



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

METODOLOGIA DE EVALUACION DEL RENDIMIENTO POTENCIAL DEL  
ACTIVO EXISTENTE PARA LA DETERMINACIÓN DE UNA POSIBLE  
INVERSIÓN.

Aplicación al caso FFCC Teniente 8, División el Teniente

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

CLAUDIA CABRERA CORREA

PROFESOR GUÍA:

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

IVÁN BRAGA CALDERÓN

JUAN PATRICIO VASQUEZ

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2013

## Resumen

La creciente globalización y tecnificación de los negocios, han generado una gran presión por crear nuevas estrategias que permitan avanzar hacia una estructura de costos más competitiva, mediante la optimización del uso de las capacidades instaladas, las prácticas operacionales y la productividad del personal propio y de terceros.

La tendencia ha sido por muchos años generar proyectos de inversión para reponer activos que permitan mejorar el rendimiento de los procesos, sin realizar un real análisis para lograr un claro entendimiento de los problemas existentes y los focos de acción en el ámbito de gestión y técnico, para lograr potenciales mejores rendimientos.

Al interior de la Corporación Nacional del Cobre, CODELCO, la Gerencia de Excelencia Operacional (GEO) es la encargada de apoyar a las áreas operativas a capturar el máximo rendimiento potencial de los activos existentes en forma sustentable.

En este trabajo de Tesis se desarrolla la definición y planteamiento de una metodología de evaluación de rendimiento potencial de un activo, la que será aplicada a un caso específico que busca determinar la real capacidad productiva de los activos existentes y así identificar, frente a nuevos desafíos o requerimientos productivos futuros, la necesidad de una inversión.

El caso particular de aplicación de esta metodología será en la División El Teniente de Codelco Chile y en específico el proceso productivo de transporte de mineral del Ferrocarril Teniente 8, cuyo desafío futuro considera un requerimiento de transporte de mineral más exigente al transporte actual, para cubrir este delta de tonelaje es necesario analizar la incorporación de un tren adicional a la flota o verificar si dicho aumento puede ser absorbido por el mejoramiento continuo y cambio de práctica de la operación actual.

La metodología desarrollada fue aplicada de manera exitosa y con resultados de aumento en el transporte de mineral por sobre las transportadas actualmente. Pese a ello, este incremento no es suficiente para cubrir el requerimiento máximo en los años de mayor movimiento de mineral grueso, recomendándose la compra de la locomotora y sus carros metaleros, con la finalidad asegurar el mayor movimiento de mineral grueso.

## **Abstract**

The increasing globalization and modernization of business, have generated a lot of pressure to create new strategies to move towards a more competitive costs structure by optimizing the use of existing capacities, operational practices and own staff and third parties productivity.

For many years the trend has been to generate investment projects to replace assets that can improve the performance of processes, without making a real analysis to achieve a clear understanding of the problems and sources of action in the field of management and technical issues, in order to achieve potential better performances.

Inside the National Copper Corporation, Codelco, the Operational Excellence Management (GEO) is responsible to support operational areas to capture the full performance potential of existing assets in a sustainable manner.

This thesis work defines and develops a methodology to evaluate the potential performance of an asset, which will be applied to a specific case that seeks to determine the real productive capacity of the existing active and then identify the need for investment, due new challenges or future production requirements,.

The particular case of application for this methodology takes place in Codelco Chile, El Teniente Division, specifically in the production process of ore transportation done by the Railway Teniente 8, which future challenge consider a more demanding ore transportation requirement than the actual, to cover this delta tonnage is necessary to analyze the incorporation of an additional train to the fleet or verify if this increase can be absorbed through continuous improvements and changes in practice of the current operation.

The developed methodology was successfully applied and results in an increased ore transportation above the current amounts. Nevertheless, this increase is not enough to cover the coarse ore maximum movements in the busiest years, recommending the purchase of a locomotive and its railcars, in order to ensure the greater coarse ore movement.

## **Dedicatoria**

.....A mis padres, hermanos y marido, por su incondicional apoyo en mi desarrollo personal y profesional. En especial a mis tres hijos Fabián, Cristóbal y Francisca que son mi motor, inspiración y razón de vida.....

## Tabla de Contenido

Introducción.....	6
Cuerpo de la Tesis .....	7
1. Objetivo .....	7
1.1 Objetivo Específico.....	7
2. Planteamiento General.....	7
3. Visión Metodológica.....	8
3.1 Fase I: Establecer Línea Base .....	9
3.1.1 Definición de Área de Oportunidad .....	9
A. Histogramas .....	9
B. Reporte de Problemas, Escucha Activa y Observación Directa .....	10
B.1. Reporte de Problemas.....	10
B.2. Escucha Activa .....	10
B.3. Observación Directa .....	11
C. Entrevistas.....	11
D. Encuesta .....	11
E. Seguimiento de Indicadores.....	12
3.1.2 Determinación de Causa Raíz.....	12
A. Diagrama de Paretos.....	12
B. Diagrama Causa – Efecto, Ishikawa. ....	13
C. Cinco Porqués.....	14
3.1.3 Conformación de un Equipo de Trabajo.....	14
3.2 Fase II: Definición y Análisis de Oportunidad de Mejora .....	15
A. Propuesta de Mejoras .....	16
A.1. Lluvia de Ideas.....	16
B. Segundo Filtro de Mejoras .....	16
C. Plan de Mejora .....	17
3.3 Fase III: Implementación Continua .....	17

A.	Análisis de Ayudas y Resistencias .....	17
B.	Seguimiento de la Intervención: Control y Verificación.....	18
4.	Caso Aplicación: Ferrocarril Teniente 8, División El Teniente .....	18
4.1	CODELCO Chile.....	18
4.2	Descripción División El Teniente. ....	19
4.3	El Proceso de Transporte de Mineral .....	20
4.3.1	La Organización .....	20
4.3.2	Ferrocarril TTE 8 .....	21
4.4	Desarrollo del Caso Aplicación, Fase I.....	22
4.4.1	Definición del Problema.....	22
4.4.2	Identificación de Palancas o Focos de Trabajo .....	26
A.	Palanca: Tiempo de Ciclo.....	28
B.	Minimizar uso de trenes de Grueso para Material Fino .....	30
C.	Aumento de Horas Operativas: Optimización Fin e Inicio de Ventana. ...	32
4.4.3	Resumen de Resultados .....	33
4.5	Desarrollo del Caso Aplicación, Fase II.....	33
5.	Evaluación Económica .....	35
	Conclusion.....	39
	Bibliografía .....	40

## **INTRODUCCIÓN**

La Corporación Nacional de Cobre, CODELCO, a través de la Gerencia de Excelencia Operacional (GEO) es la encargada de apoyar a las áreas operativas a capturar el máximo rendimiento potencial de los activos existentes en forma sustentable, maximizando la rentabilidad y valor económico del negocio en el corto, mediano y largo plazo. Con el objetivo de Instalar, mantener e impulsar, en conjunto con las áreas operativas una metodología y cultura de excelencia, permitiendo Identificar y eliminar brechas de desempeño en forma sistemática y continua, con foco en resultados concretos para alcanzar el mejor uso posible de los activos.

En este trabajo de Tesis se desarrollará la definición y planteamiento de una metodología de evaluación de rendimiento potencial de un activo, fundamentada en tres fases las que integran la identificación, definición y priorización de las áreas y oportunidades de mejorar estableciendo un plan de acción, para su posterior implementación.

Esta metodología será aplicada en un área de trabajo específica en la que se busca determinar la real capacidad productiva de los activos existentes y así identificar, frente a nuevos desafíos o requerimientos productivos futuros, la necesidad de una inversión. El caso particular de aplicación de esta metodología será en el proceso productivo del Ferrocarril Teniente 8 de la División El Teniente de Codelco Chile.

El programa de producción PND 2012 para la División El Teniente y en específico para el mineral transportado por el FFCC T8, para los años 2014 -2017 considera un requerimiento de transporte de mineral grueso de hasta 93 Kt/d promedio año, el cual es más exigente al transporte actual definido en 86 Kt/d, para cubrir este delta de tonelaje es necesario analizar la incorporación de un tren adicional a la flota de trenes de grueso o verificar si dicho aumento puede ser absorbido por el mejoramiento continuo y cambio de práctica de la operación actual.

## **CUERPO DE LA TESIS**

### **1. OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es plantear una Metodología para la evaluación del potencial de activos existentes, con miras a determinar posibles inversiones para el aumento de capacidad o de reposición. Esta metodología será aplicada al caso del FFCC Teniente 8 de la División El Teniente Codelco Chile.

#### **1.1 Objetivo Específico**

Identificar y Evaluar los potenciales de mejora de desempeño de gestión, que permitan confirmar o descartar la necesidad de una inversión en un nuevo convoy para FFCC de Teniente 8.

### **2. PLANTEAMIENTO GENERAL**

La creciente globalización y tecnificación de los negocios, han generado una gran presión por crear nuevas estrategias que permitan avanzar hacia una estructura de costos más competitiva, mediante la optimización del uso de las capacidades instaladas, las prácticas operacionales y la productividad del personal propio y de terceros.

En particular en Codelco, la tendencia ha sido por muchos años generar proyectos de inversión para reponer activos que permitan mejorar el rendimiento de los procesos, sin realizar un real análisis para lograr un claro entendimiento de los problemas existentes y los focos de acción en el ámbito de gestión y técnico para lograr potenciales mejores rendimientos. Es decir, no se tiene una cultura de evaluación del potencial basada en el mejoramiento continuo y la búsqueda de mejores prácticas en forma sistematizada que permitan cubrir la brechas de gestión o de tipo técnica de un determinado proceso sin la necesidad de rediseñar o invertir para lograr un mayor rendimiento a los activos.

Si queremos ser competitivos y mantener o mejorar la rentabilidad de nuestro negocio del cobre, se requiere contar con una cultura de excelencia con enfoque en el mejoramiento continuo e innovación tecnológica que permita mantener en forma sistemática la aplicación de una metodología que permita conocer el negocio que se está gestionando, para lograrlo se requiere de un apoyo e involucramiento de las Vice presidencia y gerencias de nuestra empresa, el cual debe consistir en fijar las necesidades, direccionar, controlar y realizar seguimiento, con ello, la organización tendrá que trabajar en la búsqueda de la o las metodología(s) apropiada para cada contexto operacional de cada proceso.

La búsqueda de la Excelencia Operacional, implica tanto la implementación de un Sistema, como así también el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una filosofía de gestión, y la participación activa de todo el personal o trabajadores.



Específicamente en este caso de FFCC Teniente 8, se presentara una metodología simple que nos permita visualizar las mejoras de procesos, analizar económicamente y compararlo con la alternativa de seguir comprando e incorporando más activos.

### 3. VISIÓN METODOLÓGICA

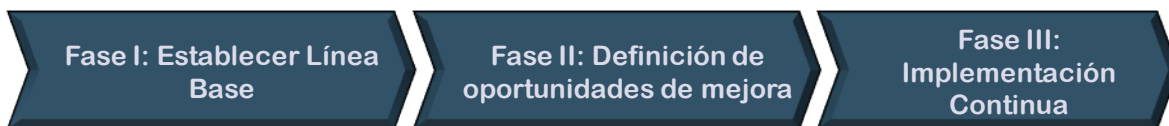
La visión metodológica que se presenta en este capítulo permitirá cumplir con el objetivo de plantear una metodología para la evaluación de activos, siendo esta la base de aplicación para futuros proyectos y casos de mejora a implementar en diferentes casos prácticos, permitiendo encontrar el verdadero potencial de los activos y sus oportunidades de mejora.

Antes de comenzar una detallada descripción de la metodología de trabajo que se utilizará en un caso de aplicación practico en una de las Divisiones de Codelco, es importante entender que es y porque es necesario contar con una metodología de excelencia operacional.

Una metodología “es una manera sistemática o claramente definida de alcanzar un fin. Es también un sistema de orden en el pensamiento o la acción” Manganelli y Klein (1995, p. 27).

La metodología que se platea en esta tesis no entregará respuestas por si sola sino que será un medio o modo de pensar acerca de una situación puntual y de cómo ir abordando un problema para evaluar el potencial que puede presentar. No dice que se encontrará al final de camino, sino cuál es el camino que se debe recorrer. Una buena metodología, no es un conjunto rígido de reglas que hay que seguir estrictamente, sino una guía que nos orienta y debemos atender flexiblemente, la cual puede ser adaptada a los diferentes casos o situaciones que se quiera evaluar.

Para el desarrollo del trabajo se utilizará la metodología de la Gerencia de Excelencia Operacional, la cual se basa en diferentes fases que permiten identificar y apoyar el mejoramiento de los resultados del negocio, complementado con algunas técnicas encontradas de acuerdo al análisis bibliográfico realizado.



**Figura 3.1: Metodología de Fases GEO**

La metodología empleada en la evaluación del potencial del caso de aplicación del Ferrocarril Teniente 8 y descrita a continuación en cada una de sus fases es la que se aplicará en forma específica en el capítulo 5 de esta tesis.

En este capítulo, se desarrolla y describe en forma genérica y conceptual la metodología y sus herramientas de aplicación, la cual, servirá de guía para otras

evaluaciones de activos que se requieran desarrollar a futuro en cualquier división de la Corporación, permitiendo abordar en forma sistemática algunas situaciones que afectan a los procesos productivos, siendo esencial su aplicación para llegar a constituir un proyecto de mejora. Por ese motivo, uno de los primeros pasos de la metodología es la identificación, definición y priorización de las áreas a mejorar. Seleccionada la oportunidad o problema, se estudian las causas de su mal funcionamiento para luego analizar las posibles alternativas y, una vez implantadas, la mejora conseguida debe mantenerse.

Si bien es cierto, se describirá cada una de las fases de la metodología mencionada anteriormente en este capítulo, sólo se desarrollará en el caso de aplicación dos de las tres fases, quedando esta última fuera del alcance de esta tesis.

### **3.1 Fase I: Establecer Línea Base**

En esta fase se realiza la identificación, definición y priorización de las situaciones susceptibles de mejorar, definiendo el problema actual y su comportamiento en términos concretos, explícitos y específicos, apoyándose en hechos y datos, representándolos en forma tal que sea fácil de visualizar y entender en función del tiempo en que ocurre, de los aspectos circunstanciales y del tipo de falla o error. Esta primera etapa es llamada **Definición del Área de Oportunidad**, en la cual, se identifica y describe las situaciones susceptibles de mejora de manera cuantitativa y cualitativa, declarando la necesidad de resolverlas definido por su riesgo, costo o volumen. Es decir, identificar errores, con lo que se aprende y, en consecuencia, se mejora.

#### **3.1.1 Definición de Área de Oportunidad**

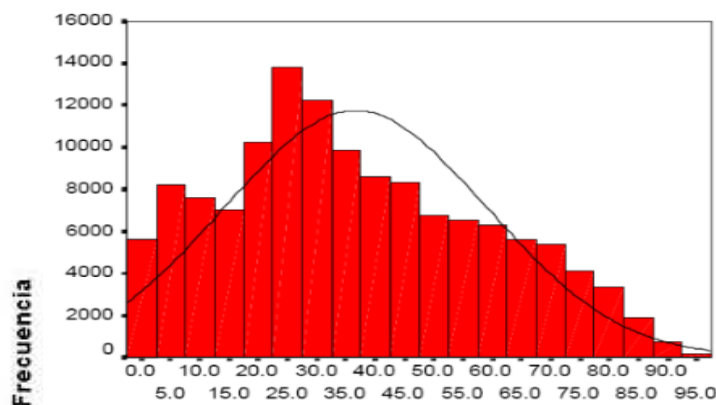
A continuación se describen algunas de las herramientas que son las más comunes en su aplicación y que por su efectividad y eficiencia son las más aplicadas.

##### **A. Histogramas**

El histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados, permitiendo la comparación de los resultados de un proceso.

En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos. Se utilizan para variables continuas o para variables discretas, con un gran número de datos, y que se han agrupado en clases.

El histograma permite reconocer y analizar patrones de comportamiento en la información que no son aparentes a primera vista al calcular un porcentaje o la media.



**Figura 3.2: Histograma**

## **B. Reporte de Problemas, Escucha Activa y Observación Directa**

Son métodos cualitativos que facilitan la identificación de aspectos mejorables y se basan en la opinión experta de las personas que trabajan en los diversos procesos que están ligados con el foco de trabajo a desarrollar, llamados clientes interno o externo.

### **B.1. Reporte de Problemas**

El objetivo es obtener información a partir de la percepción del profesional que está en relación directa con el proceso productivo y es el mejor situado para identificar oportunidades de mejora. Es fundamental que exista una predisposición a buscar situaciones que puedan mejorarse, estar alerta para detectar errores, en definitiva, implicarse en la mejora de los procesos.

Es una de las herramientas que favorece la participación del profesional a cargo en la gestión del proceso y su involucramiento desde el inicio. Tiene el inconveniente de la subjetividad y el posible uso con intereses personales ocultos.

### **B.2. Escucha Activa**

La escucha activa de la opinión los profesionales y trabajadores que están ligados con el proceso y de los clientes externos e internos, un método sencillo y barato de obtención de oportunidades de mejora. Los clientes explican espontáneamente sus expectativas, percepciones y decepciones cuando las condiciones de satisfacción del producto o cumplimiento de metas no se alcanzan. Muchos son reacios a escribir o documentar sus motivos de insatisfacción, pero los verbalizan. Lo mismo sucede con los profesionales y trabajadores, que manifiestan opiniones,

quejas o sugerencias tanto en las conversaciones informales como en las reuniones del equipo.

La principal ventaja es la simplicidad del método. El inconveniente, su subjetividad.

### **B.3. Observación Directa**

La observación directa de lo que le ocurre durante el recorrido por los procesos productivos permite recoger información cualitativa sobre aspectos de mejora. Se puede poner un observador que acompañe durante una jornada laboral a un trabajador o profesional y así entender más objetivamente los inconvenientes y las oportunidades de mejora.

Es una herramienta sencilla y práctica, pero tiene el inconveniente de la necesidad del recurso del tiempo del observador.

### **C. Entrevistas**

Las entrevistas son una inestimable fuente de datos cualitativos y un instrumento muy válido en la evaluación. Captan la perspectiva de la persona entrevistada sobre aspectos concretos y objetiva cómo ve, vive y siente los problemas inherentes del proceso productivo. Identifica problemas percibidos y recoge sugerencias.

La ventaja es una herramienta útil para obtener gran cantidad de información cualitativa desde la perspectiva del profesional, trabajador y cliente sobre aspectos concretos. Como inconvenientes destaca la necesidad de un profesional entrenado en técnicas de entrevista, que el análisis de la información que genera es complejo y que requiere un coste en tiempo considerable.

### **D. Encuesta**

Las encuestas a la línea jerárquica organizacional que lidera los procesos productivos, son útiles para identificar oportunidades de mejora en aspectos concretos del proceso incluyendo los servicios de apoyo con que estos cuentan. Dependiendo del tipo de preguntas el resultados de éstas aportan información determinando la capacidad de ejecución de la organización y de la forma en que ésta se relaciona, decide, actúa, se alinea y mide resultados.

Las encuestas pueden estar formadas por preguntas cerradas o abiertas. Las preguntas cerradas son útiles como indicadores en el seguimiento de la opinión y satisfacción. Las preguntas abiertas aportan información cualitativa sobre los aspectos que requieren un análisis más profundo y necesitan un laborioso proceso de análisis y agrupación de las respuestas, por lo que es recomendable limitar el número de cuestionarios a menos de 100.

Se puede diseñar una encuesta nueva, si bien por la complejidad, es aconsejable adaptar a las características y necesidades de cada proceso, una ya existente y validada. Sin embargo, se debe ser cautos al adaptar encuestas, ya que un cuestionario útil en una zona puede no serlo en otra. Si se decide construir una encuesta es importante conocer el punto de vista de los involucrados, por lo que es útil realizar estudios cualitativos previos.

El inconveniente de esta herramienta es la laboriosidad del método.

## **E. Seguimiento de Indicadores**

El seguimiento de indicadores es una herramienta cuantitativa de identificación de oportunidades de mejora y se basa en medir de forma periódica aspectos relevantes de los procesos productivos, utilizando indicadores que establecen una cierta meta permitiendo identificar situaciones mejorables. Cuando alguna de las medidas supera un umbral predeterminado, estándar, indica que se está ante una posible situación mejorable que requerirá un análisis más profundo.

El seguimiento de indicadores, identifica de forma objetiva el nivel de calidad y cumplimiento alcanzado y para que este sistema sea efectivo, se requiere de tiempos importantes para la recopilación de información de datos y de sus análisis respectivos.

### **3.1.2 Determinación de Causa Raíz**

Una vez identificado la oportunidad de mejora y definida la problemática a abordar, se requiere realizar un análisis profundo del proceso para identificar y aislar las causas que originan el mal resultado. El análisis se basa en las experiencias, en los hechos y los datos que describen la situación actual.

En este punto se presentan los gráficos y el análisis de los mismos, integrando hipótesis que expliquen la causa raíz del problema y las decisiones o acciones que se hayan tomado para disminuir o eliminar el problema detectado.

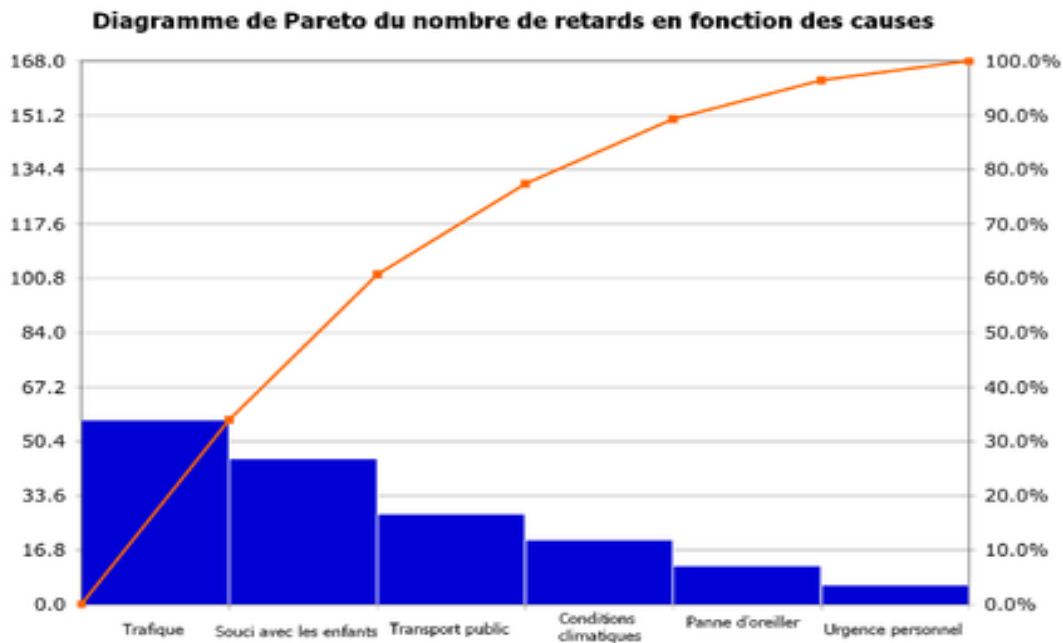
Se utilizan herramientas como análisis de procesos, diagrama de paretos, diagrama causa – efecto, 5 ¿Por qué?, entre otros.

#### **A. Diagrama de Paretos.**

El diagrama de Pareto, también llamado Curva 80-20 o Distribución A-B-C, es una representación gráfica que permite mostrar que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Además, facilita el estudio comparativo de numerosos procesos dentro de las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales.

El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización, ya que

Su fundamento parte de considerar que un pequeño porcentaje de las causas, el 20%, producen la mayoría de los efectos, el 80%. Se trataría pues de identificar ese pequeño porcentaje de causas “vitales” para actuar prioritariamente sobre él.



**Figura 3.3: Diagrama de Pareto**

### **B. Diagrama Causa – Efecto, Ishikawa.**

El Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, se trata de un diagrama que por su estructura es conocido como diagrama de espina de pez, que consiste en una representación gráfica sencilla, que permite apreciar con claridad las relaciones entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que él ocurra.



Figura 3.4: Diagrama Causa- Efecto

### C. Cinco Porqués

Es una técnica sistemática de preguntas utilizada para encontrar las causas posibles de un problema a través de preguntarse al menos cinco veces: “por qué”. Se considera que al no encontrar una nueva respuesta, después de varias veces, es lo que permite identificar la verdadera causa - raíz del problema.

#### 3.1.3 Conformación de un Equipo de Trabajo

Identificados los procesos que se desean mejorar, debe definirse quienes deben integrar el equipo que trabajará en el análisis y la mejora. En primer lugar se clarifica quien es el “dueño del proceso”, es decir quién es el responsable del desempeño global del mismo, lo que supone su efectividad, control y adaptabilidad, cuya participación y liderazgo es vital. En muchas ocasiones, el “dueño del proceso” no tiene autoridad sobre todas las actividades ya que el proceso abarca diferentes áreas funcionales de la empresa. En general, en estos casos, es el gerente que está más involucrado en el proceso, ya sea por los recursos o el grado en que es afectado cuando hay problemas.

El “dueño del proceso” debe elegir a los miembros que integrarán el equipo, teniendo presente algunas características, tales como: que tenga experiencia en el proceso de modo que pueda contribuir más con sus conocimientos y creatividad, que esté motivado en participar y con disponibilidad de tiempo para que puedan asistir a las reuniones del equipo.

Para que el equipo trabaje de manera efectiva debieran estar claros el objetivo, los diferentes roles: coordinador, responsable de los registros, participantes y la metodología de trabajo.

Si bien el funcionamiento de un equipo no se define sólo por las reuniones que el mismo realiza, éstas son un ámbito muy importante de comunicación y trabajo. Que se realicen en un clima adecuado, de participación y búsqueda de consenso, con un buen manejo del tiempo, en un lugar propicio, son también claves para el logro del objetivo planteado.

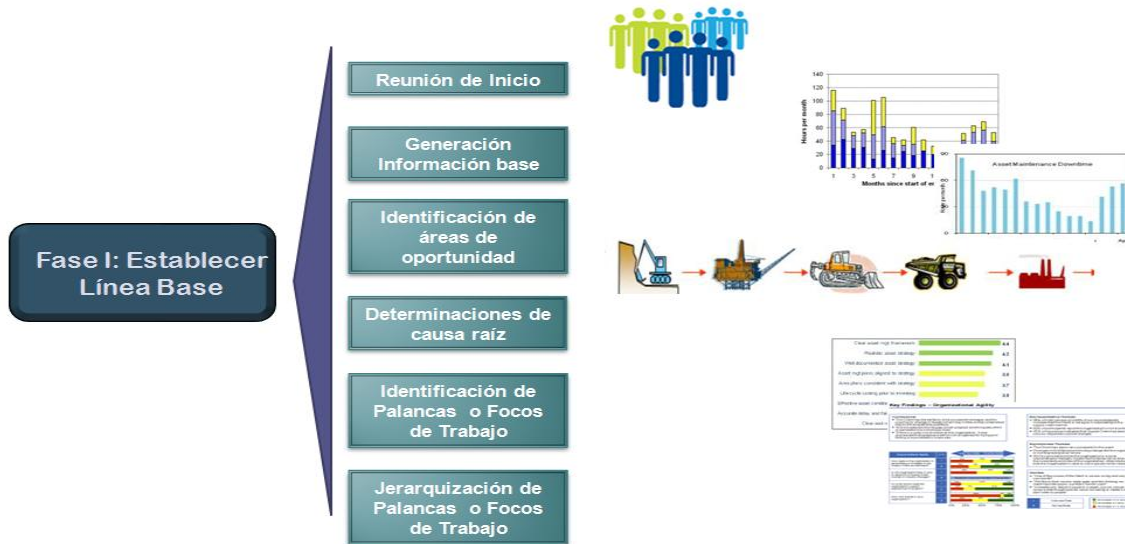


Figura 3.5: Esquema Fase I

### 3.2 Fase II: Definición y Análisis de Oportunidad de Mejora

Una vez identificada la causa raíz, se deben idear y escoger las acciones necesarias para mitigar o eliminarlas. Para ello, es necesario considerar las distintas soluciones y alternativas, ya que en caso de encontrar varias causas raíces es necesario definir un plan de trabajo para cada una de ellas, siendo necesario jerarquizarlas con la finalidad de definir una prioridad de acuerdo a los siguientes criterios:

- Impacto ¿Cuál es el aporte real?,
- Efectividad ¿Resolverá todo o parte del problema?,
- Factibilidad ¿Se puede implantar la solución indicada?, Tiempo involucrado ¿Qué tan rápido dará resultados? ¿Es una solución de corto o largo plazo?,
- Eficacia ¿Es una solución costo – efectividad?.



Teniendo claro lo anterior, es factible elaborar un Plan de Mejora donde se aborden de forma detallada las mejores acciones a ser desarrolladas e implementados, siendo éste el entregable o producto esperado de esta etapa.

### **A. Propuesta de Mejoras**

Una vez que se ha encontrado la causa de origen o raíz, hay que ser muy creativos y se deben generar los espacios para comenzar a sugerir ideas de mejora que den solución a dicha causa. Es aquí cuando el papel del equipo de trabajo es esencia y juega un rol preponderante. Existen muchas herramientas basadas en la creatividad que se utilizan para inducir al grupo en una espiral de propuestas de mejora y que acaba con una serie de ideas tendientes a atacar la causa raíz. Una de las herramientas más utilizada es la lluvia de ideas.

#### **A.1. Lluvia de Ideas**

El brainstorming o lluvia de ideas, por su sencillez, es uno de los sistemas más utilizados para recabar información y no requiere una preparación previa y es fácil de utilizar. El grupo debe estar formado por profesionales conocedores del tema en un número no superior a 10 con un moderador. Para su realización existen dos puntos esenciales:

- Obtener las ideas de calidad a partir de la cantidad de ellas.
- No hacer juicios de valor.

### **B. Segundo Filtro de Mejoras**

Este segundo filtro se debe realizar con una matriz de validación en la cual tengamos criterios que nos validen la aplicabilidad de cada propuesta de mejora, esto es básico para el futuro de la mejora, ya que uno de estos criterios es el económico, una idea de mejora que sea inviable no sirve de nada, hay que encontrar el equilibrio de la mejora, lo que nos servirá para asegurar una buena aplicabilidad de ésta.

Tabla. Análisis de alternativas según criterios. Se puntúa de 1 (no cumple el criterio) a 4 (cumple en su conjunto), con posibilidad de puntuar 2 ó 3.

CAUSA	SOLUCION	CRITERIOS				
		Efectividad	Eficiencia	Factibilidad	Aceptación	Económico

**Tabla 3.1: Tabla Matriz de Validación**

## **C. Plan de Mejora**

Al identificar las dos o tres iniciativas como las más viables se debe planificar su futura implementación. Esto se hace a través del Plan de Mejora, en el que se determinarán los responsables de realizar la implantación de cada una de las mejoras descritas, los recursos que necesitan y las fechas límite. De este modo, el consultor, como persona ajena a la organización realizará el seguimiento de la implantación de las mejoras, pudiendo motivar o corregir cualquier desviación de una manera más objetiva.

Es importante que en el proceso de elaboración del plan de mejora se establezcan metas en los valores de los indicadores que serán requeridos y también, la secuencia de abordar cada una de las acusas raíces.

### **3.3 Fase III: Implementación Continua**

Esta fase será desarrollada a modo de guía para futuras evaluaciones que se requiera realizar, pero esta fase no será abordada en el caso de aplicación que se desarrollará para el ferrocarril Teniente 8 de la División El Teniente.

Para implementar las acciones definidas en el Plan de Mejora, es preciso implicar a todo el personal afectado, forme o no parte del equipo de trabajo inicialmente definido. Es necesario dejar el tiempo que sea preciso, mantenerse concentrado a lo largo del tiempo, trabajar estrechamente junto al líder del grupo y tratar siempre a la gente de forma digna.

Es importante que los cambios inducidos por los equipos hagan que los procesos sean estables, que se reduzca su variabilidad y que el resultado obtenido mejore los resultados anteriores.

#### **A. Análisis de Ayudas y Resistencias**

Una versión simplificada del análisis FODA (Fortaleza, Oportunidad, Amenaza, Debilidad) permite el análisis de ayudas y resistencias al cambio y sirve para identificar todas las fuerzas que se oponen o favorecen cada una de las soluciones identificadas. Esto permite establecer una estrategia que potencie las fuerzas positivas y neutralice las negativas. La ventaja es que es muy simple de aplicar y el inconveniente es que puede tener un alcance limitado. Los pasos son:

- a) identificar la solución,
- b) obtener las fuerzas a favor y en contra mediante lluvia de ideas,
- c) clasificarlas según su potencia en alta mediana o baja,
- d) aparejar las que son similares en una matriz de dos columnas (Tabla A.1)
- e) e) preparar una estrategia para neutralizar las fuerzas negativas y potenciar las positivas.

En general, resulta más efectivo neutralizar fuerzas negativas de resistencia al cambio.

AYUDAS (+)	RESISTENCIAS (-)	ESTRATEGIAS PARA NEUTRALIZAR (-)

Tabla 3.2: Tabla Matriz de Ayudas y Resistencias

## B. Seguimiento de la Intervención: Control y Verificación

Para el seguimiento de la intervención o Implementación es útil utilizar una carta Gantt, que es muy sencillo, acompañado su respectiva curva “S” para medir avance físico del Plan. Se trata de un diagrama que consta de una primera columna donde se detallan las acciones a realizar, una segunda, el responsable de la acción y una tercera con el plazo para su realización, seguida de una matriz que represente un calendario, donde se irá reflejando el estado del proyecto de mejora.

### 4. CASO APLICACIÓN: FERROCARRIL TENIENTE 8, DIVISIÓN EL TENIENTE

El trabajo a desarrollar en éste capítulo muestra cómo fueron aplicadas las diferentes fases de la metodología descrita anteriormente a un caso práctico y específico que es el Ferrocarril Teniente 8 de la División El Teniente.

Se inicia, con una breve reseña de Codelco y de la división donde se realiza el caso de aplicación práctico, para posteriormente mostrar y describir el desarrollo de cada una de las fases metodológicas.

#### 4.1 CODELCO Chile.

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco, es una empresa estatal chilena, dedicada a la explotación minera cuprífera, rubro en el que es la mayor compañía del planeta.

La historia de Codelco se remonta al proceso de nacionalización de la Gran minería del cobre, que durante gran parte del siglo XX fue realizada por capitales estadounidenses. En 1967, el Estado se convirtió en accionista mayoritario de las principales minas cupríferas del país, hasta que el 11 de Julio de 1971, las compañías fueron totalmente expropiadas y estatizadas.

Su principal producto es el cobre refinado en la forma de cátodos o lingotes con 99.99 por ciento de pureza. La corporación, también, produce concentrado de cobre, cobre Blíster y Anódico y subproductos como Molibdeno, barro anódico y ácido Sulfúrico.

Codelco tiene siete divisiones: Chuquicamata, Salvador, Andina, Teniente, Ventanas, Ministro Hales y Radomiro Tomic, además de su Casa Matriz en la ciudad de Santiago y de su empresa filial Minera Gaby S.A.

#### 4.2 Descripción División El Teniente.

La mina El Teniente, es una mina de cobre chilena considerada el yacimiento de cobre subterráneo más grande del planeta, ubicada bajo el cerro del mismo nombre, en la comuna de Machalí, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Se localiza aproximadamente a 120 kilómetros al sur de Santiago, a 50 kilómetros al este de la ciudad de Rancagua y a 2.300 msnm.



Figura 4.1: Ubicación Geográfica División El Teniente

El Teniente empezó su explotación industrial el año 1905 y fue el inicio de la gran minería del cobre en el país. La mina partió en manos de privados y a partir de 1968 el estado chileno adquirió el 51% de la propiedad para que finalmente en el año 1971 con la Nacionalización de la Gran Minería paso en un 100% a manos del estado. Su producción es de 403.616 toneladas métricas finas anuales de cobre en la forma de lingotes refinados a fuego (RAF), y cátodos de cobre al año. Como resultado del procesamiento del mineral también se obtienen 5.617 toneladas métricas de molibdeno.

## 4.3 El Proceso de Transporte de Mineral

### 4.3.1 La Organización

El proceso de transporte de mineral es ejecutado por la Unidad Ferrocarril Teniente 8 perteneciente a la Superintendencia de Transporte y Chancado. Su objetivo principal es efectuar el traslado o acarreo de roca mineralizada desde las diferentes minas ubicadas por sobre el nivel Teniente 8 hacia los buzones de descarga área de Colón Alto en superficie. Por razones de diseño y atendiendo al tamaño del mineral extraído, la explotación de la Mina entrega de manera selectiva dos tipos de materiales: grueso, con granulometrías comprendidas entre las ocho y cuarenta pulgadas y fino, cuyas dimensiones son menores a ocho pulgadas. El siguiente esquema muestra una síntesis de este proceso:

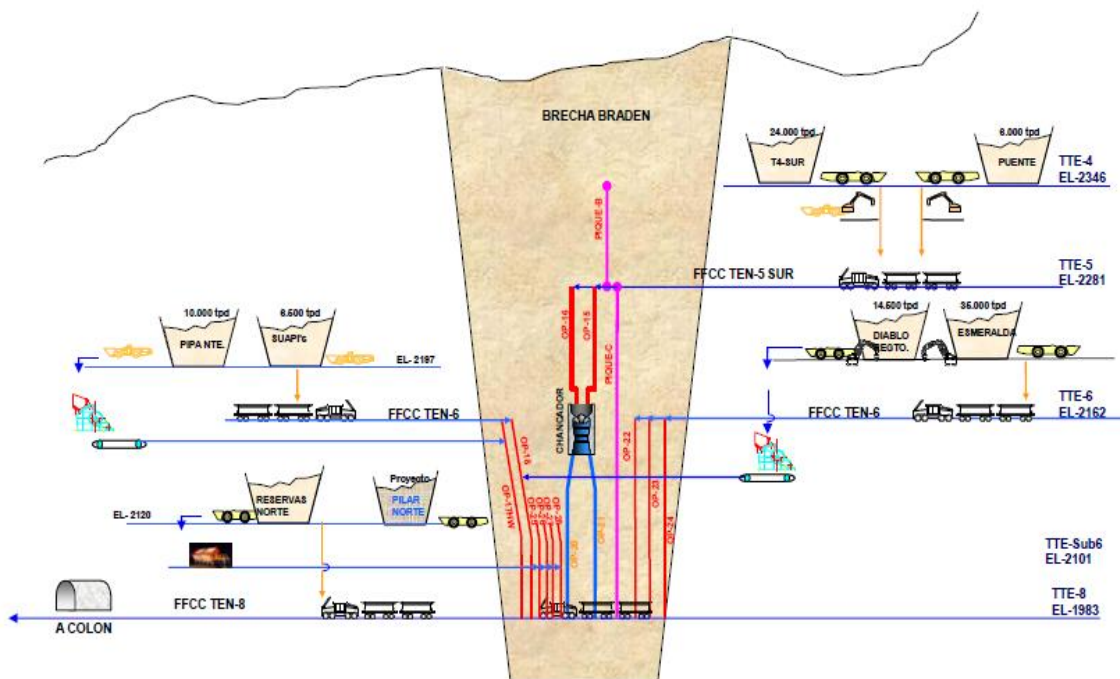


Figura 4.2: Extracción de mineral.

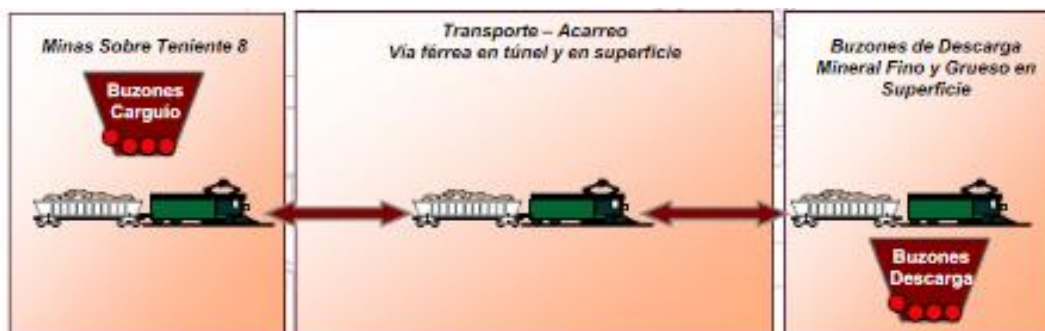
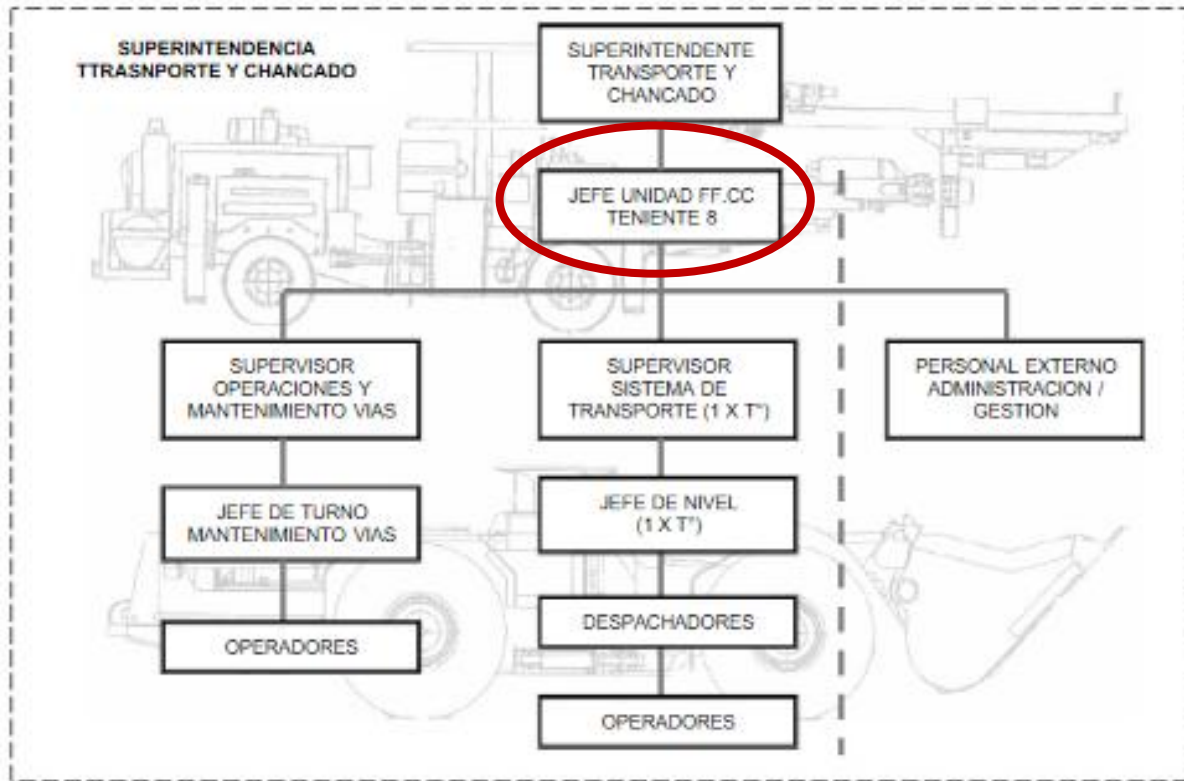


Figura 4.3: Transporte de mineral.

La organización que actualmente dirige y controla todo el proceso de transporte, está estructurada de la siguiente forma:



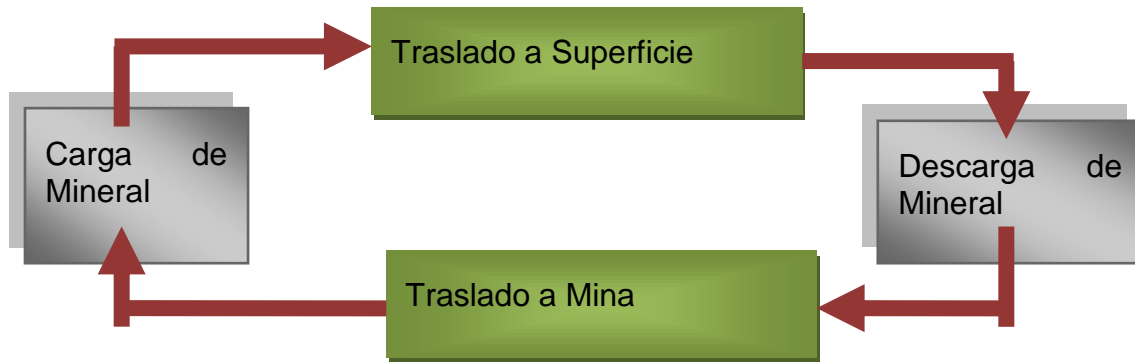
**Figura 4.4: Organización Transporte y Chancado (FF.CC Teniente 8).**

La Unidad tiene además, dentro del alcance de sus actividades aquella relacionada con el mantenimiento de la infraestructura vía férrea y coordinación de los servicios de apoyo, dejando el desarrollo de todos los demás requerimientos en manos de la Superintendencia de Mantenimiento Mayor.

#### **4.3.2 Ferrocarril TTE 8**

La estructura básica del Ferrocarril Teniente 8 es una línea principal de aproximadamente 9 kilómetros de longitud ubicada en un túnel, y vías secundarias y terciarias que totalizan cerca de 32 kilómetros. Aproximadamente en la mitad del trayecto, se dispone de un desvío o by-pass para el cruzamiento de convoyes. Esta vía principal une el sector de carguío, ubicado en interior mina, con el sector de descarga, ubicado en superficie. El sector de carguío está conformado por una serie de túneles que dan acceso a los piques que sirven para traspasar el mineral desde las áreas de producción hasta el nivel Teniente 8. En superficie, la vía principal se distribuye en varios ramales, que conducen a las tolvas de vaciado, a los andenes para transporte de personal, a talleres, a bodega, otros. Los tramos de vías principales suman 4 kilómetros. El acarreo de mineral es la principal actividad y objetivo clave que realiza el ferrocarril teniente 8, y está compuesto de 4 procesos repetitivos (ciclo), esquematizados en la siguiente figura:





**Figura 4.5: Proceso Acarreo de Mineral.**

- Carga de Mineral: Asignado el punto de carga, esta etapa comprende desde el posicionamiento del convoy bajo el buzón hasta que se finaliza el llenado (telecomandado o manual) entregándolo luego al sistema de tráfico automático.
- Traslado a Superficie: etapa de traslado desde interior mina bajo supervisión del sistema de control de tráfico hasta los buzones de descarga ubicados en superficie.
- Descarga de Mineral: corresponde a la etapa final de la actividad de transporte, en la cual cada carro es activado en forma secuencial de modo de efectuar el vaciado de mineral hacia los buzones de descarga.
- Traslado a Mina: comprende el movimiento del convoy vacío, bajo el sistema de control automático una vez que se ha asignado una ruta, desde los buzones de superficie hacia los cruzados de carga de interior mina.

Para realizar este proceso, actualmente la operación utiliza un total de 7 trenes de 19 carros cada uno, divididos en la siguiente configuración:

- 5 trenes de mineral grueso, lo que requiere el uso de 5 locomotoras de producción de 130ton, 95 carros metaleros de 80 ton.
- 2 trenes de mineral fino, lo que implica el requerimiento de 2 locomotoras de producción de 130 ton, 38 carros metaleros de 100 ton.

## **4.4 Desarrollo del Caso Aplicación, Fase I**

### **4.4.1 Definición del Problema**

El diseño global del proceso productivo de la Mina El Teniente, contempla el acarreo de la mayor parte del mineral desde el interior del yacimiento a las instalaciones de la Planta Concentradora Colón, a través del Ferrocarril Teniente 8. Por razones de diseño y atendiendo al tamaño del mineral extraído, la explotación de la Mina entrega de manera selectiva dos tipos de materiales:

grueso, con granulometrías comprendidas entre las ocho y cuarenta pulgadas y fino, cuyas dimensiones son menores a ocho pulgadas.

La proporción entre mineral a acarrear a través del ferrocarril Teniente 8, fino y grueso, ha ido variando históricamente, llegando en estos momentos a valores aproximados de un 70 % de material grueso, porcentaje que de acuerdo a la planificación minera vigente, irá en aumento.

El acarreo de mineral grueso, se ha realizado con trenes conformados por una locomotora eléctrica de 130 t y 19 carros de 80 toneladas de carga, con volteo lateral, aspecto que demostró ser satisfactorio a través de 20 años de operación.



**Figura 4.6: Tren de mineral grueso**

Actualmente, dada la proporción entre material fino y grueso, el ferrocarril Teniente 8 utiliza una flota de cinco trenes de gruesos, más dos trenes de finos para cumplir con el acarreo programado, siendo la capacidad nominal de transporte de material grueso de 86.529 tpd y 44.537 tpd de fino.

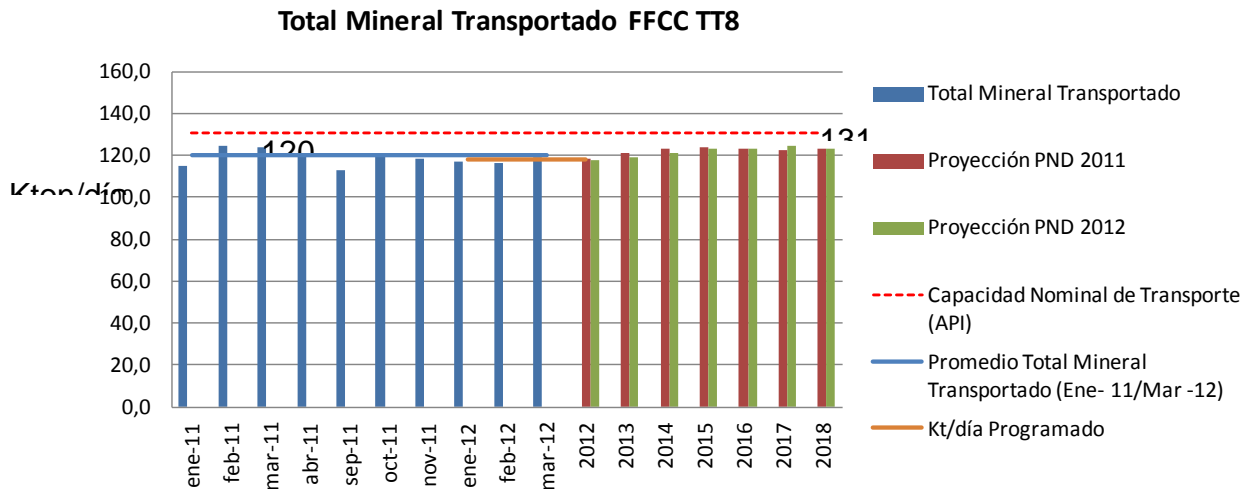
No obstante lo anterior, el programa de producción PND 2011 y PND 2012 presentan durante el período 2014 al 2017 un requerimiento de mineral grueso de hasta 93.000 tpd promedio año, el cual demanda a una capacidad de acarreo mayor a la actual.

Para suplir este déficit, existe una solución técnica de incorporar, mediante un proceso inversional, un sexto tren de gruesos con 19 carros metaleros equivalentes a un convoy actual en operación. Complementaria con ello y será abordado en esta tesis es la evaluación del rendimiento de los activos existentes mediante la aplicación de la metodología de la Gerencia de Excelencia operacional, permitiendo conocer las reales capacidades de transporte y las áreas críticas de mejoras para lograrlo.



La metodología será aplicada y desarrollada sólo hasta la fase II, donde se establece el plan de acción con algunos focos específico de trabajo para alcanzar el potencial determinado mediante las herramientas utilizada en la fase I.

En las siguientes figuras se indica el requerimiento de acarreo de mineral y la brecha para los próximos años en el transporte de mineral grueso.

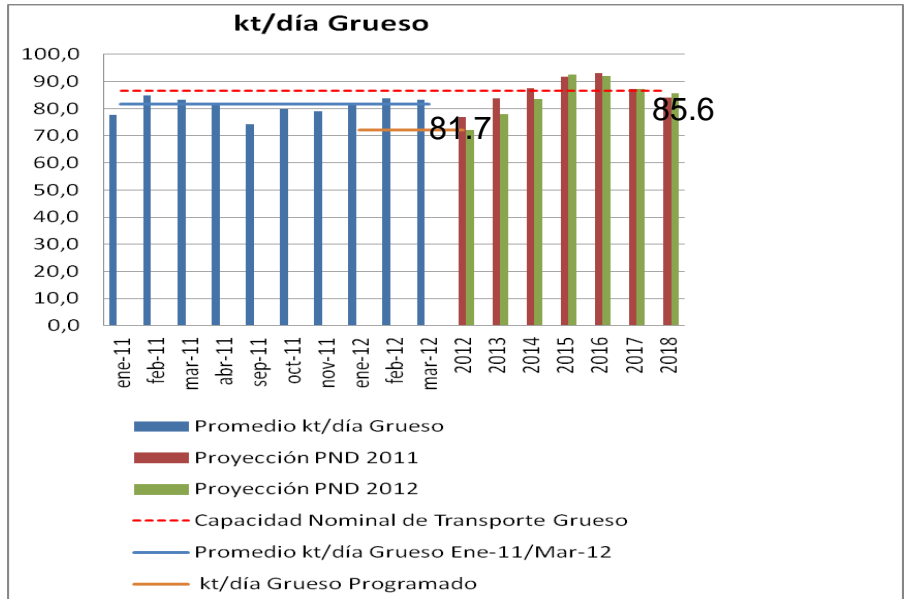


Fuente: PND 2011-2012

**Figura 4.7: Transporte real y Futuro por FFCC.**

De la figura 5.4, se observa que el requerimiento total de transporte de mineral según las proyecciones realizadas por el PND 2011 y PND 2012, se encuentran dentro de las capacidades nominales de acarreo del Ferrocarril Teniente 8, con las configuración y números de convoy actuales en operación, existiendo incluso una holgura del 6% con respecto a los mayores requerimientos de los años 2015 al 2017. A su vez, los valores reales globales alcanzados por el transporte de mineral se encuentran en promedio en 120,4 Ktpd, valor inferior incluso a los años de mayor requerimiento establecidos por ambos PND, pasando a constituir uno de los focos de trabajo y análisis.

Al revisar el requerimiento de transporte de mineral grueso en ambos PND, se observa que estos presentan una demanda mayor a la capacidad la real obtenida durante el periodo 2011 -2012 y a su vez, ésta se encuentra por sobre a la nominal definida, como se observa en la figura 5.5.



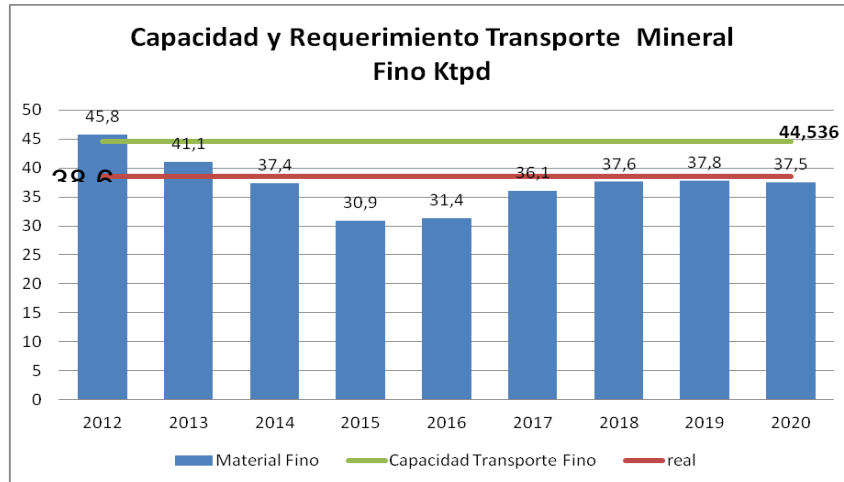
Fuente: PND 2011

Figura 4.8: Transporte real y Futuro por FFCC de mineral grueso.



Figura 4.9: Desafío de Transporte de mineral grueso.

El análisis que se desarrollará, en este capítulo, mediante la aplicación de las fases de la metodología planteada, será focalizado y referido al transporte de mineral grueso como principal variable en función de encontrar y determinar las principales causas de la situación actual para transformarlas en palancas de acción que permitan un impacto futuro, figura 5.6 . Lo anterior, es porque el mineral fino proyectado para los años entre el 2014 y 2020 se encuentra bajo los valores de capacidad nominal y real alcanzada en el acarreo de este tipo de mineral, ya que cualquier mejora que se realice al transporte de grueso afectará positivamente al fino. En la figura 5.7, se muestra el requerimiento futuro para el transporte de mineral fino comparado con los valores de capacidades reales 2011-2012 y nominal establecido.

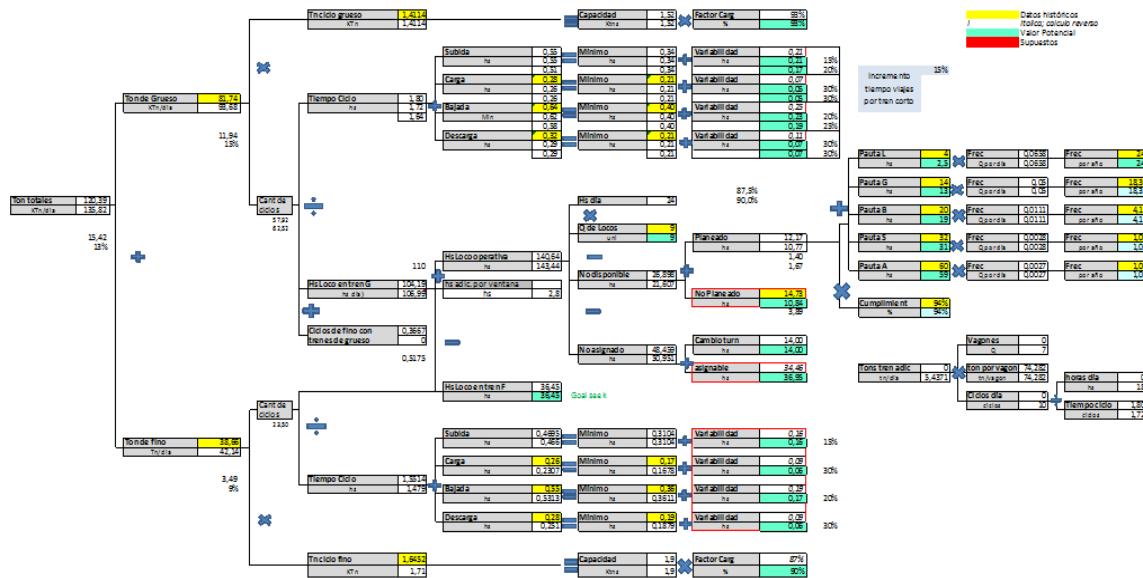


**Figura 4.10: Transporte real y Futuro por FFCC de mineral Fino.**

#### **4.4.2 Identificación de Palancas o Focos de Trabajo**

Con la finalidad de identificar las palancas críticas y determinar el impacto relativo de los cambios en los focos identificados, se construye un árbol de valor del proceso de transporte de mineral del ferrocarril Teniente 8, que considera cada una de las variables que participan e influyen en la cantidad total de mineral a transportar, siendo alguna de estas variables el tonelaje y el tiempo de ciclo de los convoy de grueso y fino, el factor de carga, disponibilidad de las locomotoras y otros requeridos que son desglosadas hasta su raíz.

Este árbol es desarrollado en planilla Excel y contiene toda la información de respaldo para generar la línea base. Además, permite realizar simulaciones para ver el impacto relativo a los cambios de las palancas críticas y así dimensionar de manera certera el potencial beneficio que se podría obtener. Se adjunta figura esquemática del árbol de valor construido para este trabajo.



**Figura 4.11: Árbol de Valor transporte de mineral FFCC Teniente 8**

Se identificaron seis palancas principales sobre las cuales trabajar las cuales fueron evaluadas de acuerdo a su impacto y facilidad de implementación, pero sólo tres de ellas son consideradas como prioritarias y las tres restantes evaluadas como secundarias. Las prioritarias son:

- ✓ Reducir los tiempos de ciclo de Grueso y Fino.
- ✓ Aumentar las horas operativas.
- ✓ Aumentar la disponibilidad de locomotoras.

Las cuales serán evaluadas y desarrolladas en detalle en el transcurso de este capítulo. Sin Embargo, las palancas secundarias si bien son más difícil de accionar y su impacto no ha sido considerado en la mejora potencial estimada, pueden ser palancas útiles a futuro una vez implementadas las tres prioritarias.



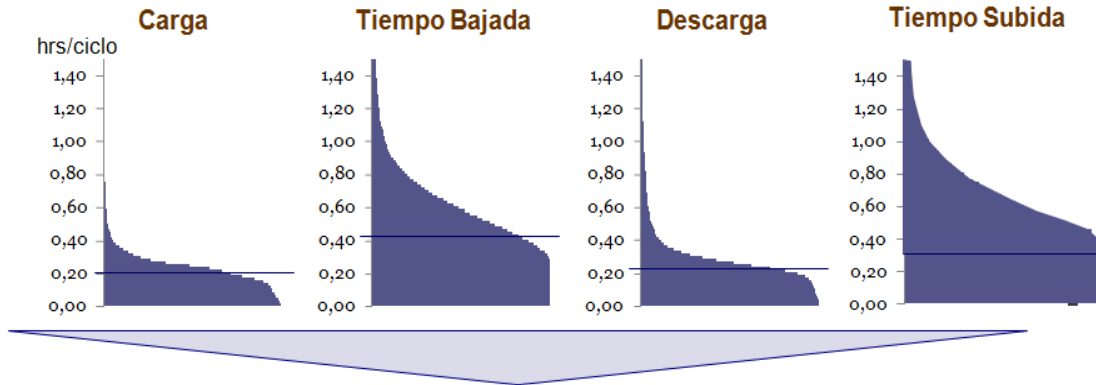
**Figura 4.12: Palancas Principales y Secundarias**

Se desarrollará, a continuación, cada una de las palancas principales identificadas, determinando el impacto de mejora de cada una de las oportunidades mencionada.

**A. Palanca: Tiempo de Ciclo**

Los tiempos de ciclos descritos en la figura 5.5 de acarreo de mineral, presentan importantes variaciones por causas internas y externas al proceso de transporte del FFCC Teniente 8, siendo estos por ejemplo: material sobre tamaño, fallas en buzones de alimentación, congestión, falla de equipos y otros relacionados con las diferentes etapas del tiempo de ciclo.

En la figura 5.10, se muestra la distribución de los tiempos del ciclo por etapa en forma descendente y las causas de variación que provoca esta dispersión de la información para cada una de ellas.

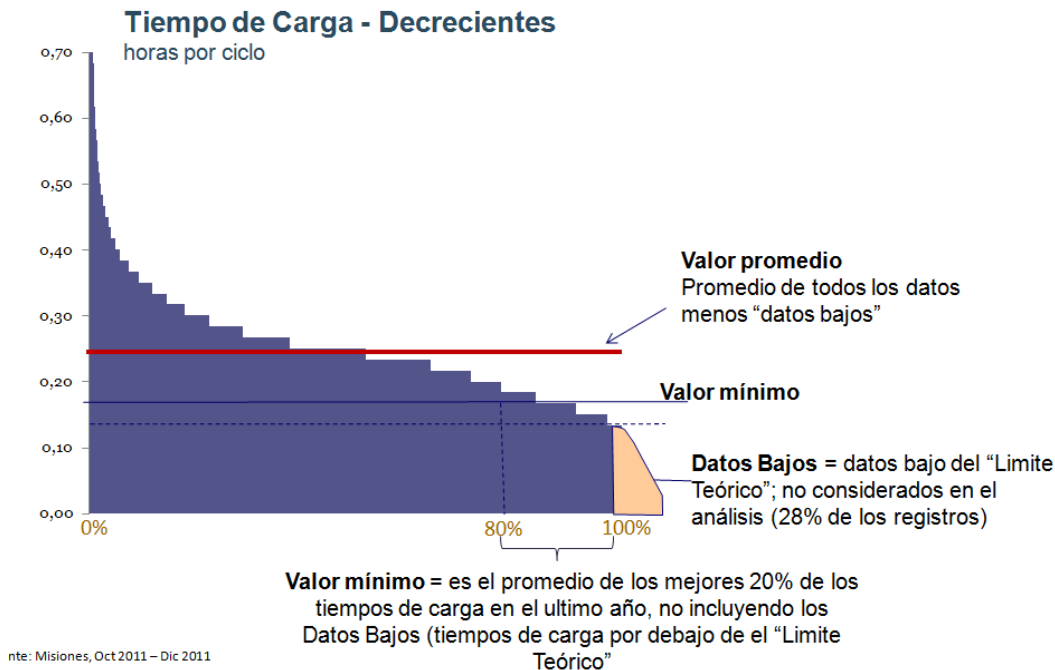


#### Causas de variación

- |  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material sobre tamaño y su explosión</li> <li>• Insuficiente Mineral</li> <li>• Material inchancable</li> <li>• Multi-piques trancados</li> <li>• Planchoneo</li> <li>• Fallas Buzón</li> <li>• Otras motivos trancadura de Piques</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas ATP</li> <li>• Congestion</li> <li>• Aguardando:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buzón</li> <li>• Pique</li> </ul> </li> <li>• Fallas tren (confiabilidad)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla Chancado 2</li> <li>• Falla Mecánica Tren</li> <li>• Falla Alimentador</li> <li>• Distribución del Mineral</li> <li>• Atollo Chancado 2 (Mat. Inchancable)</li> <li>• Fallas Correas Grueso</li> <li>• Fallas Correas Fino</li> <li>• Extracción de Rises en Chancador Primario</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas ATP</li> <li>• Congestion</li> <li>• Aguardando:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buzón</li> <li>• Pique</li> </ul> </li> <li>• Fallas tren (confiabilidad)</li> </ul> |
|--|---|---|---|

**Figura 4.13: Identificación de las causas principales de la variación en los componentes del tiempo de ciclo.**

Para calcular los valores promedios en los tiempos de ciclos y así estimar el potencial de mejora existente se debe depurar la información entregada por la división y establecer un valor mínimo para cada etapa de un ciclo. Realizada esta depuración de la data se determina cual es el valor mínimo que podría alcanzar o ha alcanzado cada una de estas etapas. El valor mínimo es determinado mediante el promedio de los mejores 20% de los datos de cada etapa y representa el valor real más bajo que podría obtenerse en cada una de las etapas que componen el tiempo de ciclo. Lo descrito anteriormente se puede observar la figura 5.11.



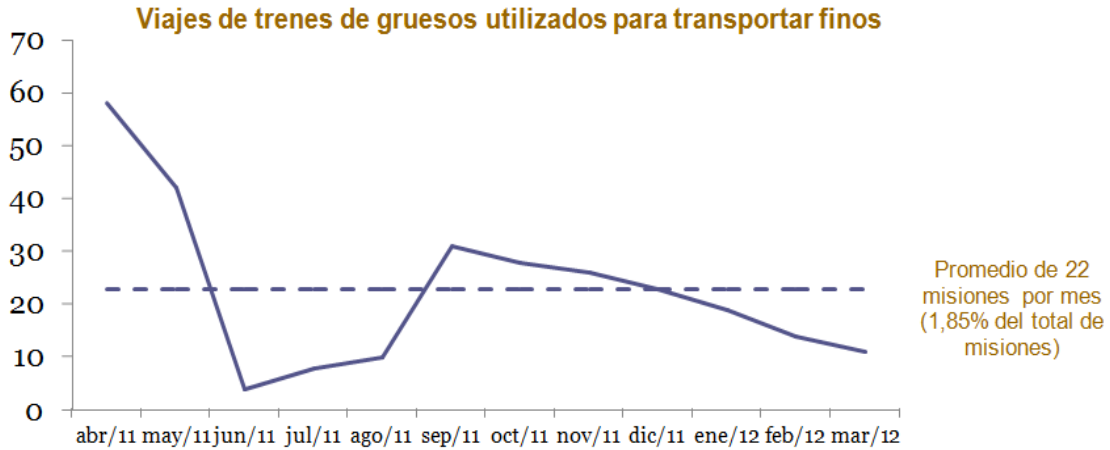
**Figura 4.14: Calculo del Valor Mínimo de las etapas del tiempo de ciclo.**

Realizado el cálculo de los valores mínimos se estima el potencial de mejora y de reducción de cada una de las etapas que componen el tiempo de ciclo para luego estimar su impacto en el aporte de tonelaje grueso que permitiría aumentar la capacidad de transporte de éste. En resumen, el impacto potencial que se obtiene mediante el árbol de valor al incorporar las reducciones de las variaciones en cada una de las etapas que componen el ciclo es de 5,5 Kton/día.

## **B. Minimizar uso de trenes de Grueso para Material Fino**

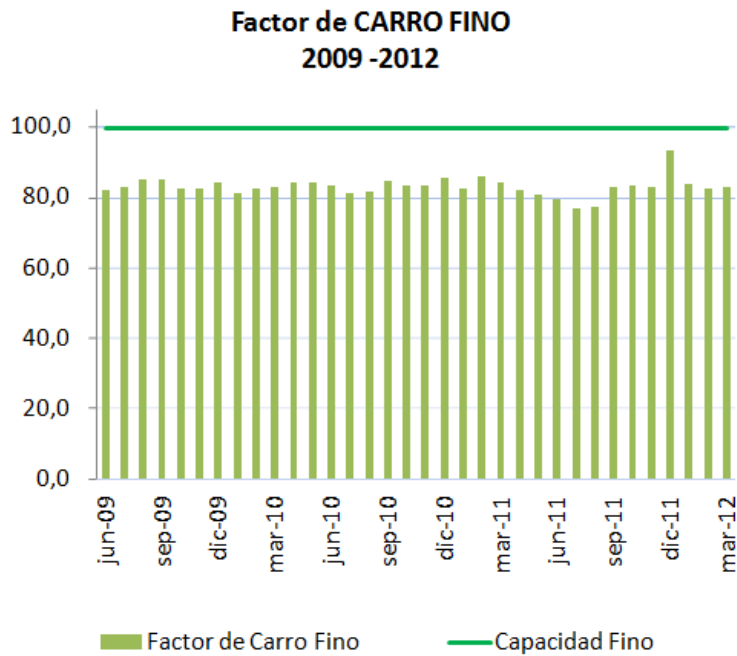
Este foco de trabajo consiste en mejorar el desempeño de los convoy de finos para transportar este tipo de mineral, sin la necesidad de utilizar convoy de grueso para cumplir con las metas productivas establecidas para el acarreo del material fino.

En la actualidad, existe un pique que es el OP17HW también, conocido como PIPA, en el cual por una estructura geométrica nos es factible incorporar trenes de fino, por lo que necesariamente se debe enviar trenes de grueso a ese sector. Pero a pesar de ello existe un potencial que se puede capturar, ya que existe evidencia que envían convoy de grueso a los piques de fino, siendo en promedio 22 misiones por mes las que representan el 1,85% del total de las misiones que se realizan. En la figura 5.12 se observa durante el periodo de casi un año en número de viajes o misiones que fueron destinados trenes de grueso a remover material fino.



**Figura 4.15: Viajes de Trenes de Grueso en el transporte de Fino.**

Si se estima que se gestiona el factor de carro del mineral fino, el cual presenta en la actualidad una holgura importante, figura 5.13. Provocaría un mejor aprovechamiento de los convoy de finos, lo que permitiría realizar una reducción de las misiones de grueso en fino exceptuando los trenes de grueso que por infraestructura necesariamente deben ser enviados al OP 17HW. Siendo cautos, este valor se estima en una reducción del 50%, correspondiendo a 11 viajes mes, lo que llevado a transporte día de mineral grueso que podría aumentar por disponibilidad de dichos trenes es de 0,5 Kton/día.



Utilización: 83%

**Figura 4.16: Factor de carga de material fino en el carro.**



### C. Aumento de Horas Operativas: Optimización Fin e Inicio de Ventana.

La tercera y última palanca a ser revisada en este documento es el Aumento de horas operativas y en específico es la optimización de fin e inicio de la ventana de mantenimiento de vías.

Actualmente existe una detención del proceso de transporte de mineral, llamada "Ventana", con una duración de de dos horas y ocurre en el cambio de turno entre las 14:00 a 16:00 hrs, cuyo objetivo es realizar el mantenimiento de vías y permitir superponer en una hora el cambio de turno, permitiendo mayor continuidad en la operación.

Lo anteriormente descrito, genera dos tipos de problemas:

- ✓ Productividad baja al final del turno, para evitar que queden trenes en interior mina.
- ✓ La ventana de 2 horas sólo permite 1 hr real de mantenimiento vía por los tiempos de preparación y cierre.

Al evaluar esta oportunidad entrega un impacto de 1,2 Kton/día en el trasporte de minera grueso.

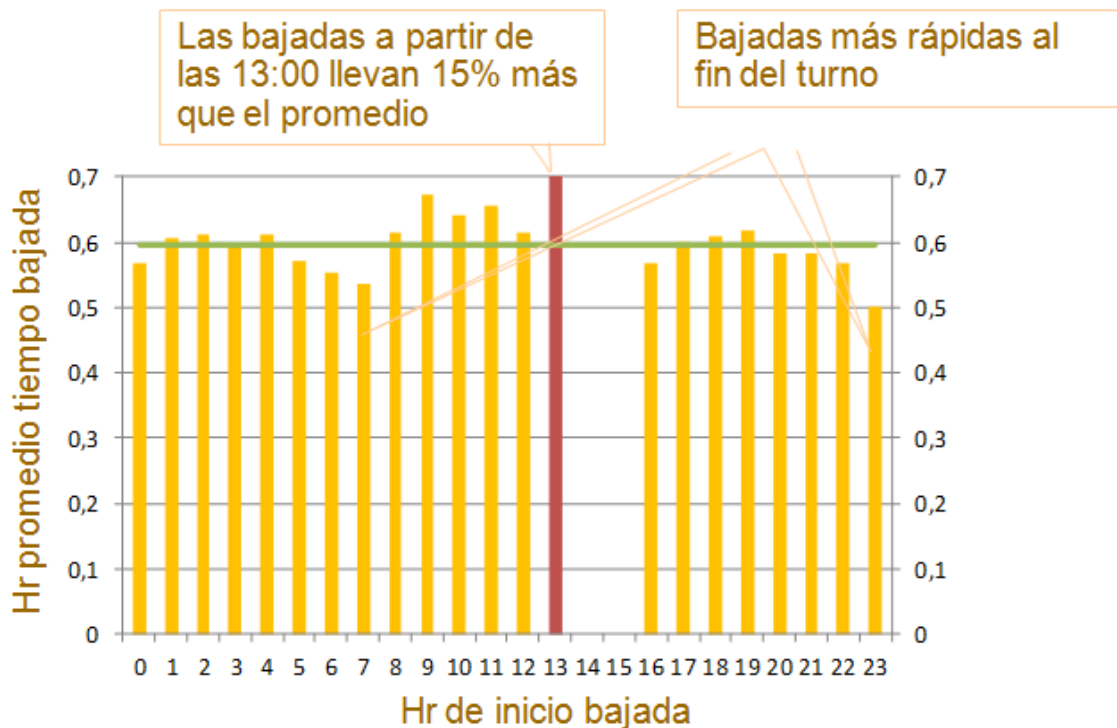


Figura 4.17: Velocidades de transporte de los trenes durante 24 hrs.

Las acciones potenciales a desarrollar son de supervisar y controlar las velocidades, principalmente del último ciclo de forma de minimizar el ajuste de

velocidad por los conductores. Gestionar proactivamente el cronograma de carga y descarga para maximizar la cantidad de ciclos al final del turno y replicar las prácticas demostradas en las horas 7 y 23hrs de cambios de turno.

#### 4.4.3 Resumen de Resultados

El potencial determinado por cada una de las oportunidades establecidas como palancas principales se resumen en la tabla 5.1, el cual muestra un impacto global de 7Ktpd de aumento en el transporte de mineral grueso. Quedando pendiente otras oportunidades a ser exploradas una vez que se vayan implementando las tres palancas principales definidas al principio de es este análisis.

	Oportunidad	Impacto
Reducir tiempos de ciclos	✓ Reducción de variabilidad en los procesos de carga, descarga y traslados.	5,5 kton/día
	✓ Optimizar los tiempos de fin e inicio de las ventanas de mantenimiento.	1,2 kton/día
Minimizar uso de trenes de Grueso para Fino	✓ Mejorar el factor de carga para Fino	0,5 kton/ día

Total Impacto: 7 kton/día

**Tabla 4.1: Impactos en el transporte de mineral por cada una de las tres palancas principales.**

#### 4.5 Desarrollo del Caso Aplicación, Fase II.

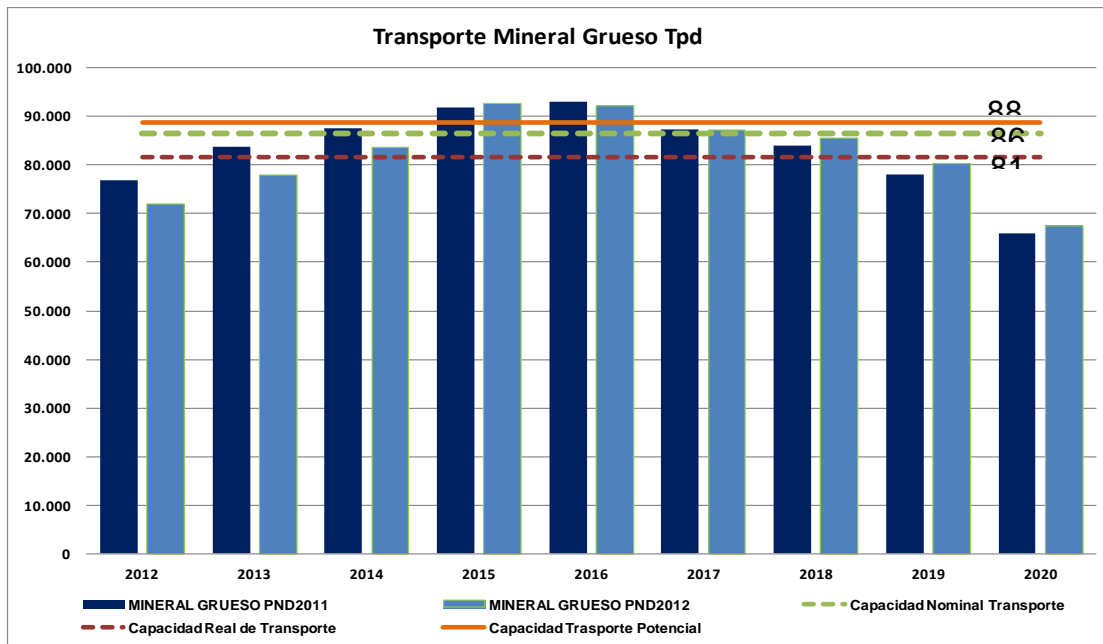
Se adjunta el Plan de Mejoramiento, el cual es el entregable fundamental de esta fase II. Por otro lado, el desarrollo de este trabajo se da por concluido ya que la fase III se encuentra fuera del alcance establecido para este trabajo de tesis.

	Prep datos			Semanas en Sitio											
	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Optimización de los tiempos de ciclo</b>															
Recolección de data de causas de demora															
Análisis de data coleccionada e identificación causas principales															
Identificación y priorización de acciones atacar causa principal															
Evaluación detallada de primera tanda de ideas seleccionadas															
Definición de indicadores de seguimiento de idea (KPI entrada)															
Ejecución de acciones															
Seguimiento de avance															
Medición de resultado															
Identificación y priorización de acciones atacar Segunda causa principal															
Evaluación detallada de segunda tanda de ideas seleccionadas															
Definición de indicadores de seguimiento de idea (KPI entrada)															
Ejecución de acciones															
Seguimiento de avance															
Medición de resultado															
<b>Optimizar fin de turno antes de ventana</b>															
Medición datos reales de tiempo "último ciclo" para generar línea base															
Lanzamiento de SPIN para cambio comportamiento															
Definición de indicadores específicos y metas															
Comunicación a operarios y capacitación															
Medición y presentación de resultados															
<b>Evaluación detallada de oportunidades secundarias</b>															
<b>Agregar 8vo tren</b>															
Medir impacto en tiempo de ciclos al incorporar 8vo tren															
Identificar y seleccionar carros para retrasar su enajenación al 2017															
Medir tiempos reales de loco Stand By															
Modelar impacto de agregar 8vo tren															
Evaluar merito de agregar 8vo tren															
Presentar para su aprobación															
<b>Evaluar el tamaño optimo de los trenes</b>															
Modelar alternativas															
Generar recomendaciones															
<b>Evaluar opciones de mejora de ventana</b>															
Ver opciones															
Evaluar mejor uso del tiempo liberable															
<b>Mejora del cableado</b>															
Cascadear KPIs a piso de planta y taller															
Lanzar implementación cultura de mejora continua (sólo lanzamiento)															

Figura 4.18: Plan de Mejoramiento FFCC Teniente 8.

## 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica que se detalla a continuación, compara los beneficios de realizar una inversión correspondiente a la compra de una locomotora con 19 carros metaleros para cubrir el requerimiento del transporte de mineral grueso establecidos en los programas PND 2011 y PND 212, llamada Situación con Proyecto, con otra llamada Situación sin Proyecto que corresponde a la línea base real determinada en el capítulo 5, siendo esta 81,7 Ktpd de transporte de mineral gruesos sumado con el potencial obtenido de la aplicación de la metodología de las tres fases, cuyas principales palancas entregan un aporte de 7 Ktpd entregando como resultado final un potencia de 88.7 Ktpd de transporte mineral grueso. Este incremento corresponde a un 2.5% por sobre la capacidad nominal de transporte para este tipo de mineral, siendo de 86.5 Ktpd.



**Figura 5.1: Transporte real y Futuro por FFCC de mineral grueso.**

Se realiza una primera evaluación económica, la cual toma como referente la capacidad nominal de transporte de grueso definida en 86,5 Ktpd. Para la Situación Sin Proyecto considera el desplazamiento del mineral que se dejaría de transportar por el déficit de capacidad de acarreo presente durante los años 2014 a 2017, hasta el momento que exista capacidad ociosa de transporte de mineral. El período de evaluación es por 10 años.

	Escenario PND 2011 (Millones de US\$)	Escenario PND 2012 (Millones de US\$)
<b>Situación con Proyecto:</b> Compra de Locomotora y carros	138	122
<b>Situación sin Proyecto</b> Referente que considera el desplazamiento de la extracción de mineral de grueso por sobre la capacidad de transporte de 86,6 Ktpd.	110	103
VAN Diferencial Proyecto	28	19

**Tabla 5.1: VAN Referente Capacidad Nominal Transporte de grueso 86.500 ton/día**

De la tabla 6.1 se observa que el beneficio de realizar el proyecto de compra de locomotora con 19 carros metales es de un VAN diferencial del proyecto de 28 Millones de US\$ y de 19 Millones de US\$ para los escenarios 2011 y 2012 respectivamente.

Al realizar la evaluación económica del levantamiento del potencial obtenido por la aplicación metodológica en el capítulo 5, cuyo transporte se ve incrementado en un 2,5% por sobre el valor de la capacidad nominal transporte, llevándolo a un valor de 88.700 ton/día, se observa que el beneficio de la Situación con Proyecto de compra de los equipos disminuye debido a que existen menos años donde realmente es necesario la utilización del nuevo convoy y a su vez en el caso de la Situación sin proyecto es menor el mineral que es desplazado para los años siguiente, por lo que el Valor Actual Neto diferencial del proyecto reportado en este escenario disminuye considerablemente. La tabla 6.2 se observan los resultados mencionados.

	Escenario PND 2011 (Millones de US\$)	Escenario PND 2012 (Millones de US\$)
<b>Situación con Proyecto:</b> Compra de Locomotora y carros	66,5	66,1
<b>Situación sin Proyecto</b> Referente que considera el desplazamiento de la extracción de mineral de grueso por sobre la capacidad de transporte de 88,7 Ktpd.	60,9	60,1
VAN Diferencial Proyecto	5,6	6,0

**Tabla 5.2: VAN escenario de 88.700 ton/día Transporte de grueso**

Al realizar un ejercicio de sensibilidad con un incremento de un 5%, sobre la base de la capacidad nominal, resultando un valor de 90,9 Ktpd en el mineral transportado se obtienen indicadores económicos negativos en el VAN diferencial de proyecto.

La tabla 6.3 muestra los beneficios para ambos escenarios de PND para las situaciones con y sin proyecto, en la cual demuestra que mientras mayor sea el valor potencial que alcance el transporte de mineral grueso con las mejoras encontradas y evaluadas en el capítulo 5, es cada vez menos atractivo realizar la inversión de compra del convoy.

	Escenario PND 2011 (Millones de US\$)	Escenario PND 2012 (Millones de US\$)
<b>Situación con Proyecto:</b> Compra de Locomotora y carros	16,7	16,3
<b>Situación sin Proyecto</b> desplazamiento de la extracción de mineral de grueso por sobre la capacidad de transporte de 90,9 Ktpd.	27,2	25,8
VAN Diferencial Proyecto	-10,5	-9,5

Tabla 5.3: VAN escenario sensibilización de 90.900 ton/día Transporte de grueso

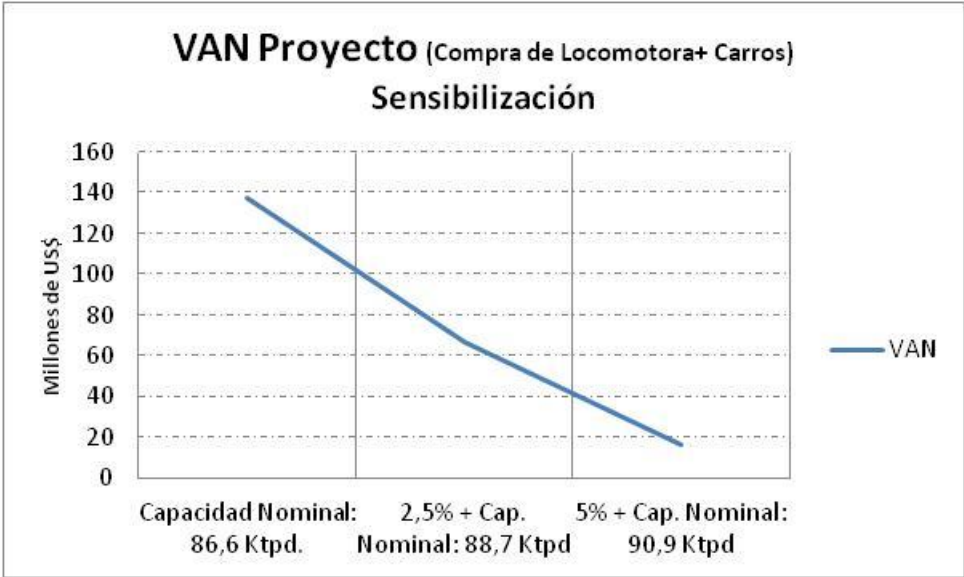


Figura 5.2:: Evolución VAN situación con proyecto con sensibilización

El potencial global del transporte de mineral grueso es de 90,9 Ktpd, pero la probabilidad de implementación para lograr ese incremento es baja por lo que sólo es analizado como un caso de sensibilización. Sin embargo, el plan de trabajo

propuesto como resultado de la Fase II de la metodología de las tres fases realizada en el capítulo 5, indica que se capturaría un potencial de 7 Ktpd presentando una probabilidad mucho más alta de ser implementada y por ende los valores económicos de ese escenario sería los más adecuados para la toma de decisión de la realización del proyecto de inversión.

## CONCLUSION.

La implementación del modelo de las tres fases, en el caso de aplicación del Ferrocarril Teniente 8 de la división El Teniente, fue factible aplicarlo y con resultados de aumento en el transporte de mineral grueso de 7.000 ton por días adicionales a las transportadas actualmente (81,7 Ktpd), una vez implementado el plan de acción determinado en la fase II. Pese a ello, este incremento no es suficiente para cubrir el requerimiento máximo en los años de mayor movimiento de mineral grueso.

La decisión de realizar la inversión y ejercer la opción de compra de la locomotora más carros metaleros se hace menos atractiva, bajando drásticamente el VAN del proyecto a medida que aumenta la capacidad transportada, obtenida mediante las mejoras de gestión propuestas en la en la aplicación de la metodología.

De acuerdo a los antecedentes anteriores y a la información obtenida hasta este momento de sus planes productivos, desafíos futuros y del corto plazo que se tiene para lograr la fase de implementación de las acciones planteadas y la obtención de los resultados mencionados, se recomienda la compra de la locomotora y sus carros metaleros, con la finalidad asegurar el mayor movimiento de mineral grueso.

Los proyectos basados en la mejora del procesos, Excelencia Operacional, no todas las compañías realizan este tipo de proyectos, a pesar de tenerlo declarado sus valores y sobre todo cuando existe un ciclo de precios altos del cobre. Por lo general, las compañías trabajan en esta línea cuando se está en presencia de precios bajo del cobre. Es ahí cuando este tipo de metodologías juega un rol preponderante.

Hay muchos proyectos de Excelencia Operacional que fracasan y en algunos casos se debe a:

- ✓ Falta de claridad en las definiciones, los objetivos y los límites de los procesos a mejorar.
- ✓ Falta de patrocinio y compromiso de la alta dirección. O por otro lado, injerencias frecuentes de la dirección en el funcionamiento del equipo.
- ✓ Recursos humanos inadecuados. Muchas veces las personas más capacitadas para realizar el proyecto de mejora, son las que menos se pueden distraer de sus deberes normales, y en su lugar se integran los equipos con personas no adecuadas para el objetivo.
- ✓ Tardar demasiado: si no se logra terminar la mejora en un tiempo razonable, el equipo de trabajo y la organización entran en un círculo vicioso de ineficiencia que lleva a que primero las personas y luego la organización abandonen el proyecto.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. CHANG, R. (1996) Mejora continua de procesos. Barcelona, Granica.
2. HARRINGTON, H. J. (2000) Mejora de los procesos en las organizaciones. México, Mc Graw Hill.
3. JURAN, J. M. y GRYNA, F. (1995) Análisis y Planeación de la Calidad - 3a. Ed. USA, McGraw Hill.
4. LAVORING EN EQUIPOS MINEROS,(2007) Estudio Parque Equipos FFCC Teniente 8.
5. GERENCIA DE PROYECTOS, (2011) Proyecto API Adquisición locomotora producción y carros metaleros 80 TFC, División El Teniente.
6. Mark O. George, (2010) La guía Lean SIX Sigma para hacer más con menos, Dallas Texas.