analiza bajo la sistematización propuesta en esta metodología. Donde se obtuvo como resultado mejoras comprobables a través de la optimización de los procesos de abastecimiento, flujo de información y cultura organizacional.

REFERENCIAS

- [1] Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, Chile. 21 (1). 2013
- [2] CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Administración de la Cadena de Suministro. 3ra ed. México, Pearson Educación, 2008. 5 p.
- [3] Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana (CEEI V) Manual 09 Logística y Distribución. Valencia, Neto Estudio Creativo, 2008. 7 p.
- [4] CONTRERAS, José. La optimización de los inventarios en mantenimiento [en línea] <<http://www.avingeneria.net/single-post/2016/03/28/LA-OPTIMIZACI%C3%93N-DE-LOS-INVENTARIOS-EN-MANTENIMIENTO>> [consulta: 20 diciembre 2017].
- [5] MOUBRAY, John. RCM II: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2da ed. Reino Unido, Aladon Ltd, 2004. 7 p.
- [6] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 17 p.
- [7] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 30 p.
- [8] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 46 p.
- [9] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 47 p.
- [10] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 51 p.
- [11] PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería, Gestión y Organización. 1a ed. Buenos Aires, el autor, 2010. 407 p.

[12] JOHNS, Richard, CRUTE, Valerie, GRAVES, Andrew. Lean Supply: Cost Reduction or Waste Reduction? Reino Unido, University of Bath School of Management, 2002. 5p.

[13] MANRODT, Karl, VITASEK, Kate, THOMPSON, Richard, APICS. Lean Practices in the Supply Chain [PDF] <http://manrodt.com/pdf/lean_2008.pdf> [consulta: 08 diciembre 2017].

[14] GOLDSBY, Thomas y MARTICHENKO, Robert. Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success. 1a ed. U.S.A, Ross Publishing Inc, 2005. 6 p.

[15] GOLDSBY, Thomas y MARTICHENKO, Robert. Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success. 1a ed. U.S.A, Ross Publishing Inc, 2005. 7 p.

[16] CARMONA, Edith. Selección y Comparación de Software de Ingeniería en Mantenimiento [PDF] <<https://es.scribd.com/mobile/document/13803703/Comparacion-de-Software-de-Ingenieria-de-Mantenimiento-Trabajo-Nro1-dia-2>> [consulta: 07 febrero 2018].

[17] CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Administración de la Cadena de Suministro. 3ra ed. México, Pearson Educación, 2008. 22 p.

[18] CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Administración de la Cadena de Suministro. 3ra ed. México, Pearson Educación, 2008. 30p.

[19] CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Administración de la Cadena de Suministro. 3ra ed. México, Pearson Educación, 2008. 38p.

[20] CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Administración de la Cadena de Suministro. 3ra ed. México, Pearson Educación, 2008. 40p.

[21] VIVEROS, Pablo, STEGMAIER, Raúl, KRISTJANPOLLER, Fredy, BARBERA, Luis, CRESPO, Adolfo. Propuesta de un Modelo de Gestión de

Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. [PDF] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería Chile 2013. 21(1) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011> [consulta: 4 noviembre 2017].

[22] VIVEROS, Pablo, STEGMAIER, Raúl, KRISTJANPOLLER, Fredy, BARBERA, Luis, CRESPO, Adolfo. Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. [PDF] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería Chile 2013. 21(1) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011> [consulta: 4 noviembre 2017].

[23] VIVEROS, Pablo, STEGMAIER, Raúl, KRISTJANPOLLER, Fredy, BARBERA, Luis, CRESPO, Adolfo. Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. [PDF] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería Chile 2013. 21(1) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011> [consulta: 4 noviembre 2017].

[24] VIVEROS, Pablo, STEGMAIER, Raúl, KRISTJANPOLLER, Fredy, BARBERA, Luis, CRESPO, Adolfo. Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. [PDF] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería Chile 2013. 21(1) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011> [consulta: 4 noviembre 2017].

[25] VIVEROS, Pablo, STEGMAIER, Raúl, KRISTJANPOLLER, Fredy, BARBERA, Luis, CRESPO, Adolfo. Propuesta de un Modelo de Gestión de Mantenimiento y sus Principales Herramientas de Apoyo. [PDF] Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería Chile 2013. 21(1) <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011> [consulta: 4 noviembre 2017].

[26] LÓPEZ, Claudio. El Plan de Abastecimiento [En Línea]
<<http://www.logisticasud.enfasis.com/articulos/73455-el-plan-abastecimiento>>
[consulta: 28/12/2017]

[27] PALACIO, Jacqueline. Mejora del Proceso de Mantenimiento para Equipamiento Minero de Gran Envergadura Utilizando el Ciclo de Gestión de Riesgo. Memoria (Ing. Mecánico Industrial). Valparaíso. UTFSM, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2018. 19 p.

