



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DEL MODELO LOGÍSTICO PARA LA MINA EL TENIENTE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS

IGNACIO ANDRES SALINAS LUPPI

PROFESOR GUÍA

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

LORETO BURGOS RODRIGUEZ

GERARDO DIAZ RODENAS

SANTIAGO DE CHILE

2018

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE:** Magíster en Gestión y
Dirección de Empresas
POR: Ignacio Salinas Luppi
FECHA: 17 de Noviembre de 2018
PROFESOR GUÍA: Luis Zaviezo Schwartzman

Optimización del modelo logístico para la Mina El Teniente

El presente estudio busca optimizar el modelo de abastecimiento de la División El Teniente (DET) de Codelco Chile, de cara a la implementación de sus proyectos del Plan de Desarrollo Alternativo (PDA). Estos proyectos buscan mantener a DET en una posición competitiva y productiva dentro del primer cuartil de la industria.

Lo anterior no es factible con las ineficiencias que presenta el modelo logístico actual de la mina subterránea.

Con el fin de eliminar estas ineficiencias y capturar valor, este estudio plantea la siguiente metodología de trabajo:

1. Desarrollo de caso base en logística de abastecimiento
2. Modelamiento nuevas estrategias de distribución a la Mina
3. Definición mejor alternativa abastecimiento Mina
4. Propuesta implementación de la mejor alternativa

Los resultados obtenidos arrojan como recomendación final implementar un modelo logístico óptimo en tres etapas:

1. Optimizar el modelo actual: Eliminar el stock que se encuentre inmovilizado hace más de 18 meses, y reducir el inventario de aquellos ítems o SKU que cumplan un grado de satisfacción al cliente (*fill rate*) de un 100%.
2. Stock sólo en superficie: Busca eliminar las bodegas interior mina, haciendo llegar los materiales directamente desde superficie hasta el usuario final.
3. Implementación de un modelo *Just in Time* parcial (solamente para aquellos SKU considerados como de alta criticidad y de alta rotación). El modelo JIT se inspira en el modelo de abastecimiento de partes en las líneas de ensamblaje de Toyota.

La captura de valor neta, asociada a la implementación de este nuevo modelo, expresada en VAC, es de 57.5 MUSD aproximadamente.

Sin embargo, cabe recalcar que esta cifra no refleja la pérdida potencial asociada a no poder construir y/u operar los proyectos PDA como se comprometieron, debido a ineficiencias en el abastecimiento de la mina subterránea, lo que aumentaría los eventuales beneficios de estas recomendaciones.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y padrastros, que siempre me impulsaron a ser el mejor; que la suerte no llega, se busca.

A mis hermanos por inspirarme a inspirarlos; estoy orgulloso de los hombres y la mujer en los que se han convertido.

A Codelco y la Universidad de Chile, por haberme permitido formar parte de este programa, ampliando así mis horizontes como profesional y como persona.

A mis amigos por cubrirme las espaldas y entenderme mientras estudié.

A mis compañeros por compartir esta aventura conmigo, sobre todo la inolvidable experiencia que vivimos en China y Hong Kong.

Mención especial para mis coterráneos Tenientinos con los que compartí este desafío estos dos años: Pablo Arriagada y Juan Cristóbal Videla. Imposible lograrlo sin ustedes. Son lo más valioso que me llevo de este magíster.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	OBJETIVOS	4
4	ALCANCES	4
5	MARCO CONCEPTUAL	5
5.1	EL MODELO DE GESTIÓN	5
5.2	NIVELES DE STOCK ÓPTIMOS	6
5.3	PERMANENCIA DE INVENTARIOS	8
6	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	8
7	DESARROLLO DEL NUEVO MODELO LOGÍSTICO	10
7.1	DESARROLLO DEL CASO BASE	10
7.2	MODELAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	12
8	LEVANTAMIENTO DEL CASO BASE	16
8.1	FILL RATE DEL ABASTECIMIENTO	19
8.2	CARACTERIZACIÓN DE SKU'S	20
8.3	GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
9	DIAGNÓSTICO CASO BASE	23
9.1	CAPTURANDO VALOR EN EL MODELO ACTUAL	24
10	EVALUACIÓN DE MODELOS ALTERNATIVOS	25
10.1	ACTUAL OPTIMIZADO	26
10.2	STOCK SOLO SUPERFICIE.....	27
10.3	JUST IN TIME (JIT) PARCIAL	28
10.4	FULL JUST IN TIME + CROSS-DOCKING	30
10.5	FULL JUST IN TIME.....	32
10.6	RESUMEN.....	33
11	CONCLUSIÓN	34
12	RECOMENDACIONES	35
13	BIBLIOGRAFÍA	36
14	APOYOS INSTITUCIONALES	36

1 INTRODUCCIÓN

La División El Teniente (DET) de Codelco Chile está en proceso de materialización de su Plan de Negocios (PND), el cual le permitirá continuar sus operaciones de manera sustentable por los próximos 50 años. Actualmente la producción anual de cobre fino de este complejo minero es de 450 kton. Para sostener este ritmo productivo en el mediano plazo, se debe mantener una tasa productiva de mineral seco en torno a las 150 ktpd.

Si estas cifras van a ser realidad, se requerirá del desarrollo y puesta en marcha de cuatro proyectos, en simultáneo: Recursos Norte, Diamante, Andesita y Andes Norte (primer sector del proyecto Nuevo Nivel Mina – NNM); estos 4 proyectos forman en conjunto el Plan de Desarrollo Alternativo (PDA). A continuación se presenta el perfil productivo deseado, en base a las capacidades actuales (ST8) y las de los proyectos mencionados:

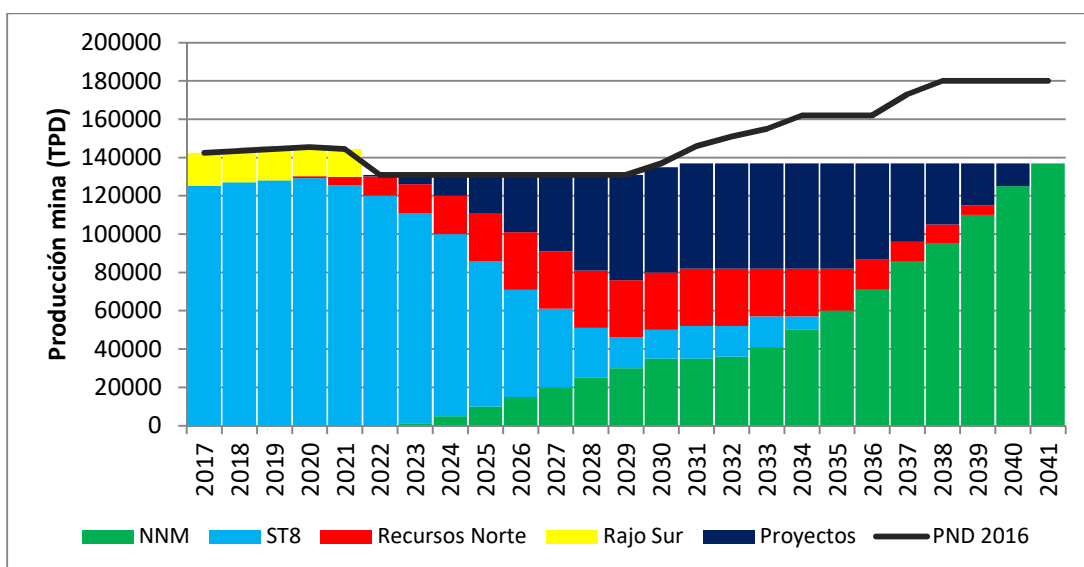


Gráfico 1: Perfil productivo deseado. Fuente: DET

La Gerencia de Minas (GMIN), por lo tanto, ha comenzado a poner en marcha el desarrollo de un Nuevo Modelo de Operaciones que permitirá ejecutar el plan de negocios en tiempo y forma. Como parte de este modelo, en este trabajo se realiza la revisión y posterior modelamiento de la renovación del modelo logístico de la mina. Como caso base, se usa un estudio interno de la División, realizado el año 2015.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Será difícil hacer realidad este plan minero en el mediano y largo plazo, sin tener una mirada integral del negocio, es decir, debe existir una estructura que sustente al Core Business, que es la producción de cobre fino. Se debe instalar una organización eficiente, moderna y rupturista; que mire todas las variables del negocio y no solo las variables de carácter minero.

A medida que los recursos mineros se van haciendo más remotos, más cuesta transformarlos en reservas. Para que este proceso resulte exitoso, se requiere, de manera eficiente, llegar con los insumos básicos a los sectores más profundos y lejanos de la mina: Ventilación, agua, energía, materiales. Además, en la minería subterránea se hace cada vez más peligroso tener personal dentro de la mina. Los esfuerzos y por ende la actividad sísmica son cada vez más activos, más intensos y por tanto, más peligrosos.

Es por esto que se definen las siguientes palancas de gestión como habilitadoras del nuevo modelo de operaciones:

1. Accesos Mina
2. Minimizar infraestructura interior mina
3. Maximizar infraestructura exterior mina
4. Logística mina
5. Control y monitoreo mina en tiempo real
6. Estructura organizacional optimizada

El trabajo de tesis se enfocará en el punto 4. El modelo logístico actual que se emplea en El Teniente no es la base eficiente que los nuevos proyectos necesitan para sustentarse en el tiempo. Este modelo se expone a continuación:

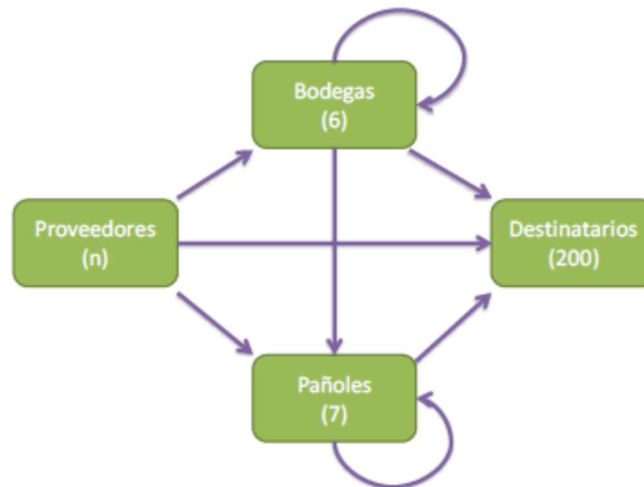


Figura 1: Modelo logístico mina actual, El Teniente. Elaboración propia.

El trabajo busca alternativas que permitan suplir todas las ineficiencias que acarrea este esquema; rescatando aspectos positivos y cambiando los aspectos negativos. Cabe mencionar que se intenta ocupar la mayor cantidad posible de infraestructura existente, tanto física como de información. Una alternativa que a priori asoma como interesante es el manejo logístico del mundo del retail, el cual se apoya en herramientas exitosamente probadas tales como el cross-docking. Un ejemplo a continuación:

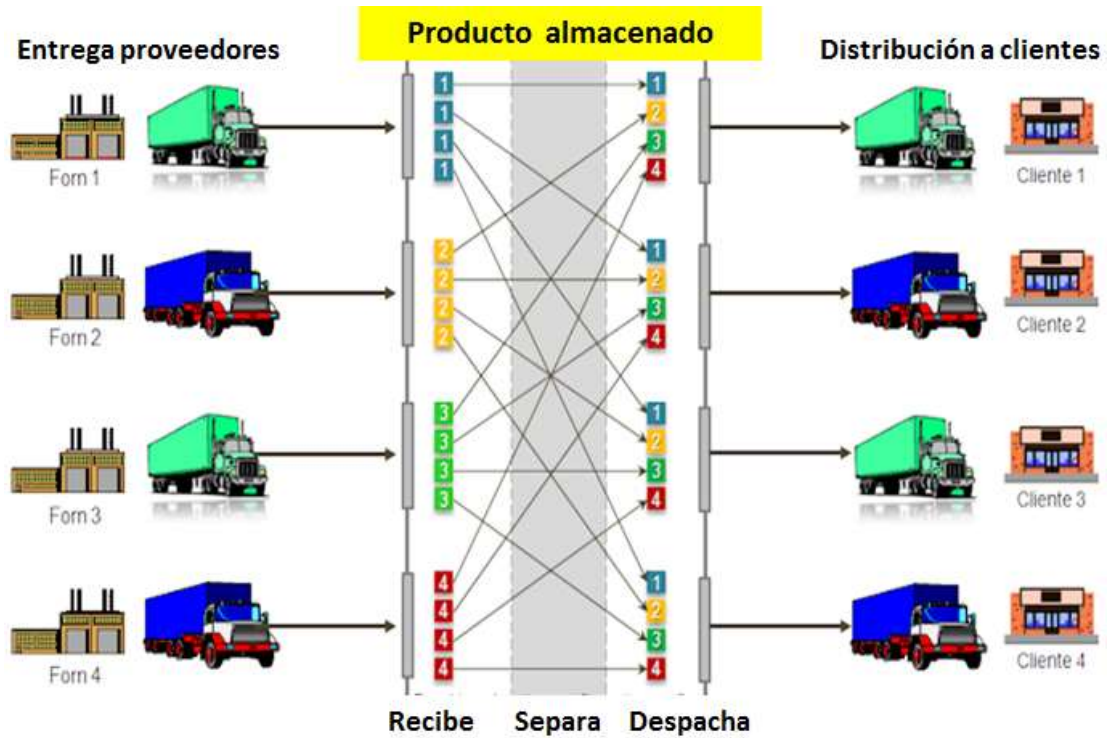


Figura 2: Modelo logístico retail, cross-docking. Fuente: Portal logístico.

3 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos principales:

- Estudiar el modelo actual y nuevos modelos de abastecimiento, promoviendo el desarrollo logístico desde superficie, considerando la singularidad de una faena minera.
- Mejorar la utilización de los activos de la mina.
- Determinar la mejor alternativa técnica económica para la logística de abastecimiento de la mina DET, asegurando los niveles de servicio definidos para los proyectos estratégicos de la División (PDA).

4 ALCANCES

Si bien la optimización del abastecimiento de la mina se integra a un modelo a nivel divisional mucho más complejo, el alcance de este estudio se limita exclusivamente a la mina subterránea.

La idea es que al final de este proyecto quede realizada la propuesta para implementar una alternativa a la distribución y abastecimiento de la mina. Sin embargo, no se hace cargo de los resultados de su implementación.

5 MARCO CONCEPTUAL

5.1 EL MODELO DE GESTIÓN

El modelo general de gestión se compone de cuatro etapas:

- Estrategia: cuáles son los objetivos estratégicos y niveles de servicio que definen el sistema actual de abastecimiento.
- Procesos: cuáles son los procesos que se realizan actualmente para abordar esos objetivos y los recursos involucrados, incluyendo, flujos, ciclos, inventarios, recursos y desempeños obtenidos.
- Estructura organizacional: cuál es la estructura organizacional definida para hacerse cargo del sistema actual.
- Control de gestión: cuáles son los mecanismos de control del desempeño del sistema actual y cuáles son los resultados.



Figura 3: Modelo general de gestión

Estrategia

Algunas definiciones que dirigen la formación de una estrategia de abastecimiento:

- Función objetivo: el problema general del abastecimiento tiene una función objetivo que es reducir el costo del abastecimiento cumpliendo con restricciones de nivel de servicio que serán definidas por la estrategia de abastecimiento. El costo debe considerar el costo operacional de realizar el abastecimiento, y el costo de inversión que podría implicar la solución.
- Nivel de servicio: porción de la demanda que alcanza a ser satisfecha por el servicio de abastecimiento. También conocido como *fill rate*.
- Restricción de recursos: capacidades actuales y posibilidad de extenderlas (o reducirlas).
- Restricciones operacionales: limitaciones operacionales tales como restricción a la entrada de proveedores a la División, limitación de entradas a la mina, superficies máximas de bodegas y pañoles, capacidad de transporte de camiones, temperatura del cemento, etc.
- Modelo de planificación: definición del nivel de centralización con que se planificará y ejecutará el abastecimiento, considerando el *trade-off* que existe entre las economías de escala y la estandarización que permite la centralización, y la flexibilidad y nivel de servicio que suele implicar la descentralización.
- Modelos de negocio: utilización de recursos propios, de terceros, o una combinación de ambos.

Procesos

La problemática de la logística desde la mirada de procesos se puede esquematizar como se muestra a continuación:

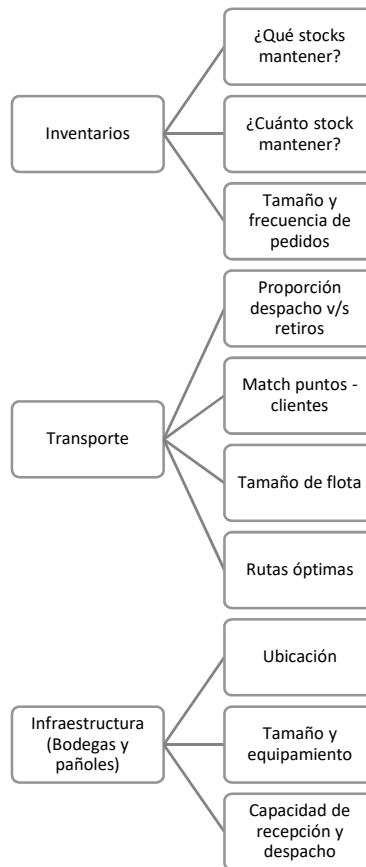


Figura 4: Esquema de la problemática de la logística

Control de gestión y estructura organizacional

Una vez bien acotado el modelo, se debe definir un área de control, la cual monitoree de manera constante ciertos KPI que apalancarán el mejoramiento continuo del modelo logístico implementado. Estas dos aristas no se tocarán muy en profundidad, ya que esto existe. Por lo tanto, en vez de crearlo nuevamente, se debe adaptar lo existente a la nueva realidad que creará esta nueva manera de proveer un servicio de abastecimiento.

5.2 NIVELES DE STOCK ÓPTIMOS

Para determinar el nivel de stock óptimo a mantener en cada punto se revisa la metodología de abastecimiento actual, considerando modelo de revisión continua y modelo de revisión periódica, y el tamaño y frecuencia con que deben realizar los pedidos por cada SKU.

El tamaño del pedido, Q , podría calcularse utilizando el tamaño óptimo de pedido (EOQ), que minimiza el costo total de realizar pedidos, de acuerdo a la fórmula que se muestra a continuación, donde A es el costo administrativo de realizar y ejecutar un pedido, D es la demanda anual de ese SKU, C es el costo de mantener ese stock, expresado como un porcentaje del costo del producto y P es el costo del producto.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{CP}}$$

Ecuación 1: Cálculo de lote

El tamaño del pedido podría estar definido también por un lote de cobertura u otro tamaño de lote determinado por restricciones del tipo comercial y/u operativas que se requiera considerar a nivel de SKU o categorías.

Para determinar el nivel de stock requerido para asegurar el *fill rate* deseado se utiliza la desviación estándar combinada, utilizando la siguiente fórmula, la que integra la incertidumbre de la demanda del SKU, de los tiempos de entrega por parte del proveedor, y del tamaño del lote de pedido.

$$\sigma_c = \sqrt{t_e * \sigma_d^2 + d^2 * \sigma_{t_e}^2 + \sigma_{lote}^2}$$

Ecuación 2: Desviación estándar combinada

Donde t_e es el tiempo promedio de entrega del proveedor del SKU, σ_d es la desviación estándar de la demanda de ese SKU, d es el promedio de la demanda del SKU, σ_{t_e} es la desviación estándar de los tiempos de entrega del proveedor, y σ_{lote} es la desviación estándar del lote de reposición.

En base a la desviación estándar combinada y al tamaño del pedido Q que se utiliza para cada SKU se calcula la esperanza parcial de ruptura de inventario $E(k)$, que corresponde al valor esperado de unidades faltantes en un ciclo de reposición, en base a la fórmula del *fill rate*:

$$FR = 1 - \frac{E(k) * \sigma_c}{Q}$$

Ecuación 3: Cálculo del fill rate

Con el cálculo de la esperanza parcial de ruptura $E(k)$ se determina el factor k que establece el tamaño del stock de seguridad que debe utilizarse de cada SKU para mantener el *fill rate* deseado, mediante la fórmula:

$$SS = K * \sigma_c$$

Ecuación 4: Stock de seguridad

La expresión anterior permite entonces, determinar los niveles de stock óptimo por cada Stock-keeping unit y por cada punto de origen (bodega/pañol/dispensador). Esto será fundamental para no cometer errores a la hora de definir una flota y sistema de rutas óptimo para la distribución de materiales e insumos dentro de la mina.

5.3 PERMANENCIA DE INVENTARIOS

El origen de la ley de Little es la Teoría de las Colas. Es quizás la ley más conocida en el modelado del rendimiento de los sistemas TI. La ley demuestra las relaciones entre el Lead Time, el Trabajo en curso (WIP) y el Rendimiento (Throughput).

$$\text{Lead Time} = \frac{\text{Work in Progress}}{\text{Throughput}}$$

Ecuación 5: Ley de Little

- *El Lead time*: El período entre la entrada de un petición en el sistema (petición solicitada) y la recepción de la petición. Se mide por el tiempo transcurrido (minutos, horas, etc). La petición puede ser un requisito, una historia de usuario, una incidencia, material, una solicitud de un usuario, etc.
- *Trabajo en curso (WIP – Work In Process)*: el número de peticiones (unidades de trabajo) que se están procesando, es decir las que han entrado en el sistema, pero todavía no han salido.
- *Rendimiento (Throughput)*: el número de unidades de trabajo que salen del sistema en un tiempo determinado, p.ej., 3 historias de usuario por día.

6 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

El proyecto se compone de cuatro etapas, cada una con sub-etapas a desarrollar.

Etapas 1: Desarrollo de caso base en logística de abastecimiento

1. Levantamiento de información histórica
 - 1.1. Flujos de entrada y salida para todos los orígenes, destinos y materiales
 - 1.2. Inventarios
 - 1.3. Gestión de materiales y su desempeño
 - 1.4. Política de compra, administración de stocks
 - 1.5. Recursos y sistemas (bodegas, SAP, etc.)
2. Levantamiento de información nueva que pueda afectar la logística
 - 2.1. Nuevos proyectos de explotación (Rec. Norte, Andesita, Andes Norte, Diamante)
 - 2.1.1. Fases de construcción y explotación
 - 2.1.2. Ritmos productivos y demanda logística
 - 2.2. Proyecto de materiales reparables y materiales de proyectos
3. Desarrollo nuevo caso base
 - 3.1. Estrategia
 - 3.2. Procesos
 - 3.3. Estructura organizacional
 - 3.4. Control de gestión

Etapa 2: Modelamiento nuevas estrategias de distribución a la Mina

1. Definición de puntos de la red
2. Definición de cobertura
3. Definición de fill rate por punto y por SKU
4. Definición de la flota
5. Definición de ruteo

Etapa 3: Definición mejor alternativa abastecimiento Mina

1. Análisis cuantitativo
2. Análisis cualitativo

Etapa 4: Propuesta implementación de la mejor alternativa

1. Situación en escenario base
2. Situación deseada al final de la implementación
3. Principales cambios requeridos
4. Acciones requeridas
5. Plazos estimados
6. Costos estimados
7. Asignación de responsables

7 DESARROLLO DEL NUEVO MODELO LOGÍSTICO

Se debe establecer una metodología de trabajo que establezca primero un caso base bien definido y acotado. Luego, la idea es buscar alternativas y ejemplos exitosos de modelos logísticos. Posterior a esto, se busca adaptar y combinar estos modelos de tal forma de generar un modelo integrado que se adapte a la compleja realidad de la mina El Teniente. Finalmente, se ejecuta la implementación de este modelo en la división.

Ordenando lo mencionado anteriormente, se divide la optimización del modelo logístico en cuatro grandes etapas:

- Desarrollo del caso base
- Modelamiento de nuevas estrategias
- Definición de la mejor alternativa
- Propuesta de implementación

7.1 DESARROLLO DEL CASO BASE

Tanto para levantar el caso base en forma exhaustiva, como para modelar y proponer un diseño óptimo de la logística de abastecimiento se requiere disponer de la información fuente en el mayor grado de detalle que sea posible obtenerla, tomando como fuente principal la ingeniería desarrollada por DET el año 2015. En ese contexto, la información requerida será:

Flujos: información de flujos diarios por material por origen y por destino, para todos los materiales, todos los orígenes y todos los destinos tal como se esquematiza en la Figura 1 por un período de al menos un año. Esta información deberá contener, idealmente, los campos que se muestran en la siguiente tabla y se detallan a continuación:

Fecha	Hora		Origen	Destino	Tipo de entrega	Material				Unidad	Cantidad	Camión
	Salida	Recepción				Nombre	Código SAP	Categoría	Tipo			

Tabla 1: Registro de flujos

Cada columna de la tabla se describe en detalle a continuación:

- Hora de salida: hora en que se realizó el despacho desde el origen.
- Hora de recepción: hora en que se recibió el material en el destino.
- Origen: lugar desde donde se transportó el material.
- Destino: lugar hacia donde se transportó el material.
- Tipo de entrega: despacho a domicilio o entrega por ventanilla.
- Material Nombre: nombre del material.
- Material Código SAP: código SAP del material
- Material Categoría: categoría a la que pertenece el material (Materiales de Operación, Materiales de Proyectos, Insumos Mina, etc.)
- Material Tipo: tipo de material (repuestos, explosivos, materiales de construcción, ladrillos, EPP, etc.).
- Unidad: unidad de medición del material (por ejemplo unidades, toneladas, paquetes, bolsas, litros, etc.).

- Cantidad: cantidad de unidades del material (especificadas en el punto anterior) que fueron transportadas.
- Camión: identificador del camión que realizó el transporte.

Inventarios: información mensual de nivel de inventario de material (código SAP) en bodegas y pañoles, para todos los materiales, todas las bodegas y todos los pañoles por un período al menos de un año. Esta información deberá contener, idealmente, los campos que se muestran en la siguiente tabla y se detallan a continuación:

Fecha	Lugar	Material				Unidad	Cantidad	Posición	Auditoría	
		Nombre	Código SAP	Categoría	Tipo				Fecha última	Descuadre

Tabla 2: Registro de inventarios

Cada columna de la tabla se describe en detalle a continuación (algunas se repiten desde la tabla de flujos y por tanto no se describen nuevamente):

- Fecha: fecha en que se registró el inventario.
- Lugar: lugar físico donde se encuentra el inventario registrado (bodega, pañol, u otro).
- Cantidad: cantidad de unidades del material (especificadas en el punto anterior) que fueron registradas en el lugar.
- Posición: posición específica dentro del lugar físico en que se encuentra el SKU.
- Auditoría fecha última: fecha en que se realizó la última auditoría para ese SKU.
- Auditoría descuadre: descuadre entre inventario físico e informático encontrado en la última auditoría para ese SKU.

Desempeño de la gestión de materiales: información de los resultados obtenidos por la gestión de materiales en las bodegas y en los pañoles, identificando:

- Quiebres de stock: información de todos los quiebres de stock reportados (o registrados por sistema) por un período de al menos un año a nivel de código SAP.
- Nivel de satisfacción: información disponible que permita conocer el nivel de satisfacción de los usuarios de las bodegas y pañoles. Esto se podría obtener a través de encuestas de satisfacción, registros de quejas y reclamos, etc.

Política de compra y administración de stocks: información de las políticas y prácticas, formalizadas y no formalizadas, sobre la administración de inventario considerando:

- Estrategia de compra: información de estrategia de compra a nivel de categoría de materiales.
- Stock de seguridad: información de stocks seguridad considerados para cada material o categoría de materiales en cada bodega y pañol, si estuvieran definidos.
- Administración de stocks: política de gestión de stocks al interior de las bodegas y pañoles, si existiera, incluyendo metodología de posicionamiento dentro de la bodega.

Recursos y sistemas: principales recursos y sistemas utilizados a nivel de bodega y pañol, considerando:

- Infraestructura física (superficie disponible, superficie utilizada, racks, etc.).
- Equipamiento (camiones, grúas, traspaletas, etc.).
- Sistemas informáticos.

Una vez compilada completamente toda esta batería de información, y apoyándose en lo expuesto en el marco conceptual (figura 3), se podrá finalmente levantar el caso base, desde el cual se trabajará para llegar a los niveles de eficiencia requeridos para sustentar una operación tan ambiciosa como la que plantea el PDA de la DET.

7.2 MODELAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En base al marco metodológico definido en el punto anterior se propone desarrollar una metodología de trabajo que permita evaluar la eficacia y eficiencia de diferentes alternativas de configuración del sistema de abastecimiento de la mina de la DET, especificando los recursos requeridos y las fortalezas y debilidades de cada alternativa.

Para esto se propone construir las alternativas utilizando el modelo iterativo que se esquematiza en la Figura 5, el cuál realiza análisis secuenciales para las principales decisiones que determinan el sistema utilizando análisis y modelamientos matemáticos propios a cada una de ellas.

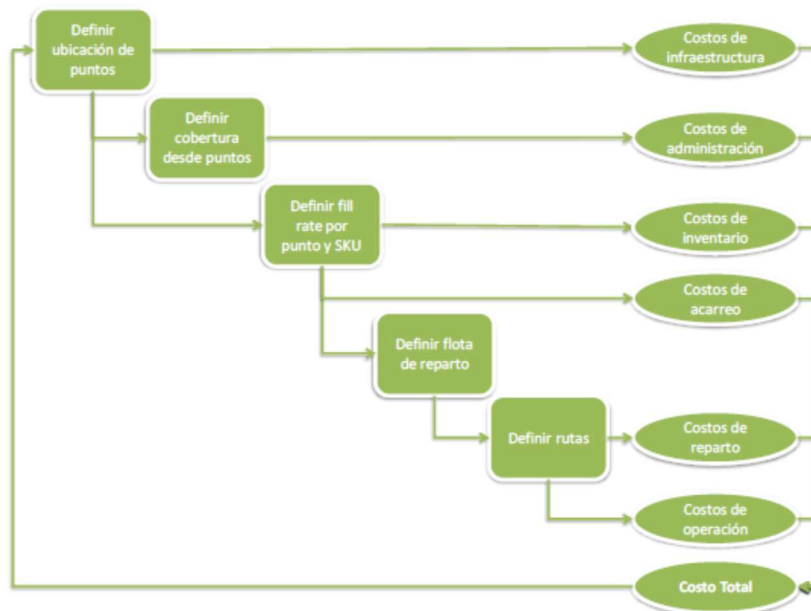


Figura 5: Modelo de evaluación de alternativas

En este modelo se van analizando de forma iterativa las definiciones claves de inventarios, transporte e infraestructura que determinan el proceso de abastecimiento, las que van determinando el costo total del sistema de abastecimiento, sujeto al cumplimiento de restricciones. El objetivo del modelo es seleccionar las alternativas que presentan los costos totales más bajos y que cumplen con las restricciones propias de cada tipo de decisión que permiten validar secuencialmente el modelo. En esta etapa se propone construir y evaluar al menos 5 nuevos modelos de abastecimiento.

En términos generales, el Modelamiento considera los siguientes aspectos:

Definición de puntos de red: Se analiza cuáles serán las bodegas, pañoles y eventuales dispensadores que considerará el sistema logístico. En la actualidad se utilizan 6 bodegas (3 principales, 1 periférica para rajo sur, 1 para materiales peligrosos, y 1 para consolidación de carga que opera como bodega de tránsito), 7 pañoles (1 en superficie y 6 al interior de la mina) y 22 dispensadores de EPP (16 en superficie y 6 al interior mina). Se debe analizar cuáles serán los nuevos puntos requeridos para los nuevos proyectos de desarrollos (Recursos Norte, Andesita, Diamante y Andes Norte). La definición de puntos determinará en gran parte del costo en infraestructura requerido por el sistema.

Definición de cobertura: Se define la cobertura que tendrán los puntos considerados estableciendo qué usuarios serán atendidos desde cada pañol y/o bodega (especificando modalidad entrega a domicilio o retiro en ventanilla), y qué pañoles serán abastecidos desde cada bodega para cada categoría de SKU.

Para realizar este cálculo se propone utilizar una metodología de optimización lineal basada en el Modelo de Transporte que define como función objetivo la minimización de los costos totales de transporte desde puntos de origen a puntos de destinos, asumiendo que hay un costo determinado para cada uno de los tramos (parámetros), y que hay alguna posibilidad de tomar decisiones relativas a cuánto stock transportar desde los diferentes puntos de origen a los diferentes puntos de destino (variables de decisión), y restricciones del flujo que requiere ser transportado y de capacidades de despacho y recepción (restricciones).

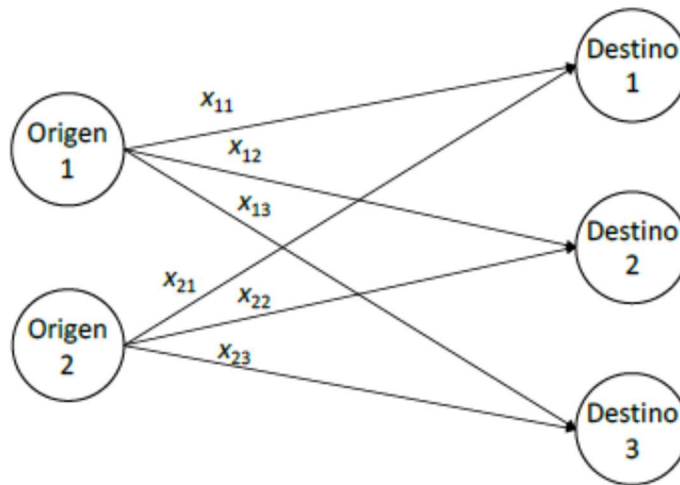


Figura 6: Esquema problema general de optimización del transporte

La Figura 6 esquematiza, a modo de ejemplo, un planteamiento clásico del problema general de transporte, donde las variables de decisión son x_{11} , x_{12} , x_{13} , x_{21} , x_{22} , x_{23} (donde x_{ij} es el flujo transportado desde un origen i a un destino j para un determinado SKU), la función objetivo es Minimizar $C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} + C_{13}x_{13} + C_{21}x_{21} + C_{22}x_{22} + C_{23}x_{23}$ (donde C_{ij} es el costo de transportar un SKU desde un origen i a un destino j), y las restricciones son cumplir con la demanda en cada destino ($\sum_{i=1}^2 x_{ij} \geq \text{Demanda destino } j$, para cada j) sin sobrepasar la capacidad de despacho en cada origen ($\sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq \text{Capacidad destino } j$, para cada i) para cada SKU.

Definición de fill rate por punto y por SKU

El fill rate por punto y SKU será determinado de acuerdo a las Ecuaciones 1 a 4 expuestas en el Marco Teórico. En su determinación será clave incorporar los siguientes factores:

- *Costo de quiebre*: costo de quedar sin stock para ese SKU que es función del perjuicio directo que tiene el quiebre sobre la producción, la calidad o el servicio, que es función del fill rate escogido, y el tiempo esperado en que se mantendrá el quiebre, que es función del lead time de pedido para ese SKU.
- *Costo de mantener stock*: costo de mantener el stock definido, considerando el costo del lugar físico (especialmente relevante al interior mina), y los costos financieros, por pérdidas y obsolescencias, que es función de la cantidad de stock a mantener que a su vez estará determinado por el fill rate.
- *Costo de llevar stock*: costo de re-abastecer el punto con ese SKU, que es función del tamaño y frecuencia del pedido.

Ninguno de estos cálculos posee sentido, por supuesto, si no se realizan en el contexto de un modelo integrado, expuesto a continuación:

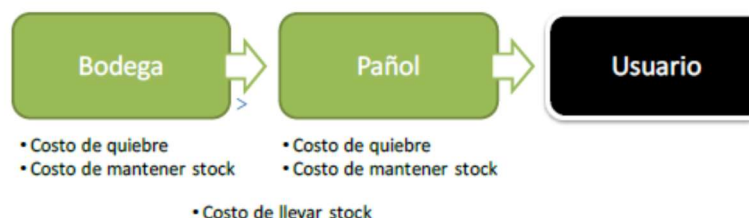


Figura 7: Esquema integrado sistema bodega – pañol

El approach que se utiliza para optimizar los espacios en bodegas y pañoles se conoce como el “Problema de la Mochila”. Este problema plantea la función objetivo de maximizar el valor total del uso del espacio limitado de una mochila, cargándola con diferentes ítems que entregan un beneficio y tienen un costo por el espacio que ocupan. En el problema genérico la función objetivo es maximizar el valor $\sum_{i=1}^n x_i v_i$ donde v_i es valor del ítem i y x_i adopta los valores 0 o 1 dependiendo si se incorpora o no ese ítem en la mochila, cumpliendo la restricción de que el espacio utilizado no puede ser mayor al total de la mochila: $\sum_{i=1}^n x_i w_i \leq W$ donde w_i es tamaño del ítem i y W es el tamaño total de la mochila.

Con este marco metodológico entonces, es posible definir como convenientes sistemas de abastecimiento tipo *retail* o “*just in time*”.

Definición de flota

Se analiza el tamaño y la cantidad de vehículos que se requiere utilizar para asegurar la eficacia y la eficiencia del transporte en el sistema logístico de abastecimiento. Dada las diferencias entre los puntos en que debe realizarse el transporte de abastecimiento es probable que la configuración óptima de la flota deba considerar diferentes tipos de vehículos. En términos generales los factores que caracterizan a la flota están definidos por las dimensiones físicas del camión, capacidad y equipamiento del camión, y costo.

Como parte de la definición de la configuración de la flota se propone analizar el modelo de negocio que regirá la operación de transporte y de qué manera este aborda de manera

eficiente las variabilidades en la demanda por transporte. Un contrato óptimo debiera considerar una capacidad y una tarifa por los movimientos regulares y planificados, y una capacidad y una tarifa diferente (y eventualmente otro contrato) por movimientos no regulares y no planificados.

Definición de ruteo

Se analizan las rutas óptimas para el abastecimiento de la red logística para asegurar el abastecimiento de todos los puntos cumpliendo los niveles de servicios que fueron definidos para cada uno. Este problema, que está íntimamente relacionado con la configuración de la flota mencionado en el punto anterior, se analiza utilizando modelos basados en los modelos clásicos de ruteo de vehículo (VRP), ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP), ruteo de vehículos con ventanas de tiempo para entrega (VRPTW) o ruteo con mix de flota (FSMVRP). Los problemas de ruteo están basados en el problema TSP y al igual que éste son computacionalmente complejos de resolver.

Para hacer la solución más implementable, se considerarán heurísticas que llegan a resultados levemente sub-óptimos, pero de manera mucho más sencilla que los Métodos Exactos o la programación dinámica.

8 LEVANTAMIENTO DEL CASO BASE

El área abastecimiento de la DET está orientada a satisfacer las necesidades de los usuarios de la división cumpliendo requisitos de eficacia y eficiencia. En la Figura 8 se muestra los flujos de principales de materiales de abastecimiento, considerando fuentes externas e internas a la División El Teniente. Para entender y optimizar el modelo logístico para la mina, es necesario comprender primero el abastecimiento DET global.

El abastecimiento de la DET proviene de 1.218 proveedores distintos con los cuáles hay hoy en día 673 contratos vigentes. El área dispone de 5 almacenes contables (Rancagua, Barahona, Reactivos, Colon y Rajo Sur) y el almacén la Junta, que es un almacén acontable, donde se encuentra el pañol contable La Junta, que cumple el rol de recibir y almacenar los materiales y componentes que deban seguir en el sistema. Al interior de la mina el área cuenta con 6 pañoles: La Junta, Teniente 4, Teniente 7, Sub6, Sub 5 y Diablo Regimiento.

Abastecimiento cuenta con 21 vehículos de distribución, compuestos por camionetas y hasta camiones de 14 toneladas, para cubrir así los requerimientos de toda la división. Los flujos de materiales descritos en la Figura 8 pueden ser de varios tipos:

- Directamente proporcionados por los contratistas
 - Materiales que son proporcionados por los contratistas y que nunca entran en los sistemas de abastecimiento de la división.
 - Este flujo da cuenta de aproximadamente el 80% de los materiales utilizados por otras áreas ajenas a la operación (desarrollo obras mina, desarrollo proyectos PDA y proyecto Nuevo Nivel Mina). El restante 20% es aportado desde los almacenes de la DET.
- Directo en planta
 - Materiales de alta rotación y con proveedores confiables que son entregados directamente al destinatario que los requiere, sin pasar por almacenes DET o requerir de su logística.
 - Los flujos de salida de materiales para el 2016 en esta modalidad fueron estimados en 90 MM USD.
- Distribuidos desde los almacenes DET
 - Materiales que son entregados a los usuarios desde los almacenes DET.
 - Los materiales y componentes pueden llegar a los almacenes por dos vías
 - Directamente desde el proveedor
 - Consolidado y entregado por el operador logístico
 - Los flujos de salida de materiales para el 2016 en esta modalidad fueron estimados en 166 MM USD el 2016.

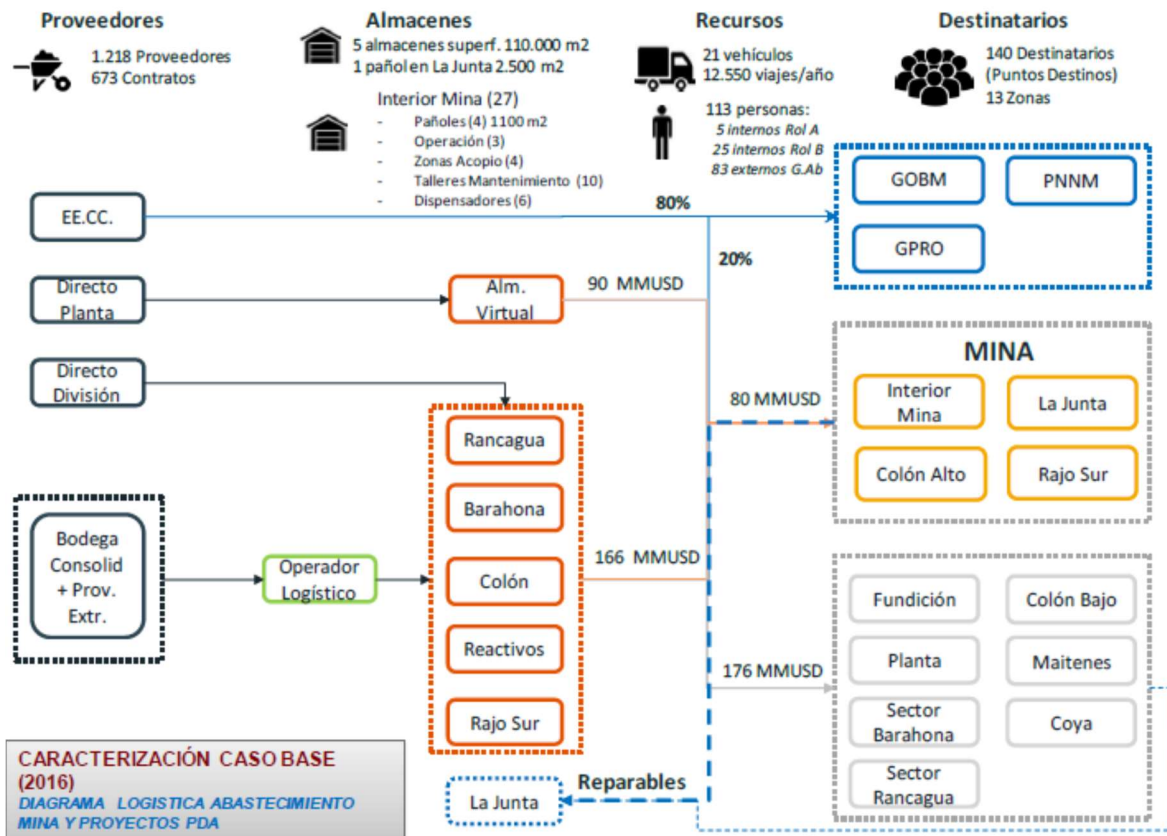


Figura 8: Modelo de abastecimiento División El Teniente. Fuente: CEOP Consulting

Al clasificar los flujos desde los almacenes contables hacia el sector “Mina”, destaca rápidamente el hecho de que la mayoría de los flujos tiene como destino “Interior Mina”, y que de estos, más del 70% corresponden a flujos de repuestos para equipos:

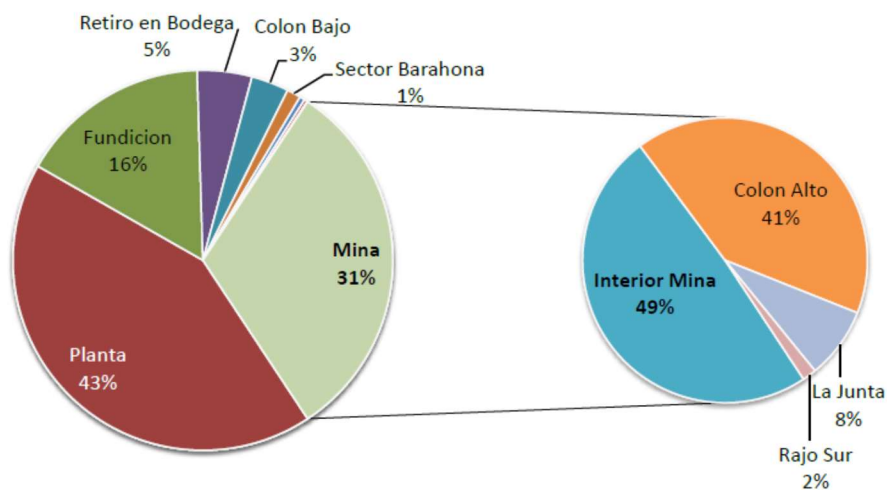


Figura 9: Distribución de flujos. Elaboración propia.

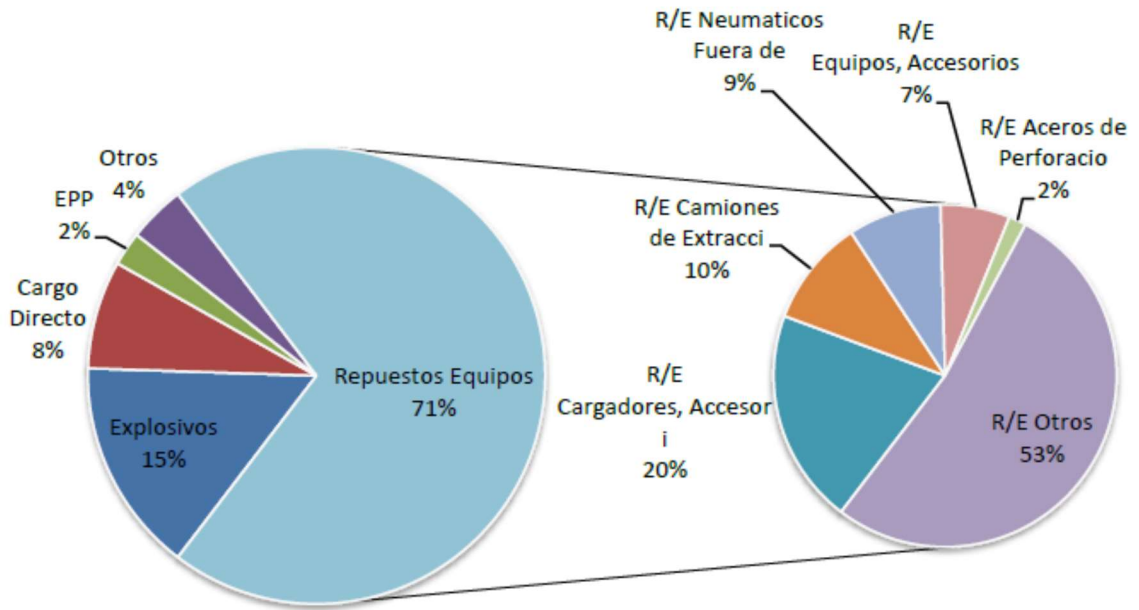


Figura 10: Flujos interior mina, por categoría. Elaboración propia

Dada la estructura que poseen los contratos de abastecimiento y los contratos de construcción de obras mineras, los flujos tienden a concentrarse en ciertos horarios, causando atoches en la única vía de ingreso y egreso a la mina (**Adit 71**). A continuación se presenta la distribución de flujos en un día:

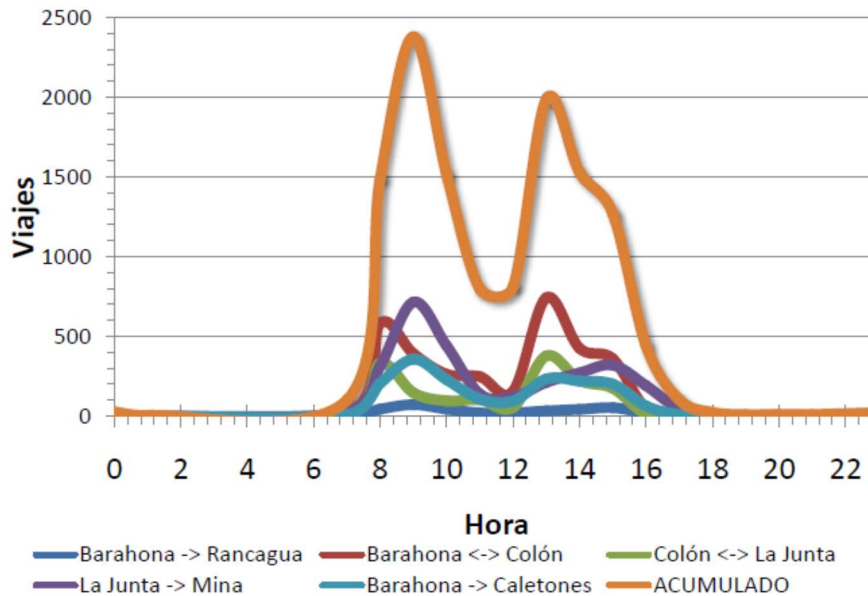


Gráfico 2: Distribución de flujos en el tiempo, dentro de un día. Elaboración propia.

8.1 FILL RATE DEL ABASTECIMIENTO

Calculando los fill rate actuales que presenta la DET, es posible determinar que no existen quiebres sistemáticos en el abastecimiento y por consiguiente Abastecimiento DET posee la capacidad para enfrentar el desarrollo y operación de los proyectos PDA.

Se clasificaron como de alta rotación aquellos SKU que tuvieron más de 3 meses con consumo en 18 meses (ene-16 a jun-17). En base a los fill rate calculados para estos SKU, se puede apreciar que el sistema de abastecimiento actual cumple con requerimientos de la operación para los SKU de alta rotación. Además se observa que:

- No existen quiebres sistemáticos de abastecimiento
- El 44% de los SKU de alta rotación tiene Fill Rate 100%

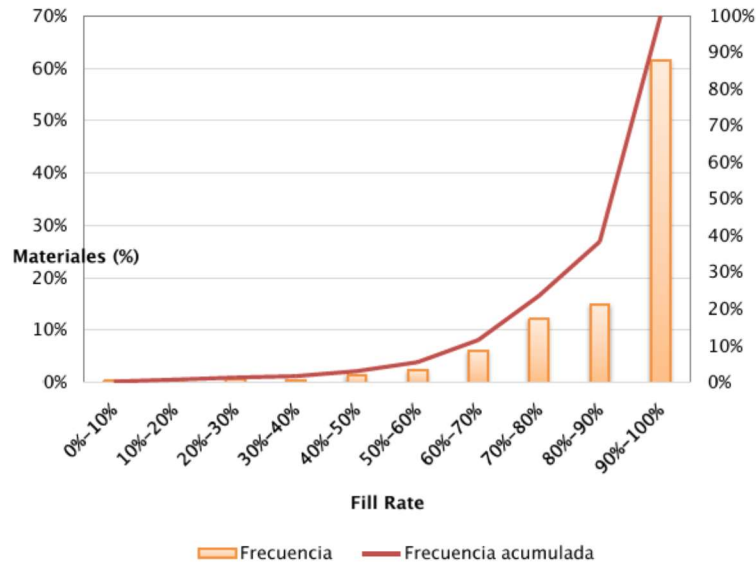


Gráfico 3: Fill rate actual, alta rotación

Se clasificaron como de baja rotación aquellos SKU que tuvieron como máximo 3 meses con consumo durante los 18 meses estudiados (ene-16 a jun-17). En base a los fill rate calculados para estas SKU, se puede apreciar que el sistema de abastecimiento actual cumple con requerimientos de la operación para los SKU de baja rotación. Además se observa que:

- No existen quiebres sistemáticos de abastecimiento
- El 46% de los SKU de baja rotación tiene Fill Rate 100%

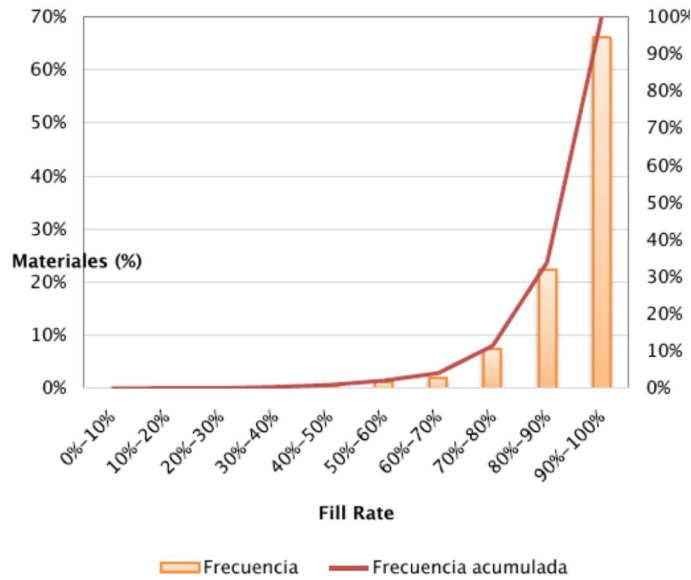


Gráfico 4: Fill rate actual, baja rotación

8.2 CARACTERIZACIÓN DE SKU'S

El comportamiento (demanda, proveedores, picking, stock, etc.) de la operación logística y de abastecimiento de la división El Teniente es dependiente de la composición de los SKU que deben ser abastecidos. En la Figura 11 se observa una clasificación de los SKU.



Figura 11: Clasificación de SKU según vigencia y rotación

Durante el período de análisis (18 meses, desde ene-16 a jun-17), se observa que:

- 172.086 SKU han sido históricamente utilizados.
- 42.374 SKU están vigentes, entendiendo como vigentes que tienen al menos un consumo tienen inventario en algún momento del período estudiado.
- 32.921 SKU tienen movimiento, entendido como al menos un consumo durante el período de estudio.
- 9.453 SKU no presentan movimiento de salida durante el período de estudio.

Solamente observando esta figura ya se observa una posibilidad de capturar “Quick Wins” al gestionar todo el stock inmovilizado de manera correcta y además realizar una limpieza a las bases de datos respecto a SKU’s en desuso u obsoletos.

Utilizando la Ley de Little, mencionada en el Marco Conceptual, se pueden calcular los tiempos de permanencia de los inventarios para cada SKU. A continuación se puede observar la distribución obtenida, de la cual se desprende que hay un grado de inmovilidad mayor al obtenido mediante un análisis de solamente los últimos 18 meses:

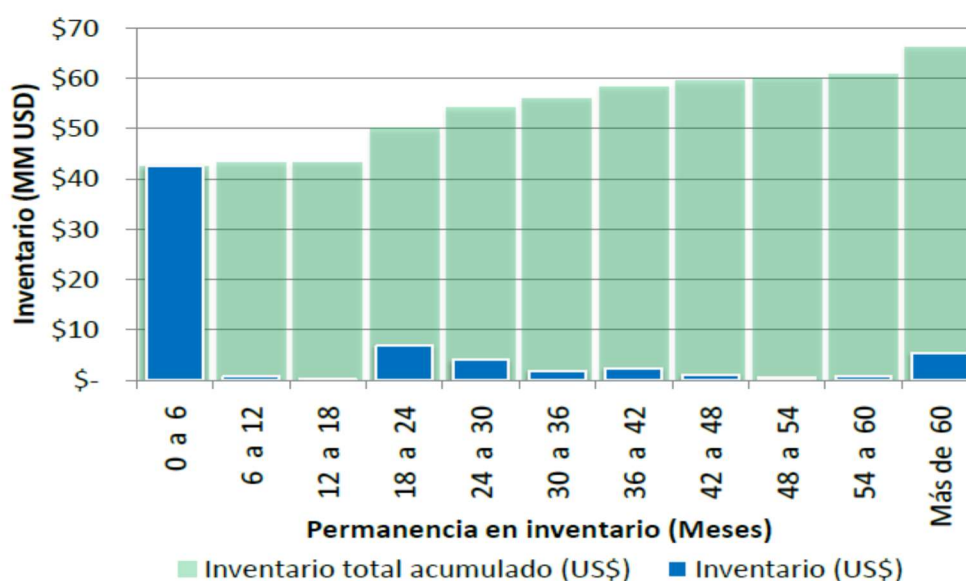


Gráfico 4: Permanencia en inventario. Fuente: CEOP Consulting

Adicionalmente a lo estudiado recién, se suma la existencia de inventarios extracontables, valorizados aproximadamente en 120 MM USD. Sin entrar mayormente en detalle, estos inventarios pueden causar los siguientes problemas:

- Cuadratura de la información
- Caducidad u obsolescencia
- Aumento de costos de mantención de stock
- Problemas tributarios

8.3 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

La generación y uso de la información de gestión es la manera más fácil y efectiva para caracterizar y/o realizar cualquier análisis de Abastecimiento, y puede ser por consiguiente muy útil para realizar gestión. En la DET el sistema de manejo y almacenamiento de datos está basado en SAP, desde el cual se obtuvo la mayor parte de la información utilizada en los análisis del presente estudio.

No obstante lo anterior, se detecta que la información no es utilizada en la operación, solo es una obligación para el usuario. En el proceso del presente estudio se detectaron tres fuentes principales de error:

- Usuario: en el ingreso de la información al sistema
- Sistema: falta de validación (validación de consistencia de la información al ingreso)
- Procesos: falta de estandarización. (Datos reflejan diferencias en procesos de la operación)

Estas fuentes de error se traducen en un componente adicional de incertidumbre al desarrollo de cualquier estudio. Para salvar estas dificultades, se requiere hoy de la experticia del personal especializado en el manejo de ésta información.

Es importante notar que estas inconsistencias y/o dificultades afectan la precisión y el tiempo que toma cualquier análisis realizado y hace más difícil la compilación de información consistente entre diferentes áreas en la DET.

9 DIAGNÓSTICO CASO BASE

Tomando todo lo anterior bajo consideración, se resume el diagnóstico del caso base en el siguiente esquema causa – efecto, el cual concluye principalmente que el foco está en la eficacia y no en la eficiencia. Si bien el modelo actual de abastecimiento a la mina cumple con su propósito y posee capacidad para atender desafíos mayores, existen grandes fugas de oportunidad y ganancia que se pueden capturar a través de modelos más modernos y eficientes.

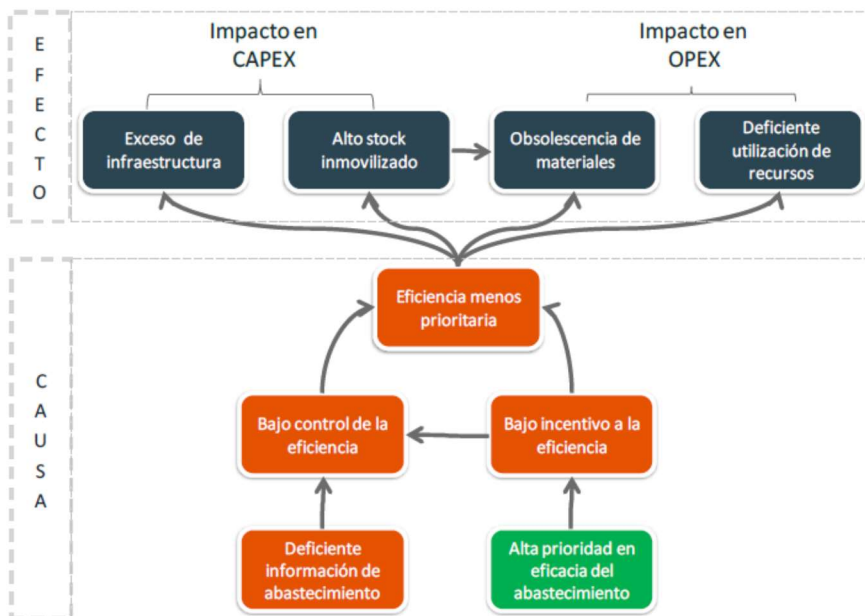


Figura 12: Diagrama causa – efecto, caso base. Elaboración propia.

Se procede además a resumir aspectos claves del modelo a continuación, respecto a requisitos operacionales, eficiencia, datos e incentivos:

Requisitos operacionales

Sistema de abastecimiento actual cumple con requerimientos de la operación

- No existen quiebres sistemáticos en el abastecimiento.
- Existe la capacidad para enfrentar el desarrollo y operación de los proyectos PDA.
- Estudio Mantenimiento facilita atender desde la superficie los requerimientos de Interior Mina.

Eficiencia

Existen oportunidades para mejorar la eficiencia del abastecimiento. Históricamente el foco del abastecimiento ha estado puesto en la eficacia más que en la eficiencia.

- Un 35% del inventario (23 MM USD) tiene una permanencia promedio mayor a los 18 meses.
- En el segmento de los materiales de alta rotación, un 44% de los SKU tienen un nivel de inventario superior al requerido para lograr fill rates del 100%.
- En el segmento de los materiales de baja rotación, un 46% de los SKU tienen un nivel de inventario superior al requerido para lograr fill rates del 100%.

Datos

Información existente es deficiente para un adecuado control del abastecimiento

- No existe registro formal de los flujos desde pañoles de materiales solicitados por los usuarios (26% del flujo que pasa por pañoles).
- No existe control ni incentivos reales para que los materiales solicitados y no utilizados sean reingresados al sistema. Resultado: “stocks extracontables”.
- No existe registro del movimiento de los reparables (14 MUS\$/año). Regularización en proyecto piloto.
- Actualmente obtener información relativamente básica de gestión de abastecimiento desde los sistemas informáticos es un proceso complejo y requiere del *know how* de actores específicos.

Incentivos

Indicadores e incentivos son insuficientes para mejorar el abastecimiento

- Abastecimiento no se está gestionando como un proceso integral sino más bien como un proceso de entrega materiales.
- Los indicadores actualmente utilizados son insuficientes para monitorear la eficiencia del abastecimiento.
- Adicionalmente, no se está calculando ni controlando el fill rate del sistema (KPI de nivel de servicio), lo cual atenta contra su eficacia. Todos los fill rate y los análisis que se derivan de su cálculo fueron realizados durante este estudio.

9.1 CAPTURANDO VALOR EN EL MODELO ACTUAL

Antes de evaluar los modelos alternativos y proponer un plan de acción de optimización del abastecimiento de la mina, saltan a la vista varias acciones posibles a tomar que pueden capturar valor; son de fácil implementación y bajo costo. A estas acciones se les bautiza con el nombre de “Quick Wins” (“ganancias rápidas”).

A continuación se enlistan cuatro simples acciones a tomar en el corto plazo, sin la necesidad de modificar el modelo.

- Gestión integral del abastecimiento
 - Calcular *fill rates* para toda la cadena
 - Planificación: Identificar y diferenciar demanda conocida e incierta
 - Establecer acuerdos de niveles de servicio y abastecimiento
- Eliminar pañoles como consumidores de materiales
- Cuadratura de la información
 - Forzar cumplimiento de registro stocks extracontables
 - Forzar cumplimiento de registro materiales reparables
- Optimizar los inventarios
 - Definir *fill rates* óptimos por SKU (Ley de Little)
 - Reducir inventario para SKU's con fill rate = 100%

10 EVALUACIÓN DE MODELOS ALTERNATIVOS

En el presente estudio se evalúan los siguientes escenarios para determinar su viabilidad económica, de acuerdo a las limitaciones técnicas de la DET.

- Situación Actual Optimizada
- Stock sólo en superficie
- Just In Time (JIT) parcial + Cross Docking perfecto
- Full JIT + Cross Docking perfecto
- Full JIT

La evaluación económica se expresa como un VAC dentro del horizonte de tiempo contemplado para los proyectos PDA, es decir, 35 años. Se utiliza una tasa de descuento benchmark de un 8%.

Para apoyar la evaluación, se definen cuatro “palancas habilitantes”, de las cuales se definen distintos grados de dependencia, dependiendo del modelo a implementar:

- Desarrollo de proveedores
- Tecnología
- Planificación
- Infraestructura vial, superficie e interior mina

El siguiente cuadro resume distintos aspectos de cada modelo, así como el peso de las palancas habilitantes en cada uno de ellos:

Escenario	1	2	3	4	5	6
	Actual	Actual optimizado	Stock solo superficie	JIT parcial	JIT total +CD	JIT total
<i>Just in time</i>	No	No	No	Algunos SKU	Todos los SKU	Todos los SKU
<i>Cross-Docking</i>	No	No	No	Algunos SKU	Todos los SKU	No
<i>Optimización de stock</i>	No	Si	Si	Si	Si	Si
<i>Inventario interior mina</i>	Si	Si	No	No	No	No
<i>Inventario superficie</i>	Si	Si	Si	Si (bajo)	Si (bajo)	Si (bajo)
Palancas Habilitantes:						
<i>Desarrollo de proveedores</i>	-	-	+	++	+++	+++
<i>Tecnología</i>	-	-	+	++	+++	++
<i>Planificación</i>	+	++	++	++	+++	+++
<i>Infra. vial sup. e int. mina</i>	+	+	++	++	++	+++

Tabla 3: Cuadro resumen, modelos alternativos y modelo actual. Fuente: DET

10.1 ACTUAL OPTIMIZADO

El Escenario Actual Optimizado supone reducción de inventario de dos fuentes principalmente:

- Reducción permanente del inventario inmovilizado (sin movimiento últimos 18 meses): Se encuentran 4 MM USD de inventario inmovilizado (no se incluyen repuestos equipos), y se asume que solo se puede recuperar el 50% del valor nominal del mismo (2 MM USD).
- Optimización de inventario en base a los fill rates: implica reducir inventario para aquellos SKU que hoy tienen un fill rate del 100%. Se discrimina también según la criticidad declarada del material (a nivel de subcategoría). Se reduce el inventario requerido para seguir ofreciendo el mismo fill rate (100%) y nivel de servicio al destinatario.

No se realiza un análisis cualitativo tipo costo – beneficio para este modelo, dado que es simplemente una mejora al sistema actual. Cuantitativamente, este modelo tiene un potencial ahorro o VAC de 10 MM USD, desgregado en la tabla a continuación:

	Actual	Actual optimizada	Delta
<i>Costo Infraestructura</i>	2,044,249	2,044,249	0
Costo Bodegas	678,755	678,755	0
Gastos Generales	1,077,134	1,077,134	0
Servicios Adicionales	288,360	288,360	0
<i>Costo Dotación</i>	5,774,566	5,774,566	0
Dotación Bodegas	4,480,744	4,480,744	0
Dotación Pañoles Int. Mina	1,162,046	1,162,046	0
Costo Dot. Adm.	131,776	131,776	0
<i>Costo Mantener Stock</i>	5,297,497	4,608,487	-689,011
\$ en Stock	66,218,716	57,606,082	-8,612,634
Costo Alt.	5,297,497	4,608,487	-689,011
Reducción Inmovilizados ²⁹		-2,031,490	-2,031,490
<i>Costo Transporte</i>	1,024,067	1,024,067	0
Costo variable de Transporte	389,031	389,031	0
Cargo Fijo Flota	635,036	635,036	0
Delta Total			-689,011
VAC (8%, 35 años)			-\$ 10,061,613

Tabla 4: Evaluación económica, modelo actual optimizado

10.2 STOCK SOLO SUPERFICIE

El Escenario 3: stock solo superficie supone eliminar pañoles interior mina, llevando su stock actual a superficie. Para una mejor evaluación, este modelo ya incluye la reducción de inventarios llevada a cabo en el modelo actual optimizado. Genera un ahorro expresado en VAC de 23 MM USD.

Ventajas

- Reducción de costos operacionales de mantener inventario (menor dotación y menores costos de almacenamiento).
- PDA: Oportunidad de capturar beneficios al reducir áreas de acopio y eliminar construcción de pañoles interior mina.

Desventajas

- Aumento marginal de viajes desde superficie
- Aumento marginal de costos de transporte (+4%). Producto de viajes que anteriormente realizaba el destinatario, quien colocaba el pañol como destinatario, utilizándolo efectivamente como centro de acopio.

Consideraciones

- Mayor atochamiento de vías y accesos mina, solución asociada a resultados de estudios de logística Vial. En especial del ADIT-71
- Para generar ahorros se requiere desvincular dotación de pañoles y asociados. Su relocalización a superficie no genera ahorros sustantivos.

	Actual	Stock solo superficie	Delta
<i>Costo Infraestructura</i>	2,044,249	2,044,249	0
Costo Bodegas	678,755	678,755	0
Gastos Generales	1,077,134	1,077,134	0
Servicios Adicionales	288,360	288,360	0
<i>Costo Dotación</i>	5,774,566	4,617,513	-1,157,053
Dotación Bodegas	4,480,744	4,480,744	0
Dotación Pañoles Int. Mina	1,162,046	0	-1,162,046
Costo Dot. Adm.	131,776	136,769	4,993
<i>Costo Mantener Stock</i>	5,297,497	4,608,487	-689,011
\$ en Stock	66,218,716	57,606,082	-8,612,634
Costo Alt.	5,297,497	4,608,487	-689,011
Reducción Inmovilizados ³⁰		-2,031,490	-2,031,490
<i>Costo Transporte</i>	1,024,067	1,062,866	38,800
Costo variable de Transporte	389,031	403,770	14,739
Cargo Fijo Flota	635,036	659,096	24,060
Delta Total			-1,807,264
VAC (8%, 35 años)			-\$ 23,094,377

Tabla 5: Evaluación económica, modelo stock solo superficie

10.3 JUST IN TIME (JIT) PARCIAL

La evaluación de este modelo considera como realizadas las optimizaciones realizadas por el actual optimizado y el de stocks solo superficie. El modelo *Just in Time* (JIT) Parcial considera reducción adicional de inventario, pero ahora cambiando profundamente la forma de pedir. Se aplica JIT a aquellos SKU de alta rotación donde resulta conveniente aplicar ésta metodología, discriminando de la siguiente manera:

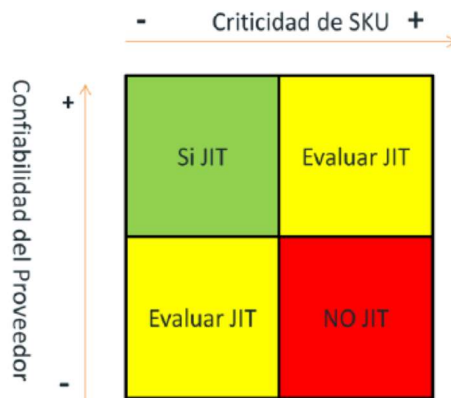


Figura 13: Esquema para toma de decisiones por SKU

Además se modifica la forma de entregar, ahora se puede realizar cross docking con los proveedores en instalaciones DET o de un operador logístico, para algunos SKU. Requiere mayor coordinación entre el proveedor y la logística de abasdecimiento de la DET.

El cambio en la forma de pedir consiste en realizar un nuevo pedido apenas el material sea consumido, de forma que se reduce el costo de mantener inventario producto de tener un tamaño de lote mayor, que obliga a mantener el material almacenado por largo tiempo.

Para la evaluación del Escenario 4: *Just in Time* (JIT) Parcial se asume que éste captura de forma permanente las reducciones de inventario, ya que requiere gestión permanente del mismo y de los fill rates. Por consiguiente se puede reducir los almacenes, así como las dotaciones de los mismos.

Ventajas

- Reducción de costos operacionales de mantener inventario (menor dotación y menores costos de almacenamiento).

Desventajas

- Aumento de costos de transporte (más viajes) y costos administrativos (+47%).
- Mayor atochamiento de vías y accesos mina, solución asociada a resultados de estudio de logística Vial. En especial del ADIT-71.

Consideraciones

- Implica migración Parcial a Just In Time
- Priorización de SKU para implementar JIT
- No considera aumento en precios de proveedores
- Para generar ahorros se requiere desvincular dotación de almacenes y gastos asociados.

Requerimientos

- Desarrollo de proveedores.
- Incorporar tecnología: B2B.
- Mejorar los procesos de planificación de los usuarios para evitar quiebres.

El modelo genera un ahorro adicional o VAC de 24 MM USD.

	Actual	JIT parcial	Delta
<i>Costo Infraestructura</i>	2,044,249	1,732,598	-311,651
Costo Bodegas	678,755	575,277	-103,478
Gastos Generales	1,077,134	912,923	-164,212
Servicios Adicionales	288,360	244,399	-43,961
<i>Costo Dotación</i>	5,774,566	4,464,787	-1,309,780
Dotación Bodegas	4,480,744	4,266,360	-214,384
Dotación Pañoles Int. Mina	1,162,046	0	-1,162,046
Costo Dot. Adm.	131,776	198,427	66,651
<i>Costo Mantener Stock</i>	5,297,497	4,489,881	-807,616
\$ en Stock	66,218,716	56,123,515	-10,095,202
Costo Alt.	5,297,497	4,489,881	-807,616
Reducción Inmovilizados ³¹		-2,031,490	-2,031,490
<i>Costo Transporte</i>	1,024,067	1,542,028	517,961
Costo variable de Transporte	389,031	585,798	196,767
Cargo Fijo Flota	635,036	956,230	321,194
Delta Total			-1,911,086
VAC (8%, 35 años)			-\$ 24,304,368

Tabla 6: Evaluación económica, modelo JIT Parcial

10.4 FULL JUST IN TIME + CROSS-DOCKING

El Escenario Full *Just in Time* + Cross-Docking considera ajuste del inventario, pero ahora cambiando profundamente la forma de pedir. Se aplica JIT a todos los SKU de alta rotación. Además se modifica la forma de entregar, ahora se realiza cross-docking con los proveedores en instalaciones DET o de un operador logístico, lo que requiere de uno o varios centros de cross-docking, así como una óptima coordinación del proveedor con la logística de abastecimiento de la DET.

El cambio en la forma de pedir consiste en realizar un nuevo pedido apenas el material sea consumido, de forma que se reduce el costo de mantener inventario producto de tener un tamaño de lote mayor, que obliga a mantener el material almacenado por largo tiempo.

Notar que el inventario aumenta levemente en este escenario respecto al Escenario *Just in Time* (JIT) Parcial, ya que una reducción del lote incide en aumentos del stock de seguridad en algunos SKU.

Para la evaluación del Escenario Full *Just in Time* + Cross Docking se asume que éste captura de forma permanente las reducciones de inventario, ya que requiere gestión permanente del mismo y de los fill rates. Por consiguiente se puede reducir los almacenes, así como las dotaciones de los mismos. Además considera como realizados los escenarios 2 y 3 (Actual optimizado + Stocks solo superficie).

Ventajas

- Reducción de costos operacionales de mantener inventario (menor dotación y menores costos de almacenamiento).

Desventajas

- Aumento de costos de transporte (más viajes) y costos administrativos (+65%).
- Mayor atochamiento de vías y accesos mina, solución asociada a resultados de estudio de logística Vial. En especial del ADIT-71.

Consideraciones

- Implica implementación total de Just In Time para SKU's de alta rotación
- No considera aumento en precios de proveedores
- Para generar ahorros se requiere desvincular dotación de almacenes y gastos asociados.

Requisitos

- Desarrollo de proveedores.
- Incorporar tecnología: B2B.
- Mejorar los procesos de planificación de los usuarios para evitar quiebres.
- Implementación Infraestructura para realizar el Cross Docking.

El escenario Full Just in Time + Cross Docking genera un ahorro en VAC de 18 MM USD.

	Actual	JIT total +CD	Delta
<i>Costo Infraestructura</i>	2,044,249	1,807,601	-236,648
Costo Bodegas	678,755	600,180	-78,575
Gastos Generales	1,077,134	952,442	-124,692
Servicios Adicionales	288,360	254,978	-33,381
<i>Costo Dotación</i>	5,774,566	4,540,782	-1,233,784
Dotación Bodegas	4,480,744	4,317,954	-162,790
Dotación Pañoles Int. Mina	1,162,046	0	-1,162,046
Costo Dot. Adm.	131,776	222,828	91,052
<i>Costo Mantener Stock</i>	5,297,497	4,684,243	-613,254
\$ en Stock	66,218,716	58,553,039	-7,665,677
Costo Alt.	5,297,497	4,684,243	-613,254
Reducción Inmovilizados ³²		-2,031,490	-2,031,490
<i>Costo Transporte</i>	1,024,067	1,731,657	707,590
Costo variable de Transporte	389,031	657,835	268,805
Cargo Fijo Flota	635,036	1,073,821	438,785
Delta Total			-1,376,097
VAC (8%, 35 años)			-\$ 18,069,305

Tabla 7: Evaluación económica, escenario Full JIT + Cross-Docking

10.5 FULL JUST IN TIME

El Escenario Full *Just in Time* considera ajuste del inventario, pero ahora cambiando profundamente la forma de pedir. Se aplica JIT a todos los SKU de alta rotación. Además se modifica la forma de entregar, bajo este escenario el proveedor llega directamente al destinatario final del material. Es un modelo des-centralizado, no requiere mayor coordinación por parte de una gerencia de abastecimiento. Por otra parte, requiere una vía directa de comunicación (estandarizada) con el destinatario, para que éste pueda generar los pedidos directamente al proveedor. Implica una óptima coordinación de los proveedores con sus destinatarios de materiales.

El cambio en la forma de pedir consiste en realizar un nuevo pedido apenas el material sea consumido, de forma que se reduce el costo de mantener inventario producto de tener un tamaño de lote mayor, que obliga a mantener el material almacenado por largo tiempo.

Notar que el inventario aumenta levemente en este escenario respecto al Escenario *Just in Time* (JIT) Parcial, ya que una reducción del lote incide en aumentos del stock de seguridad en algunos SKU. Almacenes tienen principalmente stock de seguridad.

Para la evaluación del Escenario 6: Full *Just in Time* se asume que éste captura de forma permanente las reducciones de inventario, ya que requiere gestión permanente del mismo y de los fill rates. Por consiguiente se puede reducir los almacenes, así como las dotaciones de los mismos. Al igual que los dos modelos anteriores, considera como realizados los escenarios 2 y 3.

Ventajas

- Reducción de costos operacionales de mantener inventario (menor dotación y menores costos de almacenamiento).
- Costo de transporte se reduce a cero.

Desventajas

- Aumento de costos administrativos (+65%)
- Mayor atochamiento de vías y accesos mina, solución asociada a resultados de estudio de logística Vial. En especial del ADIT-71.

Consideraciones

- Requiere implementación Infraestructura para realizar el Cross Docking.
- Implica implementación total de Just In Time para SKU's de alta rotación
- No considera aumento en precios de proveedores
- Para generar ahorros se requiere desvincular dotación de almacenes y gastos asociados.

Requisitos

- Desarrollo de proveedores.
- Incorporar tecnología: B2B.
- Mejorar los procesos de planificación de los usuarios para evitar quiebres.

El modelo genera un ahorro comparativo en VAC de 38 MM USD.

	Actual	JIT total	Delta
<i>Costo Infraestructura</i>	2,044,249	1,807,601	-236,648
Costo Bodegas	678,755	600,180	-78,575
Gastos Generales	1,077,134	952,442	-124,692
Servicios Adicionales	288,360	254,978	-33,381
<i>Costo Dotación</i>	5,774,566	4,540,782	-1,233,784
Dotación Bodegas	4,480,744	4,317,954	-162,790
Dotación Pañoles Int. Mina	1,162,046	0	-1,162,046
Costo Dot. Adm.	131,776	222,828	91,052
<i>Costo Mantener Stock</i>	5,297,497	4,684,243	-613,254
\$ en Stock	66,218,716	58,553,039	-7,665,677
Costo Alt.	5,297,497	4,684,243	-613,254
Reducción Inmovilizados ³³		-2,031,490	-2,031,490
<i>Costo Transporte</i>	1,024,067	0	-1,024,067
Costo variable de Transporte	389,031	0	-389,031
Cargo Fijo Flota	635,036	0	-635,036
Delta Total			-3,107,754
VAC (8%, 35 años)			-\$ 38,251,017

Tabla 8: Evaluación económica, escenario Full JIT

10.6 RESUMEN

Se agrupan las evaluaciones económicas en un único cuadro resumen:

Escenario	1	2	3	4	5	6
	Actual	Actual optimizada	Stock solo superficie	JIT parcial	JIT total +CD	JIT total
Costo Infr. (MMU\$/Año)	0	0	0	-0.3	-0.2	-0.2
Costo Stock (MMU\$/Año)	0	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	-0.6
Stock inmovilizado (MMU\$/Año) ³⁴	0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
Costo Dotación (MMU\$/Año)	0	0	-1.2	-1.4	-1.3	-1.3
Costo Adm. (MMU\$/Año)	0	0	0.005	0.07	0.09	0.09
Costo Transp. (MMU\$/Año)	0	0	0.04	0.5	0.7	-1.0
Delta Total (MMU\$/Año)	0	-0.69	-1.8	-1.9	-1.4	-3.1
VAC(8%, 35 años)(MMU\$)	0	-10.1	-23.1	-24.3	-18.1	-38.3

Tabla 9: Evaluaciones económicas, resumen

11 CONCLUSIÓN

Los resultados son bastante directos. Los últimos tres modelos no se pueden llevar a cabo sin primero optimizar el modelo actual y luego eliminar el stock de interior mina. De estos tres modelos, el *JIT total sin Cross-Docking* no es posible ejecutar debido a restricciones espaciales y viales dentro de la mina. Por lo tanto, se decide implementar el modelo *JIT Parcial*, una vez completadas las dos primeras etapas (Actual optimizado + Stock solo superficie).

Si bien la opción final es elegida según un criterio de mayor captura de VAC, este monto es prácticamente despreciable comparado con la pérdida asociada a retrasar la puesta en marcha de los proyectos PDA debido a un mal desempeño en lo logístico. Dicho de otra forma, los proyectos PDA fallarán rotundamente en su construcción y ejecución si no se acompañan de un robusto modelo de abastecimiento. La captura de valor que signifique implementar el modelo es simplemente un efecto secundario positivo; un *up-side*.

Es fundamental, antes de poder implementar modelos y conceptos modernos asociados a la logística, capturar el valor asociado a las ineficiencias propias del modelo actual. Los *quick wins* que se mencionan son acciones de baja dificultad de implementación pero de alto impacto. Algo tan simple como eliminar stock inmovilizado o tan básico como calcular *fill rates* para visualizar casos de sobre-stock, generan valor rápidamente sin necesidad de implementar planes de acción costosos y complejos.

Dado lo anterior, y tal como se explica en las secciones anteriores, la implementación de un modelo tipo *Just in Time* en un sistema de abastecimiento tan específico y complejo como una mina subterránea requiere de un plan de trabajo progresivo que vaya “preparando la cancha” para que un modelo de este estilo surta efecto y agregue el máximo valor posible a los proyectos PDA.

La etapa de implementación del modelo no queda documentada ya que ésta pertenece a las áreas ejecutoras (abastecimiento, servicios mina, administradores de contrato, etc.), a quienes se les entrega este estudio.

12 RECOMENDACIONES

Existen ciertas precauciones a tomar cuando se intentan implementar cambios tan disruptivos en una faena con tanta historia como la Mina El Teniente. En particular, hay tres temas que este estudio no aborda, pero que se dejan planteados de todas formas, con el fin de cubrirlos en estudios futuros asociados a esta temática.

1. Al optimizar el modelo actual, una de las acciones clave es eliminar todo el stock inmovilizado (sin movimiento durante los últimos 18 meses), sin discriminación alguna. Al realizar esta acción, podrían eliminarse algunos repuestos de muy baja rotación pero de altísimo impacto productivo (por ejemplo, el motor de un chancador o de un molino). Se recomienda hacer un análisis de detalle en este tema con el fin de no eliminar algún repuesto de alta criticidad.
2. El análisis arroja que, como segunda etapa, se debe llevar todo el stock a superficie, eliminando los pañoles de interior mina como también a los “pañoleros” que los atienden. El estudio no valoriza la ganancia en términos del espacio físico que se recupera dentro de la mina, entendiéndose que este es un activo bastante escaso. Se podría agregar como parte del VAC obtenido.
3. En cualquier caso en que se realizan optimizaciones y mejoras a los modelos de operaciones, lo común es que el requerimiento de mano de obra disminuya. En una empresa estatal como CODELCO, en la cual la presencia sindical es fuertemente marcada, la factibilidad técnica de implementar de estos proyectos podría verse cuestionada. Se recomienda preparar medidas de mitigación para generar resguardos ante posibles situaciones complejas.

13 BIBLIOGRAFÍA

- “Consultoría logística para la dirección de abastecimiento de Codelco Chile División El Teniente”. CEOP Consulting, Junio 2017
- “Servicio de diagnóstico y Modelamiento de logística de abastecimiento y proyectos PDA”. Miebach Consulting, Junio 2017
- “Propuesta de implementación de mejor alternativa abastecimiento mina y proyectos PDA”. CEOP Consulting, Noviembre 2017
- “Nuevo modelo de operaciones”. Codelco Chile División El Teniente, Febrero 2017
- Hugos, Michael (2013). “Essentials of supply chain management, third edition”.
- González, J., Martínez, P., & Márquez, M. (2014). “Estudio para la mejora logística interna en la cadena de abastecimiento de CODELCO división El Teniente”.
- Material docente del curso “Cadena de abastecimiento”. Universidad de Chile.
- Sitio web Berriprocess, <http://berriprocess.com/es/2016/01/03/la-ley-de-little/>

14 APOYOS INSTITUCIONALES

- **Codelco Chile División El Teniente**, por permitirme participar en la conceptualización del nuevo modelo de operaciones, dentro del cual se encuentra la optimización del modelo de abastecimiento mina.
- **Universidad de Chile**, por permitirme ahondar en el tema propuesto en el presente informe, dentro del marco de su programa de “Magíster en gestión y dirección de empresas, versión industria minera”.