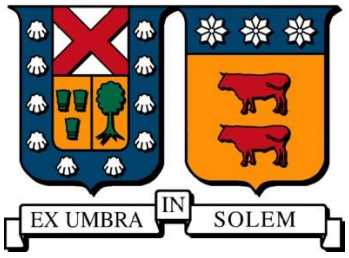
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO– CHILE



PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA GESTIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS EN FUNDICIÓN Y REFINERÍA DE EMPRESA MINERA

ALEXIS ANDRÉS MUÑOZ FLORES

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

PROFESOR GUÍA : ING. RAFAEL MENA YANSSEN

PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

MAYO– 2019

AGRADECIMIENTOS

En este espacio no me queda nada más que agradecer a todas las personas que participaron en este camino hasta lograr las metas fijadas. En este proyecto destacaré principalmente a mi familia (mis padres y hermana) que sin dudas ha sido un apoyo fundamental en lograr ser quien soy hoy en día, a mis amigos y compañeros que nunca han dudado de lo que puedo llegar a conseguir, siendo esto solo un primer paso para desafíos mucho más importantes en la vida.

No quiero dejar de mencionar a los profesores que participaron en mi formación académica, profesional y sin dudas como persona. Atesoraré cada buena experiencia y sabiduría entregada, para que se vea reflejada a través de los años. Hacen una tarea admirable de la cuál quizás me gustaría ser parte en algún momento. En lo personal, agradezco a mi profesor guía, Rafael Mena, que me ayudo a resolver uno de los pocos problemas que tuve durante mi estadía en la universidad.

También agradezco la confianza que depositó CODELCO en mí para realizar este bonito proyecto, fue una gran oportunidad que me siguió demostrando lo linda y apasionante que puede ser esta carrera, llena de desafíos. Durante este tiempo, muchas personas dentro de Salvador me ayudaron a lograr los objetivos propuestos, tales como Cristian Aravena, Luis Cárdenas, Manuel Jiménez, Álvaro Bonilla, entre otros, que sin su ayuda todo habría sido de mayor dificultad. Guardaré sus enseñanzas por siempre.

Finalmente agradezco a aquellas personas estuvieron durante mi formación y por diversos motivos ya no están, fueron muy importantes y me quedo con los buenos recuerdos, siempre tendrán un amigo aquí que los apoye. Espero que todo esto sea el inicio de una linda y nueva etapa.

RESUMEN

Este documento de investigación presenta un estudio de evaluación y mejoramiento de la gestión de inventario, en especial medida el inventario de repuestos y materiales para la mantención de activos (equipos, maquinaria, etc.) de una fundición y refinería perteneciente a División Salvador, de CODELCO.

Esta iniciativa surge en el marco de un cambio de política de la corporación, para reducir los costos de producción de sus divisiones, y lograr ser más competitiva y rentable, y que esto se traduzca en mayores ganancias para el país, al ser una empresa estatal. Adicionalmente, esta minera presentaba los costos de producción más altos de la corporación, que inclusive, en algunos casos superaban el precio de venta del cobre, por ende, era de suma urgencia trabajar en ser más eficaces y eficientes. Es por este motivo que hoy en día las gestiones operacionales en las empresas tienen tanta relevancia.

La gestión de inventario es un tipo de gestión operacional, por ende, involucra una serie de actividades que deben ser visualizadas de manera global, las que se detallaran en el desarrollo del documento, pero involucra fases de planificación, procedimientos y de control, para lograr óptimos resultados.

Para el caso de esta empresa, se consideró necesario realizar una evaluación del estado actual de las actividades y procesos de la gestión de la cadena de abastecimiento, para poder determinar brechas entre lo existente y lo esperado, e intentar solucionar esto mediante la implementación de un plan adecuado al contexto operativo de la planta.

Al realizar la evaluación, nos percatamos que existían diferencias, por lo tanto, se debía buscar la forma de mejorar los aspectos en que se encontraban las principales falencias, ante lo cual, se estableció un plan piloto con cambios a implementar.

Este plan piloto, constaba principalmente de intentar mejorar la calidad y manejo de información ingresada al sistema SAP para la gestión, erradicar las malas prácticas ligadas a la gestión de abastecimiento, y a la actualización y aplicación de los modelos correspondientes para la determinación del stock y punto de pedido de los repuestos y materiales, principalmente enfocados a los equipos críticos.

Cabe mencionar que el modelo escogido para determinar los stocks a mantener, y cada cuanto pedir (punto de pedido) fue la metodología RCS (Reliability Centred Spares), el cuál es una técnica derivada del mantenimiento centrado en confiabilidad. Este modelo identifica los problemas específicos de repuestos y materiales, y se basa en los reales requerimientos de los equipos de mantención y de las operaciones de mantenimiento, considerando las consecuencias que tienen los quiebres de stock para la empresa.

Con lo anterior, se logró principalmente la eliminación de estas prácticas que dañaban el funcionamiento global de la gestión de inventario, que repercutían negativamente en el desempeño de las áreas de mantención y operaciones, y además se logró una importante reducción de costos asociado a la mantención de stock excesivo o por costos originados por detenciones por no tener los repuestos en stock.

ABSTRACT

This research document presents a study of evaluation and improvement of inventory management, especially the inventory of spare parts and materials for the maintenance of assets (equipment, machinery, etc.) of the foundry and refinery belonging to Salvador Division, CODELCO.

This initiative arises in the framework of a change of policy of the corporation, to reduce the production costs of its own divisions, and to be more competitive and profitable, and that this translates into greater profits for the country, being a state company. Additionally, this company had the highest production costs of the corporation, which even, in some cases exceeded the price of copper sales, therefore, it was extremely urgent to work on being more efficient and efficient. It is for this reason that nowadays the operational managements in the companies have so much relevance.

Inventory management is a type of operational management, therefore, involves a series of activities that must be viewed globally, which will be detailed in the development of the document, but involves planning, procedures and control phases to achieve optimal results.

In the case of this company, it was considered necessary to assess the current state of the activities and processes of supply chain management, to determine gaps between what exists and what was expected, and try to solve this by implementing a plan appropriate to the operational context of the plant.

When carrying out the evaluation, we realized that these differences existed, therefore, we should look for ways to improve the aspects in which deficiencies were found, before which a pilot plan was implemented.

This pilot plan consisted mainly of trying to improve mainly the quality and management of information entered in the SAP platform for management, eradicating bad practices related to supply management, and updating and applying the models for determining the stock and point of order of spare parts and materials, mainly focused on critical equipment.

It is worth mentioning that the model chosen to determine the stocks to be maintained, and how often to order (point of order) was the RCS (Reliability Centred Spares) methodology, which is

a technique derived from maintenance focused on reliability. This model identifies the specific problems of spare parts and materials, and is based on the actual requirements of the maintenance equipment and maintenance operations, considering the consequences of breakdowns of stock for the company.

With the above, the elimination of these practices was mainly achieved, which damaged the global operation of the inventory management, which had a negative impact on the performance of the maintenance and operations areas, and an important reduction in costs associated with maintenance was achieved. of excessive stock or costs caused by arrests for not having spare parts in stock.

GLOSARIO

SAP: Sistema de información que permiten a las empresas ejecutar y optimizar distintos aspectos, como los sistemas de ventas, finanzas, operaciones bancarias, compras, fabricación, inventarios y relaciones con los clientes. Este se puede ir adaptando a las necesidades del cliente.

FuRe: Fundición y Refinería de la División Salvador, la cual funciona como una gerencia prácticamente independiente de la gerencia de Mina.

KPI: indicador de gestión de rendimiento (Key Performance Indicator), clave para evaluar el funcionamiento de un proceso y poder hacer las gestiones respectivas para mejorar su operación y resultados.

JIT: producción justo a tiempo, también conocida como producción sin stock. Una filosofía de origen japonés, que intenta reducir los inventarios programando la producción de productos y componentes para el mismo momento en que se necesitan. Todas las cosas son ejecutadas al momento preciso, sin holgura. Esta metodología, es ampliamente aplicada en la industria de fabricación automotriz.

RCM: mantenimiento centrado en confiabilidad, es un proceso que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, con el fin de aumentar la confiabilidad y disminuir la probabilidad de detenciones inesperadas.

AIR: Repuestos o materiales con alto índice de rotación, es decir, los que son consumidos “n” o más veces durante un año. El “n” definido de forma arbitraria según ciertas características.

BIR: Repuestos o materiales con bajo índice de rotación, es decir, los que son consumidos menos de “n” veces durante un año. El “n” definido de forma arbitraria según ciertas características.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **ii**
RESUMEN ..... **iii**
ABSTRACT ..... **v**
GLOSARIO ..... **vii**
INTRODUCCIÓN ..... **xi**
OBJETIVOS ..... **xiii**
Objetivos específicos ..... **xiii**
DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO Y PROBLEMÁTICA **14**
PLAN DE TRABAJO **21**
1.- MARCO TEÓRICO **24**
1.1 Planificación de la Gestión de Inventario: 24
1.1.1 Pronóstico de la demanda: 24
1.1.1.1 Métodos de pronóstico: 25
1.1.2 Decisiones sobre políticas de inventario: 27
1.1.2.1 Evaluación de los inventarios: 28
1.1.2.2 Tipos de inventario: 30
1.1.2.3 Objetivos de los inventarios: 31
1.1.2.4 Técnicas de control del inventario: 35
1.1.2.5 Decisiones de programación de compras y suministros: 73
1.2 Organización de la Gestión de Inventario: 77
1.2.1 Esfuerzo de Organización de la logística y de la cadena de suministro 78
1.2.1.1 Necesidad de una estructura en la organización 78
1.2.1.2 Opciones Organizacionales: 79
1.2.1.3 Orientación Organizacional: 83
1.2.1.4 Alianzas y asociaciones: 84
1.3 Control de la Gestión de Inventario: 86
1.3.1 Estructura del proceso de Control: 86
1.3.1.1 Tipos de sistemas de Control: 86
1.3.2 Información de Control, Medición e Interpretación: 90
1.3.2.1 Auditorías: 90
1.3.3 Acciones Correctoras: 93
2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GESTIÓN INVENTARIO EXISTENTE **94**
2.1 Misión y Objetivos del sistema actual de gestión de inventario: 94
2.1.1 Misión: 94
2.1.2 Objetivos: 94
2.2 Organización Estructural Existente: 96
2.2.1 Organigrama 96
2.3 Procesos y procedimientos involucrados en la gestión de inventario 97
2.3.1 Sistema informático de gestión de inventario 97
2.3.2 Procesos involucrados en la gestión de inventario 99
2.3.2.1 Planificación de los requerimientos de los materiales y repuestos: 100
2.3.2.2 Codificación de los materiales y repuestos: 100
2.3.2.3 Generación y liberación de solicitudes de pedidos de materiales y repuestos: 102
2.3.2.4 Generación y liberación de órdenes de compra de materiales y repuestos: 103

2.3.2.5 Recepción y almacenamiento de materiales y repuestos: 104
2.3.2.6 Entrega y utilización de materiales y repuestos: 104
2.3.2.7 Realización de conteo de Inventario: 104
2.3.3 Aspectos de control de la gestión de inventario 105
2.3.3.1 Nivel de stock promedio: 105
2.3.3.2 Rotación de Inventario: 106
2.3.3.3 Stock sin rotación: 106
2.3.3.4 Nivel de Servicio: 107
3.- EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIO EXISTENTE 108
3.1 Evaluación del Control de Gestión de Inventario: 108
3.1.1 Medición de KPI: 108
3.1.1.1 Nivel de stock promedio: 108
3.1.1.2 Rotación de Inventario: 109
3.1.1.3 Stock sin rotación: 110
3.1.1.4 Nivel de Servicio: 111
3.1.2 Evaluación de Sistema Informático de Gestión de Inventario: 111
3.2 Evaluación de la planificación y procedimientos de gestión de inventario: 112
3.2.1 Identificación y evaluación de inventario existente: 112
3.2.2 Identificación y evaluación de políticas de gestión de inventario: 113
3.2.3 Identificación de malas prácticas en procesos: 116
3.2.3.1 Codificar ítems sin tener asociación a equipos 116
3.2.3.2 Codificar repuestos y materiales sin homologación 116
3.2.3.3 Recepcionar directamente de los proveedores 117
3.2.3.4 Mantener codificados repuestos o materiales de equipos obsoletos 117
3.2.3.5 Realizar ajustes de inventarios con movimientos que no corresponden 118
3.2.3.6 Manipulación de datos para mejorar KPI 118
3.2.3.7 No eliminar solicitudes de compra sin tratar 118
3.2.3.8 No utilizar repuesto en mantenimiento existiendo una solicitud previa 119
3.2.3.9 Comprar materiales de forma excepcional y no utilizarlos 119
3.2.3.10 Falencias de operación de la bodega 120
3.2.4 Evaluación de los procesos de la gestión de inventario: 120
3.2.5 Evaluación de la estructura organizacional de la gestión de inventario: 122
4.-PROPUESTA DE PLAN PILOTO DE MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIO 123
5.-IMPLEMENTACIÓN PLAN PILOTO MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIO 133
5.1 Medición e Implementación de nuevos indicadores de performance 134
5.2 Aplicación Modelo Gestión de Inventario RCS 135
5.3 Erradicación malas prácticas detectadas 135
6**.- RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN PILOTO 145**
6.1 Obsoleteo de Equipos y revisión de información (oportunidad de mejora detectada): . 145
6.2 Resultados de la aplicación del modelo de gestión de inventario RCS 150
7.- CONCLUSIONES 154
BIBLIOGRAFÍA 159
ANEXOS. 160
ANEXO N°1: Tablas de Distribución Normal o Gaussiana. 160
ANEXO N°2: Hojas de Información RCS. 161
ANEXO N°3: Hojas de Cálculo RCS Alta Rotación Modelo Básico Lote Económico. 163

ANEXO N°4: Hojas de Cálculo RCS Alta Rotación con Stock de Seguridad. 165
ANEXO N°5: Tabla Parada del Sistema. 167
ANEXO N°6: Tabla de Disponibilidad. 168
ANEXO N°7: Tabla Tasa de Faltante Máximo. 169
ANEXO N°8: Hojas de Cálculo RCS Baja Rotación. 170

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los almacenes y bodegas de empresas productivas mantienen gran variedad de activos, desde consumibles económicos utilizados en grandes cantidades, pudiendo consumir cientos cada día, hasta repuestos estratégicos, que quizás nunca se utilizarán durante la vida útil de la planta y que generalmente tienen altos costos de adquisición. Esto se da fuertemente en la industria minera, particularmente en las fundiciones y refinerías, debido al intensivo uso de equipos y maquinarías, y al gran desgaste que sufren sometidos a condiciones exigentes, tales como alta temperatura, gran abrasión y contacto con sustancias químicas. Estas condiciones generan un importante consumo y almacenamiento de repuestos y materiales, con el fin de remediar o evitar fallas que pueden resultar en detenciones no deseadas de los equipos, y que finalmente derivan en costos por pérdidas de producción (pudiendo ser en algunos casos altísimas las perdidas).

Una vez comprendido lo anterior, y el contexto del mercado actual, resulta de suma importancia definir un modelo adecuado de gestión operacional ligado al mantenimiento para lograr los objetivos y metas establecidas como negocio, de lo cual surge imperativamente la necesidad de asegurar altos niveles de disponibilidad y confiabilidad de los equipos, y una alta utilización de los activos físicos, sin desmedro del marco de seguridad y medio ambiente.

Al analizar una estructura de costos de una organización de mantenimiento, se darán cuenta que los costos en repuestos, materiales e insumos constituyen una de las partidas más relevantes, en muchos casos la mayor, siendo sumamente necesario que estos también sean gestionados con la importancia que merecen.

Para algunas organizaciones, la gestión de inventario se basa en invertir excesiva cantidad de dinero en la acumulación de materiales y repuestos, según la consigna que dice “mejor que sobre a que falte”, con tal de tener lo necesario para realizar cualquier actividad de mantenimiento, y no tener problemas de quiebre de stock. Lo anterior podría evitar tener equipos detenidos, y así no perder producción, pero no considera los efectos que genera el tener alto nivel de capital inmovilizado (costos de oportunidad y obsolescencia), ni los costos asociados a mantener, almacenar y gestionar estos repuestos ya comprados. Por lo tanto, una

reducción del inventario, aunque sea en un pequeño porcentaje, puede resultar en una importante liberación de recursos que la organización puede invertir en áreas más rentables.

El trabajo desarrollado busca entonces encontrar la mejor forma de llevar a cabo esta gestión de inventario, con tal que logre en primer lugar identificar brechas de rendimiento entre lo esperado y lo real, mejorar en aquellos aspectos que debilitan el correcto funcionamiento del mantenimiento, y finalmente se encuentre el equilibrio entre el costo de mantener inventario y el costo que involucraría no tenerlo. Esta necesidad de encontrar el equilibrio, se ve reflejada en términos como “stock óptimo” y el “punto de pedido” para así reducir al mínimo los costos globales de la compañía.

Para resolver esta problemática no existe una única solución ni un único método, sin embargo, es importante atacar el problema con una visión global de la cadena de suministro, y tratar todas las tareas y procesos involucrados en esta gestión más allá de basarse en alguna técnica específica para determinar el inventario a mantener.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo de titulación es proponer un plan de mejoramiento de la gestión de inventario de repuestos de la bodega de Fundición y Refinería en la División Salvador-CODELCO, con la finalidad de lograr una mejora operacional de la planta, disminuir los costos asociados a inventarios, y mejorar la efectividad del sistema de información de inventarios en bodega.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación existente de la gestión de inventario de repuestos en la bodega de Fundición y Refinería, que considere la organización, la misión y objetivos de la gestión de inventario de repuestos y de la Bodega, los procesos y procedimientos, las políticas de reposición de repuestos, los sistemas de información y los resultados de desempeño de la gestión de inventarios.
- Realizar un análisis de las características y requisitos que necesita la gestión de inventario para lograr los resultados esperados, considerando la criticidad de equipos, el contexto operativo y de abastecimiento, y las necesidades de la empresa.
- Determinar las brechas de desempeño entre la gestión actual de inventario de repuestos, y los requisitos y necesidades de la empresa.
- Realizar una clasificación del inventario de repuestos, de acuerdo a criterios de criticidad, o volumen monetario de consumos definidos por la empresa.
- Definir las políticas de inventario coherentes a la clasificación realizada, posibles de ser implementadas.
- Proponer un Plan de Mejoramiento de la gestión de inventario de repuestos de acuerdo a las oportunidades de mejora detectadas.
- Implementar a modo de Plan Piloto algunas actividades propuestas en el Plan de Mejora, factibles a realizar en el plazo de ejecución del trabajo, para evaluar su efectividad

DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO Y PROBLEMÁTICA

Información de la Empresa

Historia:

División Salvador se ubica en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama, a 2.600 metros sobre el nivel del mar, y a una distancia de 1.100 [km] de Santiago. Sus operaciones consideran la explotación minera, tanto subterránea como a rajo abierto, una planta concentradora, procesos de lixiviación, una fundición y refinería (ubicadas en Potrerillos) y el Puerto Barquito, ubicado en la ciudad de Chañaral.

La división comenzó a explotar sus minerales en el año 1959, y actualmente opera el yacimiento Inca, explotado de forma subterránea, y las minas Campamento Antiguo, Quebrada "M", y otros cuerpos satélites de menor envergadura, explotadas a rajo abierto.

La producción de minerales oxidados equivale a 3 millones de toneladas año (MTA), con una ley media de 0,6 % y una producción de 9 mil toneladas métricas de cobre fino, mientras que los minerales de sulfuros corresponden a 11,5 MTA, con una ley promedio de 0,9 % y una producción de 55 mil toneladas métricas finas de cobre. La operación también obtiene subproductos del cobre, tales como el molibdeno, barro anódico y ácido sulfúrico. Por su parte, la fundición y refinería procesa 600 mil toneladas de concentrado, propio (40%) y de terceros (60%). En tanto, el Puerto de Barquito permite el embarque de cátodos de cobre, concentrado, petróleo y ácido sulfúrico.

Salvador cuenta con la particular característica de ser la última ciudad campamento existente en Chile.

Propietarios o Accionistas:

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, CODELCO, es una empresa estatal autónoma, la cuál es la principal productora de cobre del mundo, líder en reservas del mineral a nivel planetario, y uno de los principales motores del desarrollo del país.

Ubicación y vías de acceso:

División Salvador está ubicada en la Región de Atacama, en la comuna de Diego de Almagro, hacia la pre cordillera. Desde la zona sur del país se puede ingresar vía terrestre por la ciudad de Copiapó, tomando la ruta C-17 hacia Diego de Almagro, y posteriormente la ruta C-13 hasta el campamento El Salvador. La mayoría de estas rutas están completamente pavimentadas, pero presentan un alto flujo de camiones y maquinaria minera, por lo cual se deben tomar los resguardos pertinentes al transitarlas. Además, actualmente las rutas se encuentran bajo reparaciones, producto de los severos daños que generó el aluvión del año 2015.

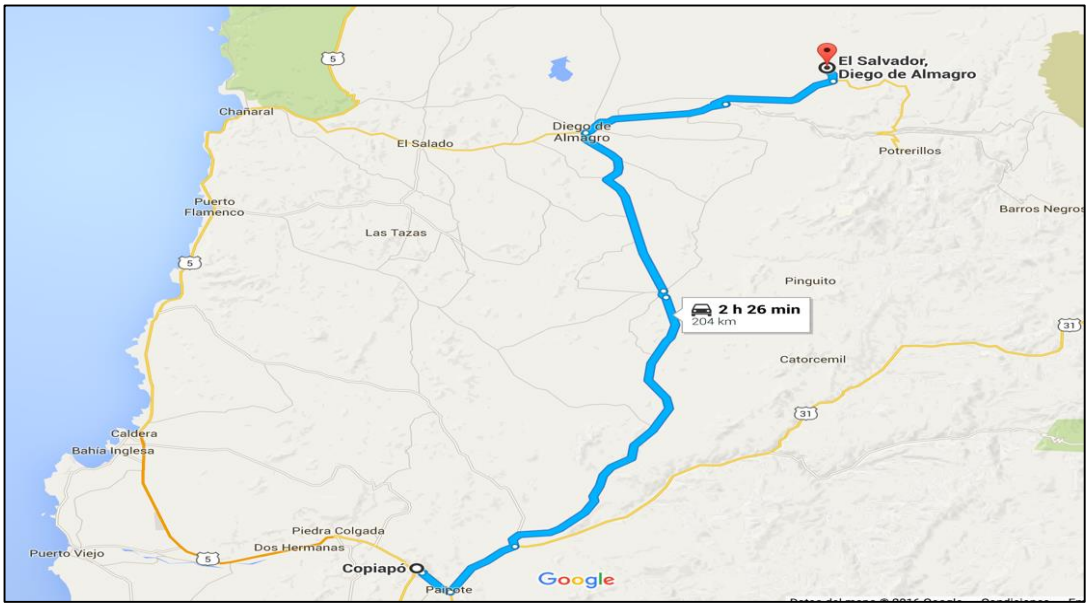


Figura 1: Ingreso desde Copiapó a El Salvador.

En cuanto al ingreso por el norte, se puede hacer a través de la carretera C-13, en su inicio en los alrededores de la ciudad de Chañaral en línea recta hasta El Salvador, atravesando las localidades de El Salado y Diego de Almagro.

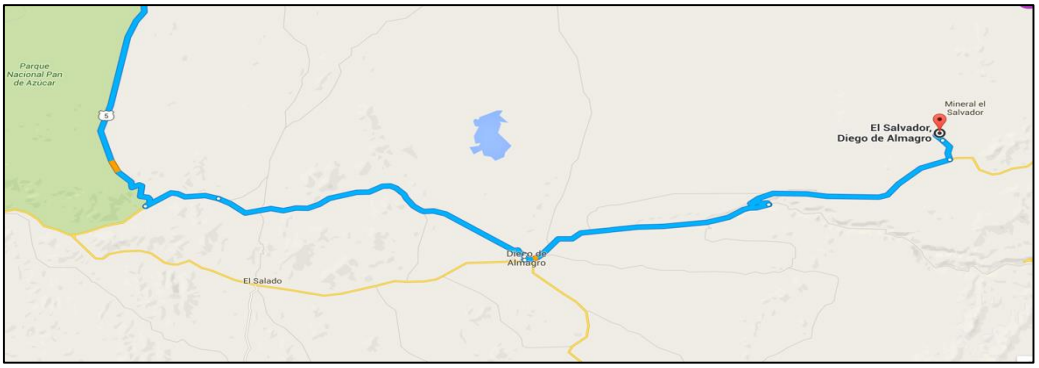


Figura 2: Ingreso desde ruta 5 desde el norte a El Salvador.

Además de lo anterior cuenta con un aeródromo a las afueras del campamento, manejado por la empresa aérea DAP, el cual ofrece solo vuelos El Salvador-Santiago (y viceversa).

Producción:

Materia Prima: la materia prima de la fundición y refinería corresponde principalmente a concentrado de cobre, de diversos orígenes (proceso de maquila), tanto propios (Divisiones de CODELCO) como externos (otras mineras).

Origen: la materia prima proviene de distintas mineras, principalmente Concentrado de División Salvador, División Chuquicamata, Minera Punta de Cobre, Minera Escondida, Minera Amarillos (recuperación de la misma División), Concentrado de División Ministro Hales, Concentrado de la Planta de Flotación de Escorias de la misma Gerencia de Fundición y Refinería, y además Calcinas de División Ministro Hales.

Cantidad: la tasa de fusión diaria es de aproximadamente 1.800 [ton/día] de concentrado de Cobre.

Control de Calidad

Control de calidad: Los análisis químicos se realizan en la misma Gerencia FuRe (Fundición y Refinería), con personal de una empresa colaboradora y del mismo modo, la toma de muestra se realiza con externos. Si bien se realiza una batería completa de análisis químicos, el rechazo de un concentrado ocurre principalmente por la humedad con la que llega (humedad mayor al

14%, pudiendo esto producir explosiones en el Convertidor Teniente, el cual es un horno de fusión) cuando no existe disponibilidad física (espacio) para el secado a temperatura ambiente. Al utilizar el sistema de maquila de concentrados, existe una mayor flexibilidad respecto a los contenidos de las especies de interés, y anexas de cada uno.

Aceptación: existen criterios químicos y físicos de recepción de ánodos en refinería, en el caso de los químicos es difícil que ocurran incumplimientos, pero están relacionados con el porcentaje de pureza, aleaciones existentes en la muestra, etc. Además, los análisis químicos no son inmediatos, por lo que el moldeo completo puede ya estar en el proceso (en las celdas electrolíticas), y los contenidos de especies importantes estar fuera de estándar, no obstante, durante los últimos años las variaciones no son significativas. En lo físico es de acuerdo a espesor en el cuerpo y orejas del ánodo, y también de acuerdo a la superficie (rugosidades debido a deficiencias en los moldes). En la actualidad se está trabajando en un documento visado por la Refinería, la Fundición, su Gerente y los miembros de GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo) para cumplir con esto vía personal de Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad (CESMEC), y agregar el rechazo como KPI en la rueda de moldeo.

En refinería, existen distintas clasificaciones para el cobre comercial: Cátodo Grado A, Cátodo STD (estándar) 1, 2 y 3. Estas categorías se consideran en base a calidad física y química. La física es de acuerdo a cuánta superficie del cátodo se encuentra con protuberancias, la química es de acuerdo a análisis.

Productos Elaborados

Productos Elaborados: la fundición entrega como producto ánodos, los que corresponden a la materia prima de la refinería. En esta última, se obtienen cátodos electrorefinados como producto principal, y como producto secundario del proceso también se obtiene Barro Anódico (lixiviado y crudo [Precipitado de Refinería Rico en Cobre, PRRC], este último por requerimientos Corporativos). Además, existe la opción de venta de cobre blíster (excedentes de ánodos, ánodos rechazados o scrap [al cabo de 20 días de vida útil (de manera regular) del ánodo, el producto final puede ser recirculado a fundición o en su defecto vendido]).

Valores Estadísticos de Producción

El valor de producción en la Fundición y Refinería anual ronda las 137.000 [Ton] de Cobre, la meta de rechazo es de un 4% (rechazo se considera al mineral distinto al grado A), la eficiencia de corriente tiene como meta un 95%.

La producción de minerales oxidados por parte de Salvador, como división, equivale a 3 millones de toneladas año (MTA) con una ley media de 0,60% y una producción de 9 mil toneladas métricas de cobre fino, mientras que los minerales de sulfuros corresponden a 11,5 MTA año, con una ley promedio de 0,90% y una producción de 55 mil toneladas métricas finas de cobre. La operación también obtiene subproductos como el molibdeno, barro anódico y ácido sulfúrico. Por su parte, la fundición y refinería procesa 600 mil toneladas de concentrado propio (40%) y de terceros (60%). En tanto, el Puerto de Barquito permite el embarque de cátodos de cobre, concentrado, petróleo y ácido sulfúrico.

Figura 3: Estadísticas de la división año 2015.

Planteamiento del Problema

Para entender la iniciativa de evaluar la gestión de inventario, es necesario mencionar un eje estratégico definido por CODELCO:

> Entre los ejes de la actual gestión está convertirnos en una de las empresas mineras más competitivas. En 2015 pasamos al segundo cuartil de costos, es decir, a pertenecer a la mitad de las empresas con los menores costos de la industria. Ahora la meta es mantenernos en ese lugar o, incluso, llegar al primer cuartil de costos. Esta meta es crucial, especialmente hoy, cuando impulsamos un momento de reconversión histórica para la empresa, con un Plan de Inversiones de más de US$20 mil millones para el quinquenio 2015-2019, con seis proyectos que extenderán la vida de nuestra empresa, y elevarán nuestra productividad. (Codelco, 2015**)**

Este inédito programa de inversiones será ejecutado con recursos de todos los chilenos y chilenas, lo que los obliga a ser eficientes en la construcción de los proyectos, tanto en los tiempos comprometidos como en la ejecución de los presupuestos; a aplicar los mejores planes de negocio y utilizar tecnología de punta e innovadora para nuestros yacimientos.

Es por este motivo, que se busca una optimización importante de costos en la empresa y especialmente en la División Salvador, con tal de maximizar el beneficio para así llevarla a un nivel competitivo y económicamente viable.

Salvador es la única división de CODELCO con un costo C1 superior a US$ 2 por libra de cobre. El objetivo de la división es transitar desde un costo de producción directo de US$ 2,48 a US$ 1,78 por libra de cobre durante el año 2016, lo que significa hacer un esfuerzo extraordinario para reducir sus costos en 28%. Esto motivado principalmente por las fluctuaciones actuales del precio del cobre, que durante el año 2015 se cotizó en US$ 2,49 por libra de cobre en la bolsa de LME (London Metal Exchange). Por lo cual existen periodos en los cuáles se vendió a un precio inferior al de producción, generando pérdidas.

Para lograr estos resultados en la División Salvador se ha puesto en auge la práctica de la gestión de activos y mantenimiento, buscando gente capacitada en lo anterior o capacitando a su personal existente mediante post grados afines al tema. La gestión de activos tiene como uno de sus pilares de gestiones operacionales a la gestión de repuestos, que la engloba la gestión de inventario.

Entonces, es imperativo para las empresas con una intensiva utilización de activos, asegurar en su gestión la exactitud de los pronósticos de demanda de repuestos y materiales, y a su vez optimizar el inventario de los mismos, ya sea su manipulación, gestión de compras, etc.

Existen tres aspectos fundamentales y determinantes en el ambiente actual de las empresas, que justifican la importancia que debe tener la gestión de inventario, estos son los siguientes:

- Criticidad del giro: tener en cuenta la criticidad que tiene la detención de nuestra línea de producción o parte de ella y los impactos que esto genera.

- Características de los equipos: especificaciones, ciclos de vida, obsolescencia, criticidad, entre otros factores.

- Visualización Global y Optimización: no incurrir en costos excesivos en equipos y repuestos que no son realmente críticos, y el impacto no es significativo para el costo, tanto en dinero y capital humano, que resulta de optimizar estos.

PLAN DE TRABAJO

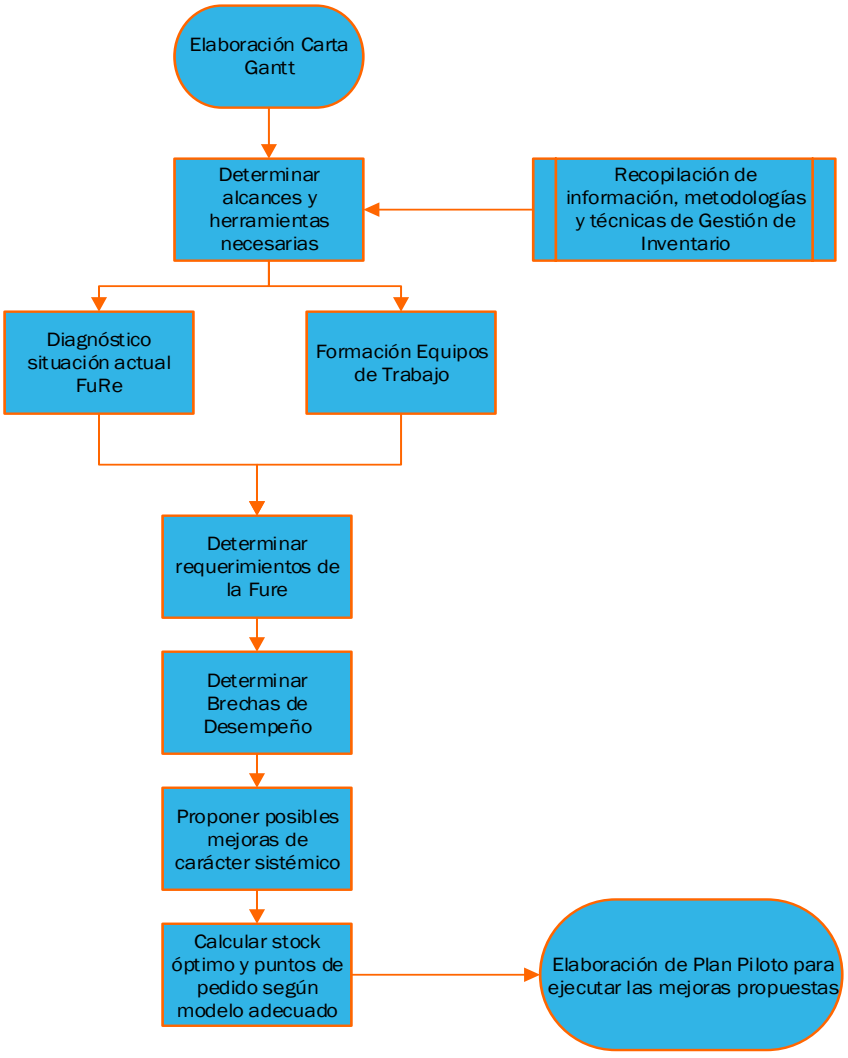


Figura 4: Esquema Plan de Trabajo.

Una vez definidos los objetivos y metas propuestas a alcanzar con el trabajo, los pasos para lograrlos son:

- Paso Nº1: la creación de un plan de acción o trabajo debe ser siempre el primer paso a realizar. Una "Carta Gantt" nos permitirá planificar y programar las actividades y tareas a lo largo del periodo de tiempo total asignado. Esta herramienta gracias a la visualización que entrega, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas del proyecto.

- Paso Nº2: crucial es determinar el alcance y las herramientas necesarias para obtener resultados óptimos, por lo tanto, es indispensable una completa recopilación de información, y estudio de ésta. Con esto, se puede indagar sobre los modelos que aplican al tema, cuáles son las metodologías y técnicas más apropiadas para las condiciones propias de nuestro problema, es decir, verificar el "estado del arte" respecto a la gestión operacional ligada al manejo de inventarios.

- Paso Nº3: realizar un diagnóstico de la situación actual de la gestión de inventario de la Fundición y Refinería. Se deben identificar las políticas actuales de reposición de repuestos, como son realizados las tareas, procesos y procedimientos para llevar esto a cabo. De forma paralela se forman de equipos de trabajo, ya que a pesar de la tarea estar asignada principalmente a una sola persona, afecta a la totalidad del personal. Por lo tanto, es primordial establecer un nexo y buena relación con los jefes de área de la Fundición y Refinería, entender sus problemas y necesidades frente a lo que respecta a inventario de los materiales y repuestos. Además, formar una buena relación con el personal de suministros (bodega), comprendiendo sus propios problemas y objetivos, que pueden ser totalmente opuestos a los del equipo de mantención. En base a esto podremos definir cuáles son los requerimientos y necesidades a cubrir en las áreas respecto al inventario, disponibilidad, y otros parámetros relevantes.

- Paso Nº4: obtener indicadores en base al diagnóstico realizado, que nos permitan evaluar la gestión de inventarios actual, para esto se comparan los valores obtenidos con los valores deseados, y se determinará por qué existen desviaciones de los resultados óptimos, en caso de ser así. Estos resultados adicionalmente deben estar alineados con las metas fijadas por la división, y con la misión y visión establecida como corporación.

- Paso Nº5: luego de haber determinado las brechas de desempeño, viene la etapa de proponer mejoras a la gestión de inventario de carácter sistémico que ayuden a cubrir las necesidades y requerimientos de la empresa. Esta propuesta debe incluir mejoras profundas a nivel de planificación de materiales y repuestos como proceso, considerando aspectos a mejorar en la cadena de suministros completa.

- Paso Nº6: uno de los aspectos de gran relevancia dentro de la gestión de inventario es determinar las cantidades óptimas de repuestos y materiales a mantener almacenados, que cantidad pedir y cada cuanto pedir. Esto vendrá determinado por la elección de un modelo adecuado, teniendo en cuenta la misión de cumplir los objetivos propuestos. Los pasos siguientes, vendrán ligados a la elección del modelo, donde es importante ser prolijo y tener el orden para manejar gran cantidad de datos.

- Paso Nº7: finalmente se debe elaborar un plan piloto. Este plan deberá proponer como implementar las mejoras establecidas en los pasos anteriores, además debiese dejar nociones de lo realizado para sea replicable en el tiempo, esto con el fin de actualizar los valores obtenidos según las variables que surjan o cambien día a día en el contexto operacional, y también mejorar las etapas con cada iteración. Este plan deberá establecer posibles resultados esperados.

  Si los plazos lo permiten, sería importante aplicar algunas de las actividades del plan piloto, para poder evaluar el impacto real que tendrían en la gestión de inventario, y que consecuencias tendría su implementación en la variación de costos de producción para ver su real impacto económico.

1.- MARCO TEÓRICO

Gestión de Operaciones:

Es un modelo de gestión compuesto por un conjunto de tareas y procesos enfocados a la mejora interna de las organizaciones, con el fin de aumentar su capacidad para conseguir los propósitos de sus políticas, y sus diferentes objetivos operativos. Por lo tanto, dentro de la gestión operativa quedan englobadas también diversas gestiones, tales como gestión de la producción, gestión del aprovisionamiento de la cadena de suministros, recursos humanos y financieros, etc.

Gestión de Inventario:

La gestión de inventario es una actividad funcional de la administración de la cadena de suministros y, por ende, corresponde a una actividad de carácter sistémica, no es solamente una gestión de stock a mantener almacenado, como muchos piensan al escuchar el tema. Por ende, uno debe preocuparse de todas las actividades necesarias para que el producto llegue a manos del cliente final, logrando satisfacer sus necesidades. En nuestro caso el producto serían los repuestos y materiales, y el cliente sería el equipo de mantención, el cual lo utilizará en su debido momento en el servicio final de mantenimiento.

Tal como la logística y la cadena de suministros, la gestión de inventario consta de las etapas de planificación, organización y control, las que a su vez consideran una serie de actividades para lograr con éxito las metas de servicio al cliente.

1.1 Planificación de la Gestión de Inventario:

1.1.1 Pronóstico de la demanda:

La planificación requiere estimaciones precisas de los volúmenes de demanda y nivel de servicio que serán manejados por la cadena de suministro. Estas estimaciones se presentan en forma de pronósticos y predicciones.

El pronóstico de la demanda es vital para las empresas como un todo, ya que proporcionan los datos de entrada para la planeación y control de todas las áreas funcionales, incluyendo logística, marketing, producción, finanzas, etc. En este caso los pronósticos tienen relación con la naturaleza espacial y temporal de la demanda (cuánto y cuándo), su variabilidad y su aleatoriedad.

La demanda influye de forma determinante en los distintos tipos de inventario. Un ejemplo es que el stock de seguridad de un artículo será mayor o menor dependiendo de la variabilidad de la demanda, o demandas estacionales provocarán inventarios en ocasiones especiales, etc.

1.1.1.1 Métodos de pronóstico:

A continuación, se expondrá una visión general de los métodos y técnicas de pronóstico estandarizado que se utilizan habitualmente para la planeación y control de la logística. Estos métodos se han dispuesto en tres grupos: cualitativos, proyección histórica y causales. Cada grupo difiere en términos de precisión relativa en el pronóstico sobre el largo plazo y el corto plazo, en el nivel de sofisticación cuantitativa utilizada y en la base lógica (información histórica, opinión experta, estadísticas, etc.) de las que deriva el pronóstico.

Métodos cualitativos: los métodos cualitativos utilizan principalmente el juicio, la intuición, las encuestas o técnicas comparativas para generar estimados cuantitativos acerca del futuro. La información relacionada con los factores que afectan el pronóstico por lo general no es cuantitativa, es intangible y subjetiva. La información histórica puede no ser relevante.

Las desventajas de estos métodos son que, al ser de carácter no científico, no es sencillo estandarizar ni validar su precisión, sin embargo, son los únicos válidos cuando se intenta predecir el éxito de nuevos productos, impactos de nuevas leyes, descubrimientos científicos, etc.

Métodos de proyección histórica: se requiere una cantidad razonable de información histórica, y además que las variaciones de tendencia y estacionales en el tiempo sean estables y claramente identificables. La proyección de esta información al futuro puede ser un método

efectivo de pronóstico para el corto plazo. Este método considera como premisa que el del futuro será una réplica, o al menos consecuente con el patrón del pasado.

Estos métodos están basados en el uso de modelos matemáticos y estadísticos como principales herramientas de pronóstico, con lo cual puede lograse buena precisión sobre todo en periodos de corto a mediano plazo.

Algunos modelos de este tipo, rastrean posibles alteraciones al ser actualizados a medida que se dispone de nueva información, característica que les permite adaptarse a los cambios en los patrones de tendencia y estacionales. Sin embargo, hay que tener precaución cuando las alteraciones son repentinas, debido a que la señal de cambio no es inmediata.

Métodos causales: existen casos en que el nivel de la variable a pronosticar deriva del nivel de otras variables relacionadas. En estos métodos es importante poder encontrar relaciones de causa y efecto, logrando ser bastante efectivos para anticipar cambios mayores en las series de tiempo y para pronosticar de manera precisa sobre un periodo de mediano a largo plazo.

Los modelos causales pueden ser de distintas formas: estadísticos, por ejemplo, en el caso de los modelos de regresión o econométricos, o descriptivos, como en el caso de los modelos de entrada-salida, ciclo de vida y simulación computacional. Por lo general la validez de estos modelos viene de la mano de los patrones históricos de información con que se cuenten, los cuales establecen la asociación entre variables para predicción y la variable que se pronosticará.

Un problema severo que tienen este tipo de modelos es que con frecuencia resulta bastante difícil encontrar verdaderas variables causales, o de existir la asociación con la variable a pronosticar es baja. Esto se podría traducir en desviaciones importantes entre el pronóstico y la situación real.

Es necesario recalcar que numerosos estudios señalan que los modelos simples responden tan bien, o mejor que modelos más complejos y elaborados. La complejidad de los modelos no es válida asociarla directamente a la precisión de estos.

Habitualmente, los responsables de la logística y la cadena de suministros no se preocupan directamente del pronóstico de la demanda, ni las técnicas y modelos asociadas a esto, ya que múltiples departamentos de la organización requieren información pronosticada, en especial el área de ventas, marketing, o directivas encargadas del análisis económico de la empresa. Es común que los encargados de la logística reciban información sobre los pronósticos de mediano y corto plazo, útiles para el control de inventario, la programación de envíos y pedidos, etc.

1.1.2 Decisiones sobre políticas de inventario:

Los inventarios pueden ser definidos como una acumulación de materias primas, provisiones, repuestos, productos en proceso o terminados, los cuáles aparecen en distintos puntos de la línea de producción y la cadena de abastecimiento. Éstos se presentan prácticamente en todas las empresas, sobre todo en las de carácter industrial. Los inventarios se encuentran físicamente con frecuencia en bodegas o almacenes, patios, equipos de transporte o en líneas de producción.

El hecho de tener inventarios almacenados genera costos, los cuáles bordean entre un 20 y 40% del valor del mismo, por lo tanto, gestionar meticulosamente los niveles de inventario tiene un gran sentido económico.

Hoy en día se ha avanzado notablemente para reducir la cantidad de inventario promedio mediante diferentes sistemas y metodologías, tales como el método justo a tiempo (JIT), la respuesta rápida, y otras prácticas de colaboración aplicadas a la cadena de suministro, pero aun así los inventarios pueden representan según estudios aproximadamente un 30% del valor invertido en activos por las empresas. Esto se da en muchas ocasiones por el desconocimiento asociado a la gestión del inventario y su importancia. Una referencia destacada es el estudio de Helen Richardson de 1995. Según H. Richardson, los costos totales de inventario podrían ubicarse entre el 25 % y el 55 % con la siguiente distribución:

- Costo del dinero 6 % - 12 %
- Impuestos 2 % - 6 %
- Seguro 1 % - 3 %

- Gastos de depósito 2 % - 5 %
- Manejo físico 2 % - 5 %
- Control administrativo y de inventario 3 % - 6 %
- Obsolescencia 6 % - 12 %
- Deterioro y hurto 3 % - 6 %

1.1.2.1 Evaluación de los inventarios:

Existen numerosas razones por las cuales los inventarios están presentes en las empresas, pero hoy es definido en muchos casos como innecesario y antieconómico. Es necesario considerar los argumentos a favor y en contra a la hora de evaluar los inventarios, y así tomar la decisión correcta.

Argumentos a favor de los inventarios:

- **Mejorar el servicio al cliente:**

  Los inventarios resultan en muchas ocasiones imprescindibles para mantener un buen nivel de servicio al cliente, debido a que actúan como amortiguador en situaciones en que la demanda es mayor a la fabricación, o cuando aparecen fallas imprevistas que reducen o detienen la producción. Manteniendo stock se puede lograr mantener una producción a un ritmo regular, y es posible fabricar lotes de tamaño razonable. Habitualmente hoy en día es determinante en la elección de un cliente poder satisfacer su necesidad en el momento y hora que lo requiera, y en esto colaboran los inventarios, evitando roturas de stock.

- **Reducción de costos:**

  Si bien el mantener inventarios tiene costos asociados, su uso puede reducir indirectamente costos de operación de algunas actividades de la cadena de suministros que podrían compensar el costo de mantener y administrar los inventarios.

  A) Mantener inventarios puede favorecer economías de producción, permitiendo periodos de producción de mayor duración y más eficientes. El rendimiento de la producción

podría estar desacoplado de la variación de los requerimientos de la demanda, siendo los inventarios un amortiguador entre producción y demanda.

B) Comprar lotes más grandes y mantener estos en inventario puede lograr ahorros en temas de compra y transporte, inclusive en ocasiones obteniendo descuentos por cantidad (economía de escala). Debe establecerse un equilibrio entre los ahorros logrables y los costos de almacenar.

C) Se pueden lograr ahorros por la fluctuación del precio de los productos en el tiempo, que generalmente tienden al ir al alza por la pérdida de valor en el tiempo (inflación). Por ende, se decide en ocasiones comprar mayores cantidades previendo alzas importantes de precio.

D) Lograr una reducción de costos asociados a casos en que el no tener inventarios provoquen un quiebre de stock o parada de producción, que signifique perdidas de venta o disminución de cantidades producidas. Tal como se ha señalado, los inventarios ayudan a amortiguar los efectos de la variabilidad de la producción y tiempos de reposición, y así trabajar sin sobresaltos.

E) Evitar impactos no planeados ni anticipados, tales como huelgas, desastres naturales, demandas inusuales de productos o retrasos inesperados en recibir los suministros. En este caso, los inventarios permiten seguir operando al menos durante un tiempo, disminuyendo el impacto económico que estos eventos pudieran causar.

Argumentos en contra de los inventarios:

El principal argumento en contra de los inventarios son los costos asociados a mantener inventarios, excesivos en muchos casos al almacenar más de lo necesario. Estos costos se detallarán más adelante. Otro argumento en contra es en ocasiones el espacio físico que significa mantener inventario, donde pueden existir limitantes o complicaciones para el funcionamiento normal de algunas actividades de la empresa.

En la actualidad se realizan críticas a mantener inventario por los siguientes motivos:

A) Los inventarios son considerados como pérdidas. Son capital que podría estar disponible para usos más rentables o más urgentes, tal como mejorar la productividad o competitividad. Adicionalmente, no contribuyen con ningún valor directo a los productos a la empresa, aunque si almacenan valor.

B) Los inventarios pueden encubrir problemas severos de calidad. Cuando ocurren estos problemas, lo ideal es reducir los inventarios para proteger la inversión del capital, y corregir estos problemas, que generalmente demoran.

C) Los inventarios promueven una gestión aislada de la cadena de suministros como sistema. Sin inventarios, es difícil evitar la planeación y la coordinación al mismo tiempo en los diferentes niveles del canal de suministros.

1.1.2.2 Tipos de inventario:

A) **Inventarios en tránsito:** son aquellos artículos que se encuentran circulando entre diferentes fases de los procesos de aprovisionamiento, producción y distribución (entre los niveles del canal de suministros). En algunos casos, el tránsito de stock requiere tiempos altos o grandes distancias a recorrer, lo que resulta inclusive en tener mayor valor en inventario en tránsito respecto al almacenado.

B) **Inventarios regular o cíclico:** son necesarios para satisfacer la demanda promedio durante el tiempo entre reaprovisionamientos sucesivos (lead time). La cantidad de existencias en el ciclo depende en gran medida de los volúmenes de producción, lotes de compra, limitaciones de espacio, tiempos de reaprovisionamiento, los costos de manejo de inventario, etc.

C) **Inventario de seguridad:** este inventario se constituye como protección frente a la variabilidad e incertidumbre de la demanda de existencias y el plazo de aprovisionamiento. Este tipo de inventario es una medida extra o adicional a las existencias regulares que se necesitan para cumplir los requerimientos del cliente. Estas

existencias se determinan a partir de procedimientos estadísticos relacionados con la naturaleza aleatoria de la variabilidad involucrada y el nivel de disponibilidad de existencias deseado. Un pronóstico preciso intenta minimizar estas existencias de seguridad, con el ideal de reducirlas a cero.

D) **Inventario estacional:** se trata de inventarios que tienen por objetivo hacer frente a un aumento esperado de las ventas o demanda. Pueden constituirse a la vez para situaciones extraordinarias, como huelgas, guerras u otras que tiene como consecuencia que un periodo determinado de tiempo sea imposible abastecerse.

E) **Inventarios obsoletos:** activos que se deterioran, caducan, se pierden o son robados. Este inventario se conoce también como stock muerto o perdido. Cuando son productos de alto valor, perecederos o pueden ser robados fácilmente, deben tomarse precauciones especiales para minimizar dicho stock, o contratar seguros.

1.1.2.3 Objetivos de los inventarios:

El manejo de inventario se traduce en lograr el equilibrio entre nivel de servicio al cliente (disponibilidad de productos para satisfacer sus necesidades), y los costos asociados a suministrar este nivel de disponibilidad. Existen distintas metodologías para controlar los inventarios, pero en su mayoría es necesario conocer la disponibilidad objetivo y los costos asociados al manejo de los niveles de inventario.

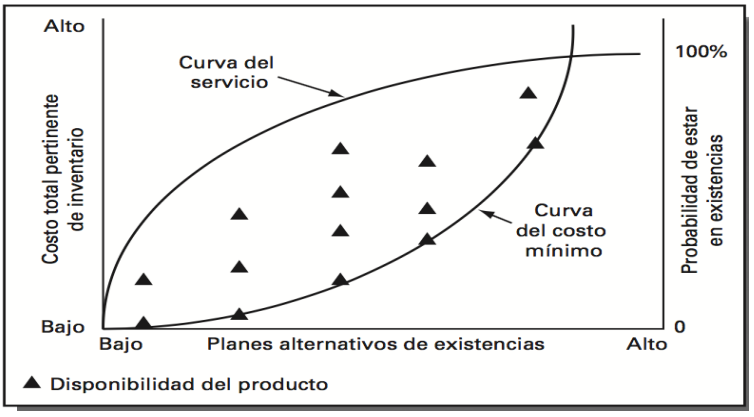


Figura 5: Curvas de planeación de inventarios.

Nivel de servicio:

Tal como se señaló, es el principal objetivo del manejo de inventario, asegurando que el producto esté disponible en el momento y en las cantidades deseadas. Es la proporción de ocasiones en que la demanda de un producto o repuesto es satisfecha de manera exitosa. Lograr tener un nivel de servicio de un 100% representa costos excesivos para cualquier empresa en la actualidad, por ende, se debe buscar valores alcanzables y que ayuden a lograr las metas globales.

Costos asociados al inventario:

Para establecer una política de inventarios son importante tres clases generales de costos: costos de compra, costos de mantenimiento y costos por falta de existencia. Estos costos están en conflicto, o en equilibrio entre sí.

A) Costos de compra o adquisición:

Son los costos asociados con la adquisición de las existencias o bienes para el reaprovisionamiento del inventario, a menudo significan gran parte de la inversión que realiza una empresa. Cuando se realiza un pedido no solo se incurre en el costo directo del precio de las existencias, sino que hay costos relacionados con el procesamiento, ejecución, transmisión, manejo del pedido.

En el caso que la empresa se auto suministra, como en el caso del reabastecimiento de una fábrica con sus propios artículos terminados, los costos de adquisición se reemplazan por los costos de producción. Hay que tener en cuenta que algunos costos se establecen por pedido, y no varían con el tamaño de la orden. Otros, en cambio, como el transporte, manufactura y los costos por manejo, varían según las cantidades o tamaño del pedido.

B) Costos de mantener inventario:

Son los costos relacionados con almacenar y mantener existencias durante un periodo de tiempo. Estos costos, casi en su totalidad, son proporcionales a la cantidad de inventarios

promedio almacenados. Generalmente, el costo total de mantener inventario está representado por el 10 al 20% del valor total almacenado, información que se utiliza cuando no se consta con todos los costos asociados.

Costos de capital: son los costos del dinero en el tiempo sobre el capital invertido en las existencias en inventario. Este costo puede representar un 80% del costo de mantener inventarios, aunque es de carácter intangible, y más subjetivo que los demás elementos. El costo de capital puede variar desde una tasa de interés preferencial (otorgada por un banco u empresa financiera) hasta el costo de oportunidad del dinero.
El costo exacto de capital para los propósitos de inventario se ha debatido ampliamente. Muchas empresas utilizan el costo promedio de capital, en tanto otras usan la tasa promedio de recuperación requerida de las inversiones de la compañía. Se ha sugerido que la tasa de recuperación es más precisa para reflejar el costo verdadero de capital, siendo esta, la tasa de rendimiento de las inversiones más lucrativas que la empresa no acepta. Generalmente algunas empresas se cargan a sí mismas con intereses sobre el capital de un 15 a un 20%, aunque probablemente es más real una cifra de 8 a un 12%.

Costo de espacio: son los cargos realizados por el espacio para el uso en almacenaje, tanto si se utiliza un espacio propio (susceptible a ser utilizado para otras alternativas) o un espacio o edificio rentado. En ambos casos se incurre en costos de operación, tales como calefacción o luz, y en el caso de renta, se considera el pago de esta. Existen otros costos, pero no considerarlos no influye mayormente. Es importante mencionar que para inventarios en tránsito es totalmente irrelevante calcular costos de espacio.

Costos de servicio de inventario: al almacenar activos de gran valor se deben considerar habitualmente dos costos importantes en los cuales se incurre, que son en seguros e impuestos. Los seguros actúan como protección frente a situaciones inusuales como incendios, inundaciones, robos, explosiones, etc. Los impuestos son cargados a los niveles de inventario que se encuentran el día del cálculo, y por lo general solo representan una pequeña porción del costo total de manejo del inventario. En este ámbito, también se pueden considerar los costos asociados a los sistemas de registro (software, documentos, etc.), y del personal a cargo de mantener y administrar las bodegas mismas.

Costos de riesgo de inventario: son aquellos costos relacionados con el deterioro, pérdida y obsolescencia de los ítems almacenados. Durante el transporte, almacenamiento o mantenimiento de los inventarios, ciertas unidades podrían dañarse, deteriorarse, extraviarse o de alguna forma quedar inhabilitadas para cumplir la función de diseño, esto inclusive puede ocurrir por condiciones de temperatura o humedad, dentro de otras posibles causas. Existe parte de inventario que también puede quedar obsoleto en el caso de los repuestos o materiales, al ser reemplazado un equipo de la planta, con el cuál sus repuestos no tendrían donde ser utilizados.

Los costos relacionados a estas ocasiones se pueden estimar como la pérdida del valor de obtención del producto (precio de compra, transporte, manejo, etc. o costo de producción hasta el punto donde se originó la perdida).

C) Costos por falta de existencias o rotura de stock:

Cuando existe una demanda y esta no puede ser atendida por falta de existencias, esto se conoce como rotura de stock. Esto genera principalmente costos de dos tipos: costos por pérdidas de ventas y costos por pedidos retrasados. Cada uno presupone ciertas acciones por parte del cliente, y dado este contexto, su comportamiento es intangible, y difícil de medir con precisión.

Costo por pérdida de ventas: ocurre cuando el cliente, ante la falta de stock, decide desistir de su intención de compra. El costo sería el beneficio que se habría conseguido al realizar la venta, pero en muchos casos, puede implicar que un cliente decida cambiar y comprar a otros proveedores, por lo cual se podrían perder ventas futuras. Este último caso se da fundamentalmente en productos sustitutos, donde el cliente puede cambiar fácilmente a otros competidores.

En este aspecto también se puede señalar que, para el caso de repuestos o materiales, la rotura de stock puede traer ligado detención de la producción o problemas de fallos mayores en equipo, traduciéndose en mayores tiempos de detención, lo que implica finalmente mayores pérdidas de producción y/o ventas.

Costos de pedidos pendientes o diferidos: ocurre cuando un cliente espera a que su pedido sea entregado esperando cierto periodo de tiempo, por lo cual, la venta no se pierde, solo se retrasa. Los pedidos pendientes pueden crear costos adicionales de personal, manejo de información y de ventas por el procesamiento de las ordenes, además de costos de transporte y manejo cuando estos productos se entregan por rutas informales para apurar su entrega. Este caso también puede generar pérdidas de ventas futuras. Además de los costos descritos, existen posibles costos asociados a perdida de la calidad de productos o materiales, ya sea por apurar ciertos procesos o por usar materias primas de menor calidad, las que son posibles de conseguir en plazos menores. Adicionalmente el proceso productivo con detenciones se vuelve menos eficiente y eficaz, provocando inclusive desmotivaciones en los trabajadores de las líneas de montaje u operadores de máquinas o equipos. Todo esto repercute de manera negativa en los costos totales.

1.1.2.4 Técnicas de control del inventario:

Control de Inventarios por Incrementos (PUSH):

Este método es apropiado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto plazo de los inventarios. Si estas cantidades no pueden almacenarse en el lugar de la producción, ya sea por falta de espacio u otro motivo, deben asignarse a los puntos de abastecimiento, esperando que de alguna manera tengan buen sentido económico. Los incrementos también son un método razonable para el control de inventario donde la producción o la compra es la fuerza dominante al momento de determinar las cantidades de reaprovisionamiento.

Los principales pasos que incluye un método de incrementos de cantidades son:

- Determinar, mediante pronósticos u otros medios, los requerimientos para el periodo comprendido entre periodos de producción o puntos de pedidos.
- Determinar las cantidades actuales disponibles en cada punto de abastecimiento.
- Fijar el nivel de disponibilidad de existencias en cada punto de almacenamiento.
- Calcular los requerimientos totales a partir del pronóstico, más las cantidades adicionales necesarias para cubrir la incertidumbre de la demanda.

- Determinar los requerimientos netos, siendo estos la diferencia entre requerimientos totales y las cantidades que se encuentran disponibles.
- Distribuir el exceso de los requerimientos netos totales a los lugares de abastecimiento en base a la tasa de demanda pronosticada.
- Sumar los requerimientos netos y prorratear las cantidades excedentes para hallar la cantidad que se va a asignar a cada punto de abastecimiento.

Control de Inventarios por Demanda (PULL):

La idea de esta metodología es tener bajos niveles de inventario en los puntos de abastecimiento, en base a la respuesta a las condiciones particulares de la demanda y de costos de cada punto de abastecimiento.

El control de inventarios PULL reconoce que la demanda y el tiempo de entrega no se puede conocer con total seguridad. Por lo tanto, es importante prever cómo será la situación futura para que existan las existencias suficientes para satisfacer las solicitudes de los clientes. Además de las existencias regulares que se deben mantener para satisfacer la demanda promedio y el tiempo de entrega promedio, en algunos modelos de este tipo, añaden una cantidad extra de inventario, conocido como existencias de seguridad. La cantidad de estas existencias de seguridad, o amortiguadoras, fijan el nivel de disponibilidad de existencias suministradas a los clientes al controlar la probabilidad de que ocurra falta de existencias.

Dentro de esta categoría podemos mencionar algunos modelos para pedidos repetitivos, específicos de control de inventario, que establecen las cantidades de pedido y cuando se debe pedir, dentro de los cuales destacan los siguientes por ser los más efectivos o más utilizados en el día a día:

A) Lote Económico de Compra

En este modelo, el más utilizado, se busca determinar la cantidad de ítems que se deben comprar en cada pedido, con el fin de minimizar los costos totales. Cada vez que el nivel de inventario llegue a un punto mínimo o bajo este, se realizará un pedido de la cantidad óptima, previamente determinada.

Para minimizar el costo total se debe encontrar el equilibrio entre los costos de almacenar los ítems y el costo de pedido. Si solo se minimiza uno de estos costos, el otro tendería a aumentar por lo tanto existe un punto donde es mínimo la suma de estos costos.

Existen algunas variantes de este modelo, las cuáles se detallarán a continuación:

I. Modelo Básico:

Definición de las variables a utilizar:

- **Costo de pedido (CP):** es el costo de procesar una orden de compra, desde que se inicia el requerimiento hasta que llega esta al proveedor. Para el modelo, este costo es un valor fijo, independiente de las unidades de ítems que se compren. Estos costos pueden ser gastos administrativos, costos fijos, costos variables, transportes, etc.
- **Costos de almacenamiento (CM):** se define como el costo de mantener una unidad durante un tiempo determinado. Estos costos generalmente están asociados a costos propios del almacén (mano de obra, gastos administrativos, energía, transportes, seguros), además de costos inherentes a este tipo de activos, como pérdidas por robo, obsolescencia, deterioro, etc.
- **Periodo de Tiempo (T):** define el tiempo en el que se lleva a cabo el análisis.
- **Demanda (D):** es la cantidad de unidades de repuestos consumidas en el periodo de tiempo establecido.
- **Precio del repuesto (p):** es el costo unitario del repuesto que se está analizando.
- **Lote de compra (Qe):** define la cantidad de unidades a pedir cada vez que se realiza una compra.

Hipótesis para el modelo básico:

- Demanda constante y conocida (Determinista).
- Reposición instantánea de cantidades iguales en periodos iguales, que cubren exactamente la demanda en cada periodo.
- Costo unitario de almacenamiento por unidad de tiempo es constante.

- Costo de reposición constante, no existen otros costos y única restricción es Qe ≥ 0.
- No existen otros costos, y única restricción es Qe ≥ 0.

En el periodo total T, que contiene "n" ciclos de reaprovisionamiento se tendrá un costo total de:

$$\boldsymbol{CT = \frac{1}{2} * CM * Qe * T + CP * \frac{D}{Qe} + p * D} \quad (1.1)$$

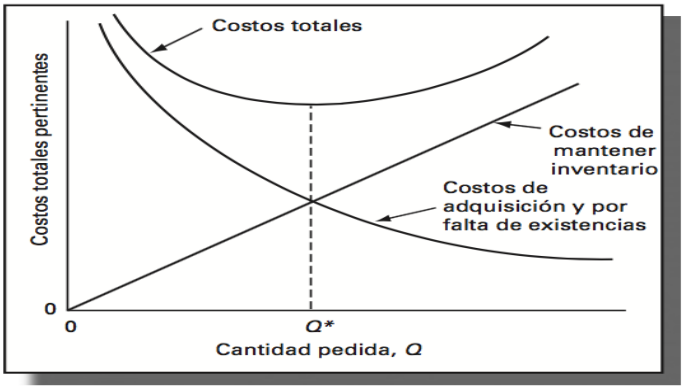


Figura 6: Costo Total de Inventario.

Por lo tanto, la manera de obtener la cantidad económica recomendada de compra, se obtendrá derivando la ecuación del costo total CT en función de Qe, e igualando la expresión resultante a cero, y finalmente se obtendría lo siguiente:

$$\boldsymbol{\frac{\partial CT(Qe)}{\partial Qe} = 0} \quad (1.2)$$

$$\boldsymbol{\frac{1}{2} \times CM \times T - CP \times \frac{D}{(Qe)^2} = 0} \quad (1.3)$$

Despejando Qe obtenemos lo siguiente:

$$\boldsymbol{Qe\ (recomendado) = \sqrt{\frac{2 \times CP \times D}{CM \times T}}\ 0} \quad (1.4)$$

$$\boldsymbol{CT(Qe) = \sqrt{2 \times CP \times D \times CM \times T} + D \times p} \quad (1.5)$$

II. Modelo con Costo Financiero:

Una variante mínima del modelo anterior, donde en cambio simplemente se considera un costo de oportunidad por tener capital inmovilizado en el inventario como producto de una tasa de

interés **i** por el precio de la unidad del producto **p**. Si la tasa es constante a lo largo del periodo T considerado, el costo total seguirá siendo una constante.

Repitiendo el análisis anterior con las modificaciones, se obtiene que:

$$\boldsymbol{Qe\ (recomendado)} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{2\times CP\times D}}{\boldsymbol{(CM+p\times i)\times T}}} \tag{1.6}$$

$$\boldsymbol{CT(Qe)} = \sqrt{\boldsymbol{2\times CP\times D\times (CM+p\times i)\times T}} + \boldsymbol{D\times p} \tag{1.7}$$

III. Modelo con Stock de Seguridad:

El stock de seguridad es el inventario extra que se almacena, el cuál no sería consumido si se mantiene el consumo promedio durante un periodo de tiempo. La hipótesis para estos modelos es que la demanda es constante y conocida, pero esto en la práctica es casi inverosímil, o se da en casos muy aislados. Es por este motivo, que el stock de seguridad es relevante, ya que en casos que la demanda promedio es sobrepasada tendríamos un quiebre de stock, y se obtendría una demanda insatisfecha, lo cual puede tener efectos totalmente adversos para la organización. Por ejemplo, el faltante de algún repuesto podría ocasionar la disminución de la velocidad de operación en una línea de trabajo, o inclusive una parada de la totalidad de la planta.

Para evitar la generación de una demanda incompleta o insatisfecha, se mantiene un stock adicional, de emergencia, denominado stock de seguridad, al cual solo se recurre en casos que se supere la demanda esperada, y de ser así este debe ser repuesto en un nuevo pedido. Para fijar el stock de seguridad se debe conocer la variabilidad que presenta la demanda en el tiempo, y tomar una decisión sobre el riesgo que se quiere asumir, esto se fija a través de un nivel de servicio.

Los repuestos de alta rotación tienen una demanda independiente, estable y generalmente con un comportamiento definido de forma gaussiana. Para aplicar este modelo, es necesario contar con datos históricos o demandas proyectadas, pero siempre tener la forma de obtener su media (promedio μ) y su desviación estándar ($\boldsymbol{\sigma_D}$).

El nivel de servicio representa el porcentaje de los casos en que se asegurará que un repuesto esté disponible para su utilización. Fijar el nivel de servicio es parte fundamental de la definición de una política de inventarios. El nivel de servicio es la probabilidad deseada de que no haya faltantes, aunque la demanda fluctúe y el tiempo de reabastecimiento no se cumpla, dentro de los límites esperados. Un nivel de servicio de 90% significa que 1 de cada 10 oportunidades en que necesitemos de un repuesto, este no estará disponible para ser utilizado por falta de stock. Por consiguiente, cuanto mayor sea el nivel de servicio requerido o deseado, mayor será la cantidad de repuestos en el inventario, pero esta relación no es directamente proporcional, sino que la cantidad de repuestos crece de manera exponencial ante un alza en el nivel de servicio esperado. Del mismo modo crecen los costos asociados a estos repuestos, por lo tanto, tampoco asegurar un nivel altísimo de repuestos nos asegura una reducción de costos.

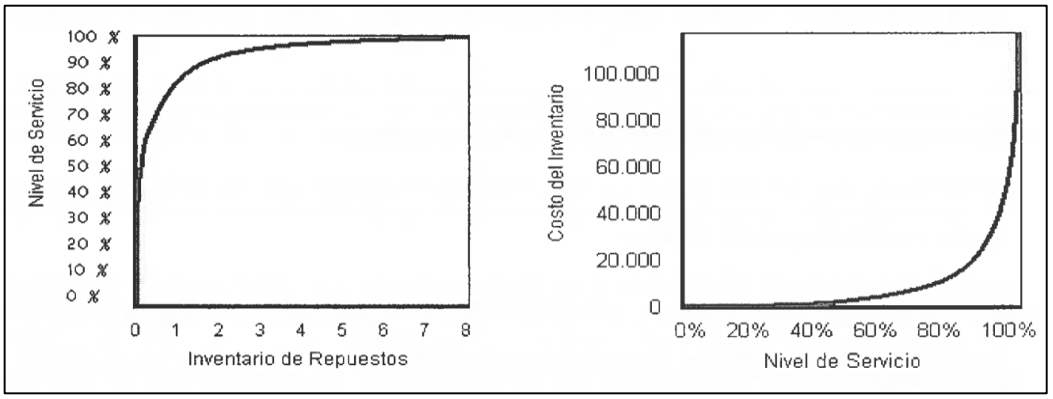


Figura 7: Gráficas de Nivel de Servicio.

Si el reabastecimiento fuera instantáneo, no se necesitaría mantener stock de seguridad, porque al agotarse se repondría el stock de existencias inmediatamente y se podrían enfrentar las demandas de estos. Por este motivo, entre más eficiente y eficaz es el abastecimiento, menor stock de seguridad es necesario. Se mantiene un stock de seguridad porque mediará un tiempo entre que se detecta la necesidad de reponer el inventario y que los ítems comprados estén disponibles para su utilización, este intervalo es conocido como tiempo de reposición (TR).

Entonces el punto de pedido (PP) será el stock de seguridad (SS) más la demanda promedio (μ) esperada durante el tiempo de reposición:

$$\boldsymbol{PP = SS + \mu \times TR} \qquad (1.8)$$

Cuando el inventario desciende hasta el punto de pedido, se realiza un nuevo encargo para reponer el stock. Si la demanda fuera perfectamente determinada, uniforme en el tiempo y no existiera la incertidumbre, el stock de seguridad sería cero. Por lo tanto, lo ideal sería lograr esto en el tiempo o al menos que la incertidumbre sea cada vez menor.

Esta variabilidad no solo acontece con la demanda, sino que también con el tiempo de reposición, que generalmente también se encuentra representado de buena forma por una distribución normal. Múltiples factores pueden adelantar o atrasar el tiempo de entrega de un pedido, tales como problemas aduaneros, retrasos en transportes intermediarios, dificultades climáticas, problemas de logística, etc.

Entonces, el stock de seguridad está definido como:

$$\boldsymbol{SS = Z \times \sqrt{\sigma_D^2 \times \overline{TR} + \sigma_{TR}^2 \times \bar{\mu}^2}} \qquad (1.9)$$

Dónde:

Z: corresponde al fractil normal según el nivel de servicio deseado, el cual se obtiene de una tabla de probabilidad acumulada de la distribución normal (adjunta en los anexos)

$\boldsymbol{\sigma_D}$: es la desviación estándar de la demanda

$\boldsymbol{\sigma_{TR}}$: es la desviación estándar del tiempo de reposición

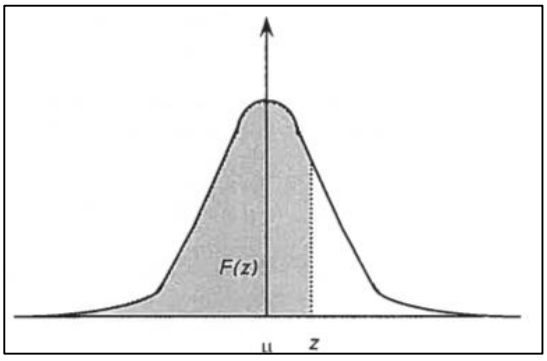


Figura 8: Función densidad de probabilidad.

Como sugerencia o forma de orientar, se puede recurrir a la siguiente tabla para estimar que nivel de servicio es el óptimo para la situación o contexto de cada repuesto y lo que su falta implica.

Tabla 1: Recomendaciones de elección de Nivel de Servicio.

Nivel de servicio Óptimo		Impacto Económico de tener Sobre Stock		
		Alto	Medio	Bajo
Impacto económico del faltante de inventario	Bajo	≤90%	≥90%	≥95%
	Medio	≥90%	≥95%	≥98%
	Alto	Realizar análisis económico detallado	≥99%	≥99,9%

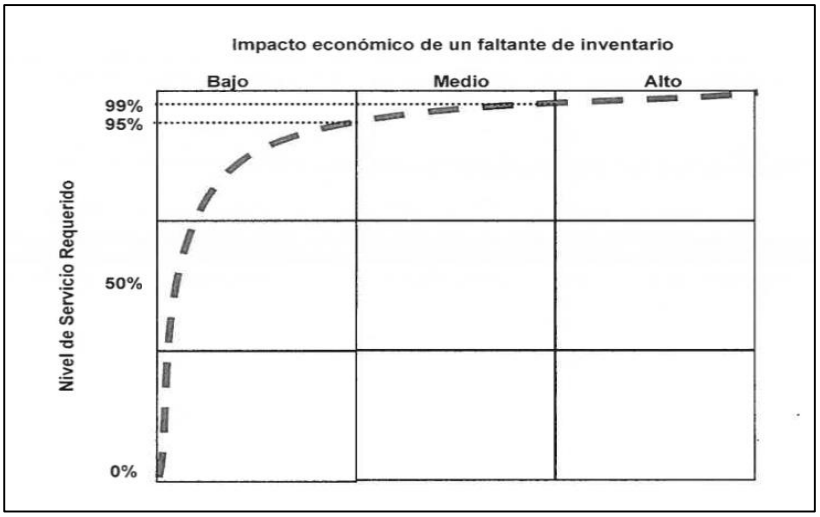


Figura 9: Nivel de Servicio vs Impacto económico de un faltante.

Por lo tanto, las ecuaciones con las consideraciones que incorpora el modelo con stock de seguridad quedan de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{CT = \frac{1}{2} \times CM \times Qe \times T + CM \times SS \times T + CP \times \frac{D}{Qe} + p \times D} \quad (1.10)$$

Los valores recomendados son obtenidos de la misma forma que los modelos anteriores:

$$\boldsymbol{Qe\ (recomendado) = \sqrt{\frac{2 \times CP \times D}{CM \times T}}} \quad (1.11)$$

$$\boldsymbol{CT(Qe) = \sqrt{2 \times CP \times D \times CM \times T} + D \times p + CM \times SS \times T} \quad (1.12)$$

Se debe tener en cuenta, dos consideraciones implícitas en este modelo:

- No existen pedidos insatisfechos más allá de lo establecido en base al nivel de servicio escogido.
- Existe un valor inicial del valor de los ítems con la condición de stock de seguridad, y los cuáles podrían quedar como residuales al terminar el período de operación.

IV. Modelo con variación de precios por cantidad:

Variante del modelo básico en el cuál el precio unitario de los ítems no es constante, sino que varía en función de las unidades compradas, es decir, existen descuentos por cantidad. También existe la posibilidad que el precio cambie en función del tiempo, pero en este caso esa variable no se considerará.

A modo de simplificación, se supondrá la existencia de precios unitarios: si se compran hasta Q1 unidades, el precio unitario será p1, si se compran más de Q1 y hasta Q2 unidades, el precio será p2 y si se compran más de Q2, el precio será p3. Generalmente, estos precios unitarios deben ser decrecientes, por economía de escala. Esto estaría bien representado por una función escalón decreciente.

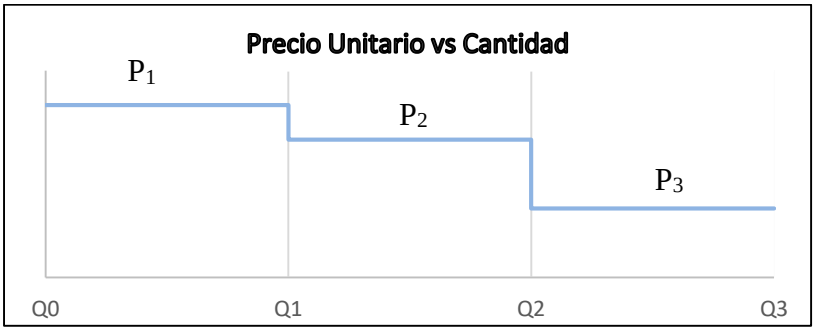


Figura 10: Variación precio unitario por cantidad a comprar.

Las modificaciones en las ecuaciones que describen el modelo son las siguientes:

El costo total estará definido por tramo:

$$\boldsymbol{CT_1 = \frac{1}{2} \times CM \times Qe \times T + CM \times SS \times T + CP \times \frac{D}{Qe} + p_1 \times D} \qquad \text{Si } Q_i \leq Q_1$$

(1.13)

$$CT_2 = \frac{1}{2} \times CM \times Qe \times T + CM \times SS \times T + CP \times \frac{D}{Qe} + p_2 \times D \qquad \text{Si } Q_1 < Q_i \leq Q_2$$

(1.14)

$$CT_3 = \frac{1}{2} \times CM \times Qe \times T + CM \times SS \times T + CP \times \frac{D}{Qe} + p_3 \times D \qquad \text{Si } Q_2 < Q_i$$

(1.15)

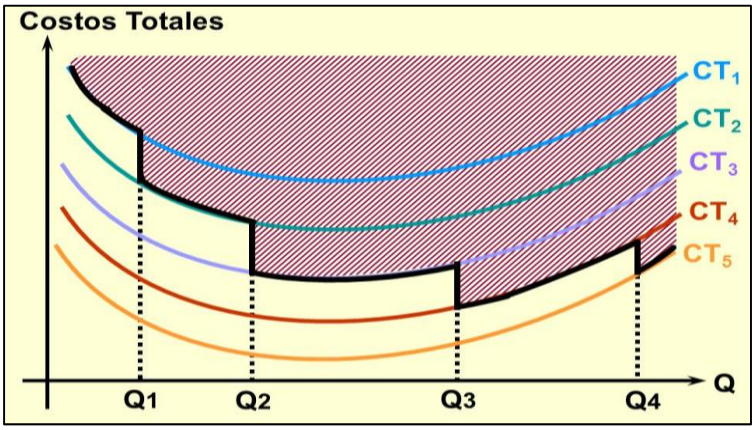


Figura 11: Gráfica de costos totales, con variación de precio por cantidad.

Por lo tanto, para encontrar la cantidad recomendada, se debe buscar el costo total mínimo de cada una de las curvas dentro de su rango de dominio. Luego se comparan los mínimos de todas las curvas de costo total, y donde este el mínimo, el valor de "x" de ese punto será la cantidad recomendada.

Por ejemplo, en la imagen mostrada, se comparan las curvas de costo total desde la número 1 a 5, dentro de sus propios rangos de dominio, comparando el valor mínimo de cada una de ellas, resultando que la menor es CT_4 evaluada en Q_3, por lo tanto, Q_3 sería la cantidad recomendada, por ser el menor valor entre el rango Q_3 y Q_4 de la curva CT_4.

B) Modelo de Reorden con Monitoreo Periódico

En este modelo, también conocido como de revisión periódica, la frecuencia de pedido y la cantidad de pedido son fijas. Los pedidos se realizan cada cierto tiempo establecido previamente, denominado periodo de reaprovisionamiento o reabastecimiento. La cantidad a

pedir generalmente se establece mediante las fórmulas de lote económico de compra. Además, se puede señalar que la demanda generalmente es incierta, por ende, las reposiciones no siempre reestablecen los inventarios al mismo nivel.

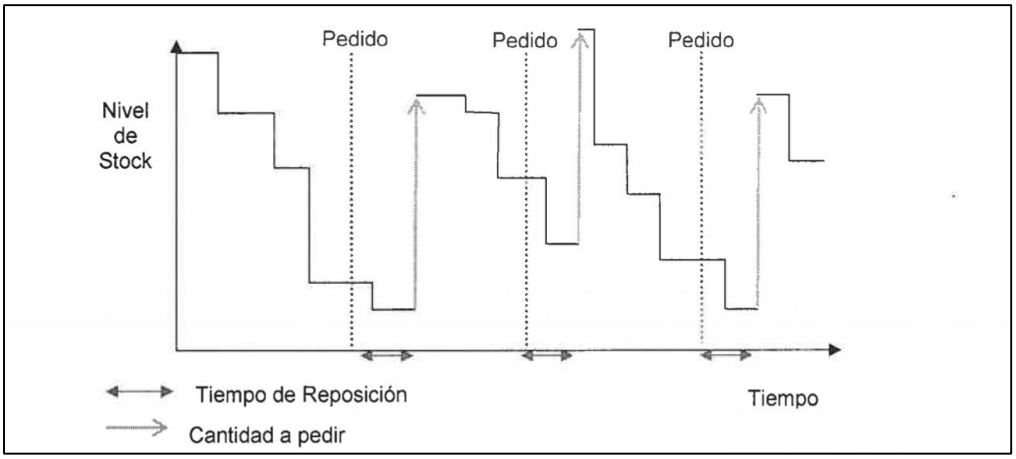


Figura 12: Nivel de Stock en el tiempo en Modelo Monitoreo Periódico.

C) Ciclo de Reorden

Similar al modelo anterior, donde la frecuencia de pedido es fija, pero la cantidad a pedir es variable. Siempre será pedida la cantidad que reestablece el nivel de inventario a un máximo de existencias, conocido habitualmente como nivel objetivo. La cantidad de este pedido variará, por lo tanto, en base a la demanda entre pedidos.

El nivel máximo de existencias se calcula como la demanda durante el periodo de revisión más la demanda entre el pedido y la reposición de stock, más un stock de seguridad base. El periodo de revisión se establece en base a conveniencia para la empresa, ya sea por temas prácticos o estratégicos.

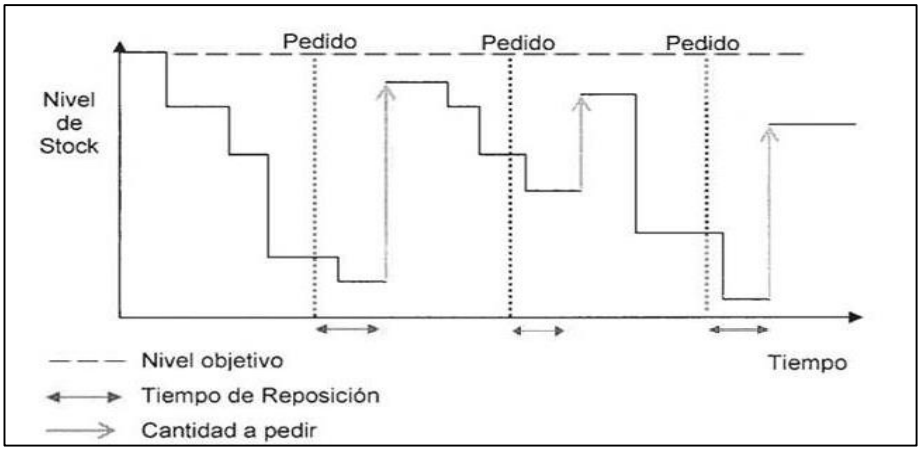


Figura 13: Nivel de Stock en el tiempo en Modelo Ciclo de Reorden.

Este modelo se suele utilizar cuando:

- Es muy complicado o costoso realizar seguimiento continuo a los inventarios.
- Surgen economías de escala al realizar pedidos de múltiples artículos.
- Cuando un mismo proveedor abastece más de un tipo de repuestos, por ende, todos pueden ser agregados en un mismo embarque, ahorrando los costos de múltiples envíos, y agregando todo a una sola orden de compra.

D) Sistema Mínimo/Máximo

Este modelo es una variante del modelo de punto de reorden y se basa en que el reabastecimiento de artículos se realiza cuando el nivel de inventario llega hasta un mínimo establecido, este se denomina punto de pedido (Mín.). La cantidad a pedir será la que logra restablecer un cierto nivel máximo de existencias, conocido como nivel objetivo (Máx.).

Existe la posibilidad de variantes de este modelo, que luego de llegar a un stock mínimo se pueden comprar repuestos en una cantidad fija o distinta al nivel objetivo, según las necesidades específicas de la empresa.

Este modelo brinda mayor flexibilidad en la determinación de los parámetros básicos que deben ser calculados para gestionar un inventario, y se ajusta por ello mejor a las características y condiciones de un sin número de compañías.

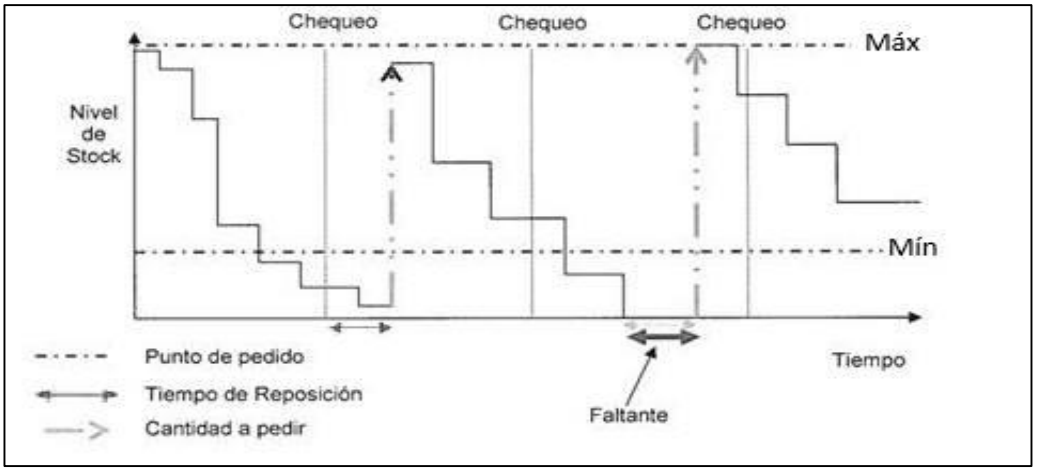


Figura 14: Nivel de Stock en el tiempo en Modelo Mínimo/Máximo.

E) Repuestos Centrados en Confiabilidad

Actualmente las bodegas o almacenes de ingeniería modernos mantienen gran variedad de repuestos, materiales, etc., los cuáles en conjunto pueden tener un valor de millones de dólares, o más inclusive. La situación que llama la atención, es que posiblemente un gran porcentaje (50% aproximadamente) de este valor de inventario, puede consistir en repuestos que son utilizados a un ritmo muy bajo, 1 o menos cada año; repuestos con valor entre el 10% y 30% del valor total del inventario pueden quedarse como inventario durante la vida entera de la planta. Quizás desde un punto de vista financiero, estos repuestos jamás debiesen haber sido comprados, por otro lado, si estos no hubiesen estado disponibles cuando eran necesarios, los impactos generados pueden haber tenido severas consecuencias en la empresa, en algunos casos generando los cierres de estas, producto de costos insostenibles.

¿Qué modelo es el adecuado para resolver estas decisiones?

Como se mencionó anteriormente los modelos existentes en su mayoría no están enfocados en repuestos, sino que en productos terminados o en tránsito para su posterior comercialización, por lo tanto, estos no responden de la forma idónea a nuestras necesidades y problemas. Lo que se necesita no es un nuevo sistema de compras o nuevos procedimientos, pero sí un método auditable para asegurar que el inventario respalda totalmente a las operaciones y al mantenimiento, de aquí surge la utilidad de la técnica “Repuestos Centrados en Confiabilidad”. Esta técnica, relativamente nueva, derivada directamente del Mantenimiento Centrado en

Confiabilidad (RCM), identifica los problemas específicos para cualquier inventario de repuestos, sean consumibles de alto índice de rotación o repuestos de seguridad y de baja rotación. Usualmente se logran ahorros de dinero sustanciales al aplicar esta técnica a repuestos de alto valor, baja rotación y críticos.

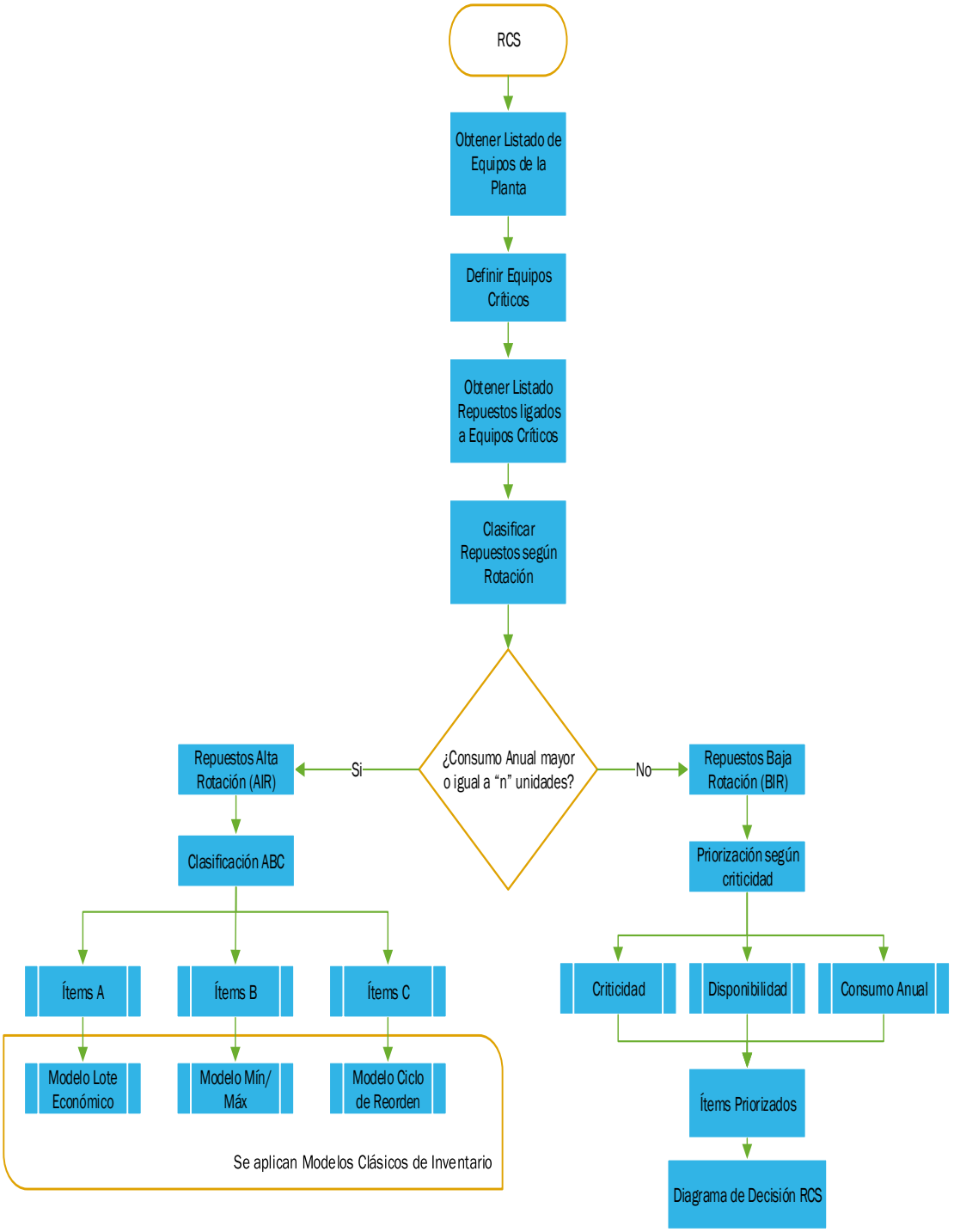


Figura 15: Esquema N°1 metodología RCS

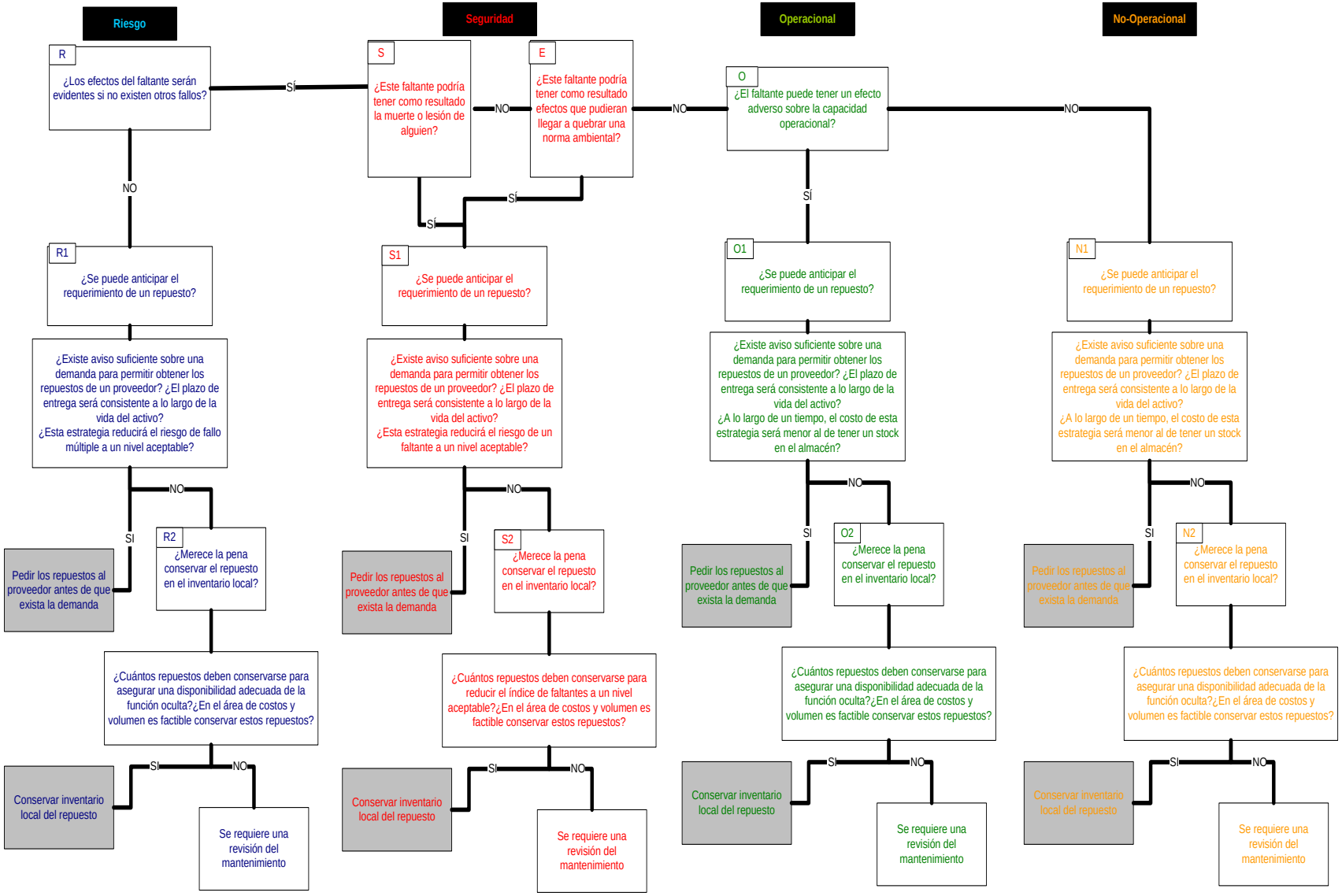


Figura 16: Esquema N°2 metodología RCS, Diagrama Decisión

Clasificación de los Repuestos y Materiales:

El primer paso en este modelo, es una clasificación de los ítems (repuestos y materiales). La clasificación que más se adapta al proceso RCS, es la división según datos de consumo, generándose dos categorías.

- Ítems de Alto índice de Rotación, desde ahora AIR.
- Ítems de Bajo índice de Rotación, desde ahora BIR.

La forma de distribuir los ítems en estas categorías, es definir un número "n" arbitrariamente. Por lo tanto, BIR serán aquellos que se consumen menos de "n" veces por año, y AIR aquellos que se consumen "n" o más veces por año. Estos grupos generalmente tienen ciertas características que los diferencian. Usualmente, los ítems AIR presentan las siguientes condiciones:

- ✓ Comprados por lotes.
- ✓ Demanda frecuente.
- ✓ Conocidos como repuestos consumibles.
- ✓ Relativo bajo costo unitario, a veces se compran por cantidad por posibles descuentos.
- ✓ Tiempo de reposición breve, debido a poca complejidad en producción.
- ✓ Normalmente generan bajo impacto en el costo cuando son requeridos y no están disponibles.

En cambio, los ítems BIR, generalmente se caracterizan por:

- ✓ Comprados en su mayoría de forma unitaria.
- ✓ Demanda imprevista y poco usual.
- ✓ Algunos de estos, son conocidos como repuestos estratégicos.
- ✓ Relativo alto costo unitario.
- ✓ Se almacenan pocas unidades en bodega, inclusive a veces no se tienen en stock.
- ✓ Tiempos de reposición altos, inclusive años.
- ✓ Alta probabilidad de generar un alto impacto en el costo, producto a no tenerlos disponibles cuando son requeridos (costo del faltante).

Una vez teniendo los repuestos y materiales clasificados, se procede con la metodología, siendo esta distinta para las dos categorías de repuestos.

I.- Ítems de Alto Índice de Rotación (AIR):

Como se mencionó anteriormente, estos ítems son aquellos que se consumen "n" veces o más por año, con un "n" definido de forma arbitraria, generalmente este "n" pueden ser 5 o 6 unidades al año, pero no existe ninguna regla sobre esto.

Los pasos a seguir para tratar estos repuestos son los siguientes:

Paso Nº1: Análisis o Clasificación ABC

Este sistema de clasificación nos señala a grandes rasgos mediante una mirada general, que pequeños porcentajes de repuestos y materiales representan una gran proporción del valor del inventario, y viceversa, una gran cantidad de repuestos y materiales representan una mínima parte del porcentaje del valor total del inventario. Por lo tanto, se puede deducir que, de los miles o millones de repuestos y materiales no todos tienen la misma relevancia ni valor para el desarrollo productivo de la empresa. Es por este motivo que cada uno de los ítems, idealmente debe recibir un análisis particular para definir cuál es el stock óptimo a almacenar.

Un análisis ABC es una forma de clasificar o priorizar los repuestos y materiales de la bodega en función de su valor y a su criticidad. La gráfica ABC en resumidas cuentas es un Diagrama de Pareto aplicado a valor del inventario.

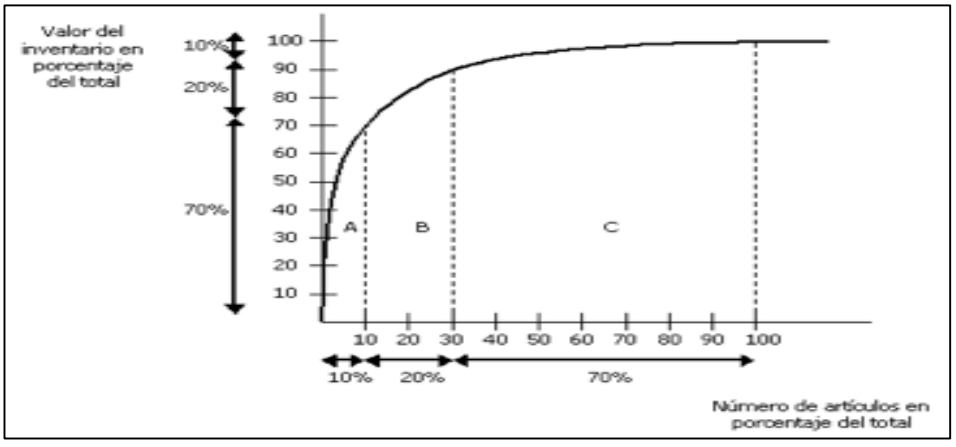


Figura 17: Curva típica de la clasificación ABC.

Cabe mencionar que los porcentajes son referenciales, pueden variar, pero la idea es entender que el gran porcentaje del valor se agrupa en un mínimo porcentaje de ítems. La única forma de que la distribución no estuviera bien representada por la imagen, sería que los ítems tuvieran la misma criticidad para el sistema.

Comúnmente se obtienen las siguientes distribuciones y porcentajes según cada clasificación:

Tabla 2: Clasificación ABC y su distribución.

CLASIFICACIÓN	PROPORCIÓN DE ÍTEMS	PROPORCIÓN DEL VALOR DE LOS ÍTEMS
A	5%-20%	60%-75%
B	20%-30%	20%-40%
C	50%-75%	5%-25%

Es necesario señalar que estas divisiones no son rígidas, sino que se pueden adecuar a los requerimientos que busca la empresa con la clasificación. Es posible ver en algunas organizaciones ver priorización en cuatro (ABCD) o más grupos, o empleando límites distintos. Lo importante es darse cuenta que el grupo a priorizar siempre será el grupo A, que es donde se concentra el valor, y por consiguiente donde tendrá un mayor impacto la gestión de repuestos. Por lo tanto, en este grupo es donde se debe trabajar con mayor rigurosidad, se debe concentrar la atención, análisis, control y revisión. En cambio, en los demás grupos si bien también es importante analizarlos, no deben tener prioridad, y solo deben ser evaluados si están los recursos necesarios para aquello, aplicando un tratamiento distinto en ellos.

Algunos temas a tener en consideración a la hora de realizar un análisis ABC son:

- Para lograr un efectivo y eficiente análisis ABC es de suma importancia contar con datos correctos sobre los costos de los repuestos y materiales, además de asesoramiento del equipo de mantención para determinar la importancia de los repuestos.

- En almacenes en que los ítems son cantidades significativas, cientos de miles inclusive, se puede hacer un análisis ABC sobre una muestra representativa de la totalidad del inventario.

Paso Nº2: Seleccionar una estrategia de reposición para estos repuestos y materiales

Las políticas de inventario para ítems de alta rotación se obtienen mediante modelos clásicos de inventarios o estrategias específicas de reposición, los cuáles se explicarán, y nos permiten responder dos preguntas básicas:

- ✓ ¿Cuánto pedir?
- ✓ ¿Cuándo pedir?

Existen variados métodos para responder estas dos interrogantes. Algunos de ellos son:

- Recomendaciones de los fabricantes.
- Estimaciones sucesivas hasta acercarse al valor ideal.
- Lote Económico de Compra.
- Niveles Mínimo/Máximo.
- Reorden periódico.
- Ciclo de reorden.
- Simulaciones computacionales.

Algunos de estos métodos se pueden clasificar según la frecuencia de aprovisionamiento o pedido y la cantidad pedida, obteniéndose el siguiente cuadro:

Tabla 3: Clasificación de modelos de inventario según frecuencia y cantidad pedida.

Cantidad Pedida / Frecuencia de Pedido		Fija	Variable
		Ordenar una cantidad fija	*Ordenar hasta una cantidad máxima*
Variable	*Ordenar cuando el nivel de inventario llega a un punto de pedido*	**LOTE ECONÓMICO DE COMPRA** *ítems tipo A*	**MIN / MAX** *ítems tipo B*
Fija	*Ordenar cada cierto tiempo previamente establecido*	**REORDEN PERIODICO**	**CICLO DE REORDEN** *ítems tipo C*

Si bien, no existe una regla para determinar qué estrategia utilizar para cada tipo de clasificación de ítems, se recomienda utilizar para los ítems A el modelo de Lote Económico de Compra, para los B el modelo Mín. /Máx. y para los ítems C el modelo de Ciclo de Reorden.

II.- Ítems de Bajo Índice de Rotación (BIR):

El método de RCS, centra gran parte de sus esfuerzos en estos ítems. Para el caso de los repuestos y materiales de baja rotación, el modelo plantea resolver algunas preguntas, pasando por los modos en que un equipo puede fallar, los efectos que tiene esta falla en el sistema, y finalmente cuales serían los efectos si no existiera un repuesto disponible para reparar la falla (efectos del faltante), y así poder definir una política de stock adecuada.

Las preguntas más importantes que intenta responder el modelo son:

- ¿Cuáles son los requerimientos para realizar los mantenimientos (tanto correctivo como preventivo)?
- ¿Qué ocurre si no se dispone de un repuesto al momento de ser necesario?
- ¿Es posible predecir la demanda del repuesto?
- ¿Qué cantidad en inventario del repuesto es necesaria?
- ¿Qué ocurre si los requerimientos necesarios no se pueden cumplir por alguna circunstancia limitante?

Cabe mencionar que la primera interrogante idealmente debe ser respondida como parte de un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), pero en caso de que no se disponga se puede trabajar en medidas alternativas.

Los pasos del modelo RCS-BIR son los siguientes:

Paso Nº1: Realizar una priorización según criticidad

Es importante clasificar los ítems, y del mismo modo que en los ítems de alta rotación, priorizar aquellos que son más importantes, para así distribuir los recursos humanos y económicos de la mejor manera.

Cabe mencionar que los parámetros de clasificación no son fijos. En este caso para priorizar se considerarán tres parámetros, los cuales tendrán a su vez tres subcategorías de importancia. Se clasificará según:

Criticidad: el impacto que genera no tener disponible el repuesto cuando falla un equipo. Esto puede detener la producción completamente, reducir la producción y trabajar con cargas parciales, o simplemente no afectar en lo absoluto.

Disponibilidad: en este caso está relacionado con lead time o tiempo de reposición, entre hacer el pedido y que se encuentre disponible el repuesto. Los límites entre cada subcategoría se establecerán en base al lead time promedio que maneje la empresa, para que la clasificación sea representativa.

Uso anual: se refiere al costo o valor de las unidades consumidas en un año, este valor puede ser definido en la unidad más representativa para la organización. Cabe mencionar que del mismo modo que el caso anterior, los valores límites no son fijos y se pueden acomodar según los valores típicos de consumo que maneja una empresa.

CRITICIDAD	DISPONIBILIDAD	USO ANUAL
A: Detiene la producción	A: Lead time mayor a 60 días	A: Mayor a 15.000 USD
B: Reduce la producción	B: Lead time entre 30 y 60 días	B: Entre 5.000 y 15.000 USD
C: No detiene la producción	C: Lead time menor a 30 días	C: Menor a 5.000 USD

*Valores habitualmente utilizados en industrias similares.

Dónde:

A: Mayor Importancia

B: Importancia Media

C: Menor Importancia

A esta clasificación, a veces se le conoce con el nombre de priorización ABC, pero esto muchas veces se confunde con el modelo ABC (Pareto), por lo tanto, no lo mencionaremos como tal. Es importante aclarar, que al igual que la clasificación para los ítems AIR, la estructura no es rígida.

Con esto obtendremos una tabla de la siguiente manera, que deberemos completar para determinar que ítems tendrán prioridad, que cantidad y porcentaje del total representan, para obtener estadísticas posteriores.

Tabla 4: Priorización según criticidad.

Clasificación	Cantidad de ítems	Porcentaje de ítems
AAA		
AAB		
AAC		
ABB		
ABC		
BBB		
BBC		
BCC		
CCC		

Paso Nº2: Evaluar el impacto del faltante, ¿Qué ocurre si no se dispone del repuesto?

Como se ha mencionado anteriormente RCS-BIR basa su decisión de tener inventario en el impacto que tendría no disponer de un repuesto, y divide estas consecuencias en cuatro categorías:

- ✓ Riesgo Incrementado.
- ✓ Seguridad y Medio Ambiente.
- ✓ Operacional.
- ✓ No operacional.

A) Riesgo Incrementado:

El efecto de un faltante se considera de riesgo incrementado, cuando al fallar un repuesto o material, se puede seguir operando, pero con un riesgo mayor de que ocurra un fallo múltiple (otro repuesto o parte) mientras no se repone el daño, lo que sí tendría consecuencias para la organización.

Generalmente, el riesgo incrementado está relacionado con fallos en sistemas de protección o alarma, y en los análisis RCM estos no generan un impacto directo en el equipo.

Ante un fallo de un elemento que provoca riesgo incrementado, se pueden tomar dos determinaciones, seguir operando corriendo el riesgo de que falle otro elemento (riesgo incrementado) o detener la operación hasta contar con este repuesto, de modo que el efecto del faltante pasaría a ser de carácter operacional.

Ejemplo: en una caldera que genera calor para secar el concentrado de cobre existe un sensor presión, presostato, que acciona un interruptor en caso de un excesivo aumento de presión, que desencadena la detención del equipo. Si la presión aumenta considerablemente, y por algún motivo no funcionan las válvulas de seguridad, el presostato se encarga de evitar que se genere una explosión o cualquier otra falla mayor en la caldera. Durante una verificación o revisión del equipo se percatan que el sensor no funciona, y no existe otro repuesto en stock, adicionalmente reponer este repuesto demora 2 semanas. La empresa, a pesar de estas consideraciones, toma la decisión de seguir operando la caldera, con un poco mayor de vigilancia del personal de operación, se consideraría que el efecto del faltante es de riesgo incrementado, y podría generar una falla múltiple o catastrófica, quizás derivando tanto en un costo operacional, como efectos en la seguridad de las personas.

B) Seguridad y Medio Ambiente:

El efecto de un faltante tiene consecuencias sobre la seguridad si implica una falla funcional del equipo, que ponga en riesgo a las personas, pudiendo generar lesiones o inclusive la muerte. Del mismo modo, si el resultado de no tener el repuesto, genera un incumplimiento de las normas o reglamentación ambiental aplicable, se considera dentro de la misma categoría.

Este tipo de efecto de faltante es muy poco frecuente. Por lo general, la seguridad y medio ambiente se ve comprometida por el efecto del fallo inicial de un equipo, y no por el tiempo de espera para tener un repuesto disponible para reparar el equipo.

Un posible ejemplo de un repuesto o material que podría llegar a tener consecuencias de seguridad sería un sistema de apoyo ante emergencia, en el caso de la fundición y refinería lo serían los repuestos de las duchas de emergencia de la planta de ácido o no contar con líquidos de contención ante la fuga de ácido sulfúrico de algún recipiente o conducto, los cuales si no estuvieran activos podría generarse serios daños a las personas o incluso consecuencias fatales.

C) Operacional:

El efecto de un faltante tiene consecuencias operacionales si implica una pérdida o reducción de la producción, reducción en la calidad del producto o demoras que impacten en el servicio al cliente. Estas dos últimas consecuencias se podrían transformar futuramente en pérdidas económicas.

La mayoría de los faltantes de interés para las organizaciones tienen consecuencias operacionales, siendo la consecuencia más obvia que una planta detenga su producción en su totalidad mientras se consiguen los repuestos. Es importante tener en cuenta que muchas veces, el fallo original no genera tanto impacto como lo puede tener no disponer del repuesto para realizar la reparación correspondiente, y recuperar la condición de operación.

El costo de pérdida de producción es sencillo de calcular, pero no es sencillo calcular el costo del impacto que se genera en la confianza del cliente por demoras, lo cual, en la práctica también se traduce en un valor para la empresa.

D) No operacional:

Esta categoría incluye todos los efectos no considerados en las categorías anteriores. La principal característica es que su falla no tiene ningún efecto sobre la producción, riesgos, ni tampoco sobre la seguridad o medio ambiente. Estos faltantes podrían generar mayores costos a la empresa, ya sea por aumento en los cargos de transporte, aprovisionamiento, etc.

Paso Nº3: Determinar si es posible anticipar la demanda del repuesto o material

Generalmente las necesidades de repuestos, como aquellas que surgen de los mantenimientos correctivos a la falla, no es posible planificarlas. Las fallas de los componentes ocurren de forma aleatoria, sin poder predecirse, inclusive sin ningún signo aparente de que fallará catastrófico. En cambio, algunos requerimientos de repuestos pueden ser anticipados:

- Repuestos necesarios para mantenimiento preventivo, o mantenimientos programados que ocurren a intervalos relativamente regulares, sin tomar en cuenta en demasía la condición del equipo.
- Repuestos sujetos a monitoreo por condición, donde los componentes o repuestos son revisados, y cambiados con anticipación y la falla esta por ocurrir (mantenimiento predictivo).

La idea es establecer si se puede anticipar el requerimiento o buscar medidas para hacerlo, y así evitar mantener stock. Si se puede anticipar, se puede señalar que se puede mantener stock cero del repuesto, si no se deberá proceder al paso siguiente y calcular stock óptimo. Si se puede anticipar el requerimiento se denomina demanda dependiente, si no es posible anticiparlo, demanda independiente.

Los beneficios de anticipar la demanda son los siguientes:

- ✓ Menor capital inmovilizado en repuestos y materiales almacenados en bodega.
- ✓ Se reducen tanto gastos asociados a mantener el inventario como el espacio físico utilizado en la bodega.
- ✓ No se requiere mantenimiento de los repuestos en bodega.

Pero también existen peligros potenciales:

- ✓ Los fabricantes muchas veces dejan de fabricar repuestos para ciertos equipos por diversos motivos, o cambiar algunas especificaciones del ítem original, por lo cual podríamos encontrarnos ante un eventual problema de adquirir un repuesto cuando sea necesario.

- ✓ El tiempo de reposición puede aumentar inesperadamente, como por ejemplo cuando existen paros aduaneros, u otros problemas. Los proveedores en ocasiones pueden no cumplir los plazos propuestos.

- ✓ La tarea de mantenimiento asociada o la frecuencia de mantenimiento puede variar, y esto no siempre es compatibilizado con la estrategia de reposición. Estas dos cosas van de la mano completamente, y se deben actualizar en forma conjunta para tener los mejores resultados.

La posibilidad de anticipar la demanda depende de dos factores principalmente: las tareas de mantenimiento que utilizan los repuestos y la confiabilidad de la cadena de abastecimiento. El mantenimiento es clave a la hora de determinar si es posible predecir el requerimiento de un repuesto.

- ✓ Un mantenimiento a condición o de revisión continua intenta identificar la aparición de características que nos indiquen una posible falla futura. El periodo de aviso debe ser lo suficientemente extenso para poder obtener los repuestos directamente del proveedor y poder realizar la reparación.

- ✓ Las tareas de reacondicionamiento cíclico recuperan los repuestos para volverlos a su condición de operación con normalidad. Si estas tareas se desarrollan a intervalos fijos de tiempo, se puede pedir los repuestos para que estos lleguen al momento en que se necesiten.

- ✓ Una tarea de sustitución cíclica de repuestos, es aquella donde se reemplazan estos de manera regular a intervalos prácticamente fijos. Si se desarrollan de este modo, es posible, al igual que en el caso anterior, solicitar los repuestos para que lleguen al momento justo en que sean requeridos.

- ✓ Los mantenimientos correctivos muchas veces requieren un periodo de reparación, ya sea de desmontaje del equipo, requerimiento de maquinaria, solicitación de personal adecuado, etc., por lo cual, si este periodo de preparación es extenso, existe la posibilidad de pedir los repuestos en este plazo.

Algunos métodos de anticipar la demanda:

A) Mantenimientos:

Definir políticas de mantención adecuadas es clave en esta etapa, generalmente se consideran elecciones en base al ciclo de vida de un equipo o repuesto. Existen algunos tipos de mantenimiento que nos facilitan la posibilidad de anticipar la demanda, y así evitar mantener repuestos y materiales almacenados en bodega.

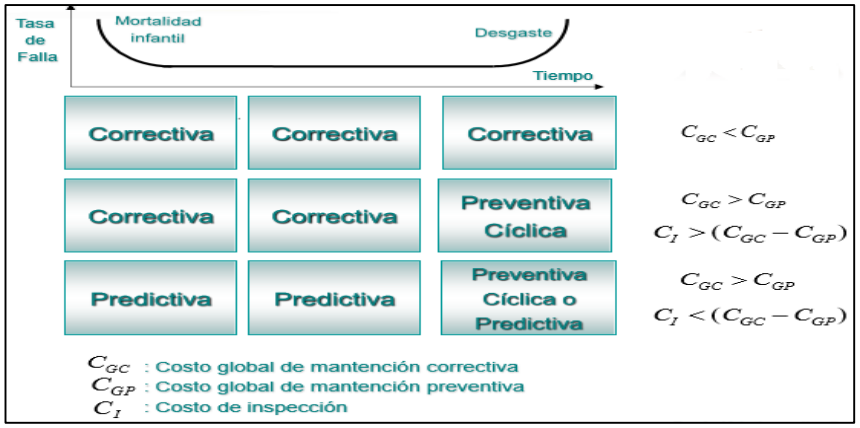


Figura 18: Recomendación de los tipos de mantención según ciclo de vida.

A.1) Mantenimiento Predictivo (monitoreo de condición):

Las tareas de mantenimiento con monitoreo de condición miden un parámetro específico (temperatura, presión, espesor, vibración, etc.), y generan estadísticas y estudios, los que indican cuando está a punto de producirse una falla. En este tipo de mantenimiento está definido por lo siguiente:

Existe un intervalo definido como P-F, que es el tiempo transcurrido desde el momento en que se detectan los primeros signos del deterioro y evidencia de posibilidad de un fallo mayor (P: Fallo Potencial) hasta el momento en que ocurre la falla funcional (F).

Cabe mencionar que la falla comienza a originarse previo al punto P muchas veces, pero no existen las herramientas o condiciones para detectar esto hasta el punto de fallo potencial, o no existe la certeza de que ocurrirá un fallo mayor previamente.

Por lo tanto, se tiene un periodo de tiempo (P-F) de margen para conseguir el repuesto, y estar preparado para cambiarlo, ya sea antes de la falla o al momento de la falla. Lo importante es que el fallo no nos sorprenda sin el repuesto disponible, y con esto se podría evitar mantener stock en bodega.

En otras palabras, el mantenimiento predictivo nos brinda advertencias sobre la falla de un componente del equipo, y la organización puede estar preparada para las contingencias que esto puede generar, evitando las consecuencias quizás de una parada inesperada. La advertencia mínima de un monitoreo de condición está dada por:

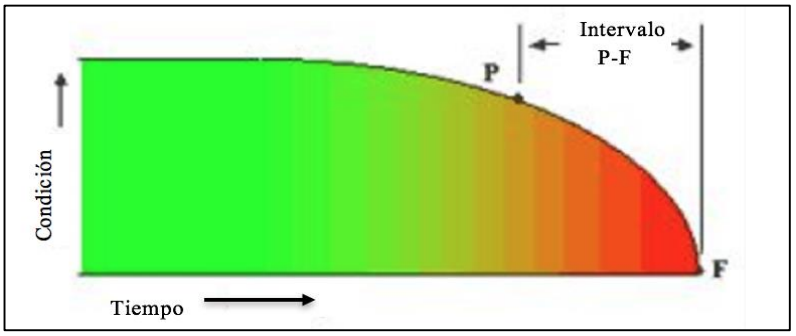


Figura 19: Intervalo P-F de un repuesto y su condición en el tiempo.

No siempre se detecta el fallo potencial en el punto P, por eso es muy importante aclarar que el tiempo máximo de advertencia para realizar alguna medida preventiva o correctiva, sin tiempos de detención por faltantes, es el periodo P-F, pero no siempre se detecta esto justo en el "punto P", sino en el último monitoreo desde ese punto en adelante.

$$\boldsymbol{Intervalo\ Tarea\ de\ monitoreo = Monitoreo\ detección\ fallo\ potencial - P} \quad (1.16)$$

$$\boldsymbol{Periodo\ Mínimo\ de\ Advertencia = Intervalo\ PF - Intervalo\ tarea\ de\ monitoreo} \quad (1.17)$$

Un ejemplo de lo anterior, sería un ducto que transporta ácido, al cual constantemente se le mide el espesor. Cuando este espesor llega a los 2 [mm] hay muestras claras de que sus medidas iniciales se ha reducido, y por lo tanto este sería el punto P de la imagen anterior, y estudios muestran que una vez alcanzado este punto el deterioro final (F) se produce en 2.4 semanas.

Las mediciones se hacen cada 2 semanas, iniciándose al mes de la instalación de la nueva tubería. El fallo potencial aparece a las 7 semanas, pero no nos daremos cuenta hasta la octava semana, donde se hará una medición de espesor que indique un deterioro considerable. En la semana 6, donde también se midió, no estaban las condiciones para asegurar un deterioro que asegure que el repuesto fallará en un plazo definido. Ahora si bien se detectó en la octava semana el fallo potencial, el tiempo para tomar medidas y reponer el repuesto, ya no es la totalidad del intervalo PF (2.4 semanas), sino que es 1.4 semanas.

Finalmente habría que verificar si el tiempo de entrega del repuesto es menor o igual a 1.4 semanas, sino cambiar la política de mantención si es posible, para tener un mayor tiempo de advertencia. Para considerar estos cambios de políticas de mantención es necesario hacer una evaluación económica, para ver si realmente es rentable versus el tener inventario del repuesto correspondiente. Es necesario ver si incurrir en los costos de inspección, se traduce en mayores beneficios, o sí no valen la pena.

A.2) Rutinas de Reacondicionamiento:

Las actividades de reacondicionamiento y descarte requieren repuestos a intervalos regulares, por lo tanto, suele ser posible pedir los repuestos y que estos lleguen a la empresa previo a que sean utilizados. En este caso es necesario que el sistema de compras (personal, softwares, proveedores) esté vinculado con los requerimientos de mantenimiento para evitar mantener stock, aun cuando el tiempo de reposición sea superior al intervalo de mantenimiento.

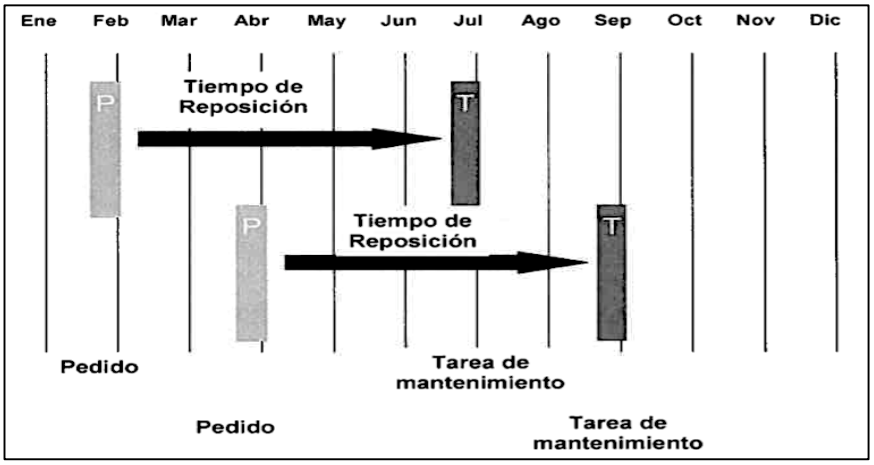


Figura 20: Tareas de reacondicionamiento.

Se puede mencionar, que a veces se puede evitar tener repuestos aun cuando no se puedan anticipar el requerimiento. Si el tiempo necesario para preparar una mantención, ya sea correctiva o preventiva, es mayor al tiempo de reposición del repuesto, es posible pedir los repuestos cuando ocurre el fallo con el objeto de recibir la entrega antes que la necesiten, sin mantener en stock. Para realizar esta programación, es necesario tener seguridad y poca variabilidad en los tiempos de reposición, sino podría implicar estar detenido mayor al tiempo esperado.

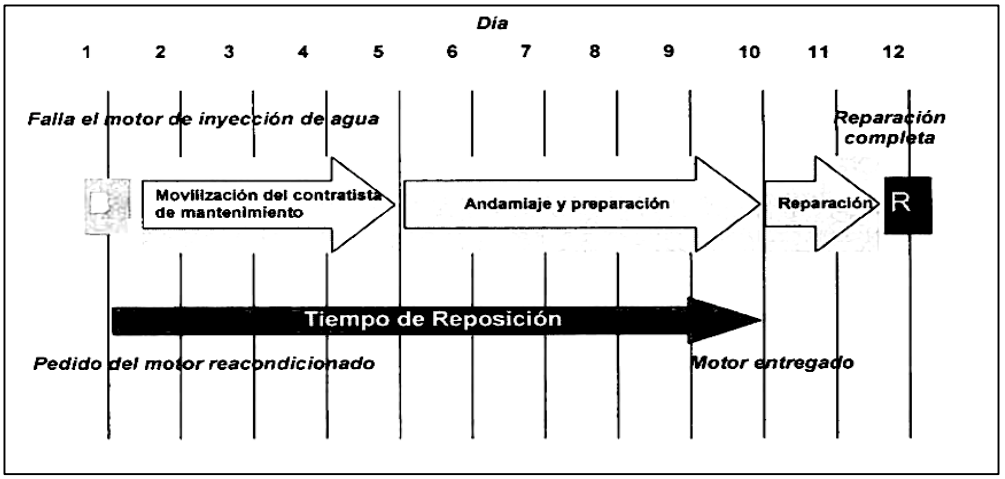


Figura 21: Tiempo de preparación mantención vs tiempo reposición.

B) Políticas de Inventario:

Una opción es trabajar con una política de inventario "Just in Time (JIT)", la cual coloca fuertes demandas sobre los sistemas administrativos y de compras de la organización, para lograr entregar los repuestos cuando y donde se necesitan. Esta política debe complementarse con el método RCS, para que ante eventuales cambios se acoplen para dar la mejor repuesta, como por ejemplo al cambiar un proveedor.

Para aplicar JIT deben cumplirse ciertos factores:

- Debe existir cierta capacidad en los sistemas de compras, inventario y mantenimiento de la organización. Por ejemplo, es importante que apenas surja una demanda se registre, y se pase a una gestión de compras lo antes posibles, por lo cual los equipos de mantenimiento, planificadores y de compras deben trabajar unidos, confiando entre sí. Las compras se

deben realizar con la urgencia que amerita cada repuesto y necesidad, con la frecuencia exigida, y la calidad deseada.

- Mayor nivel de exigencia, rigurosidad y cumplimiento en la cadena de abastecimiento, incluyendo contrato con proveedores, proveedores sustitutos y plazos de entregas. Es ideal traspasar parte del riesgo de detención a los proveedores, para presionarlos y que cumplan los plazos establecidos. Esto se puede lograr a través de multas impuestas por retrasos.

- Analizar cambios de proveedores. La estabilidad no siempre es la mejor solución, por lo cual es prudente realizar análisis económicos y funcionales sobre el cambio de proveedores, o cambio a repuestos alternativos. A su vez es importante verificar las nuevas tecnologías existentes, y la conveniencia de estas.

- Cambios en políticas de mantención y en intervalos de tareas. Tal como en el caso de las tareas de mantenimiento preventivo, a veces es bueno considerar cambios en la realización de las tareas, y los tiempos entre cada ejecución. Si no están los medios y recursos, para realizar análisis RCM y RCS, frente a cambios de políticas de mantención, es riesgoso implementar una política "Just in Time".

- Determinar la obsolescencia de los equipos, así no comprar repuestos cuando estos tengan poca vida útil, y podamos quedar con stock sobrante de repuestos. Cuando nos sobran repuestos, estos no tendrán su valor de compra, se desvalorizan, y generalmente se recuperará un pequeño porcentaje de su valor real.

Paso Nº4: Calcular los niveles de stock

Luego del paso anterior, para aquellos repuestos en que su demanda no es posible anticipar, se debe calcular el nivel de stock requerido. Para determinar los niveles necesarios, dependerá de las consecuencias del faltante para cada repuesto, donde cada uno de los efectos tendrá un método de cálculo distinto, con objetivos distintos. Los objetivos buscados son los siguientes:

Riesgo Incrementado:

Este caso suele aplicarse a dispositivos de protección, donde se puede seguir operando, pero corriendo un mayor riesgo a un fallo múltiple. La política, por lo tanto, debe asegurar un nivel de disponibilidad del repuesto que reduzca el riesgo de fallo múltiple a un nivel tolerable. Hoy en día, tener un nivel de 100% es impracticable, un ideal inalcanzable.

Entonces, se fijará una disponibilidad mínima deseada, y se buscará tener el stock mínimo que logre cumplir con esta disponibilidad.

Seguridad y Medio Ambiente:

En este caso un faltante puede causar un incidente ambiental o incluso, un accidente comprometiendo la seguridad. Por lo tanto, se debe definir una tasa máxima de faltante tolerable (en términos de cuanto puede faltar por año). El nivel de stock debe dar como resultado tasas de faltante inferior al nivel tolerable

Operacionales:

Esta consecuencia es la más frecuente que se da, sobre todo en equipos y repuestos críticos, y tiene un impacto económico en la organización. Por lo tanto, en este caso el nivel de repuestos óptimos a almacenar resulta de un equilibrio entre los costos de almacenar repuestos, y los costos asociados a las pérdidas y daños de no tener el repuesto disponible.

Los principales costos de mantener repuestos son:

- El costo directo de comprar el repuesto.
- El costo de almacenamiento, el cual generalmente está bien representado por el porcentaje de valor del inventario.
- El costo de mantenimiento en los almacenes.
- El costo de administración, ya sea del personal o herramientas de gestión, como softwares, etc.

- El costo de oportunidad al tener capital inmovilizado.
- El costo de obsolescencia debido al deterioro de los repuestos y materiales con el paso del tiempo.

Los principales costos de no tener repuestos disponibles al ser requeridos:

- Costos por parada de producción, por las pérdidas que genera el vender menos unidades o simplemente no vender. Generalmente este valor está representado por el precio de venta por las unidades no vendidas, menos el costo variable ahorrado en no producir estas unidades.
- Costos por compra de emergencia, donde se apresuran los plazos de entrega, se pagan envíos expresos, de menor tiempo, pero mayor valor.
- Costos asociados a transporte de cada unidad de repuesto solicitada, en cambio en el caso de almacenar se paga un solo envío para más de un producto.
- Costos asociados a multas, que puedan existir por los impactos generados por una falla que no es reparada a tiempo, etc.

RCS utiliza un costo de ciclo de vida útil para determinar el nivel óptimo de repuestos.

Un enfoque simple sería sumar el monto total gastado a lo largo de la vida del equipo. Sin embargo, este proceso ignora nuestra preferencia de evitar costos inmediatos y postergarlos lo más lejos posible. Por el contrario, preferimos aprovechar los beneficios de inmediato en lugar de esperar a recibirlos.

RCS descuenta los costos de un fallo según una tasa de descuento. Esta tasa puede variar entre organizaciones y su contexto. Una alta tasa de descuento alta implica que los costos futuros son relativamente poco importantes, por lo tanto, la toma de decisión tiende a ser por impactos a corto plazo. En la práctica, una tasa de descuento elevada tiende a influir en las decisiones en contra de la compra de repuestos y a favor de mayores costos de riesgo.
Para poder calcular el nivel óptimo de repuestos, el costo de vida útil con descuento debe calcularse para todas las existencias de repuestos posibles. El inventario correcto es aquél que minimiza el costo general del negocio.

No Operacionales:

En este caso, como los repuestos no tienen ningún efecto sobre las operaciones, seguridad o medio ambiente, y no producen mayor riesgo de otras consecuencias, el nivel de stock debe ser establecido en base a un nivel de servicio aceptable. Este nivel de servicio es definido por la organización de manera prácticamente arbitraria, para así cumplir con los objetivos propuestos por la empresa.

Ahora que conocemos los objetivos que tiene cada una de las consecuencias de los faltantes, el resto del cálculo se realiza a través de hojas de cálculo, que le nombraremos "Hojas de Cálculo RCS". Estas planillas están adjuntas en los anexos.

Se puede dar el caso de que un faltante tenga más de una consecuencia, en estos casos se evalúan todas las posibilidades, conservando la que arroja un mayor valor de stock, siendo este el stock de seguridad a mantener.

Una pregunta importante que debemos hacernos cuando procedemos a calcular niveles de inventario es:

¿Cómo abordar la incertidumbre?

En estos métodos de manejo de inventario la información casi nunca se conoce con absoluta certeza. Por lo general, en el mejor de los casos, se trabaja con cifras históricas para los plazos de entrega, consumos (tasa de demanda) y los costos que significa una parada de producción. Estas cifras son variables, y pueden ser totalmente distintas en el futuro.

Lo que suele ser más incierto, utilizado en RCS, es la tasa de demanda. En muchas ocasiones no se tienen datos sobre los Tiempos Medios entre fallas (TMEF), o en caso de existir, son entregados por el proveedor, muchas veces obtenidos en contextos de operación completamente distintos, por ende, con resultados distintos.

Debido a que una decisión de inventario para ítems BIR siempre es una opción entre tener 0, 1, 2 hasta 5 o 6 repuestos por lo general, no es necesario tener una gran precisión. Lo importante

es tener una decisión sólida y argumentada. En otras palabras, el inventario no sufre grandes cambios si la información sobre demanda, lead time, y otros datos no cambian significativamente. Algunas medidas adicionales pueden ser:

Análisis de Sensibilidad:

Una forma de realizar este análisis es tomar tres valores, el más probable, el mayor y el menor. Con estos valores realizar cálculos independientes, y finalmente ver el impacto que generan cada uno de estos en el resultado final.

Este análisis permite una decisión más elaborada y precisa, a pesar de la incertidumbre de los datos originales. Inclusive una información muy incierta puede ser suficientemente buena para tomar decisiones robustas.

Algunas variables que se pueden someter a análisis de sensibilidad son:

A) Tiempo de Reposición:

   Este dato generalmente es el más preciso de todos, debido a que los sistemas de control y administración existentes hoy en día, permiten saber exactamente cuándo se solicitó un ítem y cuando llego a la empresa. Pero, muchos proveedores muestran gran variabilidad en sus tiempos de entrega, por lo tanto, es ideal incorporar un análisis con los valores “más probables”, “mejores” y “peores”, y así reflejar la variabilidad existente.

B) Costo de Parada de producción:

   Muchas veces el costo de parada está ligado a un precio de venta de algún recurso o producto, pero este precio puede fluctuar en el mercado o en el tiempo, debido a múltiples circunstancias. Los resultados se pueden ir ajustando a estos cambios en los precios de venta de productos, y compra de suministros.

C) Consumo o Tasa de demanda:

La tasa de demanda, depende principalmente de la cantidad de equipos que utilizan un mismo repuesto, y la confiabilidad de estos repuestos en su contexto operativo. Por ejemplo, puede que, en un equipo antiguo, con muchas horas operativo, un repuesto dure un tiempo bastante menor a que el mismo equipo con 1 año de uso.
Existe un gráfico que se presenta a continuación, que se usa para calcular la demanda máxima que podría haber existido a lo largo de un periodo histórico.

Para calcular la tasa media de demanda, se debe conocer:

- La cantidad real de demandas experimentadas por la bodega.
- El periodo en el cual se registraron esas demandas

Entonces, la tasa media de demanda se calcula como:

$$\frac{\boldsymbol{Cantidad\ de\ demandas}}{\boldsymbol{Periodo\ de\ Tiempo\ en\ que\ se\ registraron\ las\ demandas}} \qquad (1.18)$$

Para calcular el peor caso de demanda, el primer paso es seleccionar un límite de confianza para el cálculo. El resultado del gráfico es la tasa máxima de demanda que sea consistente con la cantidad real de demandas y el límite seleccionado.

Pasos: -Ubique la demanda real en el eje horizontal.
-Mueva el gráfico hacia arriba hasta alcanzar la curva correspondiente al nivel de confianza seleccionado.
-Lea la demanda del peor caso en el eje vertical (demanda límite).
-Divida la demanda del peor caso por el periodo histórico para obtener la tasa de demanda del peor caso.

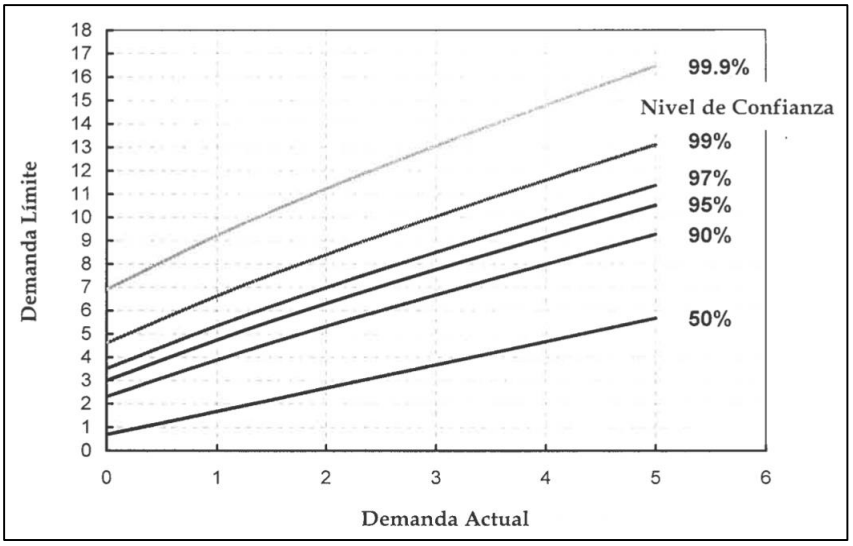


Figura 22: Demanda Límite en base a demanda actual.

Un ejemplo de lo anterior, podría ser un reducto de velocidades que falla dos veces en 10 años ¿Cuál es el peor caso de tasa de demanda dentro de un nivel de confianza de 95%?

Peor caso de demanda tomado del gráfico= 6 reductores

Peor caso de demanda= 6/10 años= 0,6 por año

Por lo tanto, existe 1 posibilidad de cada 20 veces, en que la demanda sea mayor a 6 unidades en un periodo de 10 años, y 19 de cada 20 sean menores a 6 unidades.

Otra opción que debemos considerar a esta altura es:

<u>Contratos con terceros:</u>

Mantener stock de repuestos en las instalaciones del proveedor, o cualquier otro inventario centralizado, debería generar una situación de "ganar-ganar" para ambas partes involucradas porque se pueden dividir los beneficios.

¿Cómo sabemos si vale la pena tener un contrato de stock con el proveedor? Si tenemos los repuestos en nuestros almacenes, nuestra organización puede enfrentar los riesgos de una parada, sin embargo, cuando se realizan contratos con terceros se transfiere la responsabilidad, pero no se transfiere el riesgo.

Usando el modelo de vida útil, la repuesta es evaluar el contrato del proveedor y compararlo con la alternativa de tener un inventario local, escogiendo la alternativa que tiene como resultado un menor valor neto actual. Un contrato de stock puede incluir los siguientes elementos, generalmente:

- Un pago inicial para firmar el contrato.
- Un pago fijo periódico, mientras el contrato tenga vigencia.
- Cargos de compra, gestión y transporte cuando se requiere el repuesto.

Para evaluar estos contratos, los criterios son exactamente los mismos que se aplican a las políticas de inventario para RCS según el efecto del faltante. Por lo tanto, si el contrato con tercero no cumple con los requerimientos de cada faltante, este debería ser rechazado.

Generalmente estos contratos son rechazados por motivos financieros porque puede ser más costoso que las políticas alternativas, pero aquí es donde uno puede acercarse al proveedor que ofrece el contrato, intentando renegociar las condiciones, y que sea factible para ambas partes. Un análisis de sensibilidad indicaría cuánto se deben mover los precios para que valga la pena tercerizar.

1.1.2.5 Decisiones de programación de compras y suministros:

La coordinación del flujo de bienes y servicios entre las instalaciones físicas es un asunto importante en el manejo de la cadena de suministro. La decisión de las cantidades que se moverán, el momento en que se hará, la forma de movilizarlas y donde serán adquiridas, son preocupaciones frecuentes. Estas decisiones de programación se presentan dentro de la cadena de suministro, y su buen manejo implicará la coordinación con otras actividades dentro de la empresa, en especial con producción.

Además, se considera el proceso de compras como una actividad dentro del proceso de programación. Incluso cuando el proceso de compras es principalmente un proceso de adquisición, muchas de sus decisiones afectan en forma directa al flujo de bienes o servicios dentro de un canal logístico

A) Coordinación en la cadena de suministros

La buena coordinación entre la producción, marketing, compras y todas las demás actividades de la cadena de suministros no pueden enfatizarse en exceso. Con frecuencia, las interrelaciones entre estas actividades se presentan al grado de que la optimización de una actividad individual puede presentarse en perjuicio de una o de muchas de las otras actividades. No reconocer esta interrelación puede afectar en forma negativa el desempeño de la cadena de suministros.

Procedimientos deficientes de programación de la producción pueden ocasionar una inversión innecesaria o excesiva en equipos de transporte, por lo tanto, se debe requerir de una coordinación entre todas las actividades que afectan al abastecimiento para llegar a una adecuada solución a los problemas.

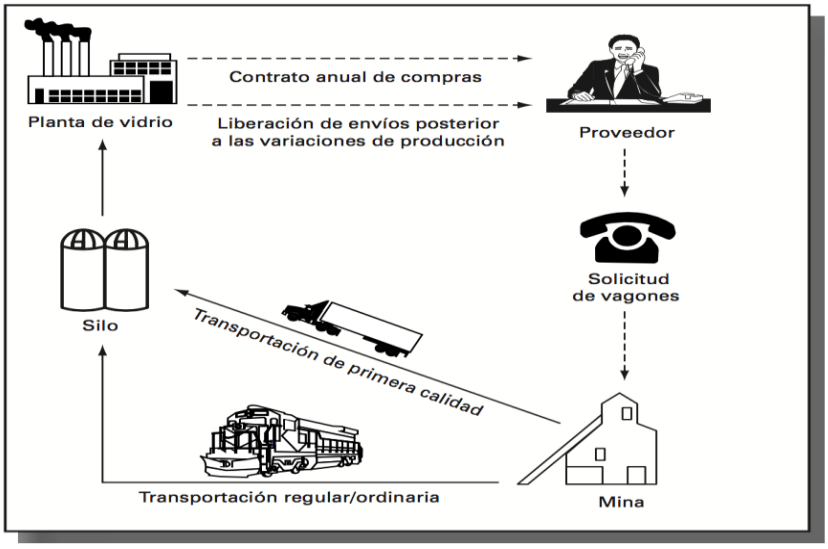


Figura 23: Coordinación de la cadena de suministros.

B) Programación de los suministros

Hoy en día conceptos como el justo a tiempo, rápida repuesta y compresión del tiempo son muy mencionados y populares, lo cual hace destacar a la actividad de programación, volviéndose una de suma importancia dentro de los canales de suministro, siendo una alternativa para cubrir los requerimientos provenientes de los inventarios.

Dentro de la cadena de suministros, los requerimientos de producción (o en el caso de empresas de servicio, los requerimientos de operaciones) representan la demanda que deberá satisfacerse. Un gerente de materiales por lo general satisface esta demanda de dos maneras:

- ✓ Programa para que los suministros se encuentren disponibles justo cuando se requieran en la producción, siendo una técnica muy popular para esto la planeación de requerimientos de materiales.
- ✓ Atiende a los requerimientos de producción con los suministros que se mantienen en inventario. Por lo tanto, los niveles de inventario estarán marcados por cuándo y en qué cantidades los materiales fluirán dentro de la cadena de suministro.

Muchas empresas utilizan estos métodos de manera simultánea, siendo análogos para cuando en vez de requerimientos de producción, son requerimientos de mantención.

I. Programación de los suministros justo a tiempo:

La programación Just in Time (JIT) es una filosofía operativa alterna al uso de inventarios, para cumplir el objetivo de contar con los bienes adecuados en el lugar adecuado y en el momento adecuado. El JIT administra la cadena de suministros de materiales, y se basa en la sincronización de todas sus partes para responder a los requerimientos de operaciones o de los clientes.

Se caracteriza por:

- Relaciones cercanas con pocos proveedores y transportistas.
- Información que es compartida entre compradores y proveedores.
- Objetivos de alta calidad.
- Producción/compras frecuentes y transporte de bienes en pequeñas cantidades con niveles resultantes de inventarios mínimos.
- Eliminación de incertidumbre en lo posible a lo largo de la cadena de suministros.

Las cantidades económicas de reabastecimiento se llevan hacia cantidades unitarias a medida que la configuración de la producción y los costos de compra y de pedido se reducen a niveles

insignificantes. Donde existen economías de escala en compras o producción, se intentan explotar al máximo utilizando unos cuantos proveedores que por lo general se encuentran ubicados en proximidad física a los puntos de demanda del comprador. Se desarrolla una relación de trabajo cercana con relativamente pocos proveedores y transportistas. La información proveniente del comprador**,** en particular en la forma del programa de producción/operación, se comparte con los proveedores de manera que ellos puedan anticiparse a las necesidades del comprador, reduciendo en esta forma el tiempo de respuesta y su variabilidad. Se espera que los pocos proveedores seleccionados se desempeñen con poca variación para proporcionar entregas a tiempo. El efecto general de la programación bajo una filosofía de justo a tiempo es crear flujos de productos que se encuentren cuidadosamente sincronizados con sus demandas. Aunque con probabilidad se invierte mayor esfuerzo para manejar la cadena de suministros bajo una filosofía JIT que bajo una filosofía de suministros para inventario, el beneficio será operar el canal con un mínimo inventario con los ahorros relacionados, las mejoras en el servicio, o ambos. Sin embargo, algunos de los beneficios que recibe el fabricante podrían ser resultado de la transferencia de los costos e inventario a los proveedores de la parte superior de la cadena de suministros.

II. Planeación de requerimientos de materiales (MRP):

Es un método principalmente utilizado para programar partes, materiales y suministros de alto valor y hechos a la medida, cuya demanda se conoce relativamente bien. El propósito de MRP, desde un punto de vista logístico, es evitar en lo posible mantener estos artículos en inventario. En teoría, no necesitan crearse los inventarios cuando la cantidad y el momento de los requerimientos del producto final se conocen. Compensados por el tiempo de entrega de la solicitud de las partes, materiales y suministros, los requerimientos del producto final pueden cumplirse en el momento en que se desarrollan. El tiempo preciso del flujo de materiales con objeto de cumplir requerimientos de producción es el principio detrás de la planeación de requerimientos de materiales.

MRP es una importante alternativa de programación a la filosofía de programación de suministro para inventario. El motivo es que los supuestos sobre los que se basa el control estadístico de inventario con frecuencia no se cumplen. Es decir, la demanda no es regular, aleatoria, independiente e imparcial. En vez de ello, los patrones de demanda para las partes,

materiales y suministros que forman parte de los productos finales se derivan de la demanda de producto final.

Los patrones de demanda derivada surgen del entendimiento de que un número predeterminado de partes, materiales y suministros, según los especifica la lista de materiales, formarán parte de un producto terminado. Por ello, los patrones de demanda para estos materiales de producción son irregulares. Si se utilizaran procedimientos de control estadístico de inventarios para fijar los niveles de inventario, estos niveles serían inaceptablemente altos debido a la alta variación de los irregulares patrones de demanda.
Esta irregularidad de la demanda también puede ser ocasionada por la aplicación de políticas de inventario estándar a múltiples niveles dentro del canal de distribución de suministros. Un producto final se almacena dentro de una bodega y se controla utilizando un procedimiento de control de inventarios de punto de reorden. El resultado de esta política será el envío intermitente de pedidos de reabastecimiento para los inventarios en la planta. Si únicamente unos cuantos almacenes se reabastecen desde los almacenes de planta o si los pedidos provenientes de múltiples almacenes se presentaran en forma simultánea, se obtendría un patrón de disponibilidad de inventario escalonado.

En consecuencia, el inventario de suministro para un componente que participa en la producción de un producto final deberá ser aún mayor para cumplir los requerimientos de producción originados mediante el reabastecimiento de los inventarios de producto final de la planta. Debido al intermitente agotamiento de componentes en el inventario, deberán mantenerse altos niveles de inventario aun cuando éstos no se utilicen. Si la velocidad de agotamiento del nivel de inventario pudiera anticiparse en forma aproximada, los componentes podrían ordenarse justo antes de que se agotaran, con un ahorro sustancial resultante en los costos de mantenimiento del inventario.

1.2 Organización de la Gestión de Inventario:

La organización administrativa de la gestión de inventario es la estructura que facilita la creación, puesta en práctica y evaluación de los planes. Es el mecanismo formal o informal para distribuir los recursos humanos de tal manera que una empresa alcance sus metas. La organización puede aparecer como un organigrama formalizado de relaciones funcionales,

como un conjunto invisible de relaciones comprendidas por los miembros de una empresa, pero no declarados de ninguna manera formal, o como una combinación de ambos. Cualquiera que sea el caso, intentar establecer las relaciones humanas de manera óptima es, probablemente, la tarea más difícil de una empresa. No existe ningún algoritmo preciso para hacerlo, y solo podemos encontrar algunas líneas directrices que pueden ser útiles.

1.2.1 Esfuerzo de Organización de la logística y de la cadena de suministro

Colocar en la empresa a los responsables de las actividades logísticas, de manera que favorezca la coordinación entre ellas, es el problema más importante en la organización de la logística y la cadena de suministros. Dichas disposiciones promueven la eficiencia en el suministro y la distribución de bienes y servicios mediante el estímulo de la compensación de costos, que a menudo se encuentran al planear y operar el sistema de la logística.

1.2.1.1 Necesidad de una estructura en la organización

Las organizaciones deben realizar algún tipo de arreglo en la organización para manejar el movimiento de los productos y servicios de la cadena de suministros, ya sea de manera formal o informal. Para aquello es fundamental lo siguiente:

A) Fragmentación organizacional: se debe lograr que las tres funciones fundamentales (finanzas, operaciones y marketing) trabajen en conjunto desde el punto de vista de la logística para lograr la meta final, la satisfacción del cliente. A pesar de que las tres áreas estén fragmentadas en distinto personal, deben ser capaces de alinearse con los objetivos globales, más allá de los objetivos puntuales que tienen por cada área. Se debe lograr un equilibrio ventajoso para todas las áreas, entre los servicios y costos de la logística.

B) Dirección: es importante suministrar alguna estructura organizativa a las actividades de la logística y la cadena de suministro, así marcar las líneas necesarias de autoridad y responsabilidad para asegurar que los bienes se mueven según lo planeado y que se lleva a cabo una nueva planeación cuando se necesita. Si el equilibrio entre el servicio al cliente y los costos para producir dicho servicio son críticos para la operación de una empresa en particular, debería colocarse a alguien responsable de vigilar el movimiento de los productos. Aunque algunas áreas, como procesamiento de pedidos, tráfico y

almacenamiento, pueden supervisarse individualmente para su buen control, a menudo se requiere de un supervisor o director para coordinar sus operaciones combinadas. Sólo éste tiene la capacidad de equilibrar estas operaciones para lograr el mayor nivel de eficiencia.

1.2.1.2 Opciones Organizacionales:

Cuando se ha establecido la necesidad de algún tipo de estructura organizacional, hay diversas opciones básicas entre las que una empresa puede elegir. Estas pueden clasificarse como de tipo informal, semiformal y formal. La elección organizacional de una empresa en particular con frecuencia es resultado de las fuerzas evolutivas que operan dentro de ella.

A) Organización Informal

El objetivo principal de la organización de la logística y la cadena de suministros es lograr la coordinación entre las actividades de la logística para su planeación y control. Si hay un clima de apoyo dentro de una empresa, esta coordinación puede lograrse con una serie de maneras informales. Éstas, por lo general no requieren cambio en la estructura organizacional existente, sino que confían en la coacción o la persuasión para alcanzar la coordinación entre las actividades y la cooperación entre aquellos que son responsables de las mismas.

Para las empresas que han diseñado áreas separadas de responsabilidad para actividades clave, como transporte, control de inventarios y procesamiento de pedidos, puede crearse a veces un sistema de incentivos para coordinarlas. Aunque el presupuesto, que es un instrumento de control importante para muchas empresas, a menudo es una pérdida de incentivo para la coordinación, puede convertirse a veces en un mecanismo para la coordinación efectiva. El presupuesto puede ser una pérdida de estímulo porque un gerente de transporte, por ejemplo, hallaría irrazonable incurrir en costos de transporte más altos de lo necesario para conseguir costos de inventario más bajos. Los costos de inventario no caen dentro de la responsabilidad de presupuesto del gerente de transporte. El desempeño del gerente de transporte se mide comparando los costos de transporte con el presupuesto.

Un posible sistema de incentivos para animar la cooperación en el cruce de actividades es establecer un número de cargos cruzados o costos de transferencia entre las diversas

actividades de la logística. Consideremos cómo podría tomarse una decisión respecto de una selección de transporte cuando afecta de manera indirecta a los niveles de inventario, pero quien toma la decisión busca los costos de transporte más bajos posibles.

B) Organización Semiformal

La organización semiformal reconoce que la planeación y operación de la logística por lo regular ataja las diversas funciones dentro de la estructura organizacional de una empresa. El responsable de la logística, o coordinador de la cadena de suministros, es entonces asignado a la coordinación de proyectos que incluyen la cadena de suministros y que cubren varias áreas funcionales. Este tipo de estructura se llama, a menudo, organización matricial, y ha sido popular en especial en la industria aeroespacial.

En una organización matricial, el gerente de la logística y la cadena de suministros tiene la responsabilidad de todo el sistema de logística, pero no tiene autoridad directa sobre las actividades que lo componen. La estructura organizacional tradicional de la empresa permanece intacta, aunque el gerente de la logística y la cadena de suministros comparta la autoridad y los motivos de la decisión con el gerente del área de cada actividad. Cada departamento funcional, así como el programa logístico, deben justificar los gastos de las actividades, lo cual es la base para la cooperación y la coordinación. El coordinador de la logística y la cadena de suministros puede, incluso, ayudar en las actividades logísticas de coordinación entre las empresas miembros del canal de suministros, más allá de los límites de su empresa.

Aunque la organización matricial puede ser una forma de organización útil, deberíamos reconocer que las líneas de autoridad y responsabilidad suelen ser confusas. Pueden surgir conflictos difíciles de resolver. Sin embargo, para algunas empresas esta opción es un buen balance entre una forma informal y otra altamente estructurada.

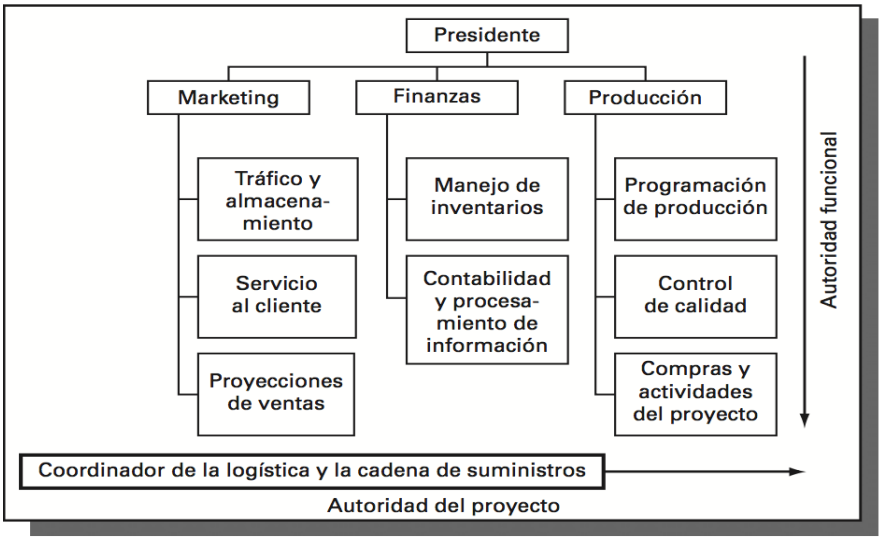


Figura 24: Estructura organizacional semi-formal de la logística y la cadena de suministros.

C) Organización Formal

La organización formal es aquella que establece líneas claras de autoridad y responsabilidad para la logística y la cadena de suministros. Esto por lo general implica: colocar un gerente en una posición superior relacionada con las actividades de logística, y colocar la autoridad del gerente en un nivel de la estructura de la organización que permita el compromiso efectivo con las otras áreas funcionales importantes de la empresa (finanzas, operaciones y marketing). Esto alienta y estructura al personal de logística de manera que promueva la coordinación de las actividades. Las empresas buscan la manera de organización formal cuando los acuerdos menos formales prueban ser ineficaces o cuando se tiene que poner más atención en las actividades logísticas.

Los profesionales a menudo nos recuerdan que no hay tal cosa como una organización típica para la logística. La estructura organizacional está hecha a la medida, según las circunstancias individuales dentro de una empresa. Sin embargo, podemos desarrollar una organización formal generalizada que tenga buen sentido en términos de los principios de administración de logística y que aparezca, al menos en forma parcial, en suficientes empresas como para usarlo como modelo.

Este diseño formal alcanza varios fines importantes:

Primero, la logística y la cadena de suministros se eleva a una posición en la organización en la que es administrada con la misma autoridad que las otras funciones importantes.
Esto ayuda a asegurar que las actividades de logística reciban la misma atención que marketing, operaciones y finanzas. También plantea las bases para que el gerente de logística tenga igual autoridad al momento de resolver los conflictos económicos. Poner a la logística al mismo nivel que las otras áreas funcionales crea un equilibrio de poder para el bienestar económico de la empresa en su conjunto.

Segundo, se crea un número limitado de sub áreas bajo el encargado de la logística y la cadena de suministros. Podría parecer deseable combinar, digamos, las actividades de transportación e inventario en una única área, porque sus costos están por naturaleza en conflicto y podría lograrse una mejor coordinación. Sin embargo, las habilidades técnicas requeridas en cada área son sustancialmente diferentes, por lo que es difícil hallar una dirección para las áreas combinadas que tenga ambos tipos de habilidades. A menudo es más factible mantener dichas actividades bajo un administrador diferente y confiar en el gerente de logística para establecer una coordinación mediante los tipos de organización informal o semiformal comentado previamente.

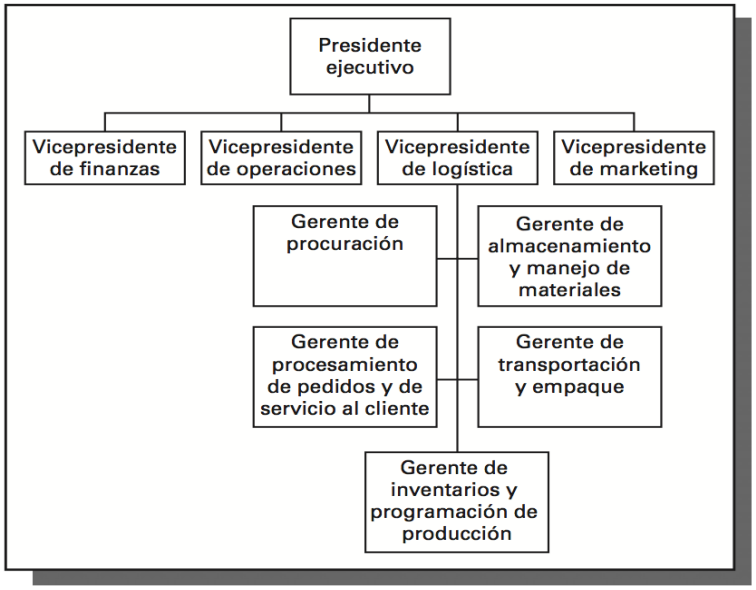


Figura 25: Estructura organizacional formal de la logística y la cadena de suministros.

1.2.1.3 Orientación Organizacional:

El diseño organizacional parece seguir tres estrategias particulares:

A) Estrategia del proceso:

La estrategia de proceso es aquella en la que el objetivo es lograr la máxima eficiencia al trasladar bienes desde su estado de materia prima hasta ser bienes terminados, pasando por el trabajo en proceso. Es probable que el diseño de la organización se enfoque en las actividades que acarreen el costo. Es decir, actividades como compras, programación de producción, inventarios, transporte, se reunirán y administrarán colectivamente.

B) Estrategia del mercado:

Las empresas que persiguen una estrategia de mercado tienen orientación de servicio al cliente, buscando la coordinación entre ventas y logística. No es probable que la estructura de la organización integre las actividades logísticas que son inherentes a la estrategia del proceso. Más bien, se reúnen aquellas actividades directamente relacionadas con el servicio al cliente, tanto para ventas como para logística, y reportan a un mismo ejecutivo. Es probable que la estructura de la organización se extienda a las demás unidades del negocio para alcanzar un alto nivel de servicio al cliente. Por supuesto, los costos de logística puede que no se mantengan en su nivel más bajo.

C) Estrategia de la información:

Las empresas que persiguen una estrategia de información es probable que sean aquellas que tengan una importante red descendente de distribuidores, y de organizaciones para distribución con importantes inventarios. La coordinación de las actividades de logística por toda esta red dispersa es un objetivo principal, y la información es el ingrediente clave para su buena dirección. Para asegurar esta información, la estructura de la organización está dispuesta a ampliar funciones, divisiones y unidades de negocio.

Deberíamos reconocer que no es probable que ninguna empresa muestre un único diseño de organización. Dado que a menudo existen estrategias mixtas dentro de una misma empresa, aparecerán diversos diseños para empresas esencialmente parecidas. Además, las empresas parecidas pueden estar en diferentes etapas de su desarrollo organizacional. Esto

puede hacer difícil de explicar la razón fundamental de una estructura en particular, visto sólo desde su diseño.

1.2.1.4 Alianzas y asociaciones:

Como una alternativa a la propiedad total de la capacidad logística y a la necesidad de una estructura ampliada de la organización de la logística, o para mantener unos holgados acuerdos para la cooperación, algunas empresas eligen compartir su capacidad logística con otras empresas o contratar las actividades logísticas para que sean desempeñadas por empresas especialistas en tales servicios, llamadas operadores logísticos. Muchas empresas están reconociendo que se pueden conseguir ventajas estratégicas y operativas al formar una asociación logística. Algunos de los beneficios generales son:

- Costo reducido y menores requerimientos de capital.
- Acceso a capacidades de tecnología y administración.
- Mejor servicio al cliente.
- Ventaja competitiva en cuanto a mayor penetración en el mercado.
- Mayor acceso a información para la planeación.
- Reducción del riesgo y de la incertidumbre.

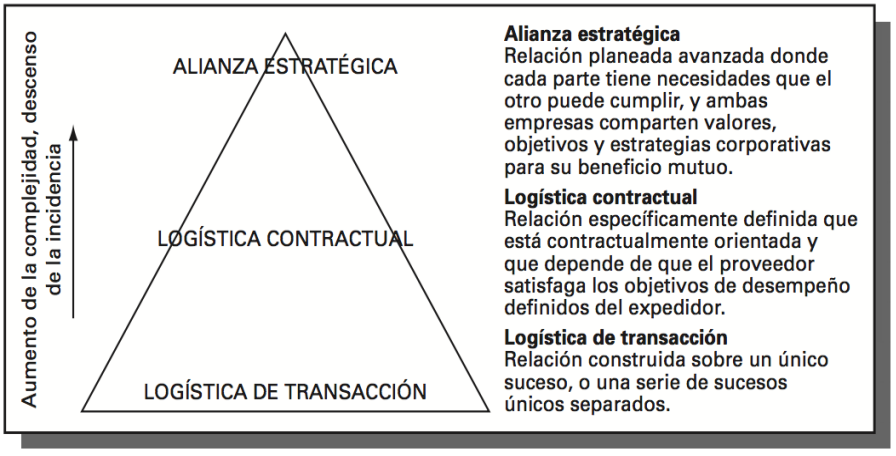


Figura 26: Alianzas y logística de relaciones con terceros.

Decidir si se desempeña la función de la logística en la empresa o buscar otros acuerdos es el equilibrio de dos factores: qué tan importante es la logística para el éxito de la empresa y qué tan competente es la empresa para manejar la función logística.

Una compañía que tenga altos requerimientos de servicio al cliente, que sus costos logísticos sean proporcionalmente importantes en los costos totales y que tenga una operación logística eficiente administrada por personal competente, tal vez encontrara bajo el beneficio de asociarse o contratar terceros para las actividades logísticas. Por otra parte, para aquellas compañías en las que la logística no es el punto central de la estrategia y que dentro de la empresa no apoyan un alto nivel de competencia logística, las actividades logísticas contratadas a terceros pueden fácilmente conducir a importantes reducciones de los costos y a mejoras en el servicio al cliente.

Cuando la logística es crucial para la estrategia, pero la habilidad de la administración logística es baja, hallar una empresa con la cual asociarse puede dar beneficios importantes. Un asociado fuerte puede suministrar instalaciones localizadas en mercados nuevos y en los ya existentes, una mayor capacidad de transporte y una experiencia administrativa que no están disponibles dentro de la compañía. Por lo contrario, cuando la logística no es especialmente crítica para la estrategia, pero es manejada por personal capacitado, los administradores pueden querer ser agresivos tomando el liderazgo, al buscar asociados para compartir el sistema logístico, hasta el punto de reducir los costos de la compañía mediante incremento del volumen y por las economías de escala resultantes.

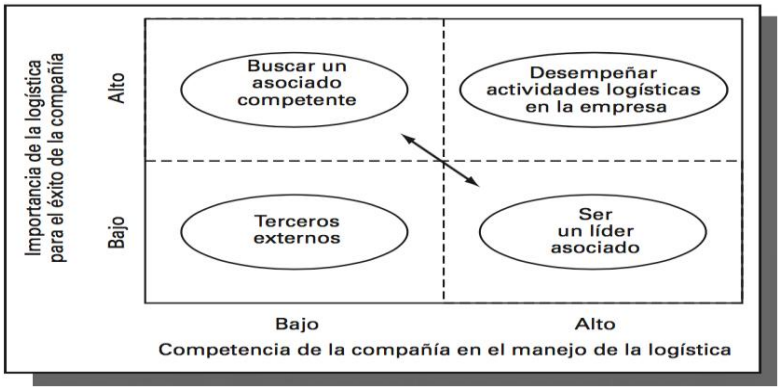


Figura 27: Diagrama de selección de desempeño actividades logísticas.

1.3 Control de la Gestión de Inventario:

Los planes y organización de la cadena de suministro pueden realizarse y llevarse a cabo, pero por sí mismos no aseguran el cumplimiento de los objetivos deseados. Para esto es necesario incorporar a la función de control, proceso por el cual el desempeño se regula o se mantiene regulado respecto de los objetivos deseados. El proceso de control es aquél en el que se compara el desempeño real con el planeado, y luego se realiza una acción correctora si se requiere.

1.3.1 Estructura del proceso de Control:

En las empresas, la dirección busca controlar las actividades logísticas planeadas (transporte, almacenamiento, inventarios, manejo y procesamiento de pedidos) en base al servicio al cliente y costos. Los mecanismos de control utilizados incluyen las auditorías e informes de desempeño, objetivos establecidos para el desempeño y algunos medios para iniciar la acción correctora.

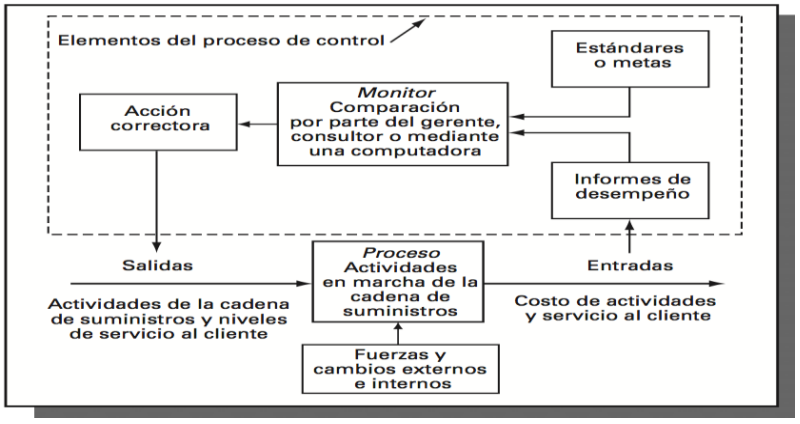


Figura 28: Esquema típico del proceso de control de la logística y la cadena de suministros.

1.3.1.1 Tipos de sistemas de Control:

Los sistemas de control varían en su diseño, existiendo principalmente de lazo abierto, de lazo cerrado o de retroalimentación modificada.

Sistemas de lazo abierto: es el sistema más común para controlar las actividades logísticas. Su característica más importante es la intervención humana entre la acción de comparación del desempeño real con el deseado, y la acción para reducir el error del proceso. El gerente debe

intervenir en forma positiva antes de que pueda presentarse cualquier acción correctora. Por ello, se dice que el proceso de control está abierto.

Las principales ventajas de este sistema son su flexibilidad y bajo costo inicial. El gerente puede dictar a discreción el tipo de información necesaria para el control, la tolerancia de error que es aceptable, y la forma de la acción correctora. Esta flexibilidad es particularmente benéfica cuando las metas, planes e influencias ambientales están sujetos a cambios frecuentes y cuando los procedimientos de control automatizado son costosos y limitantes.

Sistemas de lazo cerrado: en años recientes se ha realizado mucha investigación para encontrar formas de reducir la necesidad del elemento humano en los procesos de control. Gran parte de este trabajo se ha centrado en procesos físicos, como el control de temperaturas, velocidades, presiones, etc. Tales dispositivos de control se denominan como servomecanismos, reguladores o controladores. Sin embargo, sólo recientemente se ha puesto atención al control similar de las actividades logísticas, siendo el control automático de inventarios el hecho más sobresaliente. Existe una regla de decisión, la cual se utiliza como sustitución de la función del gerente en los sistemas de lazo cerrado. Esta regla actúa observando el comportamiento, y en caso de existir errores de desempeño, toma decisiones preestablecidas según el caso.

Actualmente, el mejor ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado en el manejo de la logística es el sistema de control de inventarios. Cuando surgió la computadora, se convirtió en una herramienta útil para los negocios, ya que los sistemas de inventario comenzaron a controlarse exitosamente en forma automática. La importancia de una buena dirección de inventarios para muchas empresas, y la naturaleza cuantificable de los problemas de inventarios la han hecho una de las primeras actividades de la empresa para ser controlada por métodos de lazo cerrado. También ofrecen control sobre una parte del proceso total, y en consecuencia pueden carecer de parte del alcance del sistema de lazo abierto. Por esto, la automatización puede tener flexibilidad reducida, alcance de control más limitado y mayor costo inicial, pero ofrece más velocidad y precisión de control**.**

Sistemas de control modificado: en las aplicaciones del mundo real, muy pocas cosas se llevan a cabo en su forma más pura, incluyendo los sistemas de control. Los gerentes son reacios a transferir amplio control de una actividad o grupo de actividades a un conjunto de reglas de

decisión. Las influencias ambientales son demasiado impredecibles como para esperar que un sistema de control automático permanezca aplicable durante todo el tiempo. Los gerentes incluso pueden tener un grado de desconfianza en las computadoras y modelos matemáticos. De hecho, una combinación de sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado es lo que se utiliza con mayor frecuencia para el control de las actividades logísticas.

En un sistema de control modificado, el gerente en ocasiones puede sustituir las reglas de decisión. En el caso de un problema de control de inventarios, el encargado de la logística y la cadena de suministros se encuentra en posición para tomar el control de las decisiones automáticas acerca de cuándo y cuánto ordenar. Por lo general tiene acceso a una base mucho mayor de información que el sistema de control automático y se encuentra en posición de juzgar el desempeño del sistema de control. Tal información puede incluir quejas del servicio al cliente, informes de costos del inventario, anuncios promocionales de marketing, cambios en el servicio de transporte y modificaciones en la programación de la producción. Ya que el sistema de control automático en general no responde a este tipo de información, podría no asegurar un desempeño óptimo del inventario. Por esto, el responsable de la logística puede intervenir en el proceso de control, ya sea para realizar ajustes menores en la regla de decisión, en el estándar de referencia o en la información base, y puede realizar cambios grandes en el sistema de control y el diseño del proceso. Si el sistema de control se encuentra bien diseñado, sólo serán necesarios ciertos ajustes menores.

El gerente en un sistema de control modificado no sólo añade flexibilidad y alcance al sistema, sino que también actúa como válvula de seguridad en caso de que el sistema automático falle. De hecho, el sistema de control modificado ofrece ventajas en el control de actividades complejas, sin requerir que el administrador renuncie a la dirección administrativa sobre el sistema. Esto sin duda es motivo de su utilización por encima de los sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado.

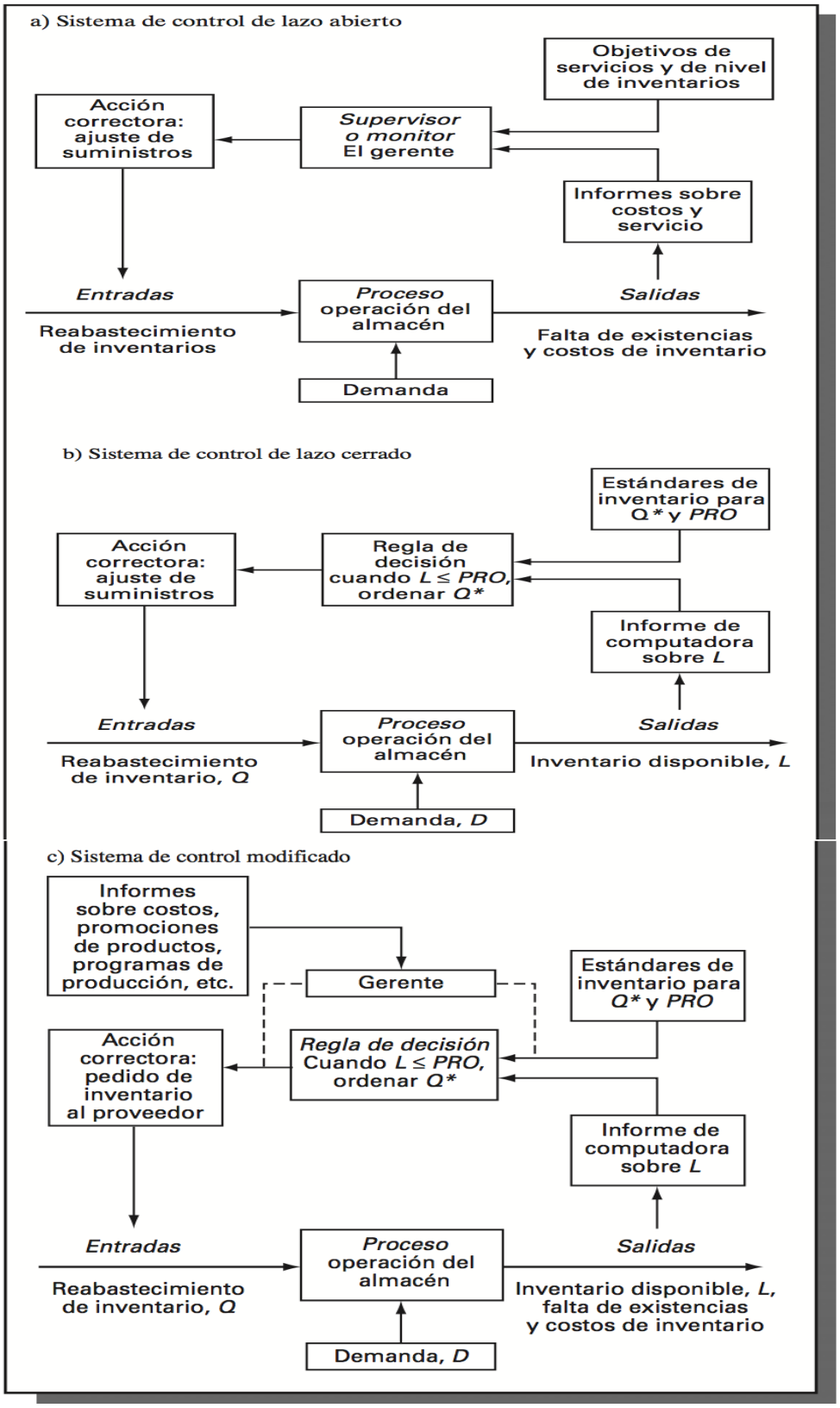


Figura 29: Esquema de los distintos tipos de sistemas de control.

1.3.2 Información de Control, Medición e Interpretación:

Un sistema de control logístico efectivo requiere información precisa, relevante y oportuna sobre el desempeño de la actividad o función. Las principales fuentes de esta información son las auditorías y los distintos informes de actividades logísticas.

1.3.2.1 Auditorías:

Es una revisión periódica del estado de las actividades logísticas, la cual se utiliza para establecer puntos de referencia, contra los que se generan datos, y para corregir errores resultantes del desempeño de ciertas actividades logísticas debido a información errónea. Para esto existen las siguientes herramientas:

Auditoría de función total: de vez en cuando, la dirección de una empresa puede determinar que es necesario efectuar un análisis de la forma en que se está manejando la función logística en general, esto con el fin de asegurarse que las actividades se llevan de forma efectiva y eficiente. Esta auditoría puede incluir una evaluación de todo el personal, estructura organizacional y del diseño de la red. El diseño de la red puede ser auditado en forma eficaz mediante el análisis de los determinantes generales del diseño del sistema logístico, como lo son:

- Demanda (dispersión geográfica y nivel)
- Servicio al cliente
- Características del producto (diseño empaque y estado final)
- Costos Logísticos

Auditorías de inventario: un sistema típico de control de inventarios realizará registro de su inventario, tanto entradas como salidas de los bienes de los almacenes, ya sea por consumo, reabastecimiento, devoluciones, etc. Sin embargo, se puede generar disparidad entre los registros y los inventarios reales almacenados. Estas posibles diferencias pueden ser originadas por hurtos, devoluciones de clientes, bienes dañados, errores en el ingreso de la información, ventas sin registro, etc. En estos casos un conteo físico puede determinar el nivel real de todos los artículos, para luego realizar los ajustes en los registros para nuevamente contar con un control más preciso de los niveles de inventario.

El realizar conteos físicos puede tomar gran cantidad de tiempo, y puede esto ser perjudicial para las operaciones o tener grandes costos asociados por el personal involucrado. Por lo general, muchas empresas detienen su operación para realizar estas auditorías.

Evaluación comparativa con otras empresas: más conocido como "benchmarking", en el cual se compara el desempeño de la empresa con la competencia. Por lo general, se busca información del desempeño de costos y de servicio al cliente, para empresas en negocios similares. Los análisis muestran habitualmente el comportamiento o nivel de desempeño tanto promedio como el mejor de su clase, en ciertas categorías seleccionadas, con lo cual se puede tener referencias para comparar.

Estas evaluaciones por lo general las realizan universidades, asociaciones comerciales o empresas consultoras que mantienen el anonimato de aquellas empresas que colaboran con su información.

Es importante evaluar los resultados con una visión global, porque una empresa puede verse vista superada ampliamente en alguna característica, pero esto puede ser en desmedro de un bien mayor en otras. Por estos motivos, hay que ser cuidadoso a la hora de realizar comparaciones, sin dejarte llevar por las primeras impresiones.

La evaluación comparativa se ha definido como un proceso con pasos definidos. Es un proceso continuo de medición y evaluación del desempeño y de las prácticas de la cadena de suministros contra otras en la industria. La evaluación comparativa se realiza a nivel de métricas de desempeño, procesos o estrategias. Los procesos y estrategias de la evaluación comparativa implican la comparación de elementos, como tecnologías de información utilizadas, métodos para atender pedidos de los clientes, políticas de transportación y administración del inventario, estrategias de fabricación para inventario y fabricación para pedido, así como configuración de la red. Se han recomendado cinco pasos para realizar un análisis de evaluación comparativa:

A.-Recopilar y analizar la información de referencia.

B.-Identificar y reunir información sobre las compañías con mejores prácticas.

C.-Identificar y analizar las brechas de desempeño.

D.-Desarrollar un plan para cerrar las brechas de desempeño de procesos.

E.-Llevar a cabo el plan.

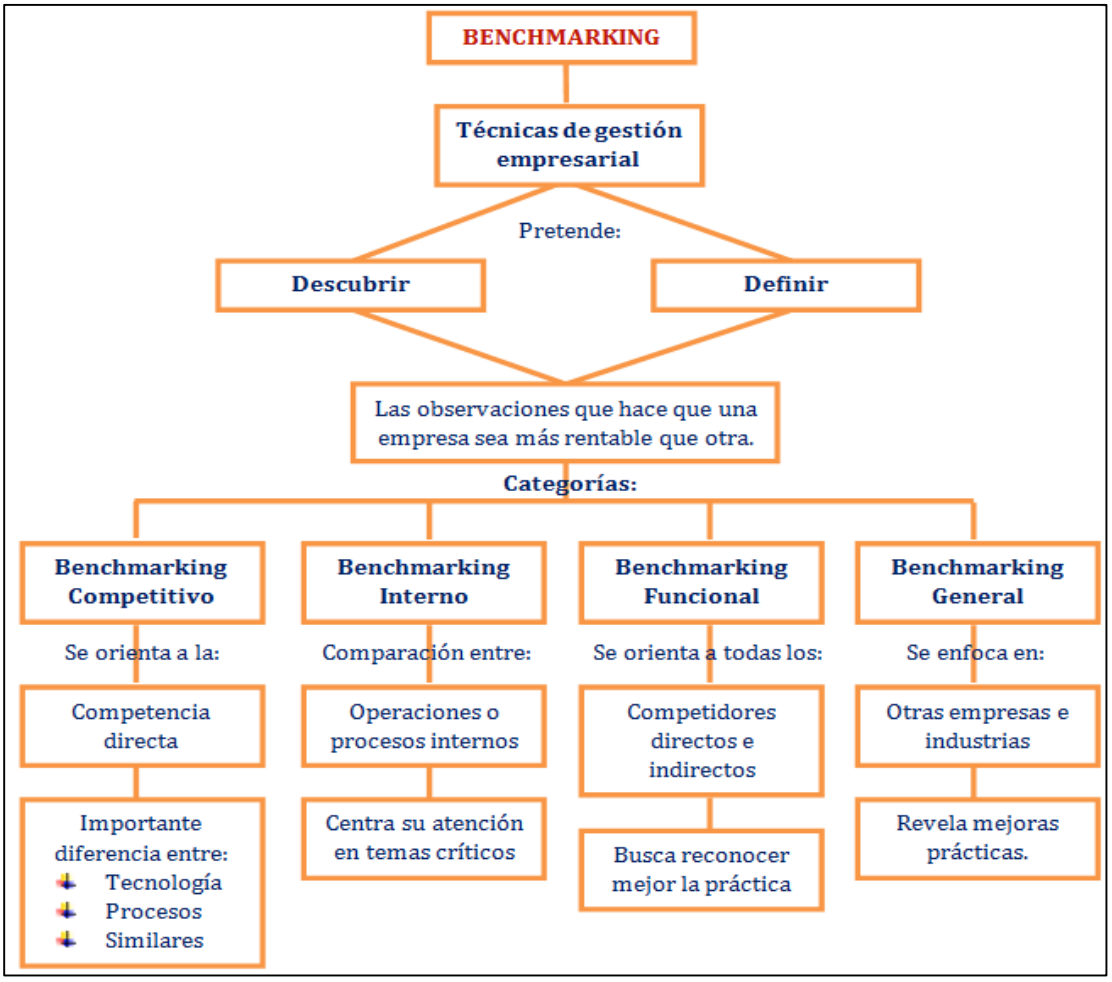


Figura 30: Benchmarking.

Informes regulares: se deben generar informes en forma rutinaria que establezcan información sobre el estado del inventario, la utilización de los equipos de transporte y de las bodegas, así como los costos originados por el transporte y almacenamiento. Para la función logística se sugiere realizar informes de medición clave: informes de costo y servicio, informe de productividad y tabla o gráfica de desempeño.

1.3.3 Acciones Correctoras:

Es el último paso de la función de control que se realiza cuando ya no es tolerable la diferencia entre los objetivos y el desempeño real. Esta acción buscara reducir o eliminar en lo posible las diferencias, según su naturaleza y grado de la condición fuera de control. Por lo general, existen tres tipos de acción: ajustes menores, re planeación mayor y acción de contingencia.

Ajustes menores: cuando aparecen pequeñas variaciones entre el desempeño real y el deseado. Estas variaciones pueden ser anticipadas realizando pequeñas alteraciones que ayuden a conducir la situación por el camino deseado. El desempeño se encuentra bajo constante cambio debido al dinámico e incierto ambiente de negocios al cual está sometido, pero con frecuencia será suficiente ajustes menores para mantener el control adecuado sobre el sistema.

Re planeación mayor: esta puede incluir importantes cambios en los objetivos de la logística, cambios mayores en el ambiente logístico, introducción de nuevos productos, etc. La replaneación mayor implica reciclar por completo el proceso de planeación directiva que genere nuevas líneas de acción, y por lo tanto un nivel de desempeño de las actividades, nuevos estándares de referencia del sistema de control y nuevos límites de tolerancia al error. Esta acción puede resultar en una nueva configuración de las bodegas, modificaciones en los procedimientos de control de inventario y cambios al sistema de flujos de producto dentro de la planta y bodegas.

Planes de contingencia: se aplican cuando existen posibilidades de cambios notables en el nivel de desempeño de las actividades. Tales cambios pueden ocurrir por ejemplo cuando ocurre un siniestro (incendio, inundación), cuando falla algún sistema computarizado de control de inventario volviendo el sistema inoperante, cuando las materias primas por diversos motivos no están disponibles, huelgas, etc. Los ajustes menores en estos casos son insuficientes, y una replaneación requiere mayores niveles de tiempo para su desarrollo.
Lo ideal es desarrollar los planes de contingencia con anticipación a las necesidades que pueden surgir ante estos problemas repentinos, y sus líneas de acción se predeterminaran en base a cada evento.

2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GESTIÓN INVENTARIO EXISTENTE

2.1 Misión y Objetivos del sistema actual de gestión de inventario:

2.1.1 Misión:

La misión de sistema de gestión de inventarios de la División Salvador, estaba relacionada directamente con la misión global de la corporación, la cual era:

> "Desplegar en forma responsable y con excelencia toda nuestra capacidad de negocios mineros, en Chile y el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo el valor económico y el aporte al Estado. Codelco realiza esta misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación, la sustentabilidad y el permanente desarrollo de las personas." (Codelco, 2016)

De esta forma se desprende que la misión de la gestión de inventarios era contribuir con la maximización del beneficio económico, logrando un funcionamiento eficiente y sustentable, que permitiera enfrentar las condiciones económicas de aquel momento y futuras de manera competitiva.

Los inventarios y su gestión permitían el ejercicio de la actividad minera, cumpliendo un rol clave para ejecutar la actividad de mantenimiento, con tal de disponer de los repuestos, materiales y provisiones. Lo anterior se traducía en poder contar con los equipos y maquinarías de manera óptima el mayor tiempo posible, sin detener la producción.

2.1.2 Objetivos:

El principal objetivo de la gestión de inventarios para la Empresa era la reducción de costos y, además, lograr el mejoramiento continuo del mantenimiento como parte importante en la gestión de activos, de forma que fuera un real aporte en la creación de valor del negocio. En otras palabras, se puede decir que se buscaba un proceso de alto desempeño, que es aquel que satisface a los clientes (abastecimiento satisface a mantenimiento, y a su vez mantenimiento satisface a operaciones), usa los recursos eficientemente (bajos costos de mantenimiento) y

agrega valor a los objetivos organizacionales (costo unitario de mantenimiento, seguridad y medio ambiente). Este debe ser el objetivo de la administración de la cadena de suministros de cualquier organización.

Algunos objetivos específicos buscados que derivaban de lo anterior eran:

- Aumentar la rotación de los inventarios, siendo un indicador clave para medir el desempeño de una bodega, evitando tener exceso de capital detenido.

- Disminuir el inventario promedio, lo cual se traducía en almacenes con más espacio libre para manejabilidad, y con mejor control sobre los artículos disponibles. Además del ahorro en costos que esto significaba, tanto directa como indirectamente.

- Aumentar la disponibilidad de repuestos para ejecutar la mantención, lo que repercutía en lograr tener la disponibilidad mínima deseada de los equipos, idealmente lo más alta posible.

- Disminuir el riesgo asociado a fallas en equipos críticos, disminuyendo los impactos económicos que estos podían provocar, minimizando los tiempos de detención asociados a estos, ya sea mediante acciones correctivas o preventivas.

- La seguridad es clave en cualquier empresa, y de sobremanera en la minería, por lo cual era importante tener cero accidentes, inherentes a los riesgos asociados al transporte.

- Otro punto, no menos relevante, era aumentar la eficiencia del funcionamiento de la bodega, en lo que respecta a la respuesta a los requerimientos de repuestos y materiales ya almacenados en bodega, disminuir los tiempos de entrega y tener un control más preciso sobre el estado del stock.

2.2 Organización Estructural Existente:

2.2.1 Organigrama

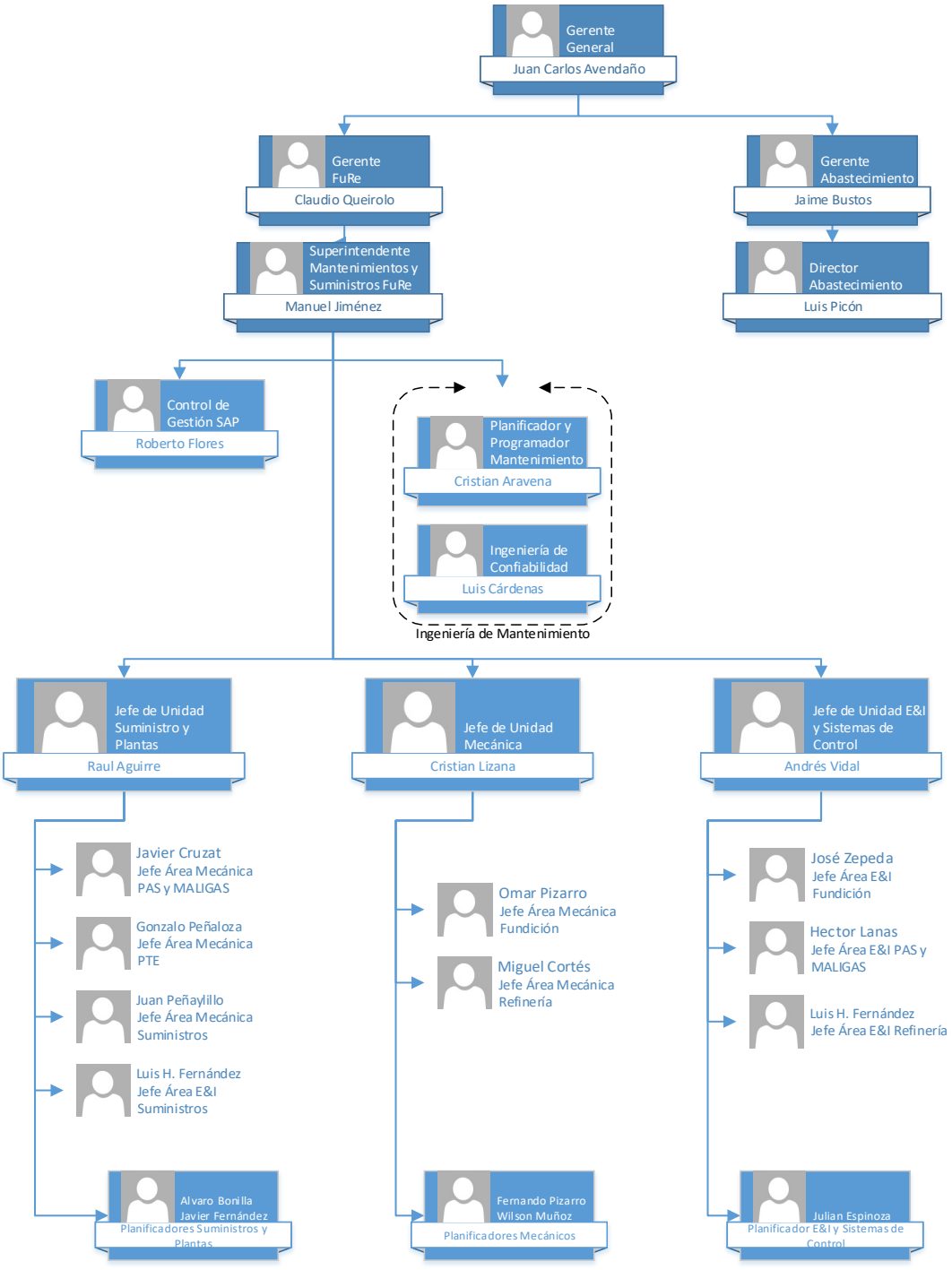


Figura 31: Organigrama FuRe 2016

2.3 Procesos y procedimientos involucrados en la gestión de inventario

2.3.1 Sistema informático de gestión de inventario

Todos los procesos de la empresa, por ende, también los que respectaban a la gestión de inventario, eran gestionados mediante el programa informático SAP. Por este motivo, es importante hacer referencia a este programa, previo a definir los procesos y procedimientos, que en muchos casos lo involucraban transversalmente.

El SAP es un programa modular de administración y planificación de los recursos de una organización, básicamente es un programa que sirve para múltiples áreas de una empresa: contabilidad, gestión de almacén, gestión de clientes, gestión de producción.

En el caso de la empresa, los módulos funcionaban prácticamente de manera independiente y se ajustaban a cada departamento en cuestión. Generalmente, cada departamento gestionaba sus propias actividades o tareas, y después todo se reflejaba en conjunto en una base de datos común, en donde interactuaban los múltiples módulos utilizados. De esta forma, los encargados podían ver gracias al BI (Business Intelligence) la situación de la empresa en tiempo real, mediante gráficos, informes, etc.

En el caso de la gestión de inventario, existen tres módulos claves que la involucran e interactúan, siendo estos:

- Módulo PM (Plant Maintenance), el cuál involucra la gestión del mantenimiento, principalmente actividades como el mantenimiento preventivo, ordenes de mantenimiento, proyectos de mantenimiento, etc. Es utilizado principalmente por el equipo de mantención y planificadores.

- Módulo MM (Material Management), el cuál involucra la gestión de materiales, en actividades como la gestión de compras, gestión de almacenes, verificación de facturas, sistemas de información, etc. Es manejado principalmente por el equipo de abastecimiento tanto a nivel de corporación, como a nivel de división.

- Módulo PP (Production Planning), el cuál involucra la planificación de la producción, estableciéndose información básica de la producción, gestión de la demanda, plan maestro de materiales, planificación de las capacidades, costos de producción, etc. Este módulo principalmente está controlado por el personal de operaciones, pero interviene en conjunto con otras áreas de la división.

Todos estos módulos eran manejados por distintas áreas de la empresa, pero interactuaban y tenían puntos en común, los cuales debían ser aprovechados de la mejor manera. Esta interacción se veía reflejada en los "Workflow", o flujos de trabajo que permitían ver las solicitudes emanadas de algún módulo, los procesos y estados en que se encontraban, los encargados que la controlaban, etc.

En principio, cada trabajador, dependiendo de sus cargo y responsabilidades, tenía asignado algún(os) rol(es) dentro de SAP; dentro de cada rol existían una serie de transacciones permitidas. Cada una de estas transacciones es una interfaz entre el sistema y el usuario. Por ejemplo, el programador de mantenimiento tenía la transacción que permitía crear y modificar planes de mantenimiento, por otra parte, el jefe mecánico de una cuadrilla tenía la transacción que le permitía crear un aviso de reparación.

Resumiendo, el sistema informático vigente en ese momento entregaba múltiples herramientas permitiendo realizar una gestión global de la empresa, ya que permitía extraer una visión del acontecer general en cualquier instante dado, e identificar falencias o deficiencias existentes, pero como cualquier sistema, requiere de información correcta de lo que está pasando y que los usuarios sepan utilizar adecuadamente esta herramienta.

2.3.2 Procesos involucrados en la gestión de inventario

La gestión de inventarios existente en la empresa constaba de una serie de procesos y procedimientos, los que funcionaban en forma coordinada. La gestión de inventario a su vez formaba parte del proceso de mantenimiento. En este caso es necesario comentar los principales subprocesos que formaban parte de la cadena de abastecimiento de inventario, y la secuencia que se seguía habitualmente, todo esto ligado al programa mencionado con anterioridad.

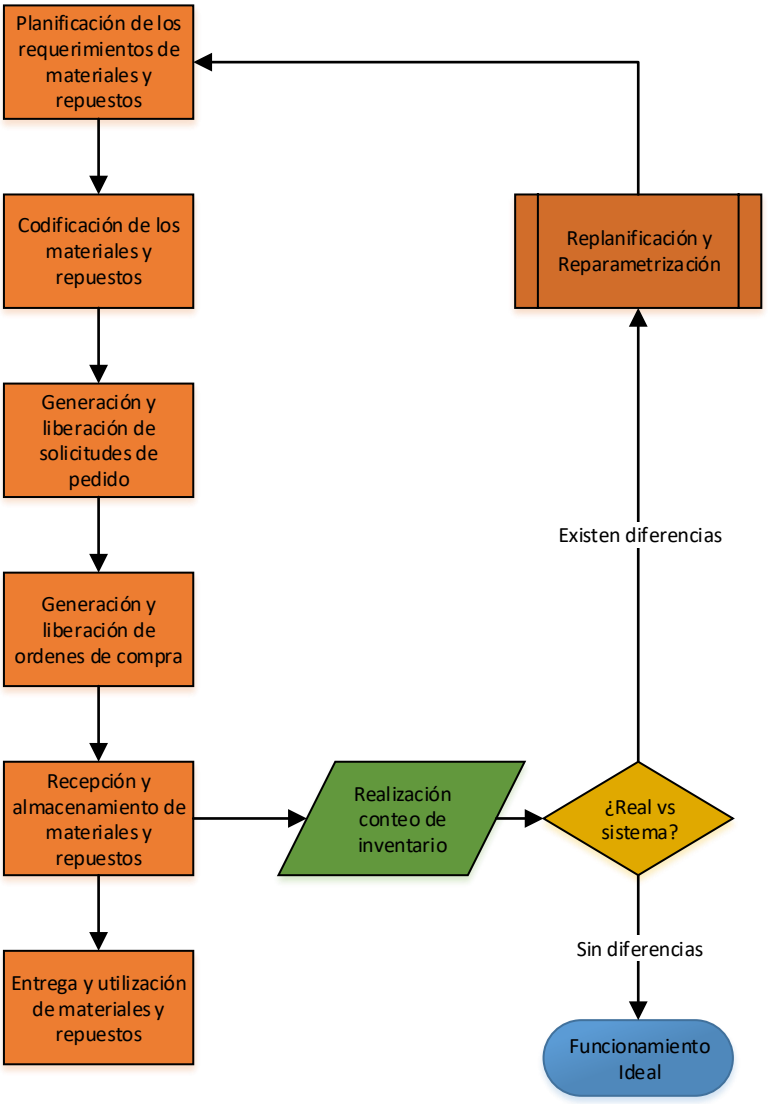


Figura 32: Procesos involucrados en la gestión de inventario.

2.3.2.1 Planificación de los requerimientos de los materiales y repuestos:

La planificación, como se ha mencionado en este documento, es el primer paso de todo proyecto o proceso, y en términos prácticos se establecen todos los parámetros que se manejaran en los pasos siguientes, en base a las metas propuestas.

En el caso de la empresa, la correcta planificación de materiales dependía de algunos factores fundamentales, como lo eran la planificación del mantenimiento, la adquisición o renovación de equipos (vida útil, proyectos, etc.), los modelos de reposición establecidos, etc.

La cantidad de materiales y repuestos requeridos podía ser definida en una ocasión (Por ejemplo: al comprar un equipo), inclusive estableciendo su reposición automática al llegar a una cantidad límite, o podía ser definida de forma continua con la ejecución del día a día, ya sea por el equipo de mantenedores o planificadores, pudiendo estos pedir repuestos o materiales cuando lo consideraban necesario para cumplir la planificación propuesta.

En ese periodo en la división, de sobre manera en la fundición y refinería, existían múltiples materiales y repuestos en que el equipo de mantención y planificación no podía intervenir, ya que se encontraban definidos dentro del sistema informático, y no podían tener injerencia sobre ellos. Los parámetros de estos repuestos, en muchos casos se desconocían cuando fueron fijados, ni el porqué de las cantidades, y no se habían tomado medidas al respecto.

Los repuestos y materiales existentes en las bases manejadas por bodega, en muchos casos contaban con parámetros de pedido (cantidades, lote económico, punto de pedido, criticidad), pero se desconocía cómo se mencionó anteriormente si fueron establecidos de forma correcta, o si tenían validez para la realidad existente.

2.3.2.2 Codificación de los materiales y repuestos:

Los ítems para ingresar al sistema informático, y ser administrados requerían una denominación o código identificatorio (Por ej. un Filtro Compresor de SO_2 AW era denominado en el sistema como un número, 1232039, a lo cual se le denominaba número de parte o simplemente código). Generalmente, el número asociado a los ítems era correlativo,

según el momento de ingreso al sistema, pero se intentaba que repuestos o materiales de un mismo equipo tuviera códigos similares.

Para poder utilizar, comprar o realizar cualquier procedimiento con algún repuesto o material, era necesario que estuviera codificado, esto para cumplir con los protocolos, y contar con los movimientos y registros del sistema, sino era totalmente ineficiente esta herramienta de gestión.

Para codificar un ítem se realizaba en el sistema SAP mediante un proceso denominado transacción. Esta transacción solo estaba disponible para personal autorizado (algunas personas del equipo de mantención, y otras más de abastecimiento).

Inicialmente, cuando una máquina o equipo era adquirido, los planificadores o el ingeniero supervisor de mantenimiento, codificaba los ítems según el catálogo o manual de los mismos. Sin embargo, gran parte de los equipos de la fundición y refinería no contaban con manuales debido a su antigüedad de fabricación e instalación, inclusive habiendo sido algunos diseñados en terreno. Por lo tanto, a medida que surgen algunas necesidades, se van incorporando nuevos ítems al sistema.

Idealmente al momento de codificar los repuestos y materiales se registra la mayor información posible de ellos, tales como si el material es almacenable o no según la realidad de la bodega, información de proveedores o licitadores, tamaño de lote a pedir, punto de reorden, stock de seguridad, de aquellos que es posible definir. Para realizar esto, al ser en muchos casos nuevos ítems para la empresa, esto se basaba en las recomendaciones de los fabricantes, o en la experiencia tanto de otras divisiones de la corporación o experiencia que tenían las personas que han trabajado con ítems similares. Para verificar que no existe gran desviación de lo establecido, se debería realizar seguimiento de estos ítems.

Como se mencionó anteriormente, al codificar un ítem se definen algunos parámetros, tales como:

- Descripción general.
- Ubicación Técnica, la cual asocia el material o repuesto al equipo o área pertinente.

- Tipo de material o repuesto (Alta rotación o Baja).
- Criticidad.
- Unidad de medida base (kilogramos, metros, litros, etc.).
- Plazo de entrega previsto por el proveedor.
- Tipo de reabastecimiento (manual o automático).
- Stock de seguridad.
- Punto de pedido.
- Responsable de la planificación del ítem.
- Tamaño de lote a comprar si lo amerita.
- Precio.
- Condiciones de almacenamiento o transporte.
- Estado del repuesto o material (vigente, obsoleto, etc.).

La mayor funcionalidad del sistema informático se obtiene ingresando toda esta información, lo más fidedigna posible, para poder tomar las medidas o decisiones pertinentes cuando lo amerite.

Cuando la información es muy deficiente, se hace necesario complementar esta información a medida que vayan surgiendo las necesidades. El proceso de codificación era retroalimentado principalmente por proceso de planificación del mantenimiento e información de abastecimiento.

2.3.2.3 Generación y liberación de solicitudes de pedidos de materiales y repuestos:

Una solicitud de pedido corresponde al documento que se generaba al hacer un requerimiento de un material o repuesto; esta solicitud de pedido era la que posteriormente recibía el Departamento de Compras (Adquisición) o el Departamento de Abastecimiento, según correspondía. Estos últimos eran los encargados de generar una orden de compra.

Existían dos maneras de generar una solicitud de pedido. La primera era en forma manual, realizada principalmente por los planificadores de mantenimiento o los jefes de área, y la segunda forma, era de manera automática realizada por el sistema SAP, con su respectivo MRP

automático incorporado. Para que se diera este segundo caso, debía estar previamente definido en el sistema como reposición automática, y al llegar a un punto mínimo de stock el sistema emitía una solicitud de pedido por una cantidad previamente definida.

El sistema permitía fijar autorizaciones previo al envío de estas solicitudes antes de llegar a personal encargado de las compras, debiendo ser aprobada por personal de mayor cargo o con mayor responsabilidad sobre lo que se está pidiendo. Generalmente estas barreras vienen asociadas al costo que involucraban los pedidos o al caso de exceder el presupuesto. Desde ciertos montos de dinero en adelante requerían aprobación de personas con mayor poder en la organización, inclusive haciendo participe a los Superintendentes y Gerentes, realizando estos la aprobación o liberación de una solicitud de pedido.

- Bajo 5.000 USD podían ser realizado por los planificadores.
- Sobre 5.000 USD requería aprobación de un Ingeniero Supervisor de Mantenimiento o rango mayor.
- Sobre 20.000 USD requería aprobación de Superintendente de Mantenimiento FuRe o rango mayor.
- Sobre 70.000 USD requería aprobación del Gerente de FuRe o rango mayor.
- Sobre 150.000 USD requería aprobación del Gerente General de la División.

Los encargados de liberar las solicitudes de pedido, podían denegar estas o poner condiciones para la aprobación, que en caso de ser ajustadas a estas permitía su liberación.

2.3.2.4 Generación y liberación de órdenes de compra de materiales y repuestos:

Una vez que la solicitud de pedido llegaba al Comprador Operacional, este debía realizar una cotización o licitación por los materiales y/o repuestos, para posteriormente generar una orden de compra correspondiente al proveedor seleccionado. Esta orden debía ser aprobada y liberada por el Contralor.

Este paso era más bien entre el comprador y el vendedor. A este último de forma interna se le podía solicitar documentación necesaria, como cumplimiento de ciertas normas, etc.

2.3.2.5 Recepción y almacenamiento de materiales y repuestos:

Cada material y repuesto que llegaba a la división era almacenado en la bodega "SA01", bodega general de la división. El primer paso era una verificación rápida, percatándose que viniera todo lo pedido y en las condiciones solicitadas, para posteriormente con su respectiva orden de compra ser ingresado al sistema y definiendo su estado como disponible. Posteriormente el personal encargado de bodega almacenaba el material o repuesto en su ubicación correspondiente en la bodega, a excepción de determinados ítems que se almacenaban en otras bodegas propias de la fundición y refinería.

2.3.2.6 Entrega y utilización de materiales y repuestos:

Para requerir un material para una actividad de mantenimiento se debía solicitar con movimientos propios del sistema SAP, los cuales originaban vales de salida como documentos de respaldo para que fueran entregados. También existían movimientos para poder regresar estos materiales, ya sea a la bodega misma o a los proveedores en determinadas circunstancias, todo esto con la misma orden de compra del paso anterior como respaldo.

Cabe destacar que la bodega de la Fundición y Refinería no operaba todos los días, por ende, se podían sacar materiales y repuestos, solo lunes, miércoles y viernes, y en determinados horarios.

2.3.2.7 Realización de conteo de Inventario:

Existían políticas internas actuales, que requerían que la bodega o los encargados al menos una vez al año realizaran un conteo de las existencias, pero en ocasiones no se realizaba sobre la base completa de repuestos y materiales, sino sobre un listado definido por la Contraloría de la división. Al realizar esto la bodega entregaba los valores contados al sistema, y actualizaba la información de lo que se encontraba disponible previa aprobación de los encargados de abastecimiento. Con esta actividad se podía obtener indicadores de gestión de la bodega, ver que tanta desviación existía entre lo real y lo que debería estar en existencia.

2.3.3 Aspectos de control de la gestión de inventario

Los procesos descritos en el punto anterior (2.3.2) eran la base de la gestión de inventario para la división e hipotéticamente, si se realizaban de la forma correcta, la gestión de inventario debía tener los resultados esperados.

Para identificar posibles desviaciones la empresa utilizaba KPI (Key Performance Indicator), es decir, indicadores clave de desempeño que le servían tanto para compararse de forma interna como para hacer benchmarking.

Los KPI reflejan si los resultados logrados mediante la gestión de inventario se encontraban dentro de los resultados esperados y, por ende, representan una herramienta importante al momento de llevar el control, y así mejorar de forma continua la gestión realizada.

A continuación, se mencionan los principales indicadores que se utilizaban para medir la gestión de inventario de la planta:

2.3.3.1 Nivel de stock promedio:

Este indicador entrega el valor promedio de los ítems almacenados en las bodegas. Se mide cada cierto plazo determinado previamente, según sea conveniente en base a la periodicidad de las evaluaciones y/o controles, y permite analizar el comportamiento global del inventario. Se puede medir de dos formas: en términos económicos evaluando el stock como valor monetario, o evaluándolo en cuanto a total de unidades, que no es lo ideal, pero sirve a modo comparativo.

Normalmente se esperaba que este nivel promedio se mantenga en el tiempo sin grandes desviaciones, salvo en aquellos casos que existiesen paradas de planta mayores para mantención o situaciones totalmente inesperadas, como razones climáticas, desastres naturales, etc. Este indicador, en teoría con el paso del tiempo podría ir aumentando debido a la obsolescencia y desgaste de los equipos, que se traduce en aumento de fallas, y reparaciones. Mediante lo anterior se tenía una primera idea de saber cuándo un equipo estaba generando excesivos gastos.

Este indicador también se podía llevar asociados a distintos subgrupos, como repuestos asociados a algunos equipos particulares, o a ciertas áreas de la planta.

2.3.3.2 Rotación de Inventario:

La rotación del inventario corresponde a la frecuencia media de renovación de las existencias consideradas durante un tiempo dado. Se obtiene al dividir el consumo (en este caso, los materiales y repuestos utilizados en mantenciones) y el valor del inventario promedio durante un período de tiempo determinado (usualmente de un año).

Es uno de los indicadores más importantes para evaluar la calidad de la gestión de inventario, y refleja la eficiencia con que una empresa maneja el nivel de existencias. En la industria actual se busca que este indicador sea lo más alto posible, pero en este caso para repuestos y materiales no es del todo recomendable, porque valores altos podría ocultar problemas más profundos o traer consigo quiebres de stock. Valores de este indicador bajo 1, nos pueden anunciar posible sobre stock, materiales sin rotación u obsoletos.

2.3.3.3 Stock sin rotación:

Este stock representa a aquel que no ha tenido movimiento (no utilizado) en cierto periodo de tiempo, dentro de esto se encuentran generalmente el stock de seguridad y lo que se conoce como stock muerto u obsoleto.

Era importante identificar aquellos que corresponden a stock muerto u obsoleto, que por lo general no tienen movimiento en años, para buscarles una salida de bodega, ya sea como desecho o como una potencial venta, para recuperar parte del valor invertido en estos. Lo anterior, debido a que tener estos repuestos o materiales obsoletos almacenados significaba pérdidas por los costos asociados a mantenerlos.

Teniendo bien definido los valores de stock de seguridad, resultaba más sencillo identificar estos ítems obsoletos.

2.3.3.4 Nivel de Servicio:

El nivel de servicio en términos prácticos nos indicara la probabilidad de que, al requerir un material o repuesto, esté disponible en las cantidades deseadas. Lamentablemente, solo contando con un inventario prácticamente ilimitado se puede garantizar que un producto se encuentre disponible en absolutamente todas las oportunidades en que es solicitado a lo largo de su vida, aunque esto es, en la práctica, imposible. Es por esto que las organizaciones deben fijar un nivel de servicio mínimo sobre el cual calcular la base del inventario a mantener, de modo de asegurar una disponibilidad de producto que satisfaga a los clientes, acotando al mismo tiempo la cantidad de inventario a mantener. El nivel de servicio establecido actuará como un porcentaje por debajo del cual todos los pedidos podrán ser abastecidos con el inventario existente. Una vez determinado el nivel de servicio que se quiere brindar, y suponiendo que la demanda es incierta y puede variar respecto de los pronósticos, se podrá calcular por medios estadísticos el inventario de seguridad que se deberá mantener de cada artículo, de modo de satisfacer el nivel de servicio propuesto. El nivel de servicio propuesto debe ser chequeado con el nivel de servicio real para poder hacer las evaluaciones respectivas de la gestión.

3.- EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIO EXISTENTE

La evaluación de la gestión de inventario correspondía a un diagnóstico de la situación existente (año 2016-2017) en la empresa, con el fin de determinar las brechas de desempeño con respecto a la situación ideal o esperada, y tomar decisiones en la dirección deseada.

3.1 Evaluación del Control de Gestión de Inventario:

3.1.1 Medición de KPI:

En este punto se analizaron los principales indicadores comentados en el capítulo anterior, los que son obtenidos por los responsables de la gestión de inventario de la empresa, con ayuda del sistema informático e informes.

3.1.1.1 Nivel de stock promedio:

Este indicador se había comenzado a evaluar recientemente, pero se tenían datos de consumo de hasta 15 años hasta el momento de la evaluación. Con lo cual, se pudo analizar el comportamiento del nivel de stock promedio con gran cantidad de datos.

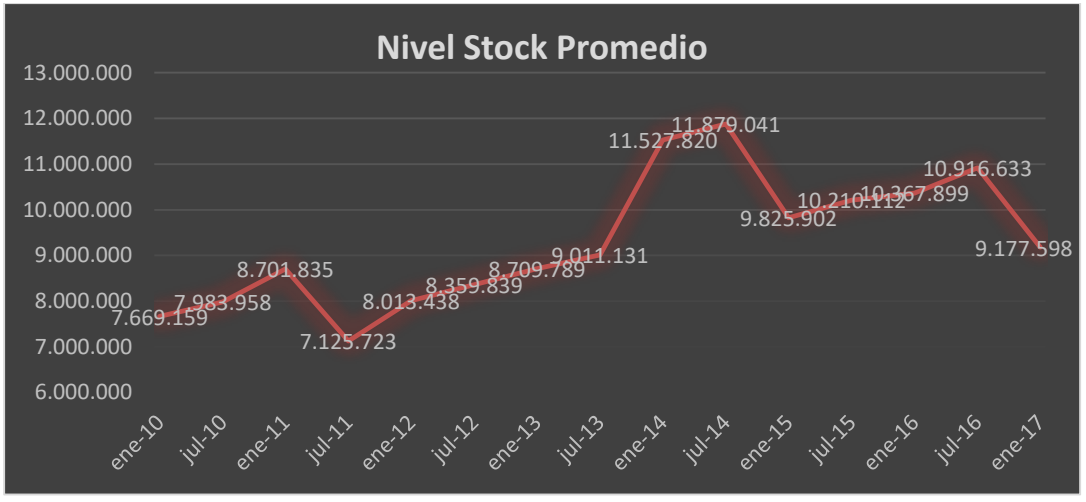


Figura 33: Nivel de Stock promedio durante los últimos años.

En el gráfico, se aprecia a simple vista que el comportamiento del nivel de stock promedio ha ido en alza paulatinamente a través del tiempo, lo que puede evidenciar la antigüedad de la

planta, que trae como consecuencia el aumento de las tasas de fallas de muchos equipos y componentes, ante lo cual se resguarda el funcionamiento con mayor nivel de stock de repuestos ante fallos.

Era importante corroborar a que se debían las acumulaciones de materiales y repuestos en inventario, con el fin de evaluar la situación y tomar posibles medidas si lo ameritaba. El aumento del nivel de stock promedio de ítems no es un acontecimiento favorable, por lo tanto, siempre se intentará evitar. Aquellos puntos donde se aprecia un aumento considerable del nivel de stock de repuestos se ha comprobado que se debía a que en aquel año se realizó una parada de planta completa y una mantención mayor, lo que trajo consigo el aumento de los requerimientos de repuestos y materiales de forma considerable.

3.1.1.2 Rotación de Inventario:

Este indicador era entregado directamente por el sistema informático, el cual calculaba la rotación de inventario semana a semana de forma automática, en base a las salidas netas de materiales y repuestos por semana (consumo por parte del equipo de mantención, que se asumía que es cuando salía el ítem de la bodega para ser utilizado) divido el valor monetario promedio del inventario almacenado en la bodega en aquella semana. Al sumar la rotación de 52 semanas consecutivas se obtenía el grado de rotación anual, y así para los distintos períodos que se requiriera evaluar.

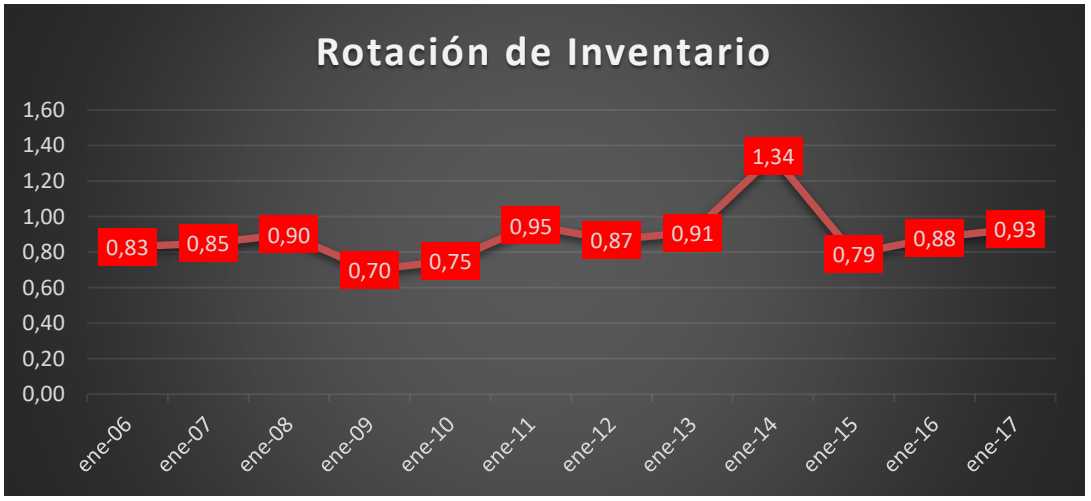


Figura 34: Rotación de Inventario durante los últimos años.

Tal como se señaló anteriormente, lo ideal es tener un valor de rotación anual igual a 1 o mayor, para evitar tener material detenido o tener sobre stock. En el gráfico se aprecia que la rotación anual de los últimos años no había logrado superar este valor, por ende, se podía concluir que existía un gran valor monetario en ítems que no habían tenido movimiento, y es importante saber si valía la pena que estuvieran almacenados.

Con este indicador acontece lo mismo que en el caso anterior, que sufrió alteraciones debido a las paradas de planta llevadas a cabo el año 2011 y 2014, en donde aumento la rotación producto del consumo de ítems, algunos especialmente comprados para aquella ocasión.

Este indicador tiene más preponderancia cuando se tratan de inventario de productos, ya sea intermediarios o terminados, ya que en estos casos la rotación tiene estricta relación con la rentabilidad de la empresa.

3.1.1.3 Stock sin rotación:

Se procedió a obtener los historiales de consumo de los repuestos y materiales, separando aquellos que no presentaban consumo en las siguientes tres categorías:

- Materiales y repuestos que no habían registrado movimiento hace 20 años o más.
- Materiales y repuestos que no habían registrado movimiento entre 10 y 20 años atrás.
- Materiales y repuestos que no habían registrado movimiento entre 5 y 10 años atrás.

Luego se continuó realizando una priorización de los ítems por cada clasificación, según el valor monetario que significaban del total, realizando un diagrama de Pareto. Esto con tal de identificar los materiales y repuestos que más importancia tenían en términos económicos, para llevar a cabo un análisis pertinente de cada uno, verificando si realmente al mantenerlos almacenados generaban algún respaldo a equipos, si eran repuestos obsoletos o acontecía alguna otra circunstancia.

Con esto se pudo comprobar que existía una gran cantidad monetaria en ítems que no tenía movimiento hace más de 5 años, y de no haber sido repuestos estratégicos, significaban un gran potencial para disminuir los costos asociados a mantener inventariados estos, inclusive

en algunos casos pudiendo recuperar parte de la inversión al venderlos. Los valores y tablas asociados a esto se encontrarán más adelante con mayor detalle.

Finalmente se generó un listado con los ítems más importantes para posteriormente poder corroborar la información, y tomar las medidas pertinentes.

3.1.1.4 Nivel de Servicio:

Este indicador se medía mes a mes en la planta mediante el software de gestión. Ante una solicitud para retirar materiales y repuestos de bodega, se ingresaba como información al sistema si pudo ser completado o no el requerimiento, según el stock disponible.
Esta evaluación era de carácter genérico, y no se realizaba por ítem, ni por área, y no se especifica ninguna característica, es decir se evaluaba el cumplimiento general de la bodega frente a la solicitud. En términos más simples serían los pedidos de materiales y repuestos entregados satisfactoriamente, frente a las solicitudes realizadas para ser utilizados en mantenimientos, ya sea programados o no. Generalmente el nivel de servicio estaba bajo lo esperado por los directivos de la división, rondando cifras entre 80-87%, y se buscaba superar estos valores al menos llegando a un 90%.

3.1.2 Evaluación de Sistema Informático de Gestión de Inventario:

El sistema informático de gestión de inventario, como se mencionó, era mediante el software SAP, el cual es una de las mejores soluciones existentes hasta la actualidad para las circunstancias y necesidades de la empresa, abarcando un sin número de operaciones en pro de mejorar la gestión de inventario.

En este caso, la herramienta no era aprovechada en su total potencial, debido fundamentalmente a la falta de conocimientos y al limitado manejo que tenían los usuarios de la misma. Esto se traducía en inputs al sistema deficientes o inconsistentes, o inclusive inexistentes, lo que dificultaba obtener resultados concluyentes. En este aspecto existían algunas malas prácticas identificadas que se comentarán en detalle más adelante.

Las limitantes venían de la mano de los usuarios, que por lo general solo manejaban acciones u operaciones limitadas dentro del SAP. Es importante que el personal asimile la importancia de utilizar correctamente esta herramienta, fundamental hoy en día para una correcta gestión de la cadena de abastecimientos, y sean capacitados para explotar su potencialidad.

Cabe recordar que el sistema SAP en este caso, era la principal herramienta de control de la gestión de inventario, desde donde se originaban la mayoría de los reportes y evaluaciones, de las cuales surgían muchas decisiones importantes.

3.2 Evaluación de la planificación y procedimientos de gestión de inventario:

Evaluar la planificación era clave para tomar algunas medidas que generarían mayor impacto a corto plazo, tales como definir el inventario a mantener, establecer si las políticas de reposición de repuestos eran las adecuadas, proponer cambios en procedimientos, etc.

El pronóstico de la demanda venía dado por la parte administrativa de CODELCO, como casa matriz, en base a los contratos comerciales que tienen con sus clientes, pero el objetivo como planta siempre será producir el máximo posible, es decir tener funcionando la planta 24/7, teniendo establecido un nivel mínimo deseado de producción anual.

Por este motivo, el aspecto del pronóstico de la demanda y los métodos de pronóstico utilizados no se evaluaron, además de que la información y posibles reparos no eran controlados por división Salvador, sino que como corporación.

3.2.1 Identificación y evaluación de inventario existente:

Durante la evaluación división Salvador contaba con un listado de Repuestos, Materiales y componentes que se resumía en:

Tabla 5: Información general de repuestos y materiales en inventario.

N° Ítems	N° Ítems sin stock	Valor Monetario en Stock
21.464	16.510	10.916.633 USD.

*No se adjunta la cifra total de repuestos en stock debido a que no se miden todos en las mismas unidades (kilogramos, unidades, galones, etc.)

** Estos valores son a la fecha de junio del 2016

Ahora era importante identificar a que equipos o máquinas sustentaban estos repuestos para validar si realmente merecían estar en stock, ante lo cual surgía un gran problema: los repuestos y materiales no tenían ninguna asociación directa a sus respectivos equipos en el sistema informático de gestión, por ende, era imposible relacionarlos. Solo los planificadores y jefes de área tenían cierto grado de conocimiento por experiencia, pero no existía ninguna base técnica ni digital que lo avalara.

El listado de repuestos y materiales o poseía una clasificación de criticidad ABC de los repuestos que se desglosaba de la siguiente forma:

Tabla 6: Clasificación según criticidad de repuestos y materiales en inventario.

Criticidad	Cantidad Materiales y Repuestos	Valor Total en Stock
A	170	2.709.486 [USD]
B	348	872.249 [USD]
C	12.760	4.502.574 [USD]
S/clasificación	8.186	2.832.324 [USD]

* Estos valores son a la fecha de junio del 2016

Esta clasificación de criticidad de los repuestos, según la dirección existente, no tenían claridad cómo se originó, ni en base a qué criterios (no era por consumo anual ni por el impacto de no tener disponible el repuesto). Esto se reflejaba en la cantidad de ítems sin clasificación y a discrepancias que surgían al ver ítems definidos como estratégicos en clasificación C.

Esta clasificación de criticidad se debía volver a establecer en base a criterios actualizados, en acuerdo con el personal encargado de la gestión de inventario y mantenimiento.

3.2.2 Identificación y evaluación de políticas de gestión de inventario:

Cabe señalar que la planificación de repuestos y materiales, dependía tanto del área de mantención como de abastecimiento. Estas dos áreas trabajaban tanto por separado como en

conjunto para planificar aquello que debía estar o no disponible, y establecer cuándo serían requeridos los ítems.

Por un lado, el área de mantención es la que demanda los repuestos y materiales, ya sea para mantenimientos correctivos o preventivos, o alguna circunstancia particular. Por este motivo el tener o no repuesto, dependerá principalmente de la gestión del personal de mantenedores, y los planificadores deberán a comenzar a gestionar para que los repuestos y materiales estén al ser requeridos. Estos equipos de trabajo son aquellos que mejor manejaban los requerimientos y bases técnicas de los procedimientos a ejecutar.

El procedimiento de gestión no dependía solo de mantención, abastecimiento tenía mayor injerencia en la etapa final, que vendría siendo el lazo cliente-proveedor, con los acuerdos de compra, los plazos establecidos, la elección de los proveedores que participan en las licitaciones, la recepción de los pedidos, pero claramente también son responsables de que el repuesto y/o material esté disponible cuando se requiera.

Adicionalmente, abastecimiento analizaba los comportamientos o tendencias de consumo de algunos repuestos, intentando adelantarse a las necesidades que tendrían los equipos de mantención, para así contar con los repuestos. Esto lo realizaba tanto de forma independiente como bajo el apoyo de la superintendencia de mantención, teniendo en cuenta las limitantes de costos y espacios físicos, que muchas veces no consideraban los equipos de mantención. Claramente estas dos áreas deben trabajar en conjunto para lograr tener los repuestos y materiales cuando se requieran, intentando optimizar los recursos.

Una vez aclarado esto, abastecimiento tenía definido 3 métodos de reposición para sus ítems:

- Reposición automática de una cantidad pre establecida del ítem al alcanzar un nivel mínimo de existencias o punto de reposición, gestionado automáticamente por SAP. Esto generalmente se realizaba para repuestos con altos índices de consumo.

- Reposición manual mediante la cual, los jefes de área o mantenedores ejecutaban las transacciones para poder solicitar repuestos (previa aprobación del personal pertinente). En este aspecto existen dos variantes: una es que los pedidos se realizaban en base a

cantidades calculadas para optimizar los costos (lote económico de compra generalmente) o la segunda, era realizar los pedidos en ciertas cantidades definidas de forma prácticamente arbitraria según lo que el personal encontraba pertinente, no teniendo mayor control que la autorización entregada según el monto del requerimiento.

- Pedidos excepcionales para comprar ciertos repuestos o materiales que no estaban codificados, o que nunca antes habían tenido fallos. Este aspecto se ejecutaba ante la falla, y se estaba trabajando en sistemas de alerta temprana (mantención predictiva) para no quedar descubiertos en caso que sucedan. Esto también aplicaba cuando los repuestos requerían condiciones especiales de almacenamiento (temperaturas, espacio físico, humedad) que no se podían lograr en la bodega existente, o para aquellos que se tenía establecido por abastecimiento que el stock ideal a mantener era cero, por presentar impactos de baja repercusión (no afectan la producción, ni seguridad ambiental o del personal).

Como se mencionó en esta sección, casi la totalidad de los repuestos y materiales se reponían bajo las modalidades descritas, definiendo casi siempre las cantidades (tamaño de lotes) y puntos de pedido bajo el modelo simple de lote económico de compra. Sin embargo, la fijación de estos parámetros se había realizado en ciertas condiciones existentes en un momento determinado, y no habían sido actualizadas ni corroboradas con el paso del tiempo, en función de la realidad operacional existente a la que estaban sometidas los equipos.

Ahora bien, la definición de estos parámetros estaba ligado concretamente a mantenimientos correctivos. Hoy en día, por la aparición de los mantenimientos preventivos y predictivos la planificación de repuestos y materiales cambia, inclusive pudiendo ser anticipados los requerimientos tanto en cantidades como el momento en que serán utilizados. Estos cambios que son producto de la innovación, no habían sido considerados en los análisis existentes, ni en la definición de las políticas de inventario establecidas.

No obstante, la planificación de repuestos y materiales en términos prácticos había tenido resultados aceptables al cumplirse las metas de disponibilidad y nivel de servicio de los equipos en los últimos años, esto debido principalmente al sobre stock de repuestos y materiales

existentes, pero sin considerar los impactos económicos que esto traía consigo (no teniendo una visión global de los resultados).

Era importante estandarizar los criterios para establecer el stock a mantener, los puntos de pedido y stock de seguridad, según fuera el caso.

3.2.3 Identificación de malas prácticas en procedimientos:

Este punto era muy relevante, ya que se pudieron identificar falencias que podrían ser reparadas con modificaciones sencillas, que podrían no involucrar inversiones de recursos, ya sea humanos o económicos.

3.2.3.1 Codificar ítems sin tener asociación a equipos

Una de las principales falencias que se detectó era no tener un listado completo de repuestos y materiales con una identificación directa a que equipo(s) pertenecían, con lo cual se dificultaba una gestión efectiva. También era primordial a la hora de realizar pedidos, y muchos procesos se simplificarían teniendo esta conexión.

Cabe recordar que muchos equipos de la planta tenían bastante antigüedad, inclusive algunos fueron diseñados en terreno, por lo cual no se contaba con manuales, catálogos, ni material que nos permitiera tener conocimiento de los repuestos y materiales de cada activo. Con esta acotación, debía ser más importante contar con estos vínculos técnicos.

3.2.3.2 Codificar repuestos y materiales sin homologación

Existían repuestos o materiales en el listado maestro que se encontraban duplicados con distintas codificaciones, inclusive sabiendo que esto acontecía, no habían sido homologados para unificar la información en un solo código. Esto se daba por distintas circunstancias, sobre todo por lo explicado en el punto anterior sobre la vinculación de equipos a los repuestos y materiales, solicitándose ítems que se pensaba que nunca se habían pedido, o porque existían ítems que sirven para más de un equipo (las órdenes históricas de compra estaban asociadas a los equipos, pero no en un listado maestro).

Era importante tener códigos únicos que engloben toda la información, para que los análisis tuvieran la precisión buscada, y los resultados fueran los deseados.

3.2.3.3 Recepcionar directamente de los proveedores

Ocurrían casos aislados en que los repuestos y materiales no eran entregados directamente a bodega, como debiese haber sido el procedimiento correcto, y se entregaban en terreno a los equipos de mantenedores o jefes de área (sobre todo se daba en pedidos urgentes). Esto creaba vacíos de información, como tiempos de entrega, verificación del cumplimiento de proveedores, estado de repuestos y materiales, cantidades entregadas, lo que se traducía en información deficiente en el sistema SAP. Esto generaba además complicaciones en el sistema, que no registraba el ingreso de repuestos y materiales que, si aparecían registrados en las facturas de compras, creando mayores problemas en los canales normales de funcionamiento.

Producto de este tipo de situaciones a veces ocurrían casos insólitos, en los cuales existían repuestos o materiales que se extraviaban, o simplemente no se sabía dónde se encontraban almacenados a la hora de ser requeridos para realizar la respectiva mantención.

3.2.3.4 Mantener codificados repuestos o materiales de equipos obsoletos

Tal como en el caso anterior, el no haber tenido los repuesto ni materiales asociados a los equipos, traía consigo consecuencias como haber mantenido codificados ítems de equipos que ya no se encontraban operando en la planta, inclusive desechados hace más de 5 años. Esto generaba información sin ninguna utilidad, y solo dificultaba prestar atención a lo realmente importante.

En relación a esto, existían ítems que aun presentaban stock y no se había podido identificar producto a la falencia descrita. Era importante tomar medidas con respecto a esta situación, debido a que mantener almacenados estos ítems significaba un costo que no traía beneficio.

3.2.3.5 Realizar ajustes de inventarios con movimientos que no corresponden

El ajuste de inventario correspondía a igualar el stock físico al registrado en el sistema SAP, si bien estos debiesen ser iguales en todo momento, esta situación no se veía reflejada en la realidad, existiendo tanto excesos como déficit de materiales registrados comparado con los que realmente estaban disponibles.

Existían dos movimientos importantes, que eran las entradas de materiales o repuestos a bodega, y la salida de materiales o repuestos de bodega, los cuales tenían una clase de movimiento (código en SAP) designado. En ocasiones, producto de situaciones como el extravío de repuestos o materiales, deterioro, entrega en terreno o algún otro acontecimiento, se creaban ordenes de trabajo ficticias para registrar esta información de entrada o salida, según sea el caso, simulando que fueron utilizados en una mantención, o entregados a bodega por un proveedor, y no como realmente sucedió. Esto creaba información errónea, problemas de contabilidad, entre otros problemas, que no eran posibles identificar, debido a que no existía como identificar estos movimientos ficticios, utilizados por ciertos miembros del equipo. Además, al ser casos aislados, no se podía asumir márgenes de error, ni probabilidades de ocurrencias para tenerlo considerado.

3.2.3.6 Manipulación de datos para mejorar KPI

Se daba en ocasiones que la información, se manejaba a criterio del personal en pro de obtener mejores indicadores de performance. Por ejemplo, en vez de ingresar cierta información de utilización de materiales o repuestos cuando correspondía, se aplazaba (o adelantaba) para no variar ciertos valores de consumo, o algún otro parámetro relevante.

Esto les restaba validez a los indicadores medidos, y era algo totalmente evitable.

3.2.3.7 No eliminar solicitudes de compra sin tratar

Había casos en los cuales se liberaban órdenes de compra, llegando a los proveedores, los cuales en ocasiones no respondían a los requerimientos. Ante esta situación, generalmente se procedía a solicitar lo mismo a otro proveedor, pero no se realizaba el paso de cancelar la

orden de compra anterior, quedando ésta abierta hasta que eventualmente el proveedor cumplía el requerimiento.

Esto podía generar que se compraran repuestos o materiales de forma paralela en dos proveedores distintos, excediéndose las cantidades necesarias.

Debería existir una persona a cargo de vigilar estos procedimientos, y realizar un control sobre esta gestión para que esto no ocurra. En términos prácticos, deberían existir indicadores sobre el nivel de cumplimiento de los proveedores sobre los requerimientos, tanto para que no ocurra esto como para desechar aquellos proveedores que presentan bajos niveles de cumplimiento. Así se demostraba la existencia de falencias en la planificación.

3.2.3.8 No utilizar repuesto en mantenimiento existiendo una solicitud previa

En ciertas circunstancias se solicitaban repuestos o materiales a bodega para ser utilizados en un mantenimiento, y se daba la situación de que no eran utilizados por alguna circunstancia. El problema radica cuando este repuesto que no era utilizado, no era devuelto a bodega y terminaba almacenado en otro lugar (o extraviado). Esto generaba un desorden enorme de información, debido a que no existían registros en el sistema de que este ítem se encontraba en stock, pudiéndose en algunos casos volver a pedirse, siendo que aún había existencias.

Este hecho ocurría habitualmente. Ciertos jefes de área se respaldaban de ciertos repuestos y materiales, manteniéndolos almacenados fuera de bodega sin existir registro de esto en el maestro de materiales, y así conseguían un respaldo adicional al formal.

3.2.3.9 Comprar materiales de forma excepcional y no utilizarlos

Se daba en muy pocas ocasiones esta situación, pero existían casos, donde se solicitaban materiales o repuestos de forma excepcional, y no eran utilizados, inclusive no sirviendo para la actividad que supuestamente respaldaban. Esto generaba costos que no traían ningún beneficio, y no debía ocurrir bajo ninguna perspectiva.

Esto es un error grave de planificación, y son costos adicionales que en el día a día van sumando, y logran alejarnos de los objetivos propuestos.

3.2.3.10 Falencias de operación de la bodega

Una situación insólita ocurría con la bodega de materiales y repuestos. La bodega contaba con personal de una empresa externa, la cual definía sus normas y reglas específicas. El hecho es que la bodega no funcionaba todos los días ni en todo horario, inclusive existiendo días (martes y jueves) en que no existía forma de extraer ciertos repuestos o materiales necesarios producto que no había personal operando en esta. Esto bajo ningún punto de vista debería ocurrir, por muy buena planificación que se lleve a cabo.

En ciertos casos, el personal de bodega declaraba haber entregado ciertos ítems, lo que, en la realidad no había ocurrido, teniendo la documentación que comprobaba la situación. Esto generaba fuertes conflictos entre ambas áreas que defendían sus propios intereses.

3.2.4 Evaluación de los procesos de la gestión de inventario:

Los procesos de gestión de inventario, descritos en el punto 2.3.2, eran los adecuados en cuanto a su configuración, pero los problemas existentes eran en su funcionamiento y aplicación, debido principalmente a falta de estándares o desconocimiento de estos.

Estos procedimientos no se encontraban propiamente documentados, pero al ser gestionados mediante el SAP, eran dirigidos por la interfaz entre el sistema informático y el usuario. Es decir, estaba elaborado para que el sistema mismo vaya guiando al usuario en el paso a paso de forma secuencial, ingresando la información exigida por el sistema según sea el caso. Por ejemplo, no se podía generar una orden de compra para un repuesto o material que no estuviera codificado en el sistema.

Es importante comentar que el sistema anteriormente, al momento de codificar un ítem no solicitaba tanta información como hoy en día, que es clave para la gestión de inventario, por ende, una revisión de esto en detalle podría genera oportunidades.

Por lo tanto, al momento de realizar la evaluación el sistema exigía el ingreso de información por parte del usuario, pero no discriminaba la fidelidad que tenían estos datos. De esta forma, ante datos poco confiables se producían distorsiones de la información, resultados, etc., lo que repercutía claramente en la gestión de inventario. Junto con ello, los procesos en algunas ocasiones eran ejecutados por personal al que no le correspondía realizarlo (reemplazos, operadores, practicantes inclusive), los cuales no eran controlados al realizarlo por un encargado responsable

Los problemas más comunes se debían a la multiplicidad de usuarios, la falta de estandarización y sin dudas la pobre información que manejaban o les habían entregado, lo que se traducía en criterios dispares al plantear objetivos e ingresar la información al sistema.

Con respecto a la planificación de la gestión de inventario, dada la naturaleza de la planta y a la distribución del equipo de mantenimiento en áreas, surgían distintas configuraciones de planes de mantenimiento, a pesar de tener los mismos objetivos. En cada área existían distintos equipos y maquinarias que requerían distintas estrategias de mantención, ante lo cual no existían criterios únicos para la gestión de sus repuestos y materiales.

Muchas veces estas diferencias generaban en los mantenedores cierto grado de incertidumbre que los hacía intentar tener el máximo de repuestos en stock disponible, para respaldarse ante eventualidades, no siendo el objetivo único.

Un punto no mencionado, y que es relevante es el conteo de inventario, el cual se debía realizar por protocolos establecidos al menos una vez al año. Sobre este conteo también existían falencias, ya que habitualmente no se realizaba un conteo de todos los repuestos y materiales, sino que se hacían análisis de muestreo de ciertos ítems escogidos de forma aleatoria. Por este motivo en muchos casos no se detectaban las falencias al ser escogido ítems de forma arbitraria. Este proceso también se debía estandarizar y mejorar su ejecución, ya que era una herramienta importante de evaluación del funcionamiento de la bodega.

3.2.5 Evaluación de la estructura organizacional de la gestión de inventario:

Cabe señalar que CODELCO es una gran empresa a nivel nacional que cuenta de 9 divisiones (considerando Casa Matriz), las cuales se administran de una misma manera en cuanto a estructura organizacional. Es por este motivo que tanto los cargos, funciones, relaciones jerárquicas, y las responsabilidades de cada cual se encontraban definidas claramente, y era un tema donde no se permitía hacer comentarios ni modificaciones.

Es por ello que los problemas detectados radicaban en la ejecución de las funciones, y el incumplimiento de la configuración asignada de manera formal, tanto en responsabilidades como en tareas asignadas.

Gran parte de estas dificultades surgieron de las modificaciones que ha sufrido la estructura organizacional de división Salvador los últimos años, producto del constante rediseño que conllevan los planes de reducción de costos ejecutados, que se tradujeron principalmente en la reducción del personal, y la modificación de ciertos puestos de trabajo.

Esta reducción de personal generó gran desorden en temas organizacionales, surgiendo dualidad de funciones en personal para poder realizar las mismas tareas con un personal más acotado (limitante de recursos humanos) y principalmente por el desconocimiento tras estas acciones de cambio implementadas desde niveles gerenciales.

4.-PROPUESTA DE PLAN PILOTO DE MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIO

En base al diagnóstico y evaluación de la gestión de inventario, se puede señalar que existían brechas entre la situación existente en la división Salvador, y los resultados esperados por la administración ejecutiva y operativa.

Esto se evidenciaba en hechos tan simples como los KPI medidos, las malas prácticas identificadas, entre otras falencias perfectibles que alejaban a la empresa de ser líder en estos ámbitos de gestión.

Por este motivo era importante elaborar una propuesta de plan piloto de mejoramiento de la gestión inventario, que permitiera aprovechar las oportunidades de mejoras detectadas. Este plan debía constar de lo siguiente:

- ✓ Posibles áreas de mejora en cuanto a la gestión.
- ✓ Objetivos de las posibles mejoras.
- ✓ Acciones a ejecutar para lograr las mejoras.
- ✓ Responsables de la ejecución de estas acciones.
- ✓ Recursos destinados para la ejecución.
- ✓ Plazos de ejecución.
- ✓ Indicadores de logro sobre estas acciones.

Las áreas de mejora identificadas fueron las siguientes:

- Control de la gestión de inventario.
- Planificación de la gestión de inventario.
- Organización de la gestión de inventario.
- Procesos de la gestión de inventario.

A) Control de la gestión de inventario

Objetivos:

- Lograr mejorar la calidad de la información ingresada al sistema informático SAP lo cual se traduciría en un mejor control y seguimiento de todas las etapas de la gestión de inventario.

- Contar con herramientas más sólidas para controlar y cuantificar la gestión de inventarios, acortando los plazos de análisis para la toma de medidas.

Acciones o medidas:

- Proposición y medición de nuevos indicadores para medir la gestión de inventario (KPI), y así complementar con los existentes. Esto permitiría un mayor nivel de control y cuantificar mejor ciertos parámetros de la gestión de inventario. Estos serían los siguientes:

  Consumo v/s Aprovisionamiento

  Este indicador es importante para evaluar si los ingresos a la bodega SA01, concuerdan con los egresos de la misma. A la vez, permitiría un monitoreo general de los pedidos en forma automática. En este caso se debe comparar el valor de los ítems que ingresan a la bodega, con el valor de los ítems utilizados en las mantenciones o instalaciones en la planta en cierto periodo de tiempo

  Para evaluar este indicador, se analiza como una tendencia, ya que lo más común es que los ítems no se utilicen exactamente cuando fueron comprados, en algunos casos pueden estar almacenados por años, o pueden existir paradas de planta donde se consumen excepcionalmente más repuestos y materiales de lo que se compran. De este modo, este indicador permite identificar posibles acumulaciones excesivas o falencias de materiales y/o repuestos en las bodegas respectivas.

Este indicador complementa a los indicadores de rotación de inventario, sobre todo en empresas donde el inventario no consta de productos intermedios ni terminados, sino que son herramientas para la actividad de mantenimiento.

Cumplimiento plazos de entrega:

Este indicador mide la eficiencia de las empresas que prestan servicio (le venden los materiales y repuestos) a la división, y se calcula sacando el porcentaje del número de pedidos entregados en el plazo previsto contra el número total de pedidos recibidos.

Esto permitirá tomar medidas con respecto a los proveedores, como fijar ciertas multas por demora en las entregas o cambiar a aquellos que no cumplen lo establecido con tal de lograr los objetivos fijados. Los proveedores, como se señaló anteriormente deben estar acoplados a los objetivos de la organización a las cuales abastece.

Precisión en la Gestión de Inventario (IRA):

El IRA ("Inventory Record Accuracy") es clave para evaluar el conteo de inventario.
Se debe realizar de forma periódica en plazos previamente establecidos, generalmente cada un año, o la periodicidad con que se realice el conteo.

Este indicador expresa la precisión media del inventario, identificando el porcentaje de diferencia entre el total de los ítems registrados en el sistema y el total de los ítems existentes (contados).

Lo ideal es que no exista diferencia entre los registros y lo disponible, por ende, que el indicador sea igual a 0. Esto se da en muy pocas ocasiones, pero es una de las metas de la gestión de inventario, por lo tanto, en cada iteración es importante disminuir este valor y detectar las falencias que originan la desigualdad.

$$\mathbf{IRA} = \frac{\mathbf{Número\ de\ ítems\ con\ diferencia} \times \mathbf{100}}{\mathbf{Número\ de\ ítems\ contados}}$$

Quizás en algunos casos se tenía noción de estos indicadores, pero no estaban definidos ni eran medidos con tal de tener un control de estos parámetros.

- Fijar reuniones periódicas para analizar los indicadores obtenidos, y realizar oportunas correcciones para mejorarlos en caso de ser necesarias. Es vital concretar acciones producto de las mediciones de los indicadores de performance, cuando están desalineados de los resultados deseados. Podría ser una reunión mensual breve, con informes asociados para tener registros, que permitan y facilitan hacer proyecciones con mayores plazos de tiempo.

- Otra actividad propuesta, es capacitar al personal de mejor manera para usar el sistema SAP, que tal como se señalo es una herramienta potente bajo una buena utilización. Los softwares en la actualidad sufren constantes actualizaciones, por lo tanto, el personal debería perfeccionarse de forma periódica o al menos tener asesorías sobre esto. Con esto se eliminaría una serie de dificultades que surgen por el desconocimiento y manejo limitado por parte de los usuarios. Adicionalmente esta actividad, permitiría complementar la actividad siguiente.

- Validar y ordenar la información existente en el sistema informático, complementando aquellos aspectos donde existan falencias de datos. Esta actividad requiere una importancia primordial y detallada, porque es la base de la gestión. Debe ser revisada la codificación de los ítems en el sistema, comenzando por aquellos que son más críticos para el funcionamiento de la planta.

Responsables:

- En el caso de mejorar la información del sistema, los responsables son todos aquellos usuarios del sistema SAP encargados de ingresar y extraer información del sistema. El compromiso debe partir con los líderes del manejo de esta información, para traspasarlo a todos los elementos de la organización, y debe surgir la colaboración y capacitación de aquellos grupos que presenten mayor déficit del manejo del software. La dirección y supervisión debe invertir y fomentar el crecimiento de esta herramienta fundamental.

- Los indicadores deben ser obtenidos por personal del área de abastecimiento, debido al mayor flujo de información que poseen, conociendo más detalles de cada compra y proveedores versus lo que maneja el área de mantenimiento.

- La solicitación de capacitaciones debe ser realizada por los superintendentes de las áreas, con tal de que en primer lugar la dirección tome en consideración la importancia de esta tarea. Luego se debe seleccionar en primer lugar al personal que mayor deficiencia tenga en este aspecto, y estén más involucrados en la interacción con el software, como podrían ser los planificadores de mantención.

Recursos destinados:

- Se debe invertir principalmente recursos monetarios y tiempo para capacitaciones. Esto dependerá de si se hace en tiempo laboral, y de que empresa entregue su servicio.

- No se necesita personal adicional para estas tareas, pero sí una participación más activa de los asesores de SAP existentes en la división.

Plazos establecidos:

- Lo ideal es trabajar en esto en un plazo de 3 a 6 meses, sin prisa, pero sin descanso. Es importante que esto se trabaje constantemente en el tiempo luego de su inicial implementación. Con el tiempo surgirán cada vez más herramientas y plataformas digitales que se deberán aprender a utilizar para obtener los mejores resultados.

Indicadores de logro de gestión:

- Los indicadores serán los mismos existentes, conjunto a los propuestos para implementar, los cuáles transmitirán el éxito de esta tarea.

- Además, se propone como idea, hacer pruebas del manejo de SAP para detectar falencias y una supervisión aleatoria de algunos ingresos de información al sistema. Esto se puede hacer de forma interna, o mediante auditorías.

B) Planificación de la gestión de inventario

Objetivos:

- Definir nuevas o mejores políticas de abastecimiento y reposición de repuestos para los equipos utilizados en la fundición y refinería de la empresa, enfocados en aquellos que son críticos para la operación.

- Disminuir los costos asociados a la gestión de abastecimientos existente, y si es posible aumentar los indicadores de rendimiento asociados a la mantención y operación de los equipos.

- Traspasar a todos los miembros del equipo de trabajo el objetivo detrás de la gestión de la cadena de suministro y los impactos operacionales que trae consigo.

Acciones o medidas:

- Rectificar el listado de repuestos, materiales y componentes que maneja el área de abastecimiento aclarando dudas detectadas en la evaluación. Antes de proponer cambios es importante limpiar esta base técnica. Para esto se debe tomar decisiones respecto a los ítems que no han tenido rotación en considerable tiempo, con el fin de deshacerse de ellos en caso que no ameriten estar presentes. Para lo anterior se debe hacer una verificación uno por uno de estos ítems para saber a qué corresponden.

- Crear una asociación directa entre los equipos y sus respectivos repuestos y materiales, esto mediante la creación u obtención de manuales técnicos, y a la vinculación de las ordenes de trabajo (donde están los consumos de ítems) a los equipos para detectar relaciones.

- Realizar un correcto análisis de criticidad de los equipos de la planta, creando un documento que permita catalogar de manera estándar a futuras adquisiciones, con los criterios utilizados. Idealmente en algún momento se debería hacer un análisis RCM de la planta, que derive en el análisis de los modos de falla de los repuestos críticos.

- Actualizar la política de inventario aplicando modelos actuales de gestión, para lograr desempeñar las actividades de mantenimiento ligados a estos equipos. Para esto se aplicará un modelo RCS, acorde a la evaluación y contexto operativo de la empresa, con todo lo que ello conlleva, desde la clasificación del inventario, hasta decisiones de cómo evitar mantener ítems almacenados.

- Fijar reuniones de planificación del inventario con presencia del área de mantención y abastecimientos logrando una mejor vinculación para obtener mejores resultados con respecto a la planeación de la gestión de inventario y al establecimiento de las formas de reposición de cada repuesto relevante (manual, automática o excepcional) con base a lo obtenido mediante el modelo RCS.

Responsables:

- Los equipos de mantenimiento y abastecimiento serán los principales responsables de ejecutar estas tareas. Esta misión depende de un equipo multidisciplinario que deberá trabajar en conjunto para poder ejecutar todas estas actividades, partiendo desde los planificadores, jefes de áreas, hasta incluso los gerentes de mantención y abastecimiento.

- La actividad de rectificar y actualizar el listado de repuestos con su asociación a los equipos será asignada a una persona del área de planificación que cumplirá con esta tarea de forma exclusiva hasta ser completada.
- El análisis de criticidad de equipos será elaborado por la jefatura de las áreas de operaciones y de mantención, con un encargado en particular que reúna esta información y establezca los criterios utilizados para hacer el análisis y los estandarice.

Recursos destinados:

- Los recursos utilizados en este caso son principalmente capital humano existente, pero con nuevas tareas específicas que quizás signifique durante un periodo de tiempo compatibilizar con otras actividades o simplemente trabajar en esto de forma exclusiva. En términos de costos económicos quizás es importante contratar a una persona que se dedique a implementar la metodología RCS

Plazos establecidos:

- Los plazos de ejecución de cada tarea serán distintos, por la profundidad que requieren estas. Para la actualización del listado de repuestos y la asociación de repuestos se propone como plazo 1 mes. En cambio, para la implementación de la nueva metodología de RCS se propone un plazo de 6 meses, desde la recopilación de información hasta la obtención de resultados.

Indicadores de logro de gestión:

- El principal reflejo de logros por la gestión será la mejora de los indicadores propuestos en el punto anterior, además donde más se espera ver reflejado es en la reducción de costos ligada a la implementación del nuevo modelo para establecer stocks y métodos de reposición de repuestos y materiales de la planta.

- Se debe corroborar posterior al plazo establecido están definidos los equipos críticos de la planta, con sus repuestos y materiales asociados, y clasificados según importancia.

C) Organización de la gestión de inventario

Objetivos:

- Aclarar las responsabilidades de los trabajadores con respecto a la gestión de inventario, para así aumentar la eficiencia y eficacia tanto individuales como grupales, las que debieran repercutir directamente en los procesos de la cadena.

- Evitar la dualidad de funciones e incumplimiento de tareas relacionadas a la gestión de inventario, debido a asignaciones estructurales formales con falencias comunicativas a través del tiempo, principalmente originadas por las continuas restructuraciones organizacionales debido a reducciones de personal para disminuir los costos.

Acciones o medidas:

- Establecer los límites de las funciones del personal relacionadas a la gestión de inventario en este momento, y replicable para cuando existan posibles nuevas restructuraciones que afecten a los trabajadores involucrados en el desempeño de estas tareas.

- Crear un organigrama de conocimiento público que sirva como guía para los trabajadores sobre con quien asesorarse y buscar ayuda para resolver dudas respecto a la gestión y funciones de cada personaje. Esto se podría complementar con una reunión donde estén presente la mayor parte posible de los involucrados

Responsables:

- En este caso los principales responsables de aclarar la situación son los gerentes y superintendentes de las áreas involucradas, quienes transmitirán la información desde la jefatura hasta los operadores finales del sistema, idealmente con retroalimentación de los mismos para ir llenando los vacíos y eliminando las dualidades que causan errores.

Recursos destinados:

- No se necesitan recursos económicos para resolver esta situación, solamente tiempo para la ejecución, y el recurso humano existente mejor aprovechado.

Plazos establecidos:

- El plazo para esto es de 1 mes.

Indicadores de logro de gestión:

- En este caso es una tarea difícil de medir de forma tangible, pero continuas evaluaciones de opinión e informes de las actividades desempeñadas por el personal, ayudarán a identificar si se han solucionado las dificultades o si existen avances.

D) Procesos de la gestión de inventario

Objetivos:

- Mejorar la ejecución y eficiencia de los procesos de la gestión del inventario. El buen desempeño en cada proceso colabora en los resultados globales.

- Lograr la estandarización de los procedimientos de la gestión del inventario, y que no existan dudas en los usuarios de que hacer frente a las posibles situaciones del día a día.

- Eliminar la multiplicidad de usuarios en el sistema informático SAP.

- Erradicar por completo las malas prácticas detectadas en la evaluación de la gestión actual en los casos que sea posible, sino minimizar los impactos que puedan tener aquellas que necesitan de un proceso para ser resueltas.

Acciones o medidas:

- Mejorar asignación de roles en el sistema SAP, las funciones permitidas para cada usuario según los movimientos que desempeña en su rutina diaria normal.

- Implementar realmente la retroalimentación al sistema. Cuando se detecte una anomalía ya sea de codificación, falta de información o datos erróneos generar los avisos pertinentes para que sean corregidos. Para esto se debe utilizar un canal formal, con tal de que los avisos lleguen a ser de utilidad.

- Proponer modificaciones de la operación de la bodega actual en temas de horario y tramitación de documentos de control, donde existen las falencias descritas en la evaluación. A estas herramientas de control, se les debe exigir la formalidad y el profesionalismo que requieren.

- La acción más importante es corregir las malas prácticas detectadas en los procesos de la gestión de inventario (problemas con la codificación, recepción de repuestos y materiales, uso de movimientos del SAP incorrectos, etc.). Es importante en una reunión comentar que estas cosas están aconteciendo y es insostenible continuar de este modo queriendo apuntar a ser una empresa líder.

Responsables:

- Los principales responsables de esto, es el equipo de mantenimiento, principalmente jefes de áreas y planificadores. Aunque en temas como la operación de la bodega, los responsables son personal externo, al cual se le debe explicar la situación o simplemente reemplazarlos por otra empresa que cumpla con estas condiciones.

Recursos destinados:

- Se debe corroborar posterior al plazo establecido están definidos los equipos críticos de la planta, con sus repuestos y materiales asociados, y clasificados según importancia.

Plazos establecidos:

- El plazo definido para esta lista de actividades es de 3 meses.

Indicadores de logro de gestión:

- En este caso los indicadores de logros serán intangibles, y determinado por informes del personal cuando se ejecutan cambios, y la misma retroalimentación señalada, que transmitirá el grado de conformidad de los usuarios con respecto al funcionamiento de los procesos involucrados en la gestión.

5.- IMPLEMENTACIÓN DE PLAN PILOTO DE MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE INVENTARIO

Posteriormente a la elaboración del plan piloto para el mejoramiento de la gestión de inventario, se procedió a definir qué actividades contenidas en este plan eran factibles de ejecutar según los plazos de extensión del proyecto de título (memoria), los recursos disponibles, tanto económicos como humanos, y las autorizaciones pertinentes.

Según esto se analizó que era factible realizar las siguientes actividades:

- ✓ Proposición y medición de nuevos indicadores para medir la gestión de inventario (KPIs), para complementar con los existentes.

- ✓ Actualizar la política de inventario aplicando el modelo de gestión RCS, acorde a la evaluación y contexto operativo de la empresa. Esto derivó en el desarrollo de otras actividades planteadas en el plan piloto, como lo eran la rectificación y actualización del listado de repuestos de los equipos (con asociaciones), análisis de criticidad de los equipos de la planta y de sus respectivos repuestos, cálculo de stock y puntos de pedidos para asegurar la disponibilidad para las actividades de mantenimiento.

- ➢ Erradicar por completo las malas prácticas detectadas en los casos que era posible, o al menos minimizar los impactos que tenían aquellas que necesitaban de un proceso para ser resueltas.

5.1 Medición e Implementación de nuevos indicadores de performance

Una vez que se definió las actividades a ejecutar, se realizó en primer lugar una reunión con el fin de implementar la medición de los nuevos indicadores de performance, para esto fue fundamental que participara personal del área de abastecimientos, y del equipo de mantención.

En la reunión se expuso y explicó en qué consistía cada uno de los indicadores, por qué era necesario implementarlos, cómo y cuándo se debían medir, cuáles eran los valores o rangos ideales. Además, se estableció en equipo que se espera obtener, posibles medidas de corrección, etc., además si es posible se intentará que sean calculados a través del sistema SAP.

Se estableció que el área de abastecimientos deberá encargarse de realizar las continuas mediciones de estos indicadores, pero fijará reuniones cada cierto periodo de tiempos con la supervisión de mantención para ir revisando en conjunto los resultados, y tomar medidas que alineen las actividades hacia los resultados esperados.

Los indicadores medidos actualmente también fueron comentados en la reunión, para ser valorados a la hora de realizar las evaluaciones, y que no solo fuesen estadísticas, sino que influyan positivamente en mejor la gestión. Se comentó el análisis realizado en la evaluación de los indicadores comentada en capítulos anteriores.

5.2 Aplicación Modelo Gestión de Inventario RCS

Luego se dio paso a comenzar el análisis del modelo de gestión de inventario, para establecer los métodos de reposición y fijación del stock de repuestos y materiales de la fundición y refinería de la División Salvador.

Dentro de la aplicación del modelo RCS, se incorporaron actividades importantes a implementar como lo eran el análisis de criticidad de los equipos de la fundición y refinería, la elaboración de un listado de repuestos y materiales asociados a estos, análisis de criticidad de los repuestos asociados a equipos críticos, aplicación de medidas que ayudarían a rectificar e incorporar más y mejor información al sistema SAP, y creación de informes técnicos con datos de respaldo. Se menciona esto porque no se detallaron explícitamente.

Para comenzar el análisis y aplicación del modelo, era clave obtener toda la información necesaria, y con el mayor detalle posible, para así tener una mayor precisión en los resultados.

¿Qué información era necesaria?

- Equipos operativos de la planta, así poder determinar cuáles eran críticos, para centrarse en analizar los repuestos correspondientes a estos.
- Información de los equipos críticos (vida útil, costos de detención, disponibilidad).
- Repuestos y materiales ligados a los equipos definidos como críticos.
- Información sobre estos repuestos (consumo, tiempos de entregas o lead time, precio, cantidad de proveedores, variabilidad de consumo y lead time, tasa de faltante tolerable, nivel de servicio).

¿Cómo se obtuvo la información?

Antes de obtener un listado de los equipos existentes en la FuRe, se dedicó tiempo a comprender el proceso operativo de la planta, el flujo desde la llegada de la materia prima (proveniente principalmente de la propia mina de Salvador) hasta la obtención del producto terminado (principalmente cátodos) para su posterior comercialización. Esto se muestra brevemente, a través de algunos layouts de procesos importantes de la fundición y refinería, que contienen equipos relevantes en el funcionamiento de la planta.

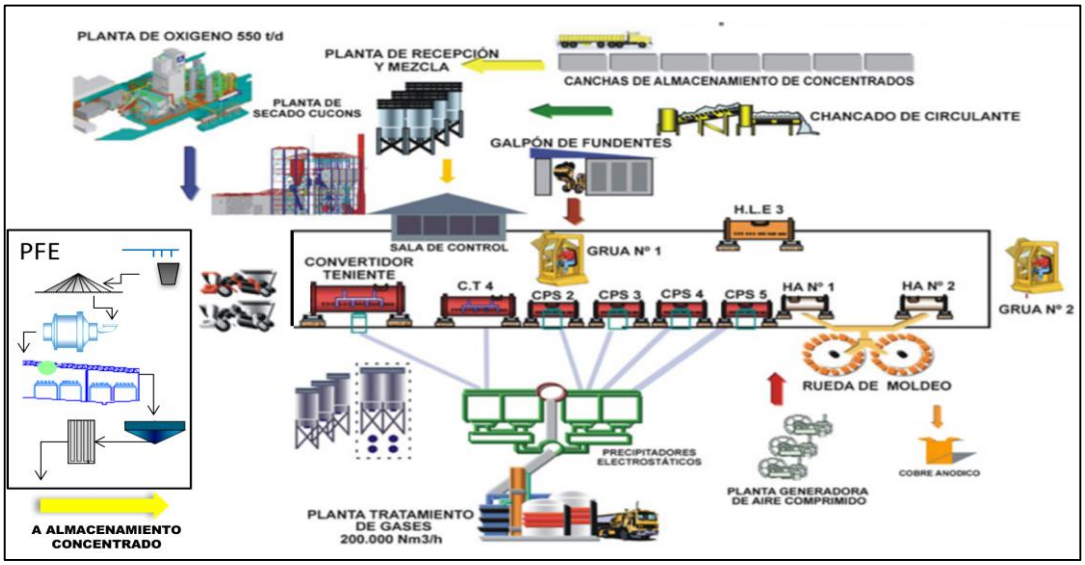


Figura 35: Layout Fundición.

El proceso de aprendizaje sobre la operación de la planta, comenzó con una etapa inductiva, donde se explicó los procesos que se llevaban a cabo, y posteriormente una etapa de conocimiento en terreno, siguiendo las etapas desde la materia prima hasta el producto final. Era importante lograr visualizar los equipos, y comprender la criticidad de estos, al no realizar

un análisis ni otra metodología específica para definir criticidad por temas de extensión del proyecto.

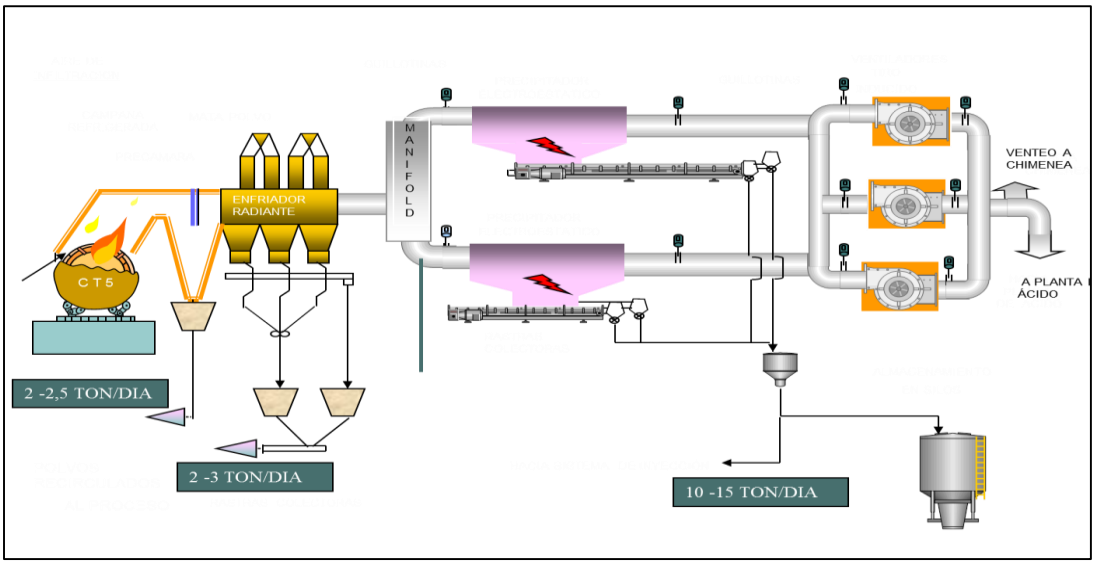


Figura 36: Diagrama Flujo Convertidor Teniente.

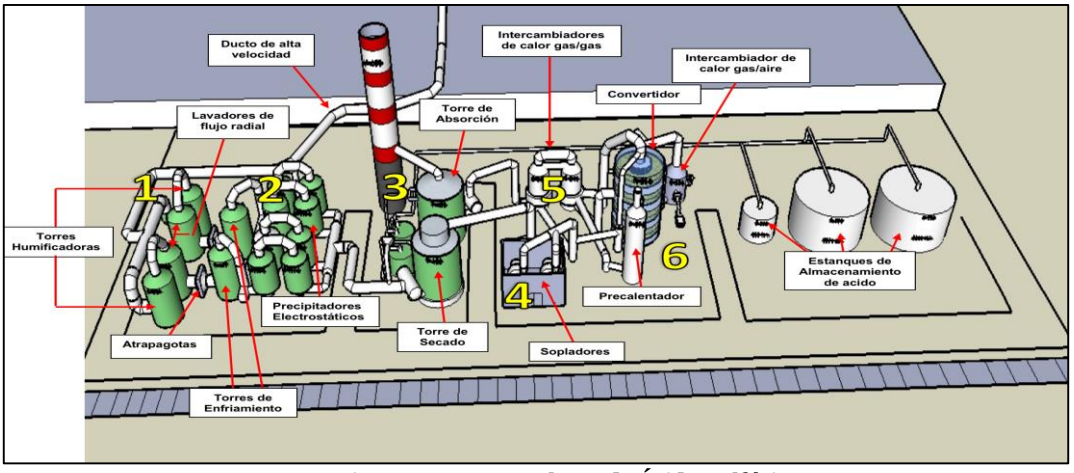


Figura 37: Layout Planta de Ácido Sulfúrico.

Para obtener un listado de los equipos, la mejor vía era mediante el sistema de gestión de información de la compañía, en este caso SAP, donde se encuentra cada uno de los equipos ligados a un código. No existía otra forma de identificar todos los equipos de la planta, al menos de una forma acotada y breve.

El listado contaba con todos los equipos históricos de la planta, encontrándose en ésta desde equipos operativos hasta equipos totalmente obsoletos. Aquí es donde se detectó la primera y

más visible oportunidad de mejora. Como indica la metodología "six sigma", es importantísimo siempre comenzar con las tareas que están más al alcance (lo más visible). En este caso, la primera medida fue enfocarse en los repuestos asociados a los equipos obsoletos, y tomando una medida frente a estos, que en términos prácticos solo generaban costos a la empresa estando almacenados (costos de mantención, costos de oportunidad, etc.), por ende, lo ideal era venderlos, o ver si la organización los podía reasignar a otra división donde pudieran tener utilidad, o simplemente desecharlos, pero que no significaran un costo de almacenamiento adicional.

Para identificar el estado de los equipos, fue necesario programar reuniones con los jefes de área o jefes de unidad de mantención (tanto mecánica como eléctrica), clasificando los equipos junto a este personal como Disponibles, No Operativos (aquellos que no estaban funcionando, pero se pensaba volver a poner en marcha), u Obsoletos. Para estos últimos, era importante definir si se encontraban o no en la planta (existentes o enajenados de la FuRe). Esto motivado por la conveniencia de vender un equipo con su kit de repuesto (aunque el equipo no esté en condiciones de operar), respecto a vender los repuestos por sí solos.

Figura 38: Extracto Listado de Equipos y su Estado.

De forma paralela se obtuvo un listado de todos los repuestos y materiales que se almacenaban

Ubicación Técnica	Denominación	Estado Equipo	Encargado de Área	Estado Equipo Obsoleto	Denominación2
S050	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 1 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S051	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 2 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S052	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 3 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S053	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 4 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S054	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 5 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S055	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 6 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S056	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 7 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S057	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 8 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S058	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 9 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S059	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 10 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S060	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 11 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S061	LOCOMOTORA TRANP. ESCORIA Nº 2 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S062	LOCOMOTORA TRANP. ESCORIA Nº 3 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S063	LOCOMOTORA TRANP. ESCORIA Nº 4 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S064	LOCOMOTORA TRANP. ESCORIA Nº 5 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S065	MONTACARGA ST-2	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Equipo Servicio
S066	MONTACARGA ST-3	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Equipo Servicio
S067	MONTACARGA ST-4	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Equipo Servicio
S068	MONTACARGA ST-5	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Equipo Servicio
S069	CARRO TRANSPORTE ESCORIA Nº 12 (BLOQ)	Obsoleto	José Zepeda	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S081	CAMIÓN PLUMA D-125	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S082	CAMIÓN PLUMA D-126	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S083	CAMIÓN TOLVA D-134	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S084	CAMION KRESS TRANSPORTE ESCORIA	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Equipo Servicio
S088	CARGADOR FRONTAL CF-48 (Bobcat)	Obsoleto	Cristian Lizana	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S090	CARGADOR FRONTAL CF-52	Obsoleto	Cristian Lizana	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S092	GRUA GR-26	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S097	GRUA HORQUILLA GH-67 (Fuera de Servicio)	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S098	GRUA HORQUILLA GH-68 (Fuera de Servicio)	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S099	GRUA HORQUILLA GH-70	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S499	GRUA HORQUILLA GH-65 16.000 LB	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
S585	GRUA HORQUILLA H80XL GRUH322Z S585	Obsoleto	Miguel Cortés	Enajenado de FuRe	Equipo Servicio
SCIP	ANEXOS COMPLEJO INDUSTRIAL POTRERILLOS	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Anexos Complejo Industrial
SCIP-ASR	Patios Acumulación Secundaria Residuos	Disponible	Miguel Cortés	Existente en FuRe	Anexos Complejo Industrial
SCIP-CC2	Casa de Cambio N° 2 Potrerillos	Disponible	José Zepeda	Existente en FuRe	Anexos Complejo Industrial
SFUN	FUNDICION POTRERILLOS	Disponible	Cristian Lizana	Existente en FuRe	Anexos Complejo Industrial
SFUN-ATI	Est.Sum. Aire Transp.-Inyección (NUEVA)	Disponible	Luis Humberto Fernandez	Existente en FuRe	Estacion Suministro Aire
SFUN-ATI-AC1	Acumulador de Aire Transp-Inyección	Disponible	Luis Humberto Fernandez	Existente en FuRe	Estacion Suministro Aire
SFUN-ATI-C01	Compresor CO.01 AtlasConco Transp-Invec	Disponible	José Zepeda	Existente en FuRe	Estacion Suministro Aire

en bodega, donde venía detallada la información necesaria para el posterior análisis (lead time,

precio, stock actual, consumo anual, etc.). Al ejecutar este paso, surgió una pequeña dificultad detectada en la evaluación, la empresa no tenía los equipos asociados de ninguna forma a sus respectivos repuestos y materiales, por ende, no era sencillo determinar que repuestos del listado correspondían a cada equipo. De esta falencia detectada se tomaron acciones, debido a que era primordial para poder realizar gestiones posteriores, o analizar los impactos luego que es aplicado el análisis.

Una posibilidad de vincular los equipos con sus respectivos repuestos y materiales, era nuevamente apoyados del sistema SAP, donde se buscó todo el historial de órdenes de compra de repuestos y materiales, los cuáles se compran vinculados a un código de un equipo, para así luego cruzar esta información con el listado de equipos. Esto no se realizó de forma inmediata, ya que solo era necesario para los equipos críticos y equipos obsoletos realizar esta vinculación, y se dejó como tarea realizar una conexión de manera más formal de los repuestos y materiales de los equipos restantes.

Ahora bien, para definir los equipos críticos, se basó en un listado definido por la misma empresa como críticos. Éste estaba establecido mediante el criterio de que eran considerados críticos todos aquellos equipos que sus fallas generaban una detención de la planta o un inminente riesgo tanto a trabajadores como a normas ambientales. Se aprovechó esta circunstancia para volver a revisar con los supervisores y superintendentes, para complementarlo.

Al listado de equipos críticos se agregaron los parámetros de vida útil, el tiempo que llevaban en operación, y el impacto económico que generaba su detención. Estos datos podían ser requeridos al momento de hacer el análisis de los faltantes con impacto operacional.

Ubicación Técnica	Unidad	Área	Equipo
SFUN-CT5-CEG-COM	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Compuerta CT5
SFUN-CT5-SSO	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Sistema Soplado CT5
SFUN-CT5-SIC	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Sistema Inyección Concentrado CT5
SFUN-CT5-SCA-GGN	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Gur-gun Sistema de Carguío CT5
SFUN-CT5-SIC-VAL	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Válv. y Líneas Sistema Inyección CT5
SFUN-CT5-SMB-MTA	FUNDICION POTRERILLOS	Convertidor Teniente CT5 (NUEVO)	Máq. Taponeadora Sangría M/Blanco CT5
SFUN-PAP-400-40A	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Soplador C 400A
SFUN-PAP-400-40A-SEL-VDF	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Variador de Frecuencia Soplador C 400A
SFUN-PAP-400-40B	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Soplador C 400B
SFUN-PAP-400-40B-SEL-VDF	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Variador de Frecuencia Soplador C 400B
SFUN-PAP-500-PRE	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Precalentador F570 Area Contacto PAS
SFUN-PAP-IGE-DUE	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Acido Sulfúrico	Duchas de Emergencia - PAS
SFUN-PSF-SAL-COR	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Secado Fluosólido (NUEVA)	Correa Pesométrica 08-ALM-005 P.Secado
SFUN-PSF-SCM-QMR	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Secado Fluosólido (NUEVA)	Quemador 08-QUE-066 S.Comb. P.Sec.
SFUN-PSF-SCM-VAC	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Secado Fluosólido (NUEVA)	Ventilador Aire Combustión 08-VEN-072
SFUN-PSF-SSE-VFL	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Secado Fluosólido (NUEVA)	Ventilador Fluidización 08-VEN-070 PSF
SFUN-PSF-SCR-SEG-VTD	FUNDICION POTRERILLOS	Planta de Secado Fluosólido (NUEVA)	Ventilador Descarga 08-VEN-040 P.Sec.
SFUN-REC-BCA	FUNDICION POTRERILLOS	Plantas Anexas (PRM-Pellet-Basc-Molino)	BASCULA DE CAMIONES
SFUN-REC-PCE	FUNDICION POTRERILLOS	Plantas Anexas (PRM-Pellet-Basc-Molino)	Báscula Pesaje de Concentrados
SFUN-REC-PRM-COR-C01	FUNDICION POTRERILLOS	Plantas Anexas (PRM-Pellet-Basc-Molino)	Correa 003-COR-001 PRM
SFUN-REC-PRM-COR-C06	FUNDICION POTRERILLOS	Plantas Anexas (PRM-Pellet-Basc-Molino)	Correa Transporte Tubular 08-COR-006 PRM
SMAP-CCP-AC7	MANTENCION POTRERILLOS	Casa Compresora Potrerillos	Compresor Elliott 7 Casa Compresora
SMAP-CCP-AC2	MANTENCION POTRERILLOS	Casa Compresora Potrerillos	Compresor Elliott 2 Casa Compresora
SPTE-200-ALI-FED-CHU	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	ÁREA 2000-ENFRIAMIENTO ESCORIAS Y ALIMEN	CHUTE DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACA
SPTE-320-MBO-BOL	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	MOLINO BOLAS 2,5 [MW]
SPTE-320-MSG-SAG	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	MOLINO SAG
SPTE-320-MBO-CAJ	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	CAJON ALIMENTACION MOLINO BOLAS
SPTE-320-MSG-SAG-CHM	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	CHUTE MOVIL DE ALIMENTACION MOLINO SAG
SPTE-320-MSG-SAG-CHU	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	CHUTE DESCARGA MOLINO SAG
SPTE-320-BBA	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	Área 3200 - MOLIENDA	BOMBAS CAJON DESCARGA MOLINOS
SPTE-350-CON-FPF	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	ÁREA 3500 - FILTRADO	FILTRO PRENSA CONCENTRADO
SPTE-350-RLV-FC1	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	ÁREA 3500 - FILTRADO	FILTRO CERAMICO #1
SPTE-350-RLV-FC2	PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA	ÁREA 3500 - FILTRADO	FILTRO CERAMICO #2

Figura 39: Extracto Listado de Equipos Críticos FuRe.

Una vez que se tuvo catalogados los equipos como críticos y obsoletos, se descargaron desde SAP los historiales de consumo (compra) de materiales y repuestos a través de las Ordenes de Trabajo (OTs), vinculadas a cada ubicación técnica (código asignado al equipo). Esta información se cruzó con la planilla entregada por abastecimiento, donde se vinculó los equipos a cada código existente en su historial de consumo.

Posteriormente, para los equipos obsoletos se verificó que los repuestos y materiales a desechar no se utilizasen en equipos que aún se encontraban en servicio, para esto se cruzó nuevamente la información con el historial de consumo de repuestos y materiales de toda la planta de los últimos 10 años. Al verificar que algunos repuestos no tuvieron rotación en todos estos años, se podría señalar que solo pertenecían a equipos obsoletos.

Adicionalmente, se aprovechó de buscar en la planilla entregada por el área de abastecimiento oportunidades de mejoras, estableciendo un listado de repuestos que tenían bajos o nulos índices de rotación en los últimos años, los cuales podían significar potenciales ahorros en costos de almacenamiento (mantención, capital inmovilizado, seguros, etc.).

Una vez terminada la etapa de la oportunidad de mejora detectada, se procedió a continuar con el análisis de inventario, como ya se tenía identificado los repuestos y materiales de los equipos críticos, el siguiente paso fue clasificar estos repuestos según su consumo en alta y baja rotación.

Para clasificar los repuestos, se estableció como criterio que "n=6", por lo tanto, todos los repuestos que tenían un consumo mayor a 6 unidades por año fueron clasificados como alta rotación "AIR", y aquellos con un consumo de 6 o menos unidades por año como baja rotación "BIR".

Alcanzado este punto, se siguieron dos procedimientos distintos para ambas clasificaciones:

Para ítems "AIR", se clasificaron estos según rotación, según una clasificación ABC, priorizando los ítems por el consumo anual en dólares, donde a los ítems "A" se les aplicó el modelo de lote económico con stock de seguridad, a los ítems "B" se propuso aplicarles el modelo de Mínimo/Máximo, y finalmente a los ítems "C" ciclo de reorden.

Material	Texto Breve	Consumo 12 meses USD	Clasificación	Equipo
16119	CONCRETO REFRACTARIO GRANO FINO	290.628,77 US$	A	Convertidor Teniente
16114	CONCRETO REFRACTARIO GRANO GRUESO	170.895,00 US$	A	Convertidor Teniente
4091263	POLIETILENO 1/2X48X120" QUADRANT TIVAR88	74.222,94 US$	A	Convertidor Teniente
4064447	OVEROL PROTECCION TYVEK BLANCO T-XL	38.880,00 US$	A	Convertidor Teniente
1138916	PARRILLA|0,914X2M||	31.052,56 US$	A	Convertidor Teniente
1206307	TUBO TOBERA PLNP106036100MED282	29.250,45 US$	A	Convertidor Teniente
1138954	CANERIA INOX|2X33" SCH80 A312||PLNMF001	23.081,50 US$	A	Convertidor Teniente
16052	LADRILLO TABLILLA 12*6*1-1/2", ARCILLA	23.075,86 US$	A	Convertidor Teniente
1195123	EMPAQUETADURA THERMOGLASS 240V	19.742,04 US$	A	Convertidor Teniente
16120	MASA REFRACTARIA BASICA, SECA.	19.357,56 US$	A	Convertidor Teniente
4047096	ACERO PL 38X2000X6000MM ASTM A36	17.262,20 US$	A	Convertidor Teniente
4094258	ACERO PL 8X2440X6000MM ASTM A515 GR.70	15.291,84 US$	B	Convertidor Teniente
16319	ACEITE 208 L COPEC NYVAC FR 200 FLUID	13.090,08 US$	B	Convertidor Teniente
4056852	LUBRICADOR AUT 250CC ELECTRO-LUBER BUDGE	8.596,88 US$	B	Convertidor Teniente
4024170	CHAQUETA FUND/SOLD CUERO T-L	8.587,89 US$	B	Convertidor Teniente
1138941	NIPLE SCH40 PLNPP107124MF001-A	8.165,40 US$	B	Convertidor Teniente
1138929	UNION GIRAT|4"||3420F0401	7.614,88 US$	B	Convertidor Teniente
4047116	ACERO INOX PL 5X1500X3000MM AISI 316L	7.484,10 US$	B	Convertidor Teniente
4044073	SENSOR PROXIMIDAD ABCO 872CA15N30A	6.213,90 US$	B	Convertidor Teniente
16250	AGENTE REMOVEDOR OXIDO|FLUIDO|ATLAS|	5.915,91 US$	B	Convertidor Teniente
4047907	BALATA TAMBOR|1/2X5-1/2X11"|INDUBAL|	5.039,56 US$	B	Convertidor Teniente

Figura 40: Extracto Listado Criticidad Ítems Alta Rotación (Clasificación ABC).

En cambio, los ítems "BIR" se priorizaron según los parámetros definidos, los cuales fueron criticidad, disponibilidad y consumo anual (uso anual). Una vez priorizado los ítems se trabajó con aquellos que contengan al menos un parámetro evaluado como A, hasta aquellos evaluados como "BBB". En general, debería hacerse el análisis a todos los repuestos clasificados como

"BIR", pero se debía comenzar con aquellos más críticos, y si existen los recursos de dinero y tiempo se podría continuar con los siguientes, pero no son prioritarios.

Material	Texto Breve	Consumo 12 meses USD	Criticidad ABC	Equipo
1231192	VIGA SUFRIDERA PLNCTP50M1151	49.831,14 US$	AAC	Convertidor Teniente
1224796	FLEXIBLE GOMA T-COS264 4"X6,5M	8.655,54 US$	ABB	Convertidor Teniente
1236757	PANEL SOPORTE PS1 PLNPP119131MF0015	19.195,28 US$	ABC	Convertidor Teniente
1216787	PANEL LATERAL PS2 PLNPP119131MF0015	17.473,73 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229728	PANEL LATERAL FUND PF2PLNPP106036M114F02	12.346,97 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229727	PANEL LATERAL FUNDIDO PF1 PLNPP106036	12.085,78 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229855	PANEL LATERAL FUNDIDO PF4 PLNPP106036	8.556,48 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229854	PANEL LATERAL FUNDIDO PF3 PLNPP106036	8.356,23 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229852	PANEL LATERAL FUNDIDO PF8 PLNPP106036	7.608,10 US$	ABC	Convertidor Teniente
1229853	PANEL LATERAL FUNDIDO PF7 PLNPP106036	7.608,10 US$	ABC	Convertidor Teniente
1236760	PANEL LATERAL PF6 PLNP106036M114F020	5.479,91 US$	ABC	Convertidor Teniente
1236758	PANEL LATERAL PF5 PLNP106036M114F020	5.260,15 US$	ABC	Convertidor Teniente
1222901	PERISCOPIO COMPLETO H&S 78953000	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
1209740	VALVULA BOLA 4" METSO XT04CWTAJ2SJSAAF	17.483,60 US$	ACC	Convertidor Teniente
4067661	FLEXIBLE METALICO|6"X 7 MT|FF-FG ASA 150	920,96 US$	ACC	Convertidor Teniente
1232653	JGO SELLO BLANDO VALVULA 8" ORBINOX	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
1138336	VALVULA DIAF.2" SAUNDERS 300	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
1136291	CUBETA PIS||BOYLES BASOOKA|2504222	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
4048243	USAR CODIGO 4032590	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
4073516	ELEM FILTRO ACEITE PARKER SS1D7B1BP	0,00 US$	ACC	Convertidor Teniente
1274560	MARCO ESTRUCTURAL M1 PLNPP119155MF0012	0,00 US$	BBC	Convertidor Teniente
1236755	PANEL SUP.ESTRUCTURAL PLNP106036M113F152	5.542,11 US$	BBC	Convertidor Teniente
1240561	PILAR ESTRUCTURAL P1 PLNCTPM113F12A0	5.174,55 US$	BBC	Convertidor Teniente

Figura 41: Extracto Listado Criticidad Ítems Baja Rotación.

El modelo que se aplicó a cada uno dependía de los efectos del faltante, y en base a esto se calcularon los requerimientos de stock. Para el cálculo se utilizaron unas hojas de cálculos, de elaboración propia, que se adjuntan en los anexos, junto a unos respectivos ejemplos para entender cómo se aplicaron éstas. El objetivo de estas hojas era mantener el orden respectivo de cada cálculo, y poder generar algún tipo de respaldo.

Gran parte de los resultados dependen de la pulcritud que se tiene en esta etapa, el correcto uso de las hojas de cálculo y la precisión de algunos de los datos ingresados.

Finalmente, una vez que se obtuvieron los valores, era necesario comprobar si estos resultados, tanto para ítems AIR y BIR, eran factibles de lograr, es decir si:

- Existía el suficiente presupuesto y capital necesario para comprar los repuestos y materiales en caso de déficit.
- Existía la capacidad física en la bodega para almacenar los repuestos necesarios.

- Se podían cumplir los requerimientos necesarios de algunos repuestos específicos. Por ejemplo, ciertos componentes necesitan condiciones especiales de almacenamiento, ya sea presión, temperatura, etc., por ende, es vital saber si se podía brindar estos requisitos.
- Se contaba con proveedores con la suficiente capacidad de respuesta y flexibilidad para entregarnos las cantidades requeridas, en los plazos propuestos.

Cabe recordar que en los casos que era posible almacenar, se debía entregar la información para gestionar la compra, y en el caso contrario, se debían buscar soluciones alternativas, como cambios en ciertas políticas, alianzas con proveedores, etc.

Es importante señalar que ningún repuesto evaluado requería necesidades especiales, y actualmente las bodegas existentes no poseían limitaciones de espacio, pero como para toda bodega generalmente es un buen indicador un alto índice de rotación

5.3 Erradicación de malas prácticas detectadas en la evaluación

En primer lugar, tanto la codificación sin asociación a equipos como la mantención de repuestos y materiales de equipos obsoletos codificados fueron solucionadas durante la aplicación del modelo RCS, ya que se modificaron las planillas donde se encontraba esta información fueron actualizadas, y realizadas las respectivas vinculaciones. También, en este proceso se subsanaron casos de codificación de repuestos y materiales sin homologación, pero solo de ítems que surgieron en los listados utilizados, por lo tanto, se definió como medida que cada vez que surgiera un caso así y fuera detectado debía entregarse la información respectiva para que eso fuera corregido lo antes posible, y solo existan repuestos y materiales asociados a códigos únicos.

Una mala práctica importante a erradicar era la recepción directa desde los proveedores por parte de algunos equipos de mantenedores, saltándose la intervención de personal de bodega, esto se debía eliminar en su totalidad, por lo cual se establecieron medidas de sanción para el personal que recibiera estos repuestos y materiales por parte de los proveedores, y si se daba la circunstancia estos mismos debían dar aviso, y que esto se tramitara por el conducto regular.

Luego se realizó una reunión donde se aclaró que realizar ajustes de inventario con movimientos que no corresponden, la manipulación de datos para mejorar los KPIs, la eliminación de solicitudes de compra sin tratar, no utilizar los repuestos pedidos de forma excepcional, la eliminación de solicitudes de compra no resueltas por proveedores y la no devolución de repuestos solicitados en bodega que no fueron utilizados en la mantención planificada eran prácticas que se debían erradicar de raíz, por lo cual se estableció que el sistema SAP conservará registros de los movimientos que pudieran estar asociados a estas prácticas para existir control, con posibles medidas de sanción o advertencia. En lo que respecta la manipulación de datos, se estableció que era necesario crear informes breves cada vez que hubiera manipulación importante de datos.

Finalmente, hubo una reunión con el personal que operaba en la bodega de carácter contratista para aclarar las exigencias necesarias para que no existan los problemas detectados respecto al funcionamiento y horarios de operación de la bodega. Eran importante que las exigencias fuesen resueltas en un breve periodo de plazo, osino se tomaría la medida de buscar una nueva empresa que, si cumpliera con las exigencias mínimas, en este caso deberían estar establecidas por contrato las condiciones, para no tener estos problemas.

6.- RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN PILOTO

6.1 Obsoleteo de Equipos y revisión de información (oportunidad de mejora detectada):

Cuando se terminaron las reuniones con los jefes de área o unidad, aprovechando el listado de estado de equipos obtenido desde el sistema SAP, se lograron los siguientes resultados:

Tabla7: Distribución de Equipos en cada clasificación.

Estado de Equipo	Nº de Equipos
Disponibles	**766**
Obsoletos	**194**
Enajenado de FuRe	**133**
Existente en FuRe	**54**
Pendientes de análisis	**7**
No Operativo	**38**
Existente en FuRe	**38**
Faltantes (Pendientes de análisis)	**9**
Total general de equipos	**1007**

De esta tabla se puede destacar que 194 equipos se encontraban obsoletos, lo que equivalía al 19,26% del total de equipos, dentro de los cuáles, destacaban los Hornos Reverbero, Hornos HLE, algunos equipos rodantes para servicio, etc. Dentro de estos 194 equipos, 133 ya habían sido enajenados de la FuRe, ya sea por remates u otra vía, y existían 54 equipos que aún se encontraban en la Fundición o Refinería, que podían ser vendidos con su stock de materiales y repuestos asociados. Además, existían 7 equipos que no se tenía claridad si estaban o no en la planta, por ende, era necesario una mayor investigación para determinar su estado.

Existían 38 ítems clasificados como no operativos, los que eran aquellos que en ese momento no estaban en operación, ya sea porque estaban en periodo de reacondicionamiento o a la espera de un overhaulin para volver a operar.

Adicionalmente, aconteció que 9 equipos no se pudieron clasificar, ya que no se tenía seguridad por parte del personal a cargo de las áreas en qué estado se encontraban, por ende, se decidió dejarlos fuera del análisis.

Vinculación de Materiales y Repuestos a Equipos Obsoletos:

Al vincular los equipos obsoletos con sus materiales y repuestos, como se señaló anteriormente, se procedió a filtrar aquellos materiales y repuestos que eran utilizados también en equipos que aún seguían operativos.

Material	Texto Breve	Estado	Stock Propio	Valor Stock	Ultimo Consumo	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
4047135	ACERO HEX 7/8"X6M SAE 1075	SFUN-MYH-REV	3.024 KG	138.348,00 US$	08-12-2010	45,678%	45,678%
4048253	CANERIA AC FLEX|2"X10' AISI-321||	S051-(SFUN-SRE-HRE)	19 UN	8.128,77 US$	22-04-2013	2,684%	48,361%
1132930	NEUMATICO|8.25X15 12PR|GOODYEAR|LUG	SP00-SP14	29 UN	8.030,39 US$	26-12-2012	2,651%	51,013%
1137722	COMPRESOR HYSTER 1E1276F	SP13	2 UN	6.529,68 US$	26-06-2005	2,156%	53,169%
1226541	CYLINDER HEAD KOMATSU 6128111022	SP04	2 UN	6.242,82 US$	10-02-2011	2,061%	55,230%
4044986	TRANSMISOR PRES ENDRESS PMC731R51P6M11N1	SFUN-PIC-SIA	5 UN	4.971,90 US$	26-06-2009	1,642%	56,871%
4044715	MODULO|16 SALIDAS||1771OD16	SFUN-PIC-SIA	6 UN	4.720,50 US$	09-09-2008	1,559%	58,430%
1184732	MANGUERA KAN 6"DIA X10' VACCON	SP16	9 UN	4.669,92 US$	31-05-2013	1,542%	59,972%
1124375	COMPRESOR AIRE||GREENSBU|78200045	S051-S061	2 UN	4.479,06 US$	26-09-2001	1,479%	61,450%
1222033	BANCO VALVULA VACCON 6230280	SP16	1 UN	4.381,05 US$	14-10-2013	1,446%	62,897%
1132961	NEUMATICO 315/80 R 22.5 XZY 154K MICHELI	SP05-SP16-S083	10 UN	3.943,30 US$	01-06-2015	1,302%	64,199%
1184731	FILTRO CARTUCHO PLEGADO VACCON 6130078	SP16	30 UN	3.846,30 US$	22-06-2015	1,270%	65,469%
1193568	MANGUERA PARA ASPIRACION DE 6"	SP16	14 UN	3.839,64 US$	28-04-2014	1,268%	66,736%
1136380	PUNTERO THYSSEN 1354257	SP06	3 UN	3.519,72 US$	10-01-2011	1,162%	67,899%
1216590	RODAMIENTO GIRO DAEWOO 21091033	SP06	1 UN	2.950,78 US$	29-12-2003	0,974%	68,873%
1138962	PULVERIZADOR||BW|3620F	SMAP-GVF-CP1	25 UN	2.676,50 US$	15-11-2000	0,884%	69,757%
16359	AGOTAR STOCK Y USAR CODIGO 4012900	SMAP-CCP-AC5	10 TB	2.670,40 US$	06-08-2008	0,882%	70,638%
4044717	MODULO COMUNICACION||1784KT	SFUN-PIC-SIA	2 UN	2.611,10 US$	11-08-2004	0,862%	71,500%
1134439	MOTOR PARTIDA||DELCO|1998383	S088	8 UN	2.560,40 US$	31-05-2011	0,845%	72,346%
4047778	EMPAQUETADURA 3/8X42X48" SEPCO 200	SFUN-SRE-HRE	8 PL	2.311,92 US$	09-07-2008	0,763%	73,109%
1253281	STARTING MOTOR KOMATSU 6008134812	SP04	1 UN	2.173,87 US$	10-09-2009	0,718%	73,827%
4070873	FLEXIBLE METALICO 1/2" X 2 MTS	(SFUN-HLN-HL1)-(SFUN-HLN-HL2	48 UN	1.854,24 US$	16-08-2014	0,612%	74,439%
1206048	TAMIZ|TURBODRAIN|5700 X 1700 X2 MM	'(SFUN-PAP-110-TUR)-(SFUN-PA	2 UN	1.848,02 US$	19-11-2008	0,610%	75,049%
4050262	POINT KOMATSU 1757831230	SP04	10 UN	1.758,10 US$	30-09-2010	0,580%	75,629%
4021517	ALEACION|FUSION TUNG-TEC|	SFUN-PIC-BF2	15 UN	1.743,45 US$	22-11-2005	0,576%	76,205%
4067583	FLEXIBLE METALICO||1-1/2"X6MT||FF-FG	(SFUN-HLN-HL1)-(SFUN-HLN-HL2	13 UN	1.742,78 US$	20-06-2007	0,575%	76,781%
4044076	INTERRUPTOR LIMITE ABCO 802MCAY5	SFUN-PIC-SIA	11 UN	1.605,67 US$	05-05-2009	0,530%	77,311%
1126575	COUPLING A CAT 8S3918	SP05-S090	21 UN	1.567,44 US$	23-05-2003	0,518%	77,828%
1236005	NEUMATICO 425/65 R 22,5 SUMITOMO	SP16	2 UN	1.560,00 US$	31-05-2007	0,515%	78,343%
4059887	POLVO ANTIOXIDANTE MADUR TP40	S058-(SFUN-PIC-BF1)-(SFUN-PIC	35 KG	1.524,60 US$	22-06-2007	0,503%	78,847%
1131204	POLEA||SHAW DM|PLNPSK1168C-1	SREF-CEM-GRR	110 UN	1.464,10 US$	18-12-2011	0,483%	79,330%
4042756	CADENA AC|RODI|RENOLD|80	SP04-(SFUN-PAP-110-TUR)-(SFU	100 PIE	1.424,00 US$	10-11-2008	0,470%	79,800%
1221996	VALVULA SOLENOIDE VACCON 6120052	SP16	2 UN	1.380,76 US$	02-04-2008	0,456%	80,256%
4050198	EMBRAGUE COMPLETO KOMATSU SD136104700X0	SP04	3 UN	1.290,54 US$	28-09-1998	0,426%	80,682%
4049078	VALVULA BRO COMPTA|3/8" 150 PSI HILO||	(SFUN-PIC-BF2)-(SFUN-PIC-DUC	182 UN	1.210,30 US$	23-04-2007	0,400%	81,082%
1221041	FILTRO AIRE INTERNATIONAL AF982M	SP16	22 UN	1.190,42 US$	20-09-2015	0,393%	81,475%

Figura 42: Resumen de Repuestos y Materiales de Equipos Obsoletos.

Cabe mencionar que 33 de 299 repuestos y materiales de equipos obsoletos contenían el 80% de los costos totales asociados a esta clasificación. Adicionalmente, se puede señalar que existían 833 repuestos y materiales, que aún se encontraban en el listado de abastecimiento, pertenecientes a equipos obsoletos que no registraban stock, por ende, era útil eliminar esta información del listado, ya que no contribuía a la gestión del mantenimiento ni almacenamiento. Solo debería existir un registro de que estos materiales existieron, para mantenerlo como respaldo futuro frente a cualquier circunstancia.

Al haber sido ésta una oportunidad de mejora detectada durante el proceso de gestión de inventario, enfocado en el cálculo de nuevos stocks de inventarios acordes a las necesidades y requerimientos de la empresa, no se procedió a asignarle una mayor profundidad para obtener valores posibles de ventas de los equipos, o definir medidas de qué hacer al respecto, pero se entregó toda la información correspondiente para que pudieran tomar las medidas pertinentes.

A continuación, se muestra información sobre los valores de adquisición asociados a los repuestos y materiales de equipos obsoletos, agrupados en un gráfico de Pareto, para ver cuáles eran los repuestos que tenían mayor peso económico de la muestra, junto a un cuadro resumen.

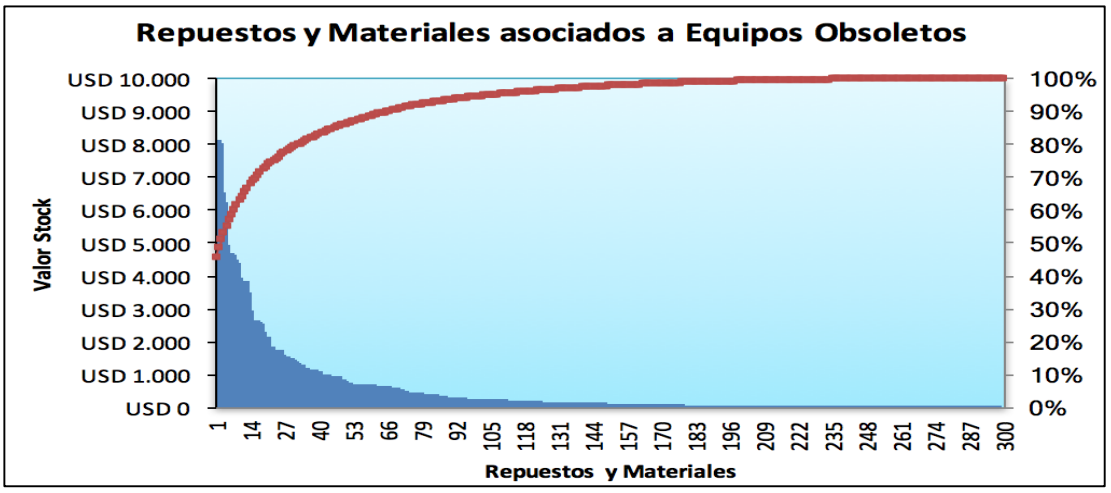


Figura 43: Pareto asociado a los costos de los materiales y repuestos de equipos obsoletos.

Tabla 8: Resumen de Costos asociados a Materiales y Repuestos de Equipos obsoletos.

Repuestos y Materiales de Equipos en Stock	Valor Stock [USD]
20% del total de Repuestos y Materiales de Equipos Obsoletos	242.303
Total Repuestos y Materiales de Equipos Obsoletos	302.879
Total Repuestos y Materiales de todos los Equipos	10.916.633
Porcentaje de repuestos y materiales enajenados del total	2,77%

Es importante mencionar que el valor de los repuestos y materiales asociados a equipos obsoletos ascendía a la cifra de USD 1.392.606, pero al comprobarse que sus consumos no estuvieran asociado a equipos aún disponibles la cifra descendió a un valor de USD 302.879. La enajenación comenzó con el 20% que significaba el mayor valor porcentual, y luego continuó con el resto.

Revisión Información de Repuestos y Materiales de Planilla de Abastecimiento:

El siguiente paso fue revisar con detalle la planilla entregada por abastecimiento, donde se detectaron las oportunidades de mejora comentadas:

- ✓ Existía una gran cantidad de repuestos y materiales en bodega que no habían tenido rotación hace varios años, inclusive existían algunos por más de 20 años sin consumo, y no se encontraban relacionados con los equipos definidos como obsoletos.

- ✓ Materiales sin rotación:
  Más de 20 años: 222 repuestos y materiales.
  Entre 10 y 20 años: 2346 repuestos y materiales.
  Entre 5 y 10 años: 5819 repuestos y materiales.

- ✓ Se debía corroborar a que equipos estaban asociados estos materiales, para así determinar si se podían enajenar de la bodega. Algunos de estos repuestos y materiales podían ser estratégicos o críticos, por lo que quizás nunca tengan rotación, pero no tenerlos implica un riesgo demasiado alto, por ende, se debía verificar esto para lograr potenciales ahorros en costos de inventario, principalmente de almacenamiento.

Repuestos y Materiales sin consumo por más de 20 años:

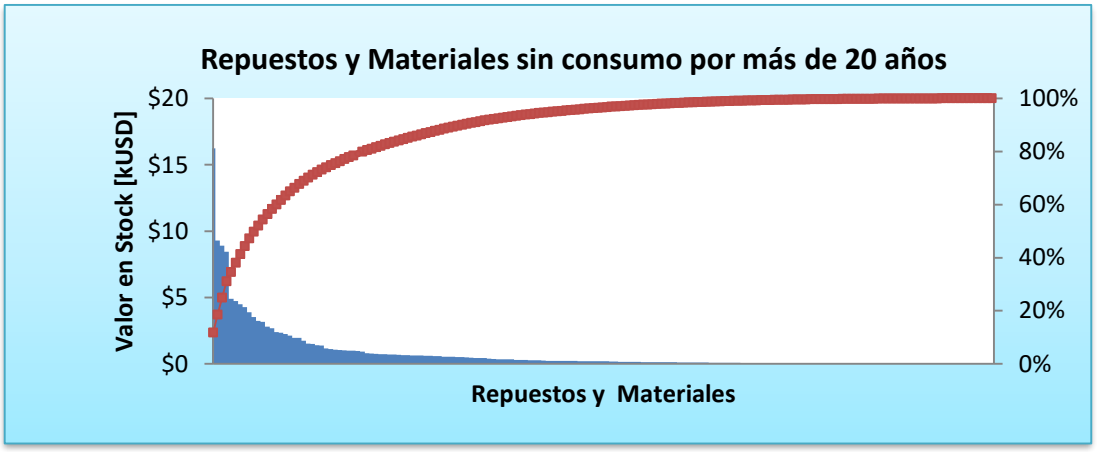


Figura 44: Pareto asociado Repuestos y Materiales sin rotación por más de 20 años

Existían 222 repuestos y materiales que no se consumían hace más de 20 años, los cuales equivalían a 138.258 USD, dentro de los cuales no existía ninguno asociado a equipos obsoletos. El 80% del costo, equivalía a 110.660 USD, y estaba asociado a 35 repuestos de los 222.

Repuestos y Materiales sin consumo por entre 10 a 20 años:

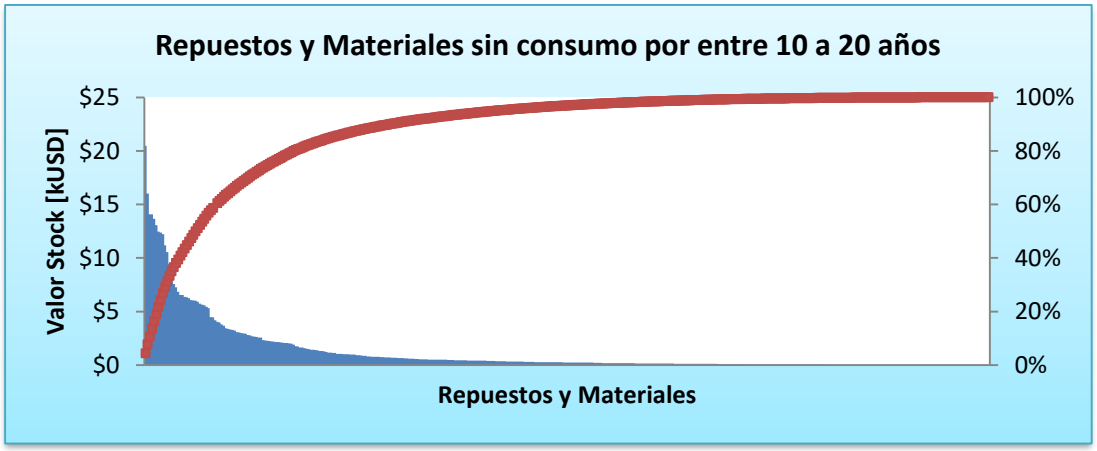


Figura 45: Pareto asociado Repuestos y Materiales sin rotación por entre 10 a 20 años.

Existían 2346 repuestos y materiales que no registraban consumo por entre 10 a 20 años, los cuales equivalían a 480.865 USD, dentro de los que había algunos ítems asociados a equipos obsoletos. Excluyendo estos ítems daba un total de 447.512 USD. El 80% del costo, equivalía a 358.691 USD, y estaba asociado a 70 repuestos de los 2346.

Repuestos y Materiales sin consumo por entre 5 a 10 años:

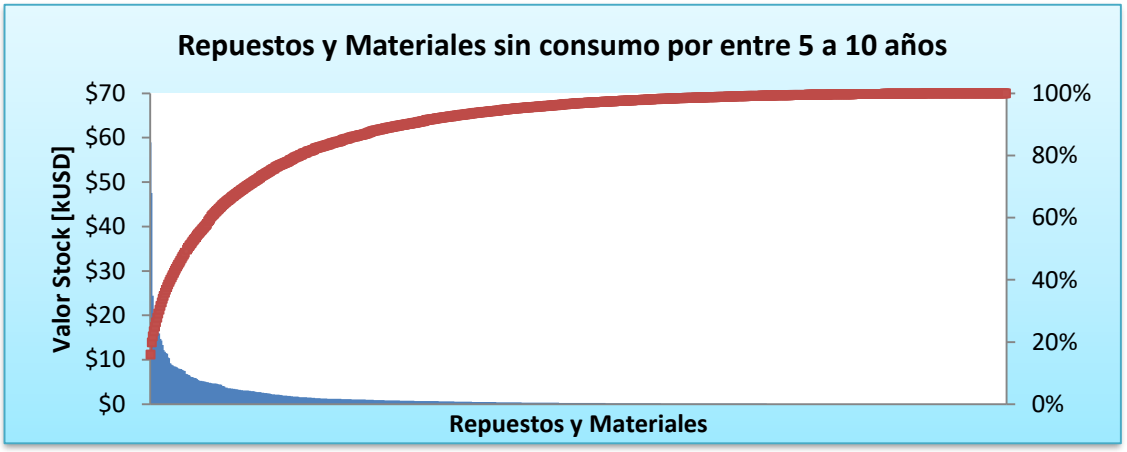


Figura 46: Pareto asociado Repuestos y Materiales sin rotación por entre 5 a 10 años

Existían 5819 repuestos y materiales que no registraban consumo por entre 5 a 10 años, los cuales equivalían a 1.234.808 USD, algunos de estos ítems asociados a equipos obsoletos. Excluyendo estos ítems pertenecientes a obsoletos, el total era de 1.043.460 USD. El 80% del costo, equivalía a 987.847 USD, y estaba asociado a 136 repuestos de los 5819.

Cabe volver a recordar que producto del análisis se detectó la deficiencia en el SAP al no tener asociado los repuestos y materiales a su equipo correspondiente, para poder obtener información con mayor agilidad y llevar un mejor control de la planificación del mantenimiento.

Finalmente, todo lo anterior se resume en el siguiente resultado global:

Tabla 9: Resumen de Costos asociados a Oportunidad de Mejora.

Resumen	Valor Stock [USD]	Porcentaje del Total
Materiales y Repuestos asociados a Equipos Obsoletos	302.879	2,77% (1)
Materiales y Repuestos sin rotación por más de 20 años	138.258	1,27% (2)
Materiales y Repuestos sin rotación por entre 10 a 20 años	447.512	4,10% (3)
Materiales y Repuestos sin rotación por entre 5 a 10 años	1.043.460	9,56% (4)
Valor Total Materiales y Repuestos sin rotación	1.629.230	14,92% (2+3+4)
Valor Total Materiales y Repuestos detectados como oportunidades de mejora	1.932.109	17,70% (1+2+3+4)
Valor Total Materiales y Repuestos de bodega	10.916.633	100%

Se recalca que por lo tanto existía un potencial de 1.629.230 USD que podían agregarse a la enajenación de los ítems pertenecientes a equipos obsoletos, pudiendo recuperarse mayor capital, y lograr reducir ampliamente los costos. Dentro de las oportunidades de mejora se debía verificar que estos repuestos no pertenecieran a equipos críticos, y que en caso de existir una falla y ser requeridos provoquen una pérdida económica mayor. Del total de ítems sin rotación que registraban stock, se recomendó trabajar con un listado acotado de 241 ítems que representaba el 80% del total de valor en stock de estos, los cuales pasaron a ser una prioridad.

6.2 Resultados de la aplicación del modelo de gestión de inventario RCS

Equipos Críticos:

Antes de exponer los resultados, cabe mencionar que el listado de equipos críticos contó con 48 equipos, los cuales tenían distintos grados de criticidad, pero aun así todos importantes para el análisis, ya que sus detenciones tienen consecuencias relevantes para la planta.
Estos 48 equipos se vincularon a sus respectivos repuestos y materiales, sin que estos se repitieran en la lista, porque muchas veces un mismo repuesto o material era utilizado en más de un equipo crítico, por ende, era importante que este análisis no se hiciera dos o más veces.

La vinculación arrojó que a estos equipos se encontraban asociados 1.456 repuestos y materiales, los cuales tenían un valor de consumo anual equivalente a 3.532.160 dólares. Luego, se clasificó a estos repuestos y materiales en alta y baja rotación.

Repuestos Alta Rotación:

De los 1.456 repuestos y materiales, 483 correspondían a ítems de alta rotación, lo que equivale a un 33,17% del total. Estos repuestos y materiales se traducen en un consumo anual promedio equivalente a 1.526.854 dólares. Los cuales se clasificaron según una clasificación ABC, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 10: Clasificación ABC repuestos y materiales alta rotación.

Clasificación	Cantidad	Consumo Anual
A	108	1.327.188 [USD]
B	62	134.544 [USD]
C	313	65.122 [USD]

Se actualizaron los stocks de seguridad y punto de pedido de los ítems clasificados como “A” a través del modelo económico de compra, lográndose lo siguiente:

- ✓ 21 ítems no tenían establecido un stock de seguridad, por ende, se corría un riesgo económico y operacional al encontrarse sin stock. Estos valores se actualizaron hasta valores mínimos a mantener en stock.

- ✓ Se corrigieron y actualizaron 87 ítems con sus stocks de seguridad y puntos de pedido.

- ✓ El valor en stock promedio que se mantenía ascendía a 414.690 dólares, y el valor propuesto a mantener es 379.270 dólares, lo que significaba una reducción de 8,59%.

A los ítems clasificados como B y C no se les realizó análisis, por no ser prioridad y por problemas de disposición de tiempo, pero se dejó establecido planillas para poder realizar los análisis, y actualizar sus parámetros de almacenamiento. Recordar que a aquellos ítems clasificados como "B" se les debe aplicar modelo máximo/mínimo y a los ítems "C" el modelo ciclo de reorden.

Repuestos Baja Rotación:

De los 1456 repuestos y materiales, 973 corresponden a ítems de baja rotación, lo que equivale a un 66,83% del total. Estos repuestos se traducen en un consumo anual promedio equivalente a 2.005.306 dólares. Los cuales se clasifican según los parámetros anteriormente descritos: criticidad, consumo anual, tiempo de reposición.

Tabla 11: Priorización repuestos y materiales baja rotación.

Clasificación	Cantidad	Consumo Anual
AAA	9	387.686 [USD]
AAB	15	200.380 [USD]
AAC	63	394.050 [USD]
ABB	21	275.165 [USD]
ABC	156	201.211 [USD]
ACC	60	127.940 [USD]
BBB	9	122.875[USD]
BBC	176	206.540[USD]
BCC	226	75.198[USD]
CCC	238	14.260[USD]

Se actualizaron los stocks de seguridad de los ítems clasificados como AAA hasta la categoría BBB, lográndose lo siguiente:

- ✓ 182 ítems no tenían establecido un stock de seguridad, por ende, se corría un riesgo económico al no mantener stock. Estos valores se actualizaron hasta valores mínimos a mantener en stock.

- ✓ Se actualizaron 2 ítems con sus respectivos stocks de seguridad y puntos de pedido.

- ✓ Se mantuvieron stock establecidos de 141 ítems, debido a que el stock propuesto era el mismo al stock actual.

- ✓ Los valores de stock propuestos vs los actuales son los siguientes:

Tabla 12: Valores de stock actuales y propuestos de ítems baja rotación.

Clasificación	Valor Stock Actual	Valor Stock Recomendado
AAA	0 [USD]	94.908 [USD]
AAB	22.601 [USD]	51.100 [USD]
AAC	126.150 [USD]	35.547 [USD]
ABB	15.042 [USD]	76.027 [USD]
ABC	95.654 [USD]	96.900 [USD]
ACC	67.413 [USD]	30.097 [USD]
BBB	5.994 [USD]	13.234 [USD]
Total	332.854 [USD]	397.814 [USD]

Esto significa un aumento de 64.960 [USD] equivalente a una variación de un 19,5%, pero cabe recalcar, que un aumento de costos en promedio de stock mayores, no solo genera impactos negativos, sino que trae consigo mejoras de disponibilidad, niveles de servicio y menores riesgos.

A los ítems clasificados como BBC hasta los CCC, no se les realizó análisis por no ser prioridad y por temas de tiempo, pero se dejó a criterio del empleador si era conveniente ejecutar el análisis, en caso de contar con mano de obra para esta actividad.

7.- CONCLUSIONES

Este trabajo presentó una visión global de muchos aspectos que generalmente involucra una gestión de inventario. Esta visión se debería tener siempre al realizar gestiones de actividades de este tipo, para así lograr impactos positivos tanto operacionales como económicos. Existen muchos procesos y actividades que afectan o forman parte de la cadena de abastecimiento, y también acontece en la otra dirección, por ende, es clave saber que se busca al proponer cambios, y que se necesita realmente para que resulte lo esperado.

Podemos notar al realizar un análisis de inventario completo puede existir miles de ítems almacenados a evaluar, lo cual puede implicar un ejercicio de larga extensión y costoso, por lo tanto, darse cuenta que no todos los ítems tienen el mismo valor, ni los mismos efectos de su faltante es clave para saber en qué centrarse, y por donde comenzar al realizar las gestiones correspondientes. Aquí es donde toman tanta importancia los análisis de criticidad pertinentes, los diagramas de Pareto, y todo aquello que permita asignar recursos a donde se obtendrá mayor beneficio.

Hoy en día existen múltiples modelos para determinar el inventario a mantener, los cuáles sirven para ciertos tipos de inventario y operan en base a distintos criterios, por ende, la determinación de un modelo acorde al contexto operacional de una empresa es clave para obtener los mejores resultados posibles. En este caso la elección del modelo RCS, estuvo motivada en primer lugar, por ser un modelo enfocado a repuestos y materiales para mantenimientos, y porque el beneficio de su aplicación es que los niveles de stock y puntos de pedido son definidos directamente de los requerimientos y necesidades reales de mantenimiento y operaciones. Como el método está basado en el análisis de consecuencias de la falta de estos ítems al ser necesitados, los requerimientos son alcanzados con la inversión óptima en repuestos, dando como resultados ahorros en el valor de compra y mantención del inventario, y al mismo tiempo cumpliendo con las necesidades de producción, seguridad y medio ambiente.

Es importante mencionar que, en la actualidad la aplicación de estas técnicas es en muchas ocasiones determinante para la subsistencia de una empresa, ante la competitividad existente en el mercado industrial. Para lograr ser una empresa competitiva y líder es necesario que el

personal tenga conocimiento sobre la importancia, y la forma de implementar este tipo de gestiones, siendo el principal rol la reducción de costos y el cumplimiento de los niveles de servicio (ya sea hacia el consumidor o a mantención).

Antes de proponer un plan de mejora o realizar cambios en políticas de abastecimiento, es vital revisar la situación actual de cada caso, saber cuáles son los objetivos y necesidades reales, no siempre invertir en este tipo de gestiones son necesarias o productivas para todas las empresas. Dentro de esta evaluación, pudimos detectar falencias que podrían parecer insólitas para el tamaño de empresa y años de operación que tenía, con personal de vasta experiencia, pero es destacable el surgimiento de estas iniciativas de querer mejorar para poder lograr ser competitivos.

Comentar que previo a esta evaluación de la gestión de inventario, la mayoría de las adquisiciones de repuestos de la empresa no contaban con un análisis de cuál era lo óptimo a mantener o comprar. Existían casos, que se compraban bajo los modelos de lote económico de compra, pero con valores establecidos hace muchos años, sin ser actualizados. Esta actualización debe estandarizarse, y realizarse periódicamente a futuro, debido a que muchas veces los requerimientos de los equipos variarán en función de su ciclo de vida. Junto a esto, la información que existía a pesar de que podía ser de utilidad, no contaba con la calidad y el manejo necesario para una correcta gestión.

Todo esto traía consigo brechas entre lo requerido y lo que estaba aconteciendo que se intentaron subsanar con la creación de un plan piloto de mejoramiento que busco plantear actividades para mejorar todos los aspectos deficientes, con sus respectivos encargados, plazos, objetivos, etc., pero dentro de los plazos disponibles, y según los alcances con que se contaba en función del cargo asignado, era imposible implementar todas las actividades definidas en el plan piloto, por ende, era importante priorizar cuáles se podían llevar a cabo, pensando en el impacto inmediato que podrían tener.

El priorizar recursos en la actualidad logrando ser eficaz y eficiente, es un desafío importante hoy en día, dentro de esto la clasificación de los equipos y del inventario según criticidad lo representa a la perfección.

Con respecto a los resultados obtenidos mediante la implementación del plan de mejoras podemos comentar que se logró una importante reducción de costos por el efecto de almacenar, mantener, mover e inclusive el costo asociado a capital inmovilizado en primer lugar por los repuestos asociados a ítems de equipos obsoletos, y en segundo lugar por la actualización de los puntos de pedido y stock de repuestos y materiales a conservar de los equipos definidos como críticos. Generalmente este valor está bien representado por un 25% aproximadamente del valor del costo de adquisición que tuvieron.

Además del costo ahorrado por este concepto, para el caso de los obsoletos existía la posibilidad de vender los repuestos con su respectivo equipo (el caso de los no enajenados aún), lo cual puede significar un considerable aumento de valor en su enajenación, y recuperación de capital.

Recordar que la evaluación de costos no solo depende de lo que se almacena, sino los potenciales costos de los cuáles se resguarda (una detención de un equipo crítico puede significar una pérdida de 100.000 [USD/h] por concepto de pérdida de producción), se debe encontrar un equilibrio entre lo que aportan, y las consecuencias negativas que tienen. Se comenta lo anterior, porque en algunos casos subieron los stocks de seguridad y puntos de pedidos de algunos repuestos puntuales claves, o de ítems de equipos adquiridos recientemente y no habían sido evaluados. Esto acontecía por ejemplo con la planta de Tratamiento de Escoria, donde tanto para punto de pedido y stock de seguridad no estaban establecidos valores, producto de lo reciente que era esta área de la planta. Esto se traduce en un aumento de costo por mantener, pero trae a la vez en un aumento del nivel de servicio y cumplimiento de la disponibilidad deseada para estos equipos.

Este aumento de nivel de existencias es menor a lo que se refleja en el valor señalado, producto a que existían repuestos o materiales que se encontraban almacenados, pero no en la bodega oficial, por ende, no existían registros de que estos estuvieran en stock, se daba en casos como las bombas verticales LEWIS en las cuales se mantenía un kit completo de repuestos y en el registro de SAP aparecía en stock 0. Estas prácticas se erradicaron después de la implementación del plan de mejor, con lo que la información deberá ser ajustada, pero no se sabe a cuánto ascenderán las cifras producto estos cambios.

Es relevante señalar que los cambios de políticas no son asociables directamente con el consumo anual de repuestos, debido a que este valor no debería sufrir mayores modificaciones, excepto quizás con los años producto de paradas o fallas excepcionales, pero si lo es el nivel de stock promedio, que debería ser más bajo durante el año.

Junto con los factores económicos, un punto favorable a destacar es la recuperación de espacio físico de la bodega para almacenar otros ítems, especialmente para aquellos ítems de mayor criticidad, los cuales deben mantenerse en stock, y también los impactos en la operación que significa preocuparse de un número menor de ítems, agilizando el sistema.

Algunos puntos a destacar post aplicación de las actividades seleccionadas del plan piloto son los siguientes:

Como brecha potencial a mejorar, es tener una mejor vinculación de los repuestos y materiales a los equipos donde son utilizados, para así poder actualizar estos indicadores con las tendencias de años posteriores con mayor facilidad y para determinar con mayor facilidad donde están los focos a trabajar. Es muy difícil realizar gestión sin una adecuada información.

Es necesario comunicar siempre por parte del equipo de planificación cuando existan cambios, para que trabaje en conjunto el equipo de mantención y de abastecimientos para que no se hagan pedidos fuera de lo establecido en la política establecidas. Siempre el trabajo en equipo es clave en resultados exitosos y representativos de la realidad, debido a que se involucran múltiples áreas. El área de abastecimiento no trabajaba en equipo con el área de mantenimiento, lo que generaba que estas se preocuparan solo de los resultados propios, y no del resultado global de la compañía. Lo mismo acontecía con los jefes de áreas, los cuáles solicitaban repuestos en cantidades que ellos estimaban convenientes sin guiarse por modelos o recomendaciones. Esta desunión provocaba también, que miembros del equipo no valoraran la importancia que tiene la gestión de inventarios en la actualidad, y los beneficios que logra en especial para cumplir con las tareas de mantenimiento, lo que en la práctica se traducía en la poca colaboración

La precisión de los resultados dependerá en gran medida de la exactitud y veracidad de la información entregada para el análisis, aquí podemos destacar que para cualquier tipo de gestión siempre es clave la calidad de la información existente, y los sistemas de manejo de esta. Entre más costosa y crítica es una actividad, mayor importancia debe tener la precisión.

La implementación de actividades para anticipar la demanda, como lo es el mantenimiento predictivo, son claves hoy en día para lograr mantener a una empresa competitiva en costos. La programación del mantenimiento hoy en día está enfocada a tener el mínimo de actividades correctivas no programadas, excepto en aquellos casos que es conveniente trabajar a la falla.

Realizar un análisis RCM previo, facilitaría considerablemente el desarrollo de la actividad, incluso reduciendo el personal involucrado para obtener la información. Además, originaría una base de información para todo el mantenimiento, en todas sus aristas y no solo de gestión de inventario.

Finalmente se puede mencionar que se cumplieron los objetivos establecidos en el trabajo, los que tenían como principales metas la reducción de costos, lograr acabar con las brechas detectadas entre lo esperado y lo existente, lograr una clasificación adecuada de los repuestos y materiales existentes, etc. Todo esto se refleja en parte que el año 2018 el Costo C1 de División Salvador fue de 1,56 [USD/lb], lo que supone también que han funcionado las políticas para lograr una importante reducción de los costos globales por parte de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento; Adolfo Arata, Luciano Furlanetto.
- ✓ Repuestos Centrados en Confiabilidad; Ellman, Sueiro y Asociados; 2011.
- ✓ Manual para la Gestión del Mantenimiento; Dirección de Mantenimiento Corporación Nacional del Cobre; febrero 2013.
- ✓ Reliability and Operating Environment Based Spare Parts Planning; Behzad Ghodrati; 2005.
- ✓ Teoría de la Confiabilidad de Sistemas y Equipos; Raul Stegmaier, Adolfo Arata.
- ✓ Spare Parts Management-An IT Automation Perspective; Sandeep Kumar; 2004.
- ✓ The Analytic Hierarchu Process. Society for risk analisys; Sir Thomas L. Saaty.; 1987.
- ✓ Administración de la Producción, Chauvel A. M. , Mc. Graw Hill 1992.

ANEXOS

ANEXO N°1: Tablas de Distribución Normal o Gaussiana.

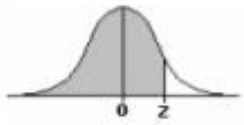


TABLA I (B)

DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA $N(0, 1)$

La tabla proporciona, para cada valor de z, el área que queda a su izquierda.

z	0'00	0'01	0'02	0'03	0'04	0'05	0'06	0'07	0'08	0'09
0'0	0'50000	0'50399	0'50798	0'51197	0'51595	0'51994	0'52392	0'52790	0'53188	0'53586
0'1	0'53983	0'54380	0'54766	0'55172	0'55567	0'55962	0'56356	0'56749	0'57142	0'57535
0'2	0'57926	0'58317	0'58706	0'59095	0'59483	0'59871	0'60257	0'60642	0'61026	0'61409
0'3	0'61791	0'62172	0'62552	0'62930	0'63307	0'63683	0'64058	0'64431	0'64803	0'65173
0'4	0'65554	0'65910	0'66276	0'66640	0'67003	0'67364	0'67724	0'68082	0'68439	0'68793
0'5	0'69146	0'69497	0'69847	0'70194	0'70450	0'70884	0'71226	0'71566	0'71904	0'72240
0'6	0'72575	0'72907	0'73237	0'73565	0'73891	0'74215	0'74537	0'74857	0'75175	0'75490
0'7	0'75804	0'76115	0'76424	0'76730	0'77035	0'77337	0'77637	0'77935	0'78230	0'78524
0'8	0'78814	0'79103	0'79389	0'79673	0'79955	0'80234	0'80511	0'80785	0'81075	0'81327
0'9	0'81594	0'81859	0'82121	0'82381	0'82639	0'82894	0'83147	0'83398	0'83646	0'83891
1'0	0'84134	0'84375	0'84614	0'84850	0'85083	0'85313	0'85543	0'85769	0'85993	0'86214
1'1	0'86433	0'86650	0'86864	0'87076	0'87286	0'87493	0'87698	0'87900	0'88100	0'88298
1'2	0'88493	0'88686	0'88877	0'89065	0'89251	0'89435	0'89617	0'89796	0'89973	0'90147
1'3	0'90320	0'90490	0'90658	0'90824	0'90988	0'91149	0'91308	0'91466	0'91621	0'91774
1'4	0'91924	0'92073	0'92220	0'92364	0'92507	0'92647	0'92786	0'92922	0'93056	0'93189
1'5	0'93319	0'93448	0'93574	0'93699	0'93822	0'93943	0'94062	0'94179	0'94295	0'94408
1'6	0'94520	0'94630	0'94738	0'94845	0'94950	0'95053	0'95154	0'95254	0'95352	0'95449
1'7	0'95543	0'95637	0'95728	0'95818	0'95907	0'95994	0'96080	0'96164	0'96246	0'96327
1'8	0'96407	0'96485	0'96562	0'96638	0'96712	0'96784	0'96856	0'96926	0'96995	0'97062
1'9	0'97128	0'97193	0'97257	0'97320	0'97381	0'97441	0'97500	0'97558	0'97615	0'97670
2'0	0'97725	0'97778	0'97831	0'97882	0'97932	0'97982	0'98030	0'98077	0'98124	0'98169
2'1	0'98214	0'98257	0'98300	0'98341	0'98382	0'98422	0'98461	0'98500	0'98537	0'98574
2'2	0'98610	0'98645	0'98679	0'98713	0'98745	0'98778	0'98809	0'98840	0'98870	0'98899
2'3	0'98928	0'98956	0'98983	0'99010	0'99036	0'99061	0'99086	0'99111	0'99134	0'99158
2'4	0'99180	0'99202	0'99224	0'99245	0'99266	0'99286	0'99305	0'99324	0'99343	0'99361
2'5	0'99379	0'99396	0'99413	0'99430	0'99446	0'99461	0'99477	0'99492	0'99506	0'99520
2'6	0'99534	0'99547	0'99560	0'99573	0'99585	0'99598	0'99609	0'99621	0'99632	0'99643
2'7	0'99653	0'99664	0'99674	0'99683	0'99693	0'99702	0'99711	0'99720	0'99728	0'99736
2'8	0'99744	0'99752	0'99760	0'99767	0'99774	0'99781	0'99788	0'99795	0'99801	0'99807
2'9	0'99813	0'99819	0'99825	0'99831	0'99836	0'99841	0'99846	0'99851	0'99856	0'99861
3'0	0'99865	0'99869	0'99873	0'99877	0'99881	0'99885	0'99889	0'99893	0'99896	0'99899
3'1	0'99903	0'99906	0'99909	0'99912	0'99915	0'99918	0'99921	0'99923	0'99926	0'99929
3'2	0'99931	0'99933	0'99936	0'99938	0'99940	0'99942	0'99944	0'99946	0'99948	0'99950
3'3	0'99951	0'99953	0'99955	0'99956	0'99958	0'99959	0'99961	0'99962	0'99964	0'99965
3'4	0'99966	0'99967	0'99968	0'99970	0'99971	0'99972	0'99973	0'99974	0'99975	0'99976
3'5	0'99977	0'99977	0'99978	0'99979	0'99980	0'99981	0'99981	0'99982	0'99983	0'99983
3'6	0'99984	0'99985	0'99985	0'99986	0'99986	0'99987	0'99987	0'99988	0'99988	0'99989
3'7	0'99989	0'99990	0'99990	0'99990	0'99991	0'99991	0'99991	0'99992	0'99992	0'99992
3'8	0'99993	0'99993	0'99993	0'99994	0'99994	0'99994	0'99994	0'99995	0'99995	0'99995
3'9	0'99995	0'99995	0'99996	0'99996	0'99996	0'99996	0'99996	0'99996	0'99997	0'99997
4'0	0'99997	0'99997	0'99997	0'99997	0'99997	0'99997	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998
4'1	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998	0'99998	0'99999	0'99999
4'2	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999
4'3	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999	0'99999
4'4	0'99999	0'99999	0'99999	1'00000	1'00000	1'00000	1'00000	1'00000	1'00000	1'00000

ANEXO N°2: Hojas de Información RCS.

Hoja información N°1:

Hoja de Informacion de RCS-BIR	Equipo:		Ubicación Técnica:	Fecha:	Compilado por:
	Componente:		Hoja N°	Fecha:	Revisado por:
Ítem	Almacén	Código de Repuesto	Descripción del Repuesto	Cantidad (por equipo)	Efectos del faltante (qué sucede si no se encuentra disponible el repuesto)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

En esta planilla se incorpora cada repuesto y material de baja rotación de un equipo, con tal de recopilar información sobre los efectos de los faltantes, y el número de unidades que utiliza cada equipo. Esto a la vez sirve para dejar un registro, que sirva de base para la vinculación de equipos con sus repuestos y materiales.

Hoja información N°2:

Hoja de Informacion de RCS-BIR	Equipo		Ubicación Técnica		Compilado por					Fecha	Costo Parada			Caso que aplique según evaluación del faltante		
	Componente		Hoja N°		Revisado por					Fecha	Vida Útil Restante					
Ítem	Almacén	Código de Repuesto	Descripción del Repuesto	Evaluación del Faltante				¿Es posible anticipar la demanda?	¿Se puede mantener stock en bodega?	Política de Stock	Cantidad Pedida	Cantidad en Stock	Precio	Nivel de Servicio	Disponibilidad	Tasa de faltante
				R	S	O	N									
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																

Esta planilla es una segunda etapa de la información previa, donde se registra el efecto del faltante (R: riesgo incrementado, S: seguridad, O: operacional, N: No operacional), adicionalmente se acota si se puede anticipar la demanda, y si requiere condiciones especiales para ser almacenado en la bodega existente. Posterior al análisis, se completa estableciendo una política de stock.

Aquí también en base a los efectos de faltante, es necesario completar con el nivel de servicio requerido, la disponibilidad mínima o la tasa de faltante esperada, según sea el caso para poder realizar el análisis posterior. Junto a esto, se definió los costos de detención de cada equipo.

ANEXO N°3: Hojas de Cálculo RCS Alta Rotación Modelo Básico Lote Económico.

HOJA DE TRABAJO RCS-AIR MODELO BASICO	
Título	
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO			
Número del repuesto (si existiera)			
Descripción del repuesto			
Precio por unidad		U$S	*p*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA					
Tasa de demanda		*por*	Dia Semana Mes Año		
Tasa de demanda por año				Por año	*D*

3 COSTO FIJO DE COMPRA			
Costo de Pedido independiente de la Cantidad		U$S	*CP*

4 COSTO DE ALMACENAMIENTO					
Tasa Mantener Stock	m = %	⇒	*Costo Almacen (p x m)*	U$S / año	*CM*

5 CANTIDAD RECOMENDADA			
Cantidad de unidades recomendadas por pedido $= \sqrt{\frac{2 \times CP \times D}{CM}}$		*Repuestos/pedido*	*Qe*

6 LOTE DEL PROVEEDOR		
Lote de entrega del proveedor		Repuestos/lote

7 CANTIDAD A PEDIR			
Cantidad a pedir dependiendo del lote del proveedor		Repuestos/pedido	*Q**

Ejemplo Análisis de Repuesto con Modelo de Lote Económico:

HOJA DE TRABAJO RCS-AIR
MODELO BASICO

Título	Compañía manufacturera de aviones - Remaches
Fecha	2005
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)	Ejemplo Nº 2		
Descripción del repuesto	Remaches		
Precio por unidad	20	U$S	*p*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Tasa de demanda	5000	*por*	Día Semana Mes (Año)			
Tasa de demanda por año				5000	Por año	*D*

3 COSTO FIJO DE COMPRA

Costo de Pedido independiente de la Cantidad	6000	U$S	*C P*

4 COSTO DE ALMACENAMIENTO

Tasa Mantener Stock	m = 10 %	*Costo Almacen (p x m)*	2	U$S / año	*CM*

5 CANTIDAD RECOMENDADA

Cantidad de unidades recomendadas por pedido $= \sqrt{\frac{2 \times CP \times D}{CM}}$	5477	*Repuestos/pedido*	*Qe*

6 LOTE DEL PROVEEDOR

Lote de entrega del proveedor	100	Repuestos/lote

7 CANTIDAD A PEDIR

Cantidad a pedir dependiendo del lote del proveedor	5500	Repuestos/pedido	*Q**

ANEXO N°4: Hojas de Cálculo RCS Alta Rotación con Stock de Seguridad.

HOJA DE TRABAJO RCS-AIR
MODELO CON STOCK DE SEGURIDAD

Título	
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)			
Descripción del repuesto			
Plazo de entrega para la sustitución		Días Semanas Meses Años	
Plazo de entrega en días			Días *TR*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Demanda media		*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por día					Por día *μ*
Desvío Estándar de la demanda		*por*	Día Semana Mes Año	σ	
Desvío Estándar de la demanda por día = $\sigma/\sqrt{días}$					Por día σ_d

3 OBJETIVO DEL ANÁLISIS

Calcular el fractil de la distribución normal según el Nivel de Servicio Requerido (NS)	NS = %			= *Fractil* *Z*

Nivel de Servicio Requerido	80%	85%	90%	93%	95%	96%	97%	98%	99%	99.5%	99.9%
Fractil Z	0.85	1.04	1.29	1.48	1.65	1.76	1.89	2.06	2.33	2.58	3.09

4 RESULTADO

Stock de Seguridad recomendado = $\sqrt{TR} \times \sigma_d \times Z$		*Repuestos*	*SS*

5 PUNTO DE PEDIDO

Punto de Pedido Recomendado = $TR \times \mu + SS$		*Repuestos*	PP

Ejemplo Cálculo de Repuestos con Stock de Seguridad

HOJA DE TRABAJO RCS-AIR
MODELO CON STOCK DE SEGURIDAD

Título	Filtros en inventario
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)	Nº 3		
Descripción del repuesto	Filtro de aire		
Plazo de entrega para la sustitución	4	Días Semanas Meses Años	
Plazo de entrega en días		4	Días — *TR*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Demanda media	7300	*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por día				20	Por día — μ
Desvío Estándar de la demanda	4	*por*	Día Semana Mes Año	σ	
Desvío Estándar de la demanda por día = $\sigma/\sqrt{días}$				4	Por día — σ_d

3 OBJETIVO DEL ANÁLISIS

Calcular el fractil de la distribución normal según el Nivel de Servicio Requerido (NS)	NS = 99 %	⇨	2,33	= *Fractil* — *Z*

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,9877	98809	0,98840	0,98870	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	99086	0,99111	0,99134	0,99158
2,4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	6	0,99286	99305	0,99324	0,99343	0,99361

4 RESULTADO

Stock de Seguridad recomendado = $\sqrt{TR}_x \sigma_{d\,x} Z$	19	*Repuestos*	*SS*

5 PUNTO DE PEDIDO

Punto de Pedido Recomendado = $TR_x \mu + SS$	99	*Repuestos*	PP

ANEXO N°5: Tabla Parada del Sistema.

Tabla 1: Parada del sistema

Operacional

Cada entrada de la tabla muestra la parada del sistema en horas por año.

f	Existencia de repuestos				
Plazo de entrega / Demanda anual	0	1	2	3	4
0,001	8,756	0,004	$1,459 \times 10^{-6}$	$3,647 \times 10^{-10}$	
0,002	17,502	0,017	$1,167 \times 10^{-5}$	$5,83 \times 10^{-9}$	
0,003	26,241	0,039	$3,933 \times 10^{-5}$	$2,95 \times 10^{-8}$	
0,004	34,970	0,070	$9,316 \times 10^{-5}$	$9,31 \times 10^{-8}$	
0,005	43,691	0,109	0,00018	$2,27 \times 10^{-7}$	$2,27 \times 10^{-10}$
0,006	52,403	0,157	0,00031	$4,71 \times 10^{-7}$	$5,65 \times 10^{-10}$
0,007	61,106	0,214	0,00050	$8,71 \times 10^{-7}$	$1,22 \times 10^{-9}$
0,008	69,800	0,279	0,00074	$1,49 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-9}$
0,009	78,486	0,353	0,00106	$2,38 \times 10^{-6}$	$4,28 \times 10^{-9}$
0,01	87,163	0,435	0,00145	$3,62 \times 10^{-6}$	$7,24 \times 10^{-9}$
0,02	173,460	1,729	0,012	0,00006	$2,30 \times 10^{-7}$
0,03	258,897	3,864	0,039	0,00029	$1,73 \times 10^{-6}$
0,04	343,485	6,824	0,091	0,00090	$7,23 \times 10^{-6}$
0,05	427,230	10,592	0,176	0,00219	0,00002
0,06	510,143	15,151	0,302	0,005	0,00005
0,07	592,230	20,486	0,475	0,008	0,00012
0,08	673,501	26,581	0,704	0,014	0,00022
0,09	753,963	33,419	0,995	0,022	0,00040
0,1	833,624	40,987	1,355	0,034	0,00067
0,2	1587,919	153,502	10,061	0,498	0,020
0,3	2270,432	323,562	31,532	2,329	0,138
0,4	2887,996	539,195	69,435	6,800	0,536
0,5	3446,791	790,187	126,036	15,344	1,508

ANEXO N°6: Tabla de Disponibilidad.

Tabla 2: Disponibilidad

Riesgo Incrementado

f	Existencia de repuestos				
Plazo de entrega / Demanda anual	0	1	2	3	4
0,001	99,90005%	99,99995%			
0,002	99,80020%	99,99980%			
0,003	99,70045%	99,99955%			
0,004	99,60080%	99,99920%			
0,005	99,50125%	99,99875%			
0,006	99,40180%	99,99821%			
0,007	99,30244%	99,99756%	99,99999%		
0,008	99,20319%	99,99682%	99,99999%		
0,009	99,10404%	99,99597%	99,99999%		
0,01	99,00498%	99,99503%	99,99998%		
0,02	98,01987%	99,98026%	99,99987%		
0,03	97,04455%	99,95589%	99,99956%		
0,04	96,07894%	99,92210%	99,99896%	99,99999%	
0,05	95,12294%	99,87909%	99,99799%	99,99997%	
0,06	94,17645%	99,82704%	99,99656%	99,99995%	
0,07	93,23938%	99,76614%	99,99458%	99,99991%	
0,08	92,31163%	99,69657%	99,99196%	99,99984%	
0,09	91,39312%	99,61850%	99,98864%	99,99975%	
0,1	90,48374%	99,53212%	99,98453%	99,99962%	99,99999%
0,2	81,87308%	98,24769%	99,88515%	99,99432%	99,99977%
0,3	74,08182%	96,30637%	99,64005%	99,97342%	99,99842%
0,4	67,03200%	93,84481%	99,20737%	99,92237%	99,99388%
0,5	60,65307%	90,97960%	98,56123%	99,82484%	99,98279%

ANEXO N°7: Tabla Tasa de Faltante Máximo.

Tabla 3: Tasa de faltante

Seguridad / Medio Ambiente

f	Existencia de repuestos				
Plazo de entrega / Demanda anual	0	1	2	3	4
0,001	0,001	$1,00 \times 10^{-6}$	$5,00 \times 10^{-10}$		
0,002	0,002	$4,00 \times 10^{-6}$	$4,00 \times 10^{-9}$		
0,003	0,003	$8,99 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-8}$		
0,004	0,004	$1,60 \times 10^{-5}$	$3,19 \times 10^{-8}$		
0,005	0,005	$2,49 \times 10^{-5}$	$6,23 \times 10^{-8}$	$1,04 \times 10^{-10}$	
0,006	0,006	$3,59 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-7}$	$2,15 \times 10^{-10}$	
0,007	0,007	$4,88 \times 10^{-5}$	$1,70 \times 10^{-7}$	$3,98 \times 10^{-10}$	
0,008	0,008	$6,37 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-7}$	$6,79 \times 10^{-10}$	
0,009	0,009	$8,06 \times 10^{-5}$	$3,62 \times 10^{-7}$	$1,09 \times 10^{-9}$	
0,01	0,010	$9,95 \times 10^{-5}$	$4,97 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-9}$	
0,02	0,020	0,000396	$3,95 \times 10^{-6}$	$2,63 \times 10^{-8}$	$1,31 \times 10^{-10}$
0,03	0,030	0,0009	$1,32 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-7}$	$9,89 \times 10^{-10}$
0,04	0,040	0,0016	$3,12 \times 10^{-5}$	$4,14 \times 10^{-7}$	$4,13 \times 10^{-9}$
0,05	0,050	0,0024	$6,05 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,25 \times 10^{-8}$
0,06	0,060	0,0035	0,0001	$2,07 \times 10^{-6}$	$3,09 \times 10^{-8}$
0,07	0,070	0,0047	0,0002	$3,80 \times 10^{-6}$	$6,62 \times 10^{-8}$
0,08	0,080	0,0062	0,0002	$6,43 \times 10^{-6}$	$1,28 \times 10^{-7}$
0,09	0,090	0,0077	0,0003	$1,02 \times 10^{-5}$	$2,29 \times 10^{-7}$
0,1	0,100	0,0095	0,0005	$1,55 \times 10^{-5}$	$3,85 \times 10^{-7}$
0,2	0,200	0,0363	0,0035	0,0002	$1,14 \times 10^{-5}$
0,3	0,300	0,0778	0,0111	0,0011	$7,97 \times 10^{-5}$
0,4	0,400	0,1319	0,0246	0,0032	0,0003
0,5	0,500	0,1967	0,0451	0,0072	0,0009

ANEXO N°8: Hojas de Cálculo RCS Baja Rotación.

Hoja de Trabajo RCS Baja Rotación con efectos operacionales:

HOJA DE TRABAJO DE RCS-BIR: OPERACIONAL

Título	
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)				
Descripción del repuesto				
Tiempo Repos. para la sustitución		Días Semanas Meses Años		
Tiempo de reposición en años			*Años*	*a*
Costo del repuesto (cada uno)				*b*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Tasa de demanda		*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por año				*Por año*	*c*

3 INFORMACIÓN DE COSTO Y SISTEMA

Costo de parada del sistema		*Por hora*	*d*
Tiempo restante de vida del sistema		*años*	*e*

4 CÁLCULO

Calcular el tiempo de reposición por la tasa de demanda = (a x c)		*= a x c*	*f*

		Existencia de repuestos					
		0	*1*	*2*	*3*	*4*	*g*
Horas de parada por año (tabla 1)							*h*
Costo de parada por año	*h x d*						*i*
Costo total de parada	*e x i*						*j*
Costo de compra de repuestos	*g x b*						*k*
Costo total	*j + k*						

5 RESULTADO

Existencia de repuestos recomendada		*Repuestos*

Ejemplo de Cálculo de Repuesto con efectos operacionales:

HOJA DE TRABAJO DE RCS-BIR: OPERACIONAL

Título	Tablero del circuito del controlado con menor TMEF.
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)	RCS-EXP-PLC			
Descripción del repuesto	Tablero del circuito del controlador			
Tiempo de reposición para la sustitución	4	Días Semanas Meses Años		
Tiempo de reposición en años			0,01	*Años* *a*
Costo del repuesto (cada uno)			$ 5900,00	*b*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Tasa de demanda	0,07	*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por año				0,07	*Por año* *c*

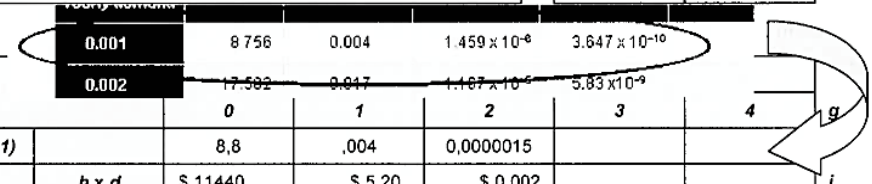
3 INFORMACIÓN DE COSTO Y SISTEMA

Costo de parada del sistema	$1300,00	*Por hora*	*d*
Tiempo restante de vida del sistema	11	*Años*	*e*

4 CÁLCULO

Calcular el tiempo de reposición por la tasa de demanda = (a x c)	0,001	*= a x c*	*f*

		0	*1*	*2*	*3*	*4* *g*
Horas de parada por año (tabla 1)		8,8	,004	0,0000015		
Costo de parada por año	*h x d*	$ 11440	$ 5,20	$ 0,002		*i*
Costo total de parada	*e x i*	$ 125840	$ 57,20	$ 0,02		*j*
Costo de compra de repuestos	*g x b*	0	$ 5900	$ 11800		*k*
Costo total	*j + k*	$ 125840	$ 5957,20	$ 11800,02		



5 RESULTADO

Existencia de repuestos recomendada	1	*Repuesto*

Hoja de Trabajo RCS Baja Rotación con efectos de riesgo incrementado:

HOJA DE TRABAJO DE RCS-BIR: RIESGO	
Título	
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO				
Número del repuesto (si existiera)				
Descripción del repuesto				
Tiempo Repos. para la sustitución		Días Semanas Meses Años		
Tiempo de reposición en años			Años	*a*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA					
Tasa de demanda		*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por año				*Por año*	*c*

3 TARGET DEL ANÁLISIS			
Disponibilidad mínima requerida del sistema		%	*m*

4 CÁLCULO			
Calcular tiempo de reposición x tasa de demanda = (a x c)		= a x c	*f*

	Repuestos en existencia				
	0	*1*	*2*	*3*	*4*
Disponibilidad (de tabla 2)					

5 RESULTADO			
Existencia de repuestos recomendada		*Repuestos*	

Ejemplo de Cálculo de Repuesto con efectos operacionales:

HOJA DE TRABAJO DE RCS-BIR: RIESGO

Título	Análisis del ejemplo del transductor ultrasónico de nivel
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)	RCS-EXP-LTU				
Descripción del repuesto	Interruptor de nivel				
Tiempo de Reposición para la sustitución	2	**Días**	**Semanas**	**Meses**	**Años**
Tiempo de Reposición en años				0,17	**Años**

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Tasa de demanda	0,2	***por***	**Día**	**Semana**	**Mes** **Año**
Tasa de demanda por año				0,2	**Por año**

3 TARGET DEL ANÁLISIS

Disponibilidad mínima requerida del sistema	99	%

4 CÁLCULO

Calcular tiempo de reposición x tasa de demanda = (a x c)	0,034	***= a x c***

0.02	98.01987%	99.98026%	99.99987%	
0.03	97.04455%	99.95589%	99.99956%	
0.04	96.07894%	99.92210%	99.99830%	99.99999%

	Existencia				
	0	***1***	***2***	***3***	
Disponibilidad (de tabla 2)	97%	99,96%	99,9996%		

5 RESULTADO

Existencia de repuestos recomendada	1	***Repuesto***

Hoja de Trabajo RCS Baja Rotación con efectos de seguridad y medio ambiente:

HOJA DE TRABAJO DE RCS-BIR: SEGURIDAD / MEDIO AMBIENTE

Título	
Fecha	
Analizado por	

1 INFORMACIÓN DEL REPUESTO

Número del repuesto (si existiera)				
Descripción del repuesto				
Tiempo Repos. para la sustitución		Días Semanas Meses Años		
Tiempo de reposición en años			Años	*a*

2 INFORMACIÓN DE DEMANDA

Tasa de demanda		*por*	Día Semana Mes Año		
Tasa de demanda por año				*Por año*	*c*

3 TARGET DEL ANÁLISIS

Tasa máxima de faltante requerida		*Por año*	*n*

4 CÁLCULO

Calcular tiempo de reposición x tasa de demanda = (a x c)		= a x c	*f*

	Repuestos en existencia				
	0	*1*	*2*	*3*	*4*
Faltantes por año (de tabla 3)					

5 RESULTADO

Existencia de repuestos recomendada		*Repuestos*