



SIMULADOR ECONÓMICO MINERO METALÚRGICO (SEMM) GERENCIA EXTRACCIÓN Y LIXIVIACIÓN CODELCO CHUQUICAMATA

*Proyecto de Titulación presentado para optar al
grado de Magíster en Gestión Minera*

Profesor Guía: Ángel Gómez Morales

Pablo Díaz Lecaros
Eduardo Lau Olmos
María Muñoz Tapia

Antofagasta, Diciembre de 2012

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 01 |
| CAPÍTULO 1 OBJETIVOS Y ALCANCES | 03 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL | 03 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 03 |
| 1.3. ALCANCES | 04 |
| CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES PRELIMINARES | 05 |
| 2.1. CONCEPTOS BASICOS Y FUNDAMENTOS PARA EL USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN | 05 |
| 2.2. FUNDAMENTOS PARA LA TOMA DE DECISIONES | 14 |
| CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA DE TRABAJO | 21 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO GERENCIA EXTRACCIÓN Y LIXIVIACIÓN (GEL) | 21 |
| 3.2. DETERMINACIÓN DEL ARBOL DE VALOR PARA LA HIDROMETALÚRGIA DEL COBRE | 25 |
| 3.3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA (6 σ) | 29 |
| 3.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA CADENA DE VALOR DE LA HIDROMETALÚRGIA EN GEL MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA (6 σ) | 37 |
| 3.5. ESTRUCTURA DE COSTOS EN GEL | 54 |

| | | |
|---------------------------|---|----|
| CAPÍTULO 4 | DESARROLLO DE SOFTWARE SIMULADOR ECONÓMICO | |
| MINERO METALURGICO (SEMM) | | 58 |
| 4.1. | HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO | 58 |
| 4.2. | ARQUITECTURA UTILIZADA | 60 |
| 4.3. | DESARROLLO ORIENTADO A PROTOTIPO | 62 |
| 4.4 | FASES DE DESARROLLO | 64 |
| 4.5. | APLICACIÓN EN EL SIMULADOR ECONÓMICO MINERO METALÚRGICO (SEMM) | 65 |
| CONCLUSIONES | | 70 |
| REFERENCIAS | | 71 |

RESUMEN EJECUTIVO

La toma de decisiones es el proceso a través del cual se ejecuta una elección entre diversas opciones, presentadas en diversos contextos, como familiar, sentimental, laboral, entre otros. Actualmente el mercado muestra la necesidad de profesionales, ejecutivos y/o equipos directivos que posean todas las herramientas necesarias para ejecutar en el menor tiempo posible la maximización de las utilidades, enfocando cada proceso unitario como un todo, de modo de eliminar los “fundos” particulares para dar atención al negocio en general, de modo que la elección de una opción sirva para resolver un problema actual o uno potencial, aunque no se evidencie explícitamente en ese momento.

Bajo este escenario, la Gerencia de Extracción y Lixiviación (GEL) de División Codelco Chuquicamata, ha manifestado la importancia de definir e implementar nuevas prácticas que contribuyan progresivamente a crear un ambiente más colaborativo, de manera que cada una de las áreas involucradas en la operación asuman y cumplan los compromisos con una actitud de cooperación hacia los demás, por lo cual, es de suma importancia disponer de un conjunto de indicadores de gestión integrada en tiempo real que proporcionen una visión integrada de la operación por línea de negocio, con énfasis en la variabilidad de los procesos, permitiendo gestionar en tiempo real los flujos de producción y el cumplimiento de las metas.

En lo particular, el trabajo desarrollado a continuación identifica a partir del análisis de variables productivas y mediante la metodología SIX SIGMA, la mejor toma de decisiones de negocio, considerando el criterio “costo/beneficio” como pilar base. En consecuencia con lo anterior, se desarrolla e implementa el software del Simulador Económico Minero Metalúrgico (SEMM), producto final y entregable de este trabajo de titulación, que permitirá a él o los miembros del cuerpo directivo de la organización tomar decisiones con la mayor cantidad de antecedentes, a un click de distancia y con la certeza que lo indicado es lo óptimo desde el punto de vista económico para el negocio.

INTRODUCCIÓN

Al optar ser parte de equipos directivos de alto nivel, necesitamos personas que participen y trabajen de manera estructurada en beneficio de los objetivos comunes del negocio (Maxwell, 2008). Sabemos que un ideal metalúrgico no necesariamente es el ideal económico, así por ejemplo, chancar a la mínima expresión para tener un grado de liberación alta de mena influye en un problema operacional posterior si se tiene el mineral apilado en pilas de lixiviación con un costo mayor en energía por el alto índice de trabajo que se necesita para lograr lo solicitado, de esta manera se crea el perfil granulométrico y P80 como indicadores de medición. Otro ejemplo corresponde a la ley de corte de la mina, así para algunas operaciones una ley de 0.5% en CuT no es rentable de procesar, en otras, es la ley máxima enviada a proceso.

La toma de decisiones relevantes de los Directivos y Ejecutivos de la gerencia GEL, que impactan desde el punto de vista económico es a diario y, por lo general, las necesidades son ilimitadas pero no así los recursos. No se cuenta con personal para atender distintas fallas simultáneamente, tampoco con almacenamiento de todos los componentes para la reparación de equipos o incluso con necesidades de solución en paralelo de la misma problemática.

Hoy las decisiones dentro de la cadena del valor de la hidrometalurgia se toman según su grado de complejidad, repuestos vigentes, disponibilidad de personal, impacto en el negocio por la experiencia que tiene el administrador principal o parte de su equipo directivo, pero no se valoriza explícitamente su nivel de impacto en el negocio. En ocasiones el miembro del equipo directivo que piensa que su negocio es el más importante y no se puede detener, puede influir en la decisión final del administrador del negocio o incluso puede haber posturas opuestas entre directivos. Se explica teóricamente de la siguiente forma (Fischman, 1990):

1. Conflicto de Atracción-Atracción: Cuando todas las alternativas son igualmente atractivas, pero sólo podemos optar por una.
2. Conflicto de Evitación-Evitación: Cuando todas las alternativas son igualmente desagradables, pero tenemos que optar por una.
3. Conflicto de Atracción-Evitación: Cuando cada una de las alternativas son atractivas y desagradables, es decir, facilitan la decisión porque es beneficioso para cierta parte del proceso, pero perjudica a la otra.

El único concatenador entre todas las especialidades, sean mineros, mecánicos, eléctricos, electrónicos, operadores, metalurgistas y staff de apoyo es el dinero. Un eficiente trabajo en equipo debe unir a todos los integrantes de la mesa de toma de decisiones conociendo dónde se deben dejar los esfuerzos por el bien del negocio en su totalidad y no cuidando sólo los intereses de un área en particular.

La metodología para determinar la “línea crítica de procesos” utiliza en primer lugar el “árbol de valor de la hidrometalurgia”, explicado en capítulos siguientes y a través de él se obtienen los 19 puntos críticos. A éstos se les realiza un análisis estadístico y a través de la metodología Six Sigma se calcula el nivel de influencia asociado junto al aporte económico del negocio, para finalmente ingresarlos a una matriz de datos que complementa la decisión del administrador principal y sepa en línea el impacto sobre el negocio, para ir a través de análisis de variables productivas considerando el mejor escenario costo/oportunidad.

CAPÍTULO 1. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO

1.1. OBJETIVO GENERAL

Actualmente la gerencia GEL cuenta con un proceso productivo con una capacidad de tratamiento de mineral de 30 mil toneladas día. El proceso consta de un sistema de chancado, harneado, curado y aglomeración en tambores, lixiviación en pilas dinámicas, un sistema de remoción de rípios mediante rotopala y apilamiento de este a través de spreader. Este proceso es variado y de difícil control, los materiales enviados desde la mina son de mala calidad física, es decir, con gran cantidad de arcillas (finos) los cuales generan post lixiviación un alto nivel de humedad que al fluir y caer sobre componentes mecánicos del sistema de remoción de rípios, los deterioran y pueden llegar a producir detenciones del mismo. Las decisiones gerenciales respecto de estas problemáticas u otras se basan principalmente en la producción de cobre fino como meta final; sin embargo, estas decisiones no se basan en el costo beneficio del proceso, lo que implica que muchas veces éstas decisiones no han sido económicamente las más acertadas.

El Objetivo General de esta Tesis considera diseñar y construir un simulador técnico económico de las variables que integran la operación minero metalúrgico de la gerencia GEL en tiempo real, que permita evaluar las mejores alternativas y decisiones a tomar por el nivel estratégico de la organización, optimización de los procesos productivos y el uso de los activos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar, programar y probar la primera versión de simulador técnico económico en la gerencia GEL desde el punto de vista Macro, pudiendo asignar variables al menú de cada una de los 19 puntos críticos en la Cadena del Valor de la

Hidrometalurgia para determinar niveles de significancia en el impacto de cada una de ellas.

2. Optimizar los procesos productivos de mina y planta, a través de la agregación de valor al negocio mediante un nuevo enfoque al modelo de gestión de la gerencia GEL, basada en análisis de costos/beneficios de los procesos.
3. Orientar el soporte tecnológico para la gestión del negocio y la integración de los procesos, a la representación gráfica de los indicadores claves del negocio, y a las decisiones en tiempo real.

1.3. ALCANCES

El presente estudio abarca a la Gerencia GEL de División Chuquicamata, y considera los siguientes alcances:

1. Optimizar la gestión de los Activos de GEL y capturar oportunidades de agregar valor al negocio.
2. Integrar los procesos de Mina y Planta, de tal manera que permita crear valor al negocio.
3. Generar Capacidad de Análisis y Predicciones para la toma de decisión en tiempo real.
4. Lograr vía Implementación tecnológica, la visualización de indicadores claves del negocio, de forma gráfica y sencilla.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES PRELIMINARES

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS Y FUNDAMENTOS PARA EL USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN

La creciente capacidad de los procesadores y la inmensa investigación en el campo de la ciencia de la computación otorgan nuevas herramientas para apoyar el proceso de la toma de decisiones en diversas disciplinas y áreas de diseño y manejo de la industria. La Simulación es una de las herramientas más importantes e interdisciplinarias. El usuario define la estructura del sistema que quiere simular. Una corrida del programa de simulación correspondiente le dice cuál será el comportamiento dinámico de su empresa o de la maquina que está diseñando. Así podemos ver los pronósticos para la demanda y utilidad de nuestro producto, o ver cuando un mecanismo pueda fallar en las condiciones adversas del ambiente donde funcionará.

Las aplicaciones de la simulación parecen no tener límites. Actualmente se simulan los comportamientos hasta las partes más pequeñas de un mecanismo, el desarrollo de las epidemias, el sistema inmunológico humano, las plantas productivas, sucursales bancarias, el sistema de repartición de pizzas, crecimiento de poblaciones de especies de animales, partidos y torneos de fútbol, movimiento de los planetas y la evolución del universo, para mencionar unos pocos ejemplos de las aplicaciones de esta herramienta. Cabe mencionar la creciente importancia de la Simulación en la Investigación de operaciones y en sus aplicaciones industriales. En los países altamente desarrollados la simulación es una herramienta principal de los procesos de toma de decisiones, en el manejo de empresas y la planeación de la producción. Además, la Simulación es cada vez más “amigable” para el usuario, que no tiene que ser un especialista en computación.

Por simulador entendemos no sólo un programa de simulación y el procesador que lo realiza, sino también un aparato que muestra visualmente y a menudo físicamente

las entradas y salidas (resultados) de la simulación, como es el caso de los simuladores profesionales de vuelo.

Se puede definir a la simulación como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo. Esto se hace por lo general al crear un modelo de simulación. En síntesis, cada modelo o representación de una cosa es una forma de simulación. La simulación es un tema muy amplio y mal definido que es muy importante para los responsables del diseño de sistemas, así como para los responsables de su operación.

(Shannon, 1988) define la simulación como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del sistema. Por lo que se entiende que el proceso de simulación incluye tanto la construcción del modelo como su uso analítico para estudiar un problema. Un modelo de simulación comúnmente toma la forma de un conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema, expresado con relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés del sistema. En contraste con las soluciones matemáticas exactas disponibles en la mayoría de los modelos analíticos, el proceso de simulación incluye la ejecución del modelo a través del tiempo, en general en un procesador, para generar nuestras representativas de las mediciones del desempeño o funcionamiento. Es claro que tanto más puntos de muestra generemos, mejor será nuestra estimación. Sin embargo, hay otros factores que tienen influencia sobre la bondad de nuestra estimación final, como las condiciones iniciales de la simulación, la longitud del intervalo que simula y la exactitud del modelo mismo.

2.1.1. SIMULACIÓN Y TOMAS DE DECISIONES

La construcción de modelos de simulación comienza desde el Renacimiento, el uso moderno de la palabra simulación data de 1940, cuando los científicos Von

Neuman Y Ulam que trabajaban en el proyecto Monte Carlo, durante la segunda Guerra Mundial, resolvieron problemas de reacciones nucleares cuya solución experimental sería muy cara y el análisis matemático demasiado complicado.

2.1.2. DEFINICIÓN DE SIMULACIÓN

Se ha empezado a utilizar la palabra simulación sin haber dado una definición de ella. Por consiguiente, antes de proseguir con este tema, sería conveniente describir algunas de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación:

Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, los cuales requieren ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento de un negocio o un sistema económico (o algún componente de ellos) en periodos extensos de tiempo real (Naylor, 1977).

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema (Shannon, 1988).

Para los que prefieren una definición estrictamente formal, la propuesta por West Churman puede resultar satisfactoria, ya que admite las ambigüedades e inconsistencias inherentes al uso actual de la palabra y define la simulación como (Boni, 1963):

Se dice que “x simula a y” si y sólo si:

- a) x y y son sistemas formales;
- b) y se considera como el sistema real;
- c) x se toma como una aproximación del sistema real;
- d) las reglas de validez en x no están exentas de error.

Las definiciones anteriores no especifican si los sistemas modelados son continuos o discretos. Se desprende entonces que, existe la simulación de sistemas dinámicos continuos y discretos.

2.1.3. SIMULACIÓN COMO UNA TÉCNICA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS

Simulación, es una forma de realizar experimentos en un procesador, el cual ayuda a las empresas a realizar la simulación de un proyecto para ver si valdrá la pena desarrollarlo en la empresa. A continuación, se listan algunos de los aspectos más importantes que se tienen que tomar en cuenta, cuando se desea llevar a cabo un experimento de simulación en la toma de decisiones.

1. La simulación hace posible estudiar y experimentar con las complejas interacciones que ocurren en el interior de un sistema dado, ya que sea en una empresa, industria, economía o un subsistema de cualquiera de ellas.
2. A través de la simulación se puede estudiar los efectos de ciertos cambios informativos, de organización y ambientales, en la operación de un sistema, al hacer alteraciones en su modelo y observar los efectos de éstas en el comportamiento del problema.
3. La observación detallada del sistema que se está simulando, conduce a un mejor entendimiento del mismo y proporciona sugerencias para mejorarlo.
4. La experiencia que se adquiere al diseñar un modelo de simulación en un procesador, puede ser más valiosa que la simulación en sí misma. El conocimiento que se obtiene al diseñar un estudio de simulación sugiere, frecuentemente, cambios en el sistema en cuestión. Los efectos de estos cambios pueden probarse, entonces, a través de la simulación, antes implantarlos en el sistema real.

5. La simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema y cómo ellas obran entre sí.
6. La simulación puede emplearse para experimentar con situaciones nuevas acerca de las cuales tenemos poca o ninguna información, con el objeto de estar preparados para alguna eventualidad.
7. La simulación puede servir como una prueba para ensayar nuevas políticas y reglas de decisión en la operación de un sistema, antes de tomar el riesgo de experimentar con el sistema real.
8. Las simulaciones son valiosas algunas veces, ya que proporcionan una forma conveniente de dividir un sistema complicado en subsistemas, cualesquiera de los cuales puede ser modelado por un analista o un equipo de expertos en esta área.
9. Para ciertos tipos de problemas estocásticos, la secuencia de los eventos puede ser muy importante, pues La información acerca de los valores esperados y de los momentos, puede ser suficiente para describir el proceso. En estos casos los métodos de Monte Carlo pueden constituir la única forma satisfactoria de obtener la información requerida.
10. Las simulaciones de Monte Carlo pueden realizarse para verificar soluciones analíticas.
11. La simulación permite estudiar los sistemas dinámicos, ya sea en tiempo real, tiempo comprimido o tiempo expandido.
12. Cuando se presentan nuevos componentes de un sistema, la simulación puede emplearse para ayudar a descubrir los obstáculos y otros problemas que resultan de la operación del sistema.

2.1.4. ETAPAS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

La mayoría de los autores de libros sobre simulación (Shannon, 1988), opinan que los pasos necesarios para llevar a cabo un experimento de simulación son:

Definición del sistema. Para tener una definición precisa del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.

Formulación del modelo. Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.

Colección de datos. Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si no hay otro remedio por experimentación.

Implementación del modelo en el Pcs. Con el modelo definido, el siguiente paso es decir si se utiliza algún lenguaje de propósito general, como Fortran, Basic, Pascal, C/C++, Visual Basic, Visual C++, o Delphi, etc. o software de propósito particular, como GPSS, GPSSH, PROMODEL SIMFACTORY, SLAM I, y II, MICROMANAGER, etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.

Validación. Una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación. A través de esta es posible detallar deficiencias en la formulación del

modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son: - La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación. -La exactitud con que se predicen datos históricos. -La precisión en la predicción del futuro. - La comprobación de falla del modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.

Experimentación. La experimentación con el modelo se realiza después de que ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

Interpretación. En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y basándose en esto se toma una decisión. La computadora en si no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener mejores resultados.

Documentación. Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de procesamiento de datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una computadora.

2.1.5. TIPOS DE MODELOS DE SIMULACIÓN

Modelos de simulación estática vs dinámica. Un modelo de simulación estática, se entiende como la representación de un sistema para un instante (en el tiempo) en particular o bien para representar un sistema en el que el tiempo no es importante, por ejemplo la simulación Montecarlo; en cambio un modelo de simulación dinámica representa a un sistema en el que el tiempo es una variable de interés, como por ejemplo en el sistema de transporte de materiales dentro de una fábrica, una torre de enfriamiento de una central termoeléctrica, etc.

Modelos de simulación determinístico vs estocástica. Si un modelo de simulación no considera ninguna variable importante, comportándose de acuerdo con una ley probabilística, se le llama un modelo de simulación determinista. En estos modelos la salida queda determinada una vez que se especifican los datos y relaciones de entrada al modelo, tomando una cierta cantidad de tiempo de cómputo para su evaluación. Sin embargo, muchos sistemas se modelan tomando en cuenta algún componente aleatorio de entrada, lo que da la característica de modelo estocástico de simulación.

Un ejemplo sería un sistema de inventarios de una fábrica, o bien el sistema de líneas de espera de una fábrica, etc. Estos modelos producen una salida que es en sí misma de carácter aleatorio y ésta debe ser tratada únicamente para estimar las características reales del modelo, esta es una de las principales desventajas de este tipo de simulación.

Modelos de simulación continuos vs discretos. Los modelos de simulación discretos y continuos, se definen de manera análoga a los sistemas discretos y continuos respectivamente. Pero debe entenderse que un modelo discreto de simulación no siempre se usa para modelar un sistema discreto. La decisión de utilizar un modelo discreto o continuo para simular un sistema en particular, depende de los objetivos específicos de estudio. Por ejemplo: un modelo de flujo de tráfico en una supercarretera, puede ser discreto si las características y movimientos de los vehículos en forma individual es importante. En cambio si los vehículos pueden considerarse como un agregado en el flujo de tráfico entonces se puede usar un modelo basado en ecuaciones diferenciales presentes en un modelo continuo.

Otro ejemplo: Un fabricante de comida para perros, requiere el auxilio de una compañía consultora con el objeto de construir un modelo de simulación para su línea de fabricación, la cual produce medio millón de latas al día a una velocidad casi constante. Debido a que cada una de las latas se representó como una entidad separada en el

modelo, éste resulto ser demasiado detallado y por ende caro para correrlo, haciéndolo poco útil. Unos meses más tarde, se hizo una reformulación del modelo, tratando al proceso como un flujo continuo. Este nuevo modelo produjo resultados precisos y se ejecuto en una fracción del tiempo necesario por el modelo original.

2.1.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LA SIMULACIÓN

Aunque la técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientemente avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho posible que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. Además de las razones antes mencionadas, se ha sugerido que un estudio de simulación es muy recomendable porque presenta las siguientes ventajas (Naylor, 1977):

1. A través de la técnica de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de estas alteraciones en el comportamiento del sistema.
2. Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
3. La técnica de simulación puede ser utilizada como un instrumento pedagógico, para estudiantes al enseñarles los conocimientos básicos en el análisis teórico, el análisis estadístico, y en la toma de decisiones.
4. La simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema y cómo ellas obran entre sí.
5. La técnica de simulación puede utilizarse para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o nula información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a los posibles resultados no previstos.

6. La técnica de la simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema y cómo ellas obran entre sí.
7. Se puede utilizar también para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener una buena representación de un sistema (como por ejemplo los juegos de negocios), y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.
8. La simulación de sistemas complejos puede producir un valioso y profundo conocimiento acerca de cuáles variables son más importantes que otras en el sistema y cómo ellas entre sí.
9. Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede utilizarse para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.
10. A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta el problema de requerir equipo de cómputo y recursos humanos, en ocasiones costosas. Además, generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado. Finalmente, es posible que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y esto crea dificultad en vender la idea.

2.2. FUNDAMENTOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

La mayoría de las personas tomamos decisiones de manera automática todos los días. Por ejemplo, al decidir qué ropa utilizar, qué se almorzará, qué se comprará en el supermercado, son situaciones de vida que no producen malestar, muy por el contrario, es parte de la vida diaria. Sin embargo, la frase “debo tomar una decisión”, se empieza a complicar en la vida y puede llegar a experimentar crecientes niveles de angustia relacionados directamente con la jerarquía del contenido a ser decidido.

Habitualmente, detrás de una toma de decisión se esconde un temor de equivocarse en la resolución final. Ésta última posibilidad paraliza a las personas frente a la manera de enfocar los temas, ello provoca que se vaya aplazando e evadiendo la resolución, lo que provoca un nivel de angustia, ya que el estado irresoluto comienza a dar vueltas de manera repetitiva en nuestras mentes. En grandes rasgos una toma de decisión requiere seguir los siguientes pasos (De la Plaza, 2000):

1. Comprensión y definición del contenido a ser decidido y tenerlo muy claro para no confundirse o agrandarlo en la mente.
2. Análisis de sus posibles consecuencias, en el caso de optar por una u otra resolución.
3. Síntesis de lo analizado, tanto en sus distintas facetas como en sus posibles consecuencias.
4. Toma de decisión final y consecuente compromiso personal con ella.

La toma de decisiones no es un tema que se pueda ejercer con menor conocimiento, por lo que es muy importante que toda persona que desempeñe labores directivas antes de tomar una decisión efectúe un análisis de las variables externas e internas que puedan afectar al desarrollo normal de las actividades de una empresa o negocio. La forma y la asertividad en que los individuos toman decisiones en las organizaciones están influidas principalmente por sus percepciones, por sus creencias, experiencias y por sus valores. Los procesos de decisión en las organizaciones son muy importantes porque generalmente afectan todos los procesos humanos dentro de las mismas. La comunicación, la motivación, el liderazgo, el manejo de conflictos, y otros más. Cuando tenemos que tomar una decisión, se presenta un conflicto psicológico, previo a la acción de elegir, este conflicto puede ser de cualquiera de los siguientes tres tipos de conflictos de decisión (Fischman, 1990):

5. Conflicto de Atracción-Atracción: Cuando todas las alternativas son igualmente atractivas, pero sólo podemos optar por una.

6. Conflicto de Evitación-Evitación: Cuando todas las alternativas son igualmente desagradables, pero tenemos que optar por una.
7. Conflicto de Atracción-Evitación: Cuando cada una de las alternativas son atractivas y desagradables, es decir, facilitan la decisión porque es beneficioso para cierta parte del proceso, pero perjudica a la otra.

De la misma manera que el individuo toma decisiones que le conciernen y afectan sólo a él, se toman también las decisiones organizacionales. Podríamos decir que se aplican los mismos modelos de análisis racional, con la única, pero importante variación de que muchas de las decisiones organizacionales se toman en grupo, lo cual presenta algunas peculiaridades importantes. La mayoría de las organizaciones formulan sus metas, estrategias, políticas, procedimientos y normas que orientan la toma de decisiones y le dan forma a su plan de acción, proporcionando una dirección empresarial, al mismo tiempo que aseguran la coordinación formal de los recursos. A continuación se describen cuatro etapas en la toma de decisiones organizacionales (Laudon y Laudon, 1995):

1. Inteligencia: Es la primera de las cuatro etapas de Simón sobre la toma de decisiones, cuando la persona recopila información para identificar los problemas que ocurren en la institución. La inteligencia implica identificar los problemas que ocurren en la institución, indica donde, porque y con qué objeto ocurre una situación. Este amplio conjunto de actividades de recopilación de información se requiere para informar a los administradores que también se desempeñan en la institución y para hacerles saber donde se presentan los problemas. Los sistemas de información administrativos tradicionales que proporcionan una gran cantidad y variedad de información detallada pueden ser útiles para identificar los problemas, especialmente si estos informan excepciones (con habilidad agregada para cerrar el texto y buscar información adicional).

2. **Diseño:** Referente a la persona que concibe las posibilidades alternativas de soluciones de un problema. Durante el diseño, la segunda etapa de la toma de decisiones, la persona diseña las posibles soluciones a los problemas. En esta actividad se requiere de mayor inteligencia, de manera que el administrador decida si una solución en particular es apropiada. La etapa de diseño también puede implicar actividades de información más cuidadosamente especificadas y orientadas. Los sistemas de soportes de decisiones son ideales en esta etapa de toma de decisiones, por que operan sobre la base de modelos sencillos, pueden desarrollarse rápidamente y ser operados con información limitada.
3. **Selección:** Referente a la elección de las diversas alternativas de solución. En este caso, un administrador puede usar las herramientas de información que calculen y lleven un seguimiento de las consecuencias, costos y oportunidades proporcionadas por cada alternativa diseñada en la segunda fase. Quien toma las decisiones podría necesitar de un sistema de soporte de decisiones mayor para desarrollar mejor la información sobre una amplia variedad de alternativas y emplear diversos modelos analíticos para tomar en cuenta todas las consecuencias.
4. **Implantación:** Referente a la decisión a la acción y da su informe sobre el progreso de la información. Esta última etapa en la toma de decisiones los administradores pueden usar un sistema de información que emita informes rutinarios sobre el progreso de la solución específica. El sistema también informará sobre algunas dificultades que surjan, indicará restricciones a los recursos y podrá sugerir ciertas posibles acciones de mejora. Los sistemas de apoyo pueden ir desde los sistemas de información administrativos completos a sistemas mucho más pequeños, así como software de planeación de proyectos operados con micro computadoras.

En general, las etapas en la toma de decisiones no necesariamente siguen una trayectoria lineal: inteligencia, diseño, selección e implantación. Se expresan claramente algunos problemas que pudieren ocurrir en la toma de decisiones:

1. Arrojarse: Comenzar a recabar información y llegar a conclusiones sin analizar la mejor manera para tomar la decisión.
2. Ceguera: Se trata de resolver el problema equivocado ya que se ha perdido de vista los objetivos importantes.
3. Falta de control: Incapacidad para definir conscientemente en más de una manera el problema.
4. Exceso de seguridad en sus propios juicios.
5. Atajos: Confiar implícitamente en la información más accesible o sujetarse demasiado a hechos cómodos.
6. Actuación intuitiva: Creer que mentalmente podrá mantener clara toda la información recabada.
7. Fracaso del grupo: Suponer que con la participación de muchas personas inteligentes, surgen automáticamente las buenas elecciones.
8. El engaño de la retroalimentación: Negación a interpretar con veracidad la evidencia de resultados pasados, con tal de proteger su ego.
9. Falta de registros: No llevar registros sistemáticos que hagan seguimiento a los resultados de las decisiones, ya que se piensa que la experiencia ofrece automáticamente sus lecciones.
10. No auditar el proceso de decisiones: No se establece un enfoque organizado para entender la toma de decisiones, y por lo tanto siempre se está expuesto a los errores enumerados anteriormente.

En el más amplio espectro, se puede señalar que en las organizaciones es necesario tomar diferentes decisiones, que pueden clasificarse como sencillas o complejas, distanciadas por la cantidad de información, recursos involucrados y resultados esperados, pero ambas enfocadas en provocar algún cambio, buscando en todos los casos, un mejor resultado, por ello es necesario reconocer la naturaleza y base para la toma de decisiones es diferente, debido a que pueden ir desde decisiones intuitivas, hasta aquellas basadas en el conocimiento científico, pasando por un gran conjunto de impulsos que van desde caprichos, imitativas, obligadas, apresuradas, entre

otras. Obviamente se debe migrar a utilizar la base científica, buscando optimizar, maximizar o satisfacer los resultados, dada la situación presentada a la que toma la decisión y la influencia del contexto donde debe decidirse. Las características de la toma de decisiones son:

1. Fijación de objetivos: Los objetivos deben ir acordes con las metas de la organización.
2. Objetivos que se contradicen: Por ejemplo el control de la contaminación puede afectar los márgenes de utilidad.
3. Jerarquía de objetivos: Referente a que existen objetivos incluidos dentro de otros objetivos y aún más éstos últimos dentro de otros.
4. Horizonte de planeación. Las decisiones de alta gerencia involucran períodos de planeación más largos que los niveles gerenciales superiores.
5. Toma de decisiones en secuencia interrelacionada: La toma de decisiones en secuencia es un proceso que trata de resolver en forma secuencial y que se interrelacionan, debido a que componen un problema complejo.

Otro aspecto importante a considerar para la toma de decisiones corresponde a los sistemas de información o conjuntos de componentes interrelacionados que permiten reunir, procesar, almacenar y distribuir información para apoyar el control de una organización. Adicionalmente, los sistemas de información también ayudan a los administradores y trabajadores a analizar problemas, visualizar aspectos complejos y crear productos nuevos (Laudon y Laudon, 1995).

Por otro lado, los sistemas contienen información acerca de personas, lugares y cosas importantes dentro de su organización o en su entorno. Además, forman parte de las grandes empresas que lideran el mundo, donde las claves están en su personal, la estructura y los procedimientos, pero sobre todo lo distintivo es la tecnología de información. La creciente potencia y la disminución en el costo de la tecnología de la

computación es una de las razones por la que los sistemas de información desempeñan un rol tan importante en las organizaciones y afecta a tantas personas.

La creciente potencia de la tecnología de computación ha dado origen a poderosas redes de comunicación que las organizaciones pueden usar para acceder a grandes depósitos de información de todo el mundo y coordinar sus actividades en el espacio y tiempo. Estas redes están transformando la forma y el aspecto de las empresas de negocios e incluso de la sociedad.

Dentro de los sistemas de información se encuentran los Sistemas de Información Gerencial o Management Information System (MIS), que ofrecen aplicaciones a las actividades de planificación, control y toma de decisiones, proporcionando informes rutinarios resumidos y excepciones. Los MIS resumen y preparan informes desde operaciones básicas a complejas dentro de la compañía. Los MIS ofrecen herramientas a los administradores interesados en resultados diarios, semanales, mensuales y anuales y suelen contestar a preguntas estructuradas que se conocen con mucha antelación y ayudan a lograr que las cosas se lleven a cabo mediante comunicación interpersonal, implementación de programas personales y establecimiento de redes en toda la organización. Estos sistemas requieren de una visión diferente de los sistemas de información que son menos formales, ofrecen más capacidades de comunicación y son susceptibles de ajustarse a las situaciones particulares de los administradores

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO GERENCIA EXTRACCIÓN Y LIXIVACIÓN (GEL)

Figura 1: Fotografía aérea distrito minero GEL



Fuente: (Fernandez García, 2011)

El negocio de la GEL consiste en llegar a una veta de mineral removiendo toneladas de lastre depositados desde 1920 por la Chile Exploration Company, dicha operación lleva por nombre Expansión Norte Mina Sur. El lastre a remover se trata del famoso ripio rojo o ripio Chuquicamata, el que tiene la particularidad de tener un color rojizo. En lugar de llevar este elemento a los botaderos y considerarlo residuo del proceso minero, los profesionales decidieron elaborar un ingenioso proyecto llamado Pila Mezcla.

La Pila Mezcla, consiste en trasladar el ripio rojo a un sector protegido por una capa de polietileno para iniciar la recuperación del cobre residual contenido en este material a través del proceso de lixiviación, es decir, la recuperación del cobre en solución para luego iniciar el proceso de extracción por solventes y electro obtención.

El ripio rojo contiene cerca de 0.15% de cobre, el proyecto contempla el depósito de 15 millones de toneladas de ripios ya lixiviados. Se espera recuperar en un plazo de 3 años ocho mil toneladas de cobre fino producto de esta acción, el hecho concreto es que permite producir cobre adicional y a bajo precio. Este ripio salió de la mina de Chuquicamata desde 1915 con las operaciones de óxidos de la Chile Exploration Company hasta la década de los 70 cuando se acaban los óxidos. Tiene poca arcilla, por lo que lo hace muy percolable y puede ponerse incluso en pilas de 30 metros de altura.

Por otra parte, la Expansión Norte de la Mina Sur, consiste en la explotación de los minerales oxidados provenientes de la expansión hacia el norte de Mina Sur, y lo cual motivó la construcción de la Planta de Tratamiento de Minerales Pobres de lixiviación en pilas que comenzó a producir a partir de fines del año 2005, incorporando un proceso productivo de menor costo respecto de la lixiviación en bateas que se utilizaba anteriormente, por otra parte en el año 2006, se libera la restricción para el desarrollo del rajo Chuquicamata hacia el sur (expansión 38 sur).

La Expansión Norte de la Mina Sur explota los minerales oxidados de cobre de tipo exótico emplazado entre los actuales rajos de Mina Chuquicamata y Mina Sur, para su posterior tratamiento en pilas, esta se explota usando un esquema de Fases que avanzan de sur a norte, desde Mina Sur hasta conectar con el actual rajo de Chuquicamata, delineando inmediatamente los límites Este-Oeste del yacimiento. En otras palabras, se llega de inmediato al límite de rajo final en la dirección Este-Oeste.

Un proyecto modelo que gracias al ingenio de los profesionales de la Gerencia de Extracción y Lixiviación (GEL) y la Subgerencia de Proyectos Divisionales avanza a paso firme, es la producción de más toneladas de cobre fino recuperando rípios depositados hace más de 80 años por la Chile Exploration Company. Un hito en la corta vida de la Planta de Tratamiento de Minerales en Pila (PTMP), que empezó sus operaciones en noviembre del 2005.

Por otra parte, la GEL desarrolla dos iniciativas vitales para la continuidad de la Planta de Tratamiento de Minerales Pobres, uno de estas es el aumento de las dimensiones del botadero de rípio, el que permitirá recibir mayor cantidad de este material gracias a la habilitación del terreno y su correspondiente cobertura con polietileno y la construcción de 1622 metros adicionales de correas transportadoras, llegando a un total de 3 kilómetros, además se avanza también con el proyecto Fase 9, el que involucra el despeje de un importante sector ubicado en medio de la pared norte de Mina Sur y el borde sur de Chuquicamata. El objetivo es explotar la última fase contemplada en el proyecto para dar el máximo provecho a los minerales que pretende extraer. Un antecedente no menor para GEL es el hecho de haber superado las cifras de producción durante el 2008, llegando a un 4.8% adicional a la meta pactada, junto con ello existe un importante recorte del uso de electricidad en un 7%.

3.2. DETERMINACIÓN DEL ÁRBOL DE VALOR PARA LA HIDROMETALÚRCIA DEL COBRE

(Porter, 2002) subraya que la ventaja competitiva no puede ser comprendida viendo a una empresa como un todo porque cada una de las actividades que se realizan dentro de ella puede contribuir a la posición de costo relativo y crear base para la diferenciación.

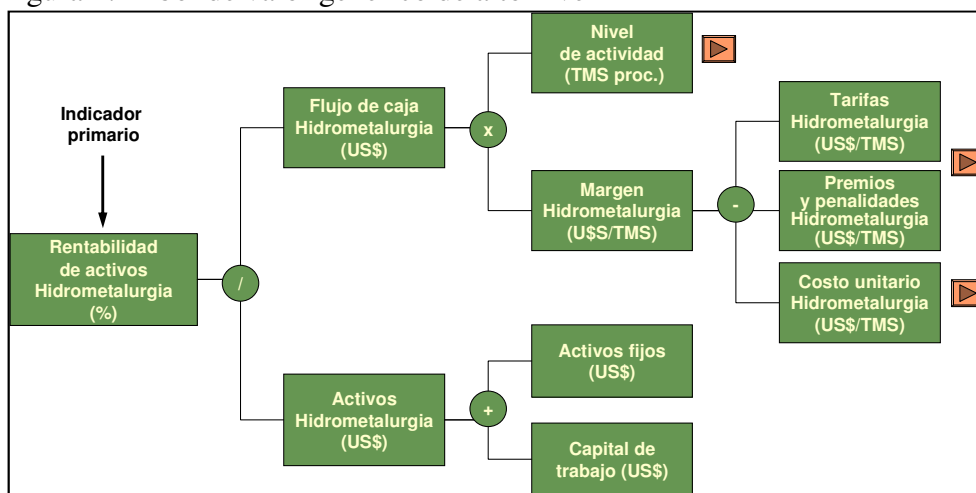
Una forma sistemática de examinar todas las actividades que una empresa desempeña y cómo interactúan es la Cadena de Valor. Con esta herramienta, se disgrega a la empresa en sus actividades estratégicas relevantes para comprender el comportamiento de los costos y las fuentes de diferenciación existentes y potenciales. Una empresa obtiene la ventaja competitiva, desempeñando esas actividades a un costo menor o de mejor calidad que sus competidores.

Y, ¿qué es el VALOR?. En términos competitivos, el VALOR es la cantidad que los compradores están dispuestos a pagar por lo que una empresa les proporciona, es un reflejo del alcance del producto en cuanto al precio y a las unidades que se pueda vender. Una empresa es lucrativa si el valor que impone excede los costos implicados en crear el producto.

El crear el valor para los compradores, que exceda el costo de hacerlo, es la meta de cualquier estrategia genérica. El VALOR, y NO el costo, deben ser usados en el análisis de la posición competitiva al momento de pensar en mejoras sustanciales. Pero además, la cadena de valor de una empresa está incrustada en un campo más grande de actividades, llamado Sistema de Valor. Los proveedores tienen cadenas de valor que crean y entregan los insumos comprados usados en la cadena de valor de la empresa. Y los proveedores no sólo entregan un producto sino que también puede influir el desempeño de una empresa de muchas maneras.

Además, muchos productos pasan por los canales de la cadena de valor (valor del canal) en su camino hacia el comprador. Los canales desempeñan actividades adicionales que afectan al comprador, así como influyen en las propias actividades de la empresa. El producto de una empresa eventualmente pasa a formar parte de la cadena de valor del comprador. El obtener y mantener la ventaja competitiva depende no sólo de comprender la cadena de valor de la empresa, sino cómo encaja la empresa en el sistema de valor general del mercado. Cada empresa es un conjunto de actividades que se desempeñan para diseñar, producir, llevar al mercado, entregar y apoyar a sus productos. Todas esas actividades pueden ser representadas usando una cadena de valor, como se puede ver en la figura 4 que se muestra a continuación.

Figura 4: Árbol de valor genérico de alto nivel



Fuente: (The Boston Consulting Group, 2004)

La cadena de valor despliega el valor total, y consiste en las actividades de valor y de margen que a continuación se detallan:

Margen: Es la diferencia entre el valor total y el costo colectivo de desempeñar las actividades de valor.

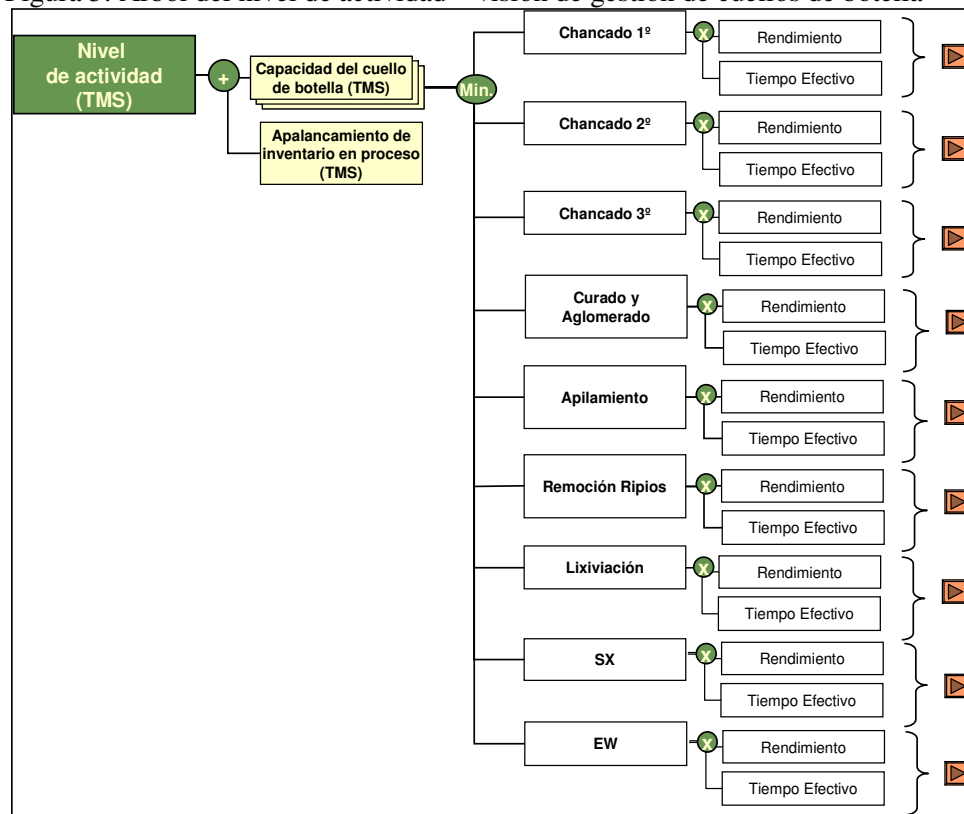
Actividades de Valor: Son las distintas actividades que realiza una empresa. Se dividen en dos amplios tipos:

Actividades Primarias: Son las implicadas en la creación física del producto, su venta y transferencia al comprador.

Actividades de Apoyo: Sustentan a las actividades primarias y se apoyan entre sí, proporcionando insumos comprados, tecnología, recursos humanos y varias funciones de toda la empresa. Abastecimiento -compras-, la tecnología y la gestión de recursos humanos pueden asociarse con actividades primarias específicas, así como el apoyo a la cadena completa. La infraestructura no está asociada a ninguna de las actividades primarias sino que apoya a la cadena completa.

Las actividades de valor son los tabiques discretos de la ventaja competitiva. Como cada actividad es desempeñada en combinación con su economía, determinará si una empresa tiene un costo alto o bajo en relación con sus competidores. Cómo se desempeña cada actividad de valor también determinará la contribución a las necesidades del comprador y por lo mismo, a la diferenciación. El comparar las cadenas de valor de los competidores expone diferencias que determinan la ventaja competitiva.

Figura 5: Árbol del nivel de actividad – visión de gestión de cuellos de botella



Fuente: (The Boston Consulting Group, 2004)

3.3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA (6σ)

Tal como se comentó en párrafos anteriores el lenguaje común entre las diversas especialidades y funciones de los distintos roles dentro del mundo minero es el retorno económico. Un eficiente trabajo en equipo debe unir a todos los integrantes de la mesa de toma de decisiones conociendo donde se deben dejar los esfuerzos por el bien del negocio en su totalidad y no cuidando sólo los intereses de un área en particular.

Realizar una análisis de las líneas críticas del proceso, permite determinar con base en la recuperación de un año completo de información, en este caso se utiliza la base de datos del periodo 2010.

Six Sigma es una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente. La meta de 6 Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente. (wikipedia.org, 2011)

Six Sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y el estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso y el objetivo de la metodología seis sigma es reducir ésta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente. Obtener 3.4 defectos en un millón de oportunidades es una meta bastante ambiciosa, pero logable. Se puede clasificar la eficiencia de un proceso en base a su nivel de sigma:

Tabla 1: Niveles de desempeño metodología Six Sigma

| NIVELES DE DESEMPEÑO EN SIGMA | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| NIVELES DE SIGMAS | DEFECTOS POR MILLON DE OPORTUNIDADES |
| 6 | 3.4 |
| 5 | 233 |
| 4 | 6210 |
| 3 | 66807 |
| 2 | 308537 |
| 1 | 690000 |

Fuente: (wikipedia.org, 2011)

3.3.1 PRINCIPIOS DE SEIS SIGMA (wikipedia.org, 2011)

1. Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo. Esta metodología implica un cambio en la forma de realizar las cosas y de tomar decisiones. La estrategia se apoya y compromete desde los niveles más altos de la dirección y la organización.
2. Six Sigma se apoya en una estructura directiva que incluye de gente de tiempo completo. La forma de manifestar el compromiso por Seis Sigma es creando una estructura directiva que integre líderes de negocio, de proyectos, expertos y facilitadores. Cada uno de los líderes tiene roles y responsabilidades específicas para formar proyectos de mejora.
3. Entrenamiento. Cada uno de los actores del programa de Six Sigma requiere de un entrenamiento específico. Varios de ellos deben tomar un entrenamiento amplio, conocido como curriculum de un black belt.
4. Acreditación.
5. Orientada al cliente y enfocada a los procesos. Esta metodología busca que todos los procesos cumplan con los requerimientos del cliente y que los niveles de calidad y desempeño cumplan con los estándares de Six Sigma. Al desarrollar esta metodología se requiere profundizar en el entendimiento del cliente y sus

necesidades. En base a ese estudio sobre el cliente se diseñan y mejoran los procesos.

6. Dirigida con datos. Los datos y el pensamiento estadístico orientan los esfuerzos de esta metodología. Los datos son necesarios para identificar las variables de calidad y los procesos y áreas que tienen que ser mejorados.
7. Se apoya en una metodología robusta. Se requiere de una metodología para resolver los problemas del cliente, a través del análisis y tratamiento de los datos obtenidos.
8. Los proyectos generan ahorros o aumento en ventas.
9. El trabajo se reconoce.
10. La metodología Six Sigma plantea proyectos largos. Six Sigma es una iniciativa con horizonte de varios años, con lo cual integra y refuerza otros tipos de iniciativa.
11. Six Sigma se comunica. Los programas de Six Sigma se basan en una política intensa de comunicación entre todos los miembros y departamentos de una organización, y fuera de la organización. Con esto se adopta esta filosofía en toda la organización.

3.3.1. PRINCIPALES INDICADORES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO SIX SIGMA (Wheat Mills & Carnell, 2008)

El mercado establece las tolerancias que debe cumplir el producto, un producto fabricado fuera de esas tolerancias se considerará un producto sin la calidad requerida, es decir, defectuoso. Es importante no confundir los dos conceptos anteriores. Las tolerancias son los requerimientos técnicos para que el producto sea admisible para su uso, siendo establecidos por el cliente, el fabricante o alguna norma; mientras que la capacidad es una característica estadística del proceso que elabora dicho producto. Para relacionar ambos conceptos se define el índice de capacidad C_p como el cociente entre el rango de tolerancias del proceso y la capacidad (intervalo natural de variación) del mismo:

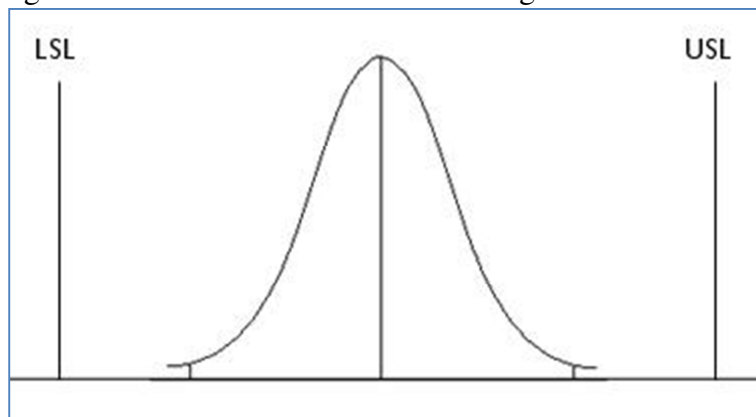
$$C_p = \frac{\text{Intervalo de tolerancias}}{\text{Capacidad}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Siendo:

USL: Límite superior de la especificación.

LSL: Límite inferior de la especificación.

Figura 6: Distribución de datos en Six Sigma



Fuente: (Wiley & Sons, 2011)

Resultados posibles de C_p :

$C_p > 1$, se dice que el proceso es capaz, pues prácticamente todos los artículos que produzca estarán dentro de las tolerancias requeridas.

$C_p = 1$, habrá que vigilar muy de cerca el proceso, pues cualquier pequeño desajuste provocará que los artículos no sean aceptables.

$C_p < 1$, se dice que el proceso no es capaz.

También se pueden calcular los índices de capacidad para especificaciones unilaterales:

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (\text{sólo especificación superior})$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (\text{sólo especificación inferior})$$

Destacar que el índice de capacidad Cp es una forma cuantitativa simple para expresar la capacidad de un proceso, pero no tiene en cuenta el centrado del proceso, es decir, no toma en cuenta dónde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones. Cp mide simplemente la extensión de las especificaciones en comparación con la dispersión Six Sigma. Se define entonces, el índice Cpk para tener en cuenta el centrado del proceso:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

La magnitud de Cpk respecto Cp es una medida directa de cuan apartado del centro está operando el proceso:

Cp = Cpk, proceso centrado en el punto medio de las especificaciones.

Cp > Cpk, proceso descentrado.

Sin embargo, Cpk sólo sigue siendo una medida inadecuada del centrado del proceso, ya que para cualquier valor fijo de μ en el intervalo de LSL a USL Cpk depende inversamente de σ y se hace grande cuando σ tiende a cero. Esta característica puede hacer inadecuado a Cpk, por eso se define un nuevo índice de capacidad apto para indicar el centrado del proceso Cpm:

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \xi^2}} \quad \text{siendo } \xi = \frac{\mu - T}{\sigma}$$

En resumen los principales índices se resumen en la siguiente tabla con su correspondiente descripción.

Tabla 2: Principales índices del análisis Six Sigma

| INDICE | DESCRIPCIÓN |
|--|--|
| $\hat{C}_p = \frac{TS - TI}{6 \times \hat{\sigma}}$ | Calcula lo que el proceso sería capaz de producir si el proceso estuviera centrado. Presupone que el resultado del proceso sigue una distribución normal. |
| $\hat{C}_{p, inferior} = \frac{\hat{\mu} - TI}{3 \times \hat{\sigma}}$ | Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite inferior. Presupone que el resultado del proceso está aproximadamente distribuido de forma normal. |
| $\hat{C}_{p, superior} = \frac{TS - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}$ | Calcula la capacidad del proceso para especificaciones únicamente con un límite superior. Presupone que el resultado del proceso está aproximadamente distribuido de forma normal. |

Fuente: (Wiley & Sons, 2011)

Tabla 2: Principales índices del análisis Six Sigma (continuación)

| | |
|---|--|
| $\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{TS - \hat{\mu}}{3 \times \hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - TI}{3 \times \hat{\sigma}} \right]$ | <p>Calcula lo que el proceso es capaz de producir si el objetivo del proceso esta centrado entre los límites de la especificación. En caso de que la media del proceso no esté centrada, \hat{C}_p sobreestima la capacidad del proceso. $\hat{C}_{pk} < 0$ si la media del proceso se sitúa fuera de los límites de especificación. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.</p> |
| $\hat{C}_{pm} = \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\hat{\mu} - T}{\hat{\sigma}}\right)^2}}$ | <p>Calcula la capacidad del proceso respecto a un objetivo, T. \hat{C}_{pm} es siempre mayor que cero. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.</p> |
| $\hat{C}_{pkm} = \frac{\hat{C}_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\hat{\mu} - T}{\hat{\sigma}}\right)^2}}$ | <p>Calcula la capacidad del proceso respecto a un objetivo, T válido para un proceso con una media descentrada. Presupone que el resultado del proceso esta aproximadamente distribuido de forma normal.</p> |

Fuente: (Wiley & Sons, 2011)

Los índices de capacidad de proceso enfatizan la necesidad de mejorar la capacidad del proceso cuando mayores son. Valores próximos o por debajo de cero indican que el proceso no está centrado ($\hat{\mu}$ lejos de T) o bien son inestables.

En el ámbito de la mejora de procesos el índice de prestación del proceso Ppk es un valor estimado de un proceso durante su fase inicial, antes de que sea sometido a un control estadístico, por lo que no se toma en cuenta el análisis de sensibilidad, aunque aparece en las tablas de los gráficos realizados.

Un valor del índice de capacidad del proceso aceptable no es algo de carácter general. Las metas de una empresa así como el sector o centro de producción afectado incluso el proceso en observación, pueden contar con diferentes objetivos diferentes para el índice.

Tabla 3: Valores típicos de indicador Ppk en metodología Six Sigma

| CASO | Recomendación de capacidad mínima de proceso para especificaciones con 2 límites | Recomendación de capacidad mínima de proceso para especificaciones con 1 límite |
|---|--|---|
| Proceso existente | 1.33 | 1.25 |
| Proceso nuevo | 1.50 | 1.45 |
| Parámetros críticos o de seguridad para procesos existentes | 1.50 | 1.45 |
| Parámetros críticos o de seguridad para procesos nuevos | 1.67 | 1.60 |
| Proceso de calidad de Six Sigma | 2.00 | 2.00 |

Fuente: (Wiley & Sons, 2011)

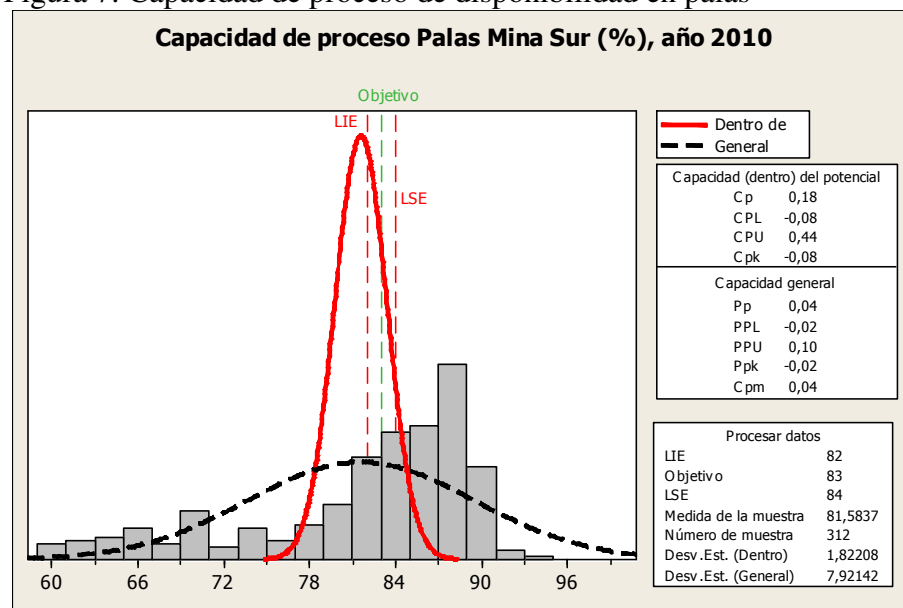
Es importante destacar que en casos en los que el índice Cpk de un proceso es superior a 2.5, disminuir este índice puede resultar costoso sin un beneficio directo.

3.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA CADENA DE VALOR DE LA HIDROMETALÚRGIA EN GEL MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA (6 σ)

La primera tarea previa a la realización del análisis de sensibilidad de variables corresponde a la identificación de la línea crítica. Una vez identificada, se procede a conceptualizarla a través de diagramas de bloques, para de esta manera aplicar la frase “la inspiración existe, pero debe encontrarte trabajando” (Picasso, 1960)

3.4.1. RUTA CRÍTICA DE CÁTODOS (RCC) DE COBRE, GEL

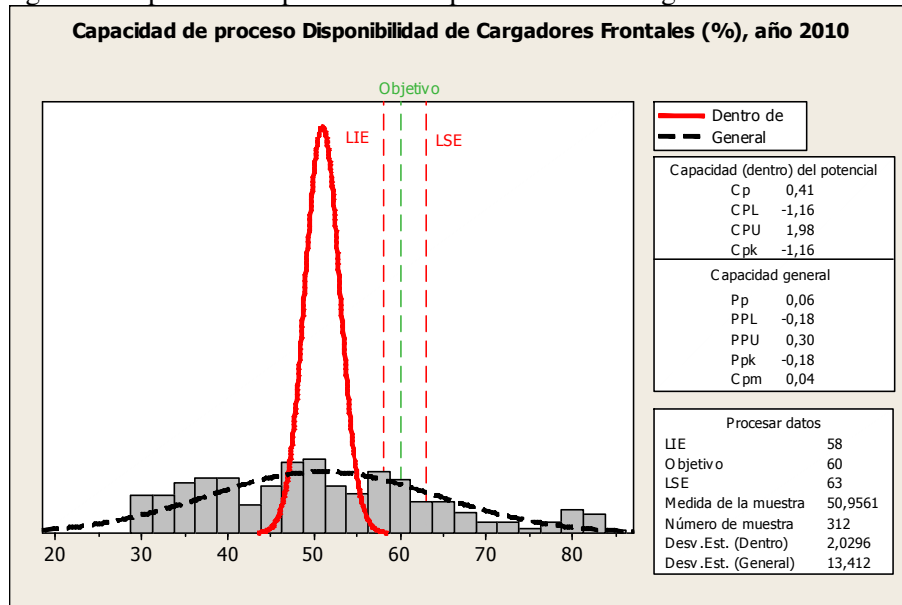
Figura 7: Capacidad de proceso de disponibilidad en palas



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Estadísticamente no satisface el modelo normal, pero sí desde el punto de vista efectista. Se solicitó una disponibilidad media de 83%, pero realmente se obtuvo 83,6%. La cola izquierda de la curva está poblada. Esto marca una ineficiente mantenibilidad, por lo que a pesar de cumplir la media está absolutamente descentrado y no cumple con lo necesario.

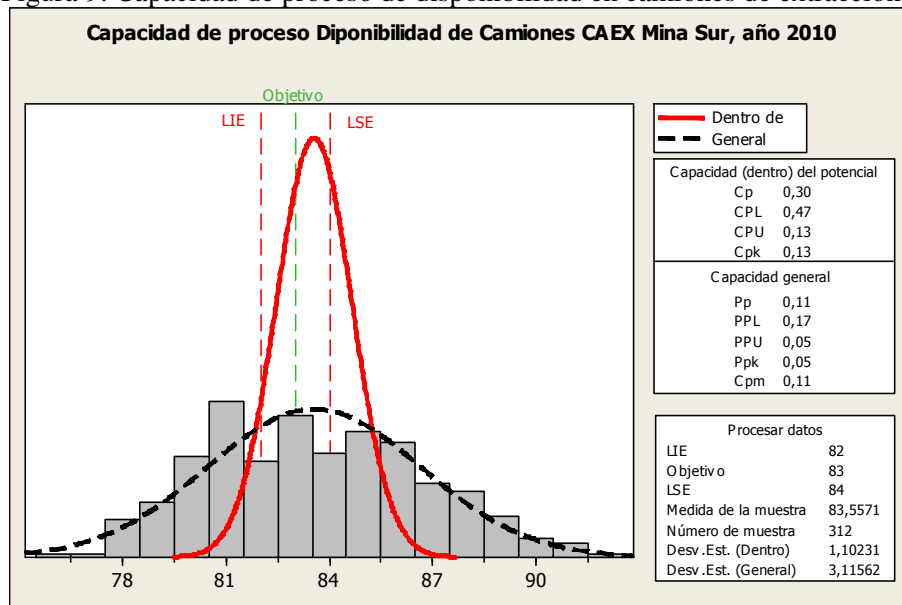
Figura 8: Capacidad de proceso de disponibilidad en cargadores frontales



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

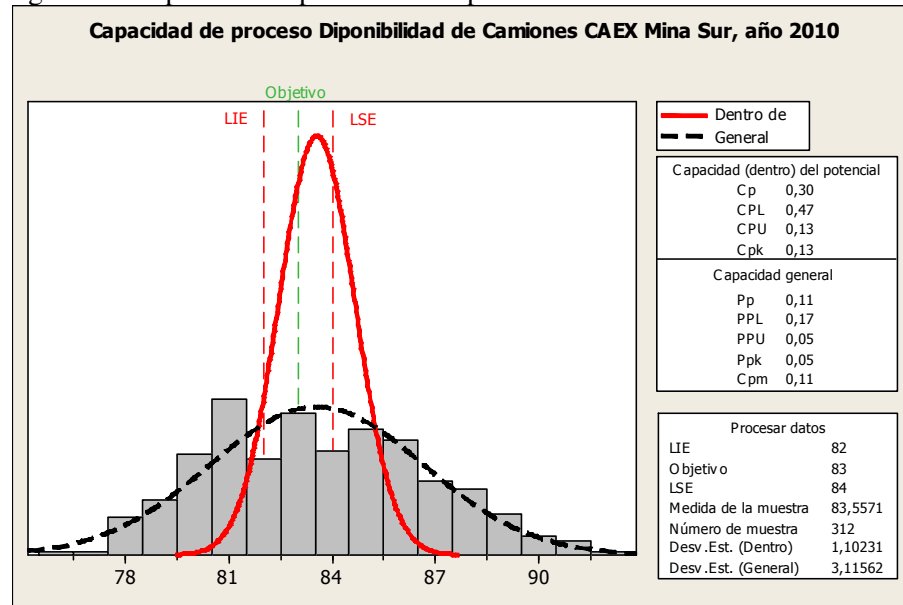
Esta capacidad necesita una reingeniería o una metodología distinta de ejecución. La disponibilidad programada era de 60% y se obtuvo una de 51%. Estadísticamente con índices muy por debajo de lo esperado. Dentro de la toma de decisiones, esta variable debería estar dentro de la carta de control gerencial.

Figura 9: Capacidad de proceso de disponibilidad en camiones de extracción



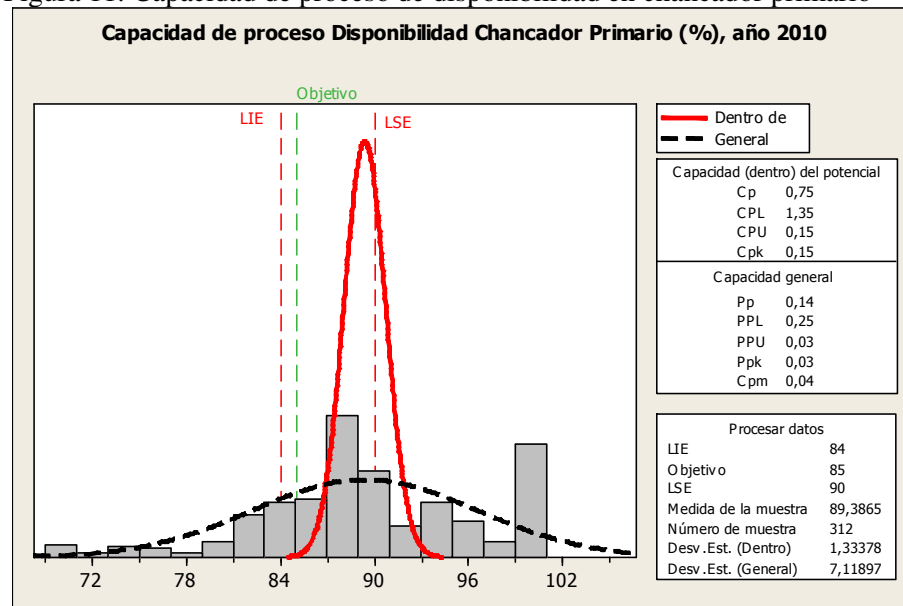
Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 10: Capacidad de proceso de disponibilidad en camiones de extracción



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 11: Capacidad de proceso de disponibilidad en chancador primario



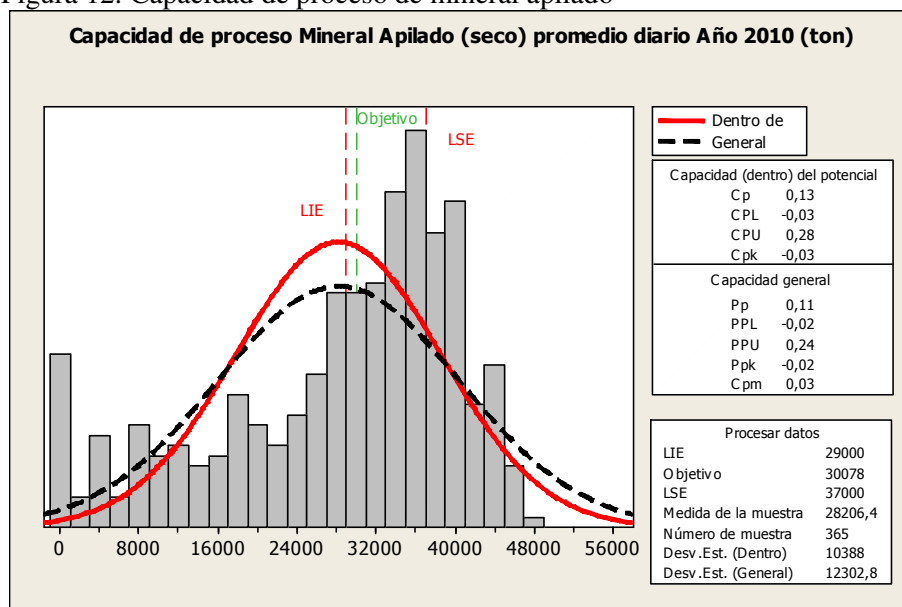
Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Esta capacidad, si se analiza sólo desde el punto de vista estadístico, tendremos indicadores como Cp y Cpk muy bajos, pero se cumple la media programada

muy por sobre lo esperado con un delta de 4,3% por sobre. La gráfica está cargada hacia la izquierda, por lo que no figura este equipo dentro de los cuellos de botella de la cadena del valor de la GEL.

La media de 83% fue la programada y la obtenida, pero estadísticamente no está bajo control de hecho sus índices están por debajo de 0.5, lo que muestra que el proceso no cuenta con alta confiabilidad.

Figura 12: Capacidad de proceso de mineral apilado

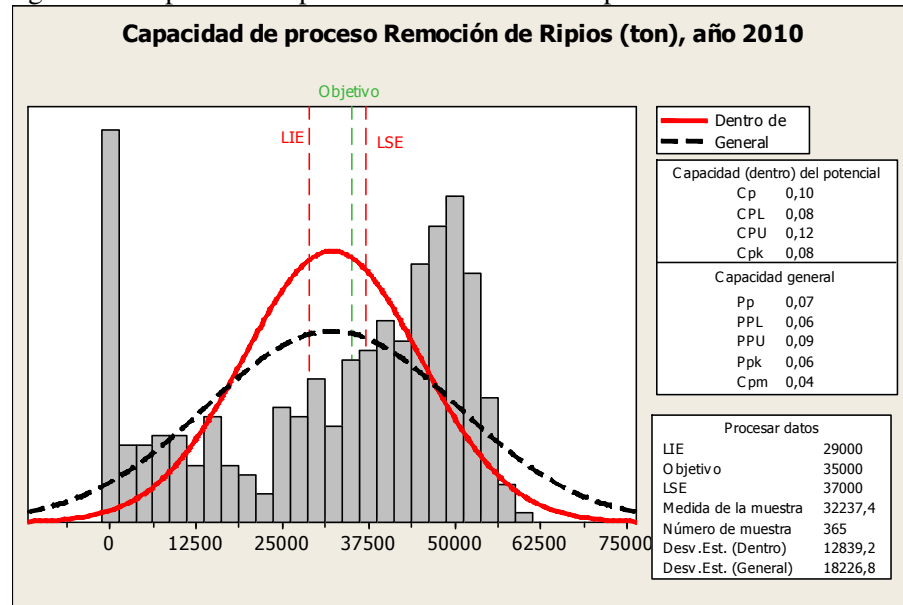


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

La media anual fue de 28206,4 ton/día como promedio con un objetivo de 30078 ton/día, de modo que el no cumplimiento se relaciona directamente con indicadores Cp y Cpk insuficientes. El proceso necesita reingeniería para alcanzar mayores metas productivas. Lo que se desea medir es la transferencia de cobre interetapas, así en mina lo que se busca es la combinación ley*tonelaje, en apilamiento también, mientras que desde lixiviación hasta electroobtención la combinación es concentración de cobre*flujo de solución, hasta su depositación y embarque final. No es el objetivo de este estudio buscar el porqué del incumplimiento, por lo que se toma el

apilamiento en su conjunto, independiente sí fue por Chancado o por no tener área para carguío, por ejemplo.

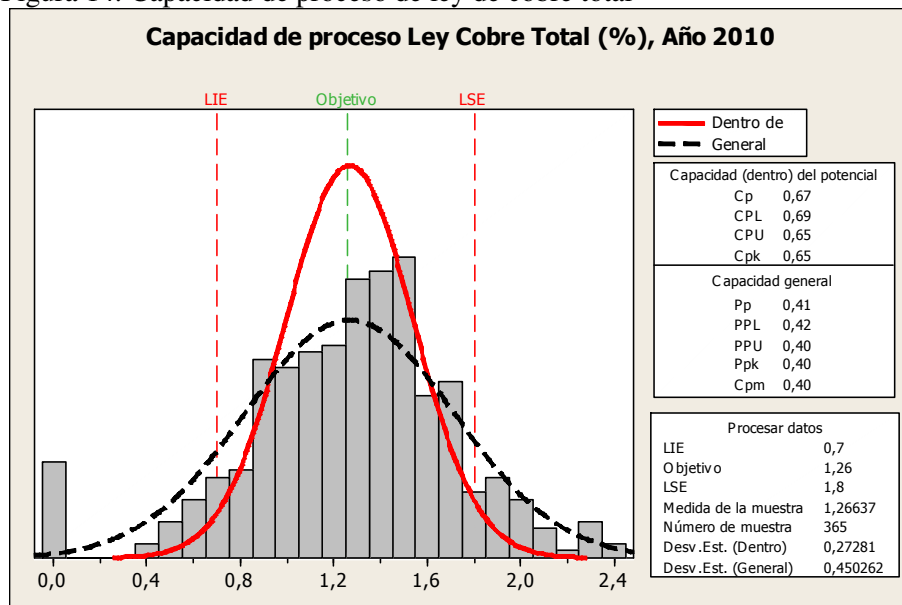
Figura 13: Capacidad de proceso de remoción de rípios



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Claramente no se alcanzó el objetivo buscado identificado como el desplazamiento a la izquierda del punto más alto de la curva. Se buscaba una media de 35000 toneladas alcanzándose 32237 toneladas con índices estadísticos cercanos a cero. Al igual que la explicación anterior, la causa básica es desconocida pudiendo ser falla propiamente tal del equipo o no tener área para remover por falla de chancado o por una decisión administrativa.

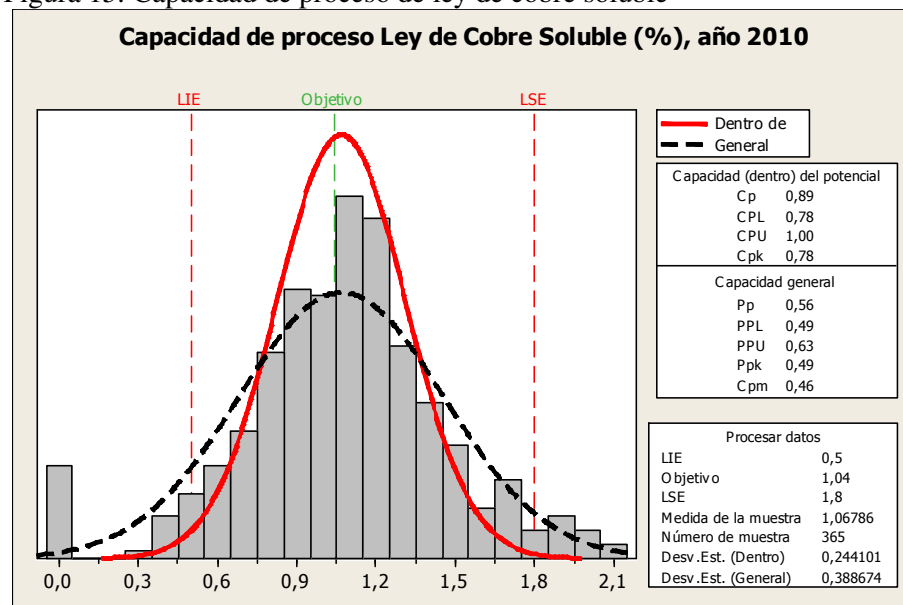
Figura 14: Capacidad de proceso de ley de cobre total



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Es un ejemplo de proceso donde el objetivo buscado es la media esperada. Intuitivamente decimos que se cumplió en un 100% si solo miramos el promedio, pero para eso están los indicadores mencionados anteriormente. Cp y Cpk están por sobre 0.6. Este valor es positivo, pero muy por lejos de ser superior a 1.3, de modo que aquí está la toma de decisiones presente, por que en ocasiones de forma intencional o como resultado de gestiones se exige más ley de cobre para mejorar la combinación ley*tonelaje. Con ello se puede mitigar el no cumplimiento de chancado, aunque hasta cierto punto, debido a que con una alta ley de cobre también se perjudica el resultado del ciclo de lixiviación porque se debe excavar antes que entregue todo el potencial el módulo irrigado, además de provocar un desfase en el desarrollo de la mina propiamente tal.

Figura 15: Capacidad de proceso de ley de cobre soluble

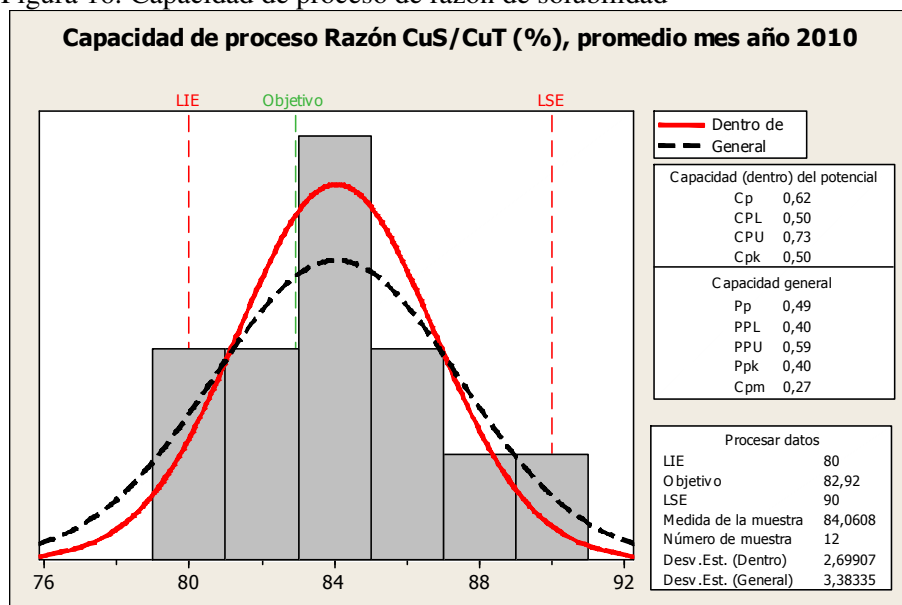


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Al igual que CuT, el Cobre Soluble en ácido sulfúrico tenía un objetivo anual de 1.04% y alcanzó 1.06%, con una distribución normal, con un mayor grado de certeza respecto a los indicadores estadísticos Cp y Cpk.

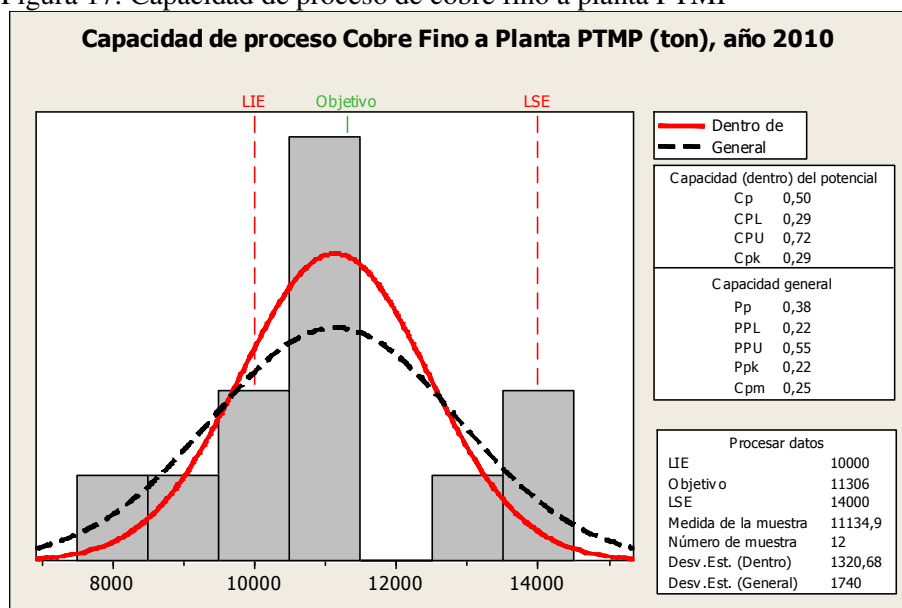
Este indicador clave para los metalurgistas de plantas, tenía fijada una media de 82.9% llegando a un valor de 84.06%. En este caso el punto máximo de la curva está a la derecha del objetivo, por lo que es mejor de lo esperado, aunque estadísticamente no lo discrimine. Aquí es importante fijar bien las tolerancias para determinar si es positivo o no el resultado obtenido. Los indicadores estadísticos por sobre 0.6, esto significa que el proceso necesita de vigilancia para evitar grandes desviaciones.

Figura 16: Capacidad de proceso de razón de solubilidad



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 17: Capacidad de proceso de cobre fino a planta PTMP

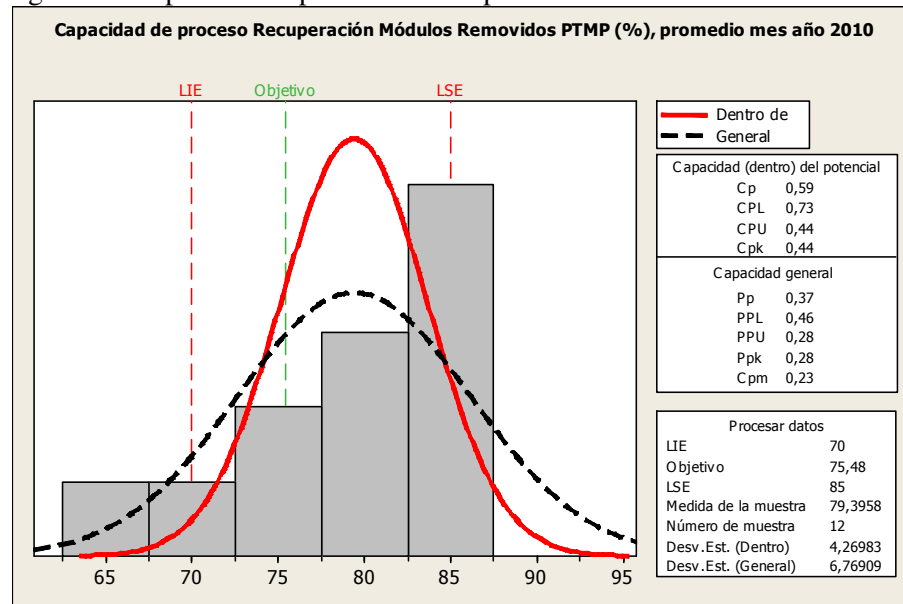


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Tal como se ha mencionado, la combinación ley*tonelaje entrega el cobre fino disponible en planta. En este caso se busca un objetivo de 11306 ton/mes y se obtuvo un

resultado de 11135 ton/mes, levemente inferior a lo programado. Sí analizamos las otras curvas, las leyes prácticamente no estuvieron sobre lo programado y los tonelajes no se cumplieron, por ello el análisis debe incluir recuperaciones y otros aportes de cobre de otras alimentaciones de cobre al sistema.

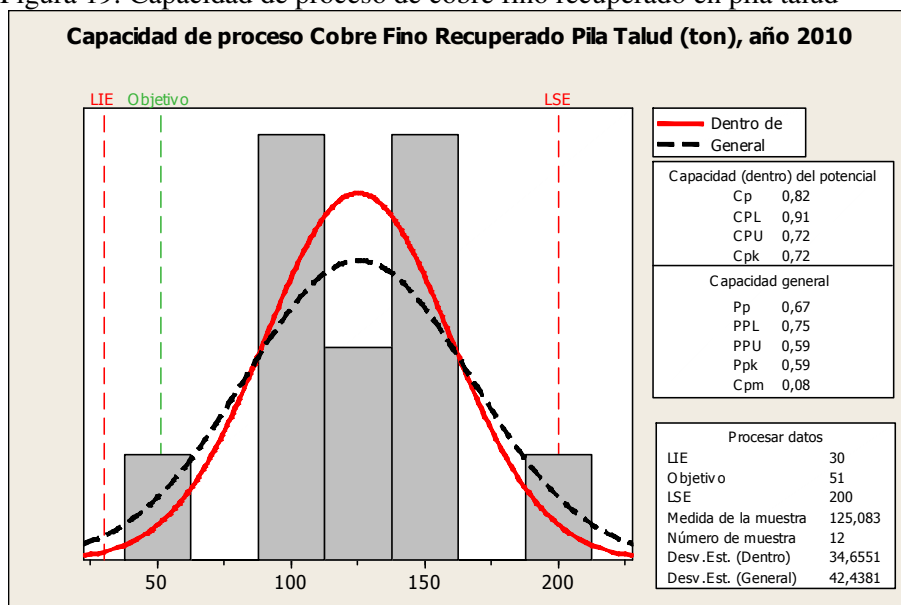
Figura 18: Capacidad de proceso de recuperación de módulos removidos



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Estadísticamente es un proceso descentrado con un Cpk de 0.44, aunque favorable para el negocio, debido a que el objetivo buscado era 75.48% obteniéndose una media de 79.4%. Gracias a este punto más otros aportes se obtuvieron las concentraciones y cantidades de cobre necesarios para el cumplimiento productivo.

Figura 19: Capacidad de proceso de cobre fino recuperado en pila talud

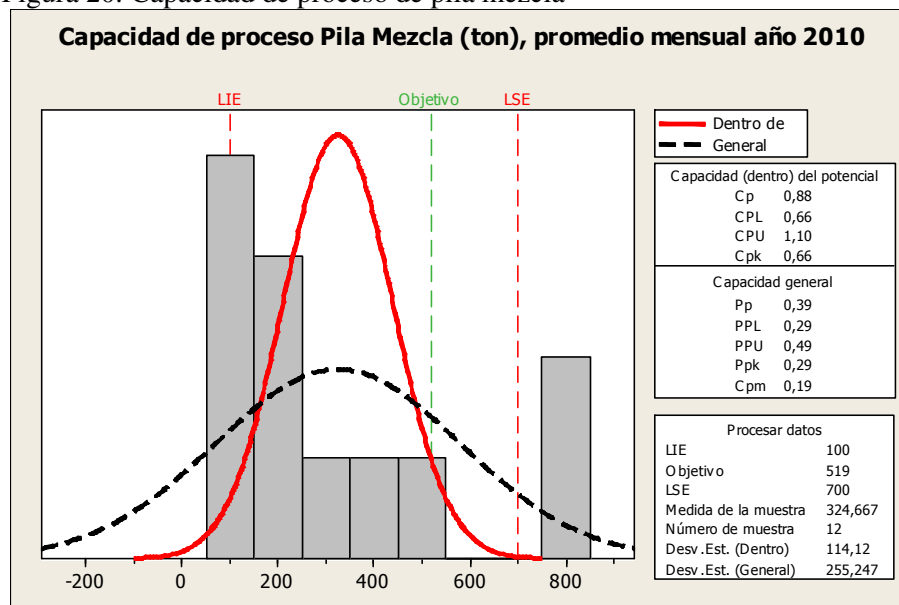


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Este es uno de los cuatro aportes distintos del principal. En este caso de los límites de tolerancia son amplios y la media fue de 125 toneladas, cuando solo estaban programadas 53 toneladas. Estadísticamente un proceso centrado y de distribución normal con indicadores cercanos al valor 1.

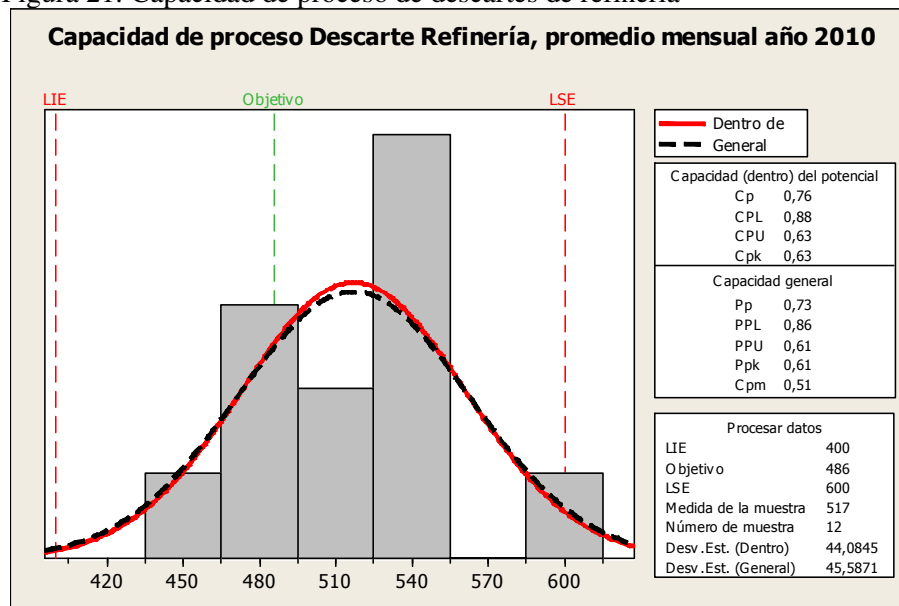
Otro aporte exógeno corresponde al generado a partir de la segunda pila ROM del proyecto, la pila mezcla. Está requería de una media de 519 ton y se obtuvo una media de 324,6 Ton. Con una alta tolerancia, debido a que existe una variabilidad dentro de la carga, puesta en marcha y regadío de las áreas destinadas.

Figura 20: Capacidad de proceso de pila mezcla



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 21: Capacidad de proceso de descartes de refinería

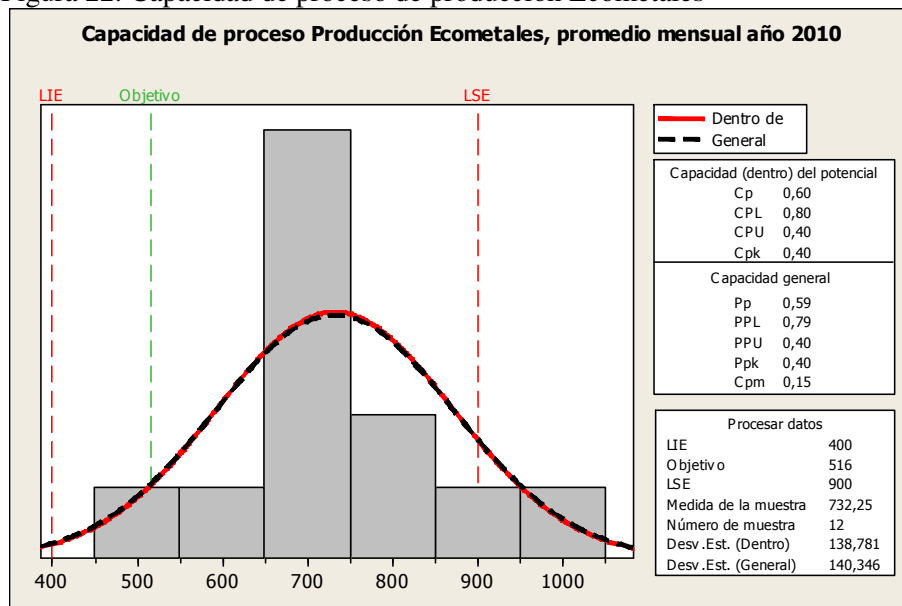


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

En este aporte, responde a la ineficiencias de los procesos aguas arriba de lixiviación, es decir, no son aportes frescos, pero se consideran dentro del proceso

productivo. Estadísticamente necesitan vigilancia y dentro de las necesidades se programó 486 toneladas, que finalmente se transformaron en 517 toneladas.

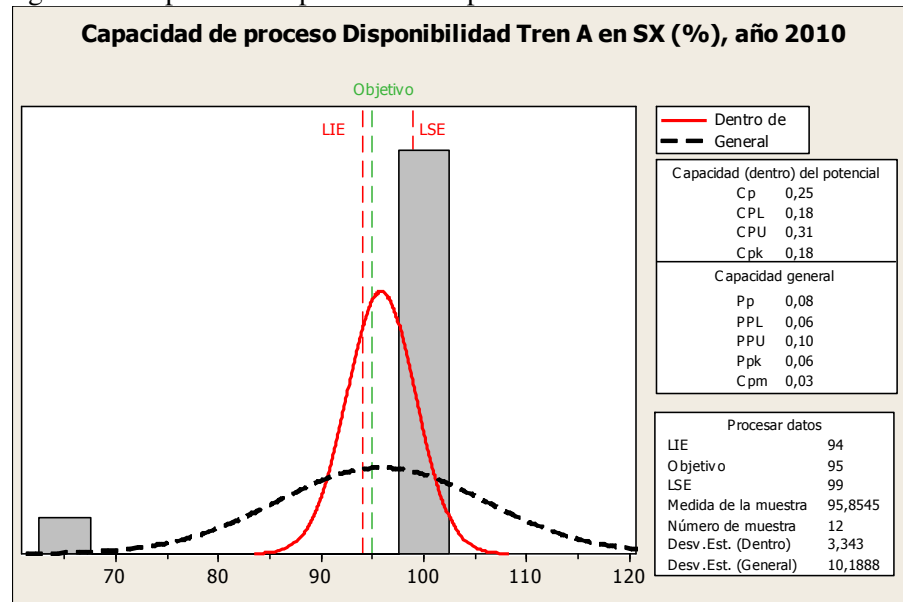
Figura 22: Capacidad de proceso de producción Ecometales



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Si bien es cierto, al igual que la recuperación de cobre mencionada anteriormente, estadísticamente es un proceso que requiere vigilancia por los índices estadísticos nombrados, lo que realmente necesita es cambiar las tolerancias y objetivos finales. A esto se le llama recurso subestimado. En este caso la media mensual es de 732 toneladas, cuando se habían programado 536 toneladas.

Figura 23: Capacidad de proceso de disponibilidad tren A en SX

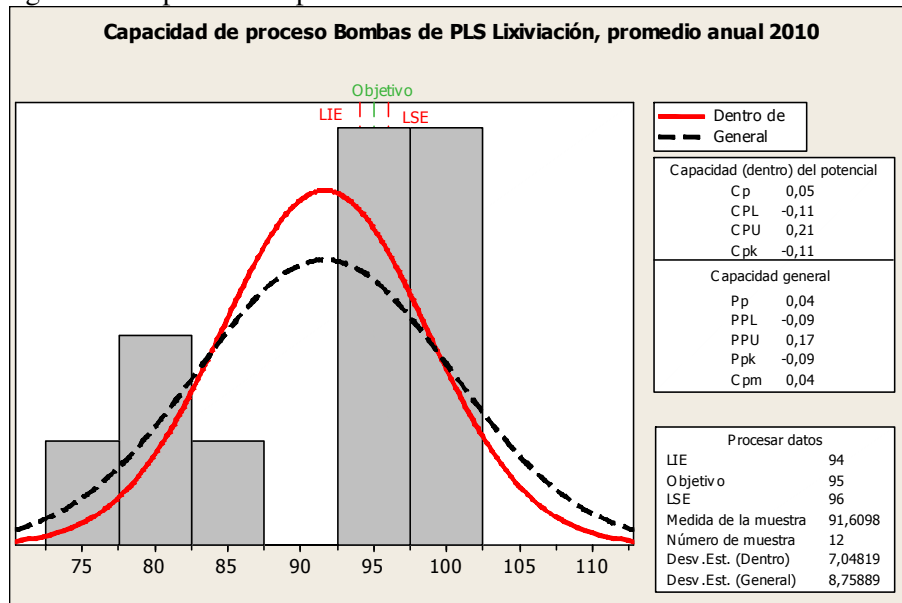


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

El objetivo de disponibilidad de Tren A era de 95% de promedio mensual, obteniéndose realmente un 96%. Se cumple con la media, pero al quedar fuera una de las etapas de reextracción en el mes de diciembre, rompe el control estadísticos de los índices claves que se han fijado.

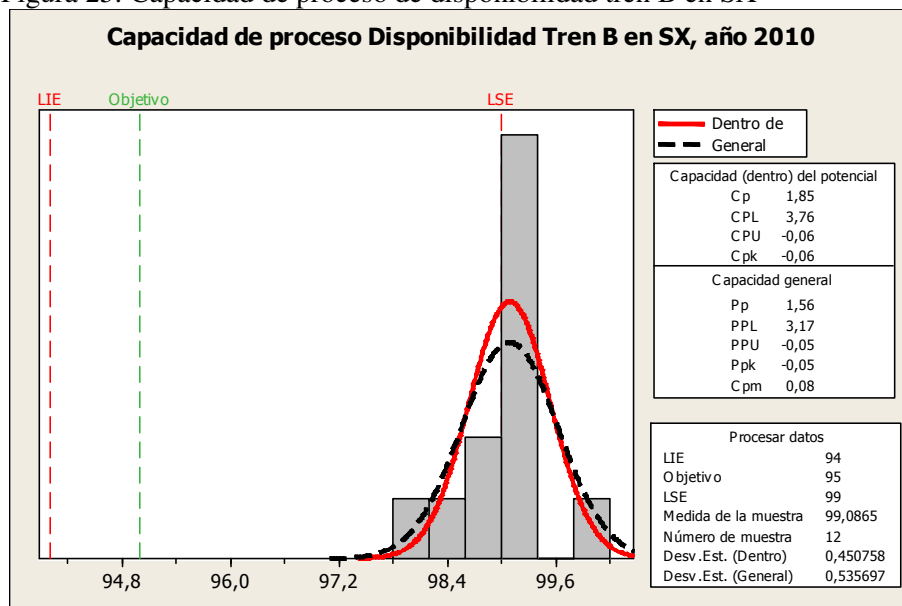
Respecto al proceso de bombas de PLS en lixiviación, se presenta un proceso fuera de control estadístico, debido a que los índices muestran valores muy cercanos al valor cero. La media mensual programada era de 95% y se obtuvo realmente un valor de 91.6%. Es necesaria la redundancia de equipos de impulsión.

Figura 24: Capacidad de proceso de bombas PLS en lixiviación



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 25: Capacidad de proceso de disponibilidad tren B en SX

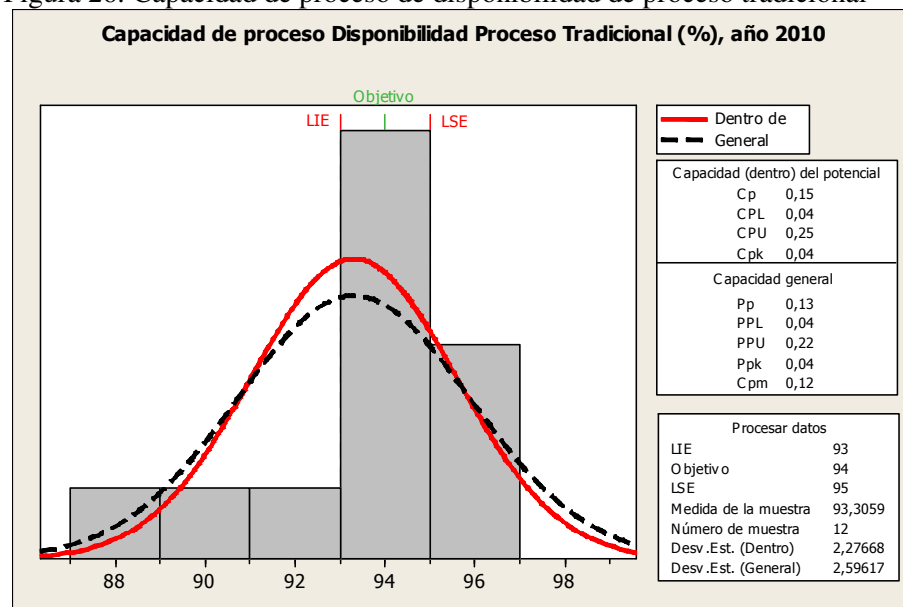


Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

El proceso evidentemente tiene un Cpk muy negativo porque la media real está situada sobre la cola derecha de la campana en la distribución normal.

Estadísticamente no es favorable, pero como concepto de negocio es muy positivo, debido a que se cuenta con mayor disponibilidad de lo presupuestado. En este caso se programó 95% obteniéndose realmente un 99%.

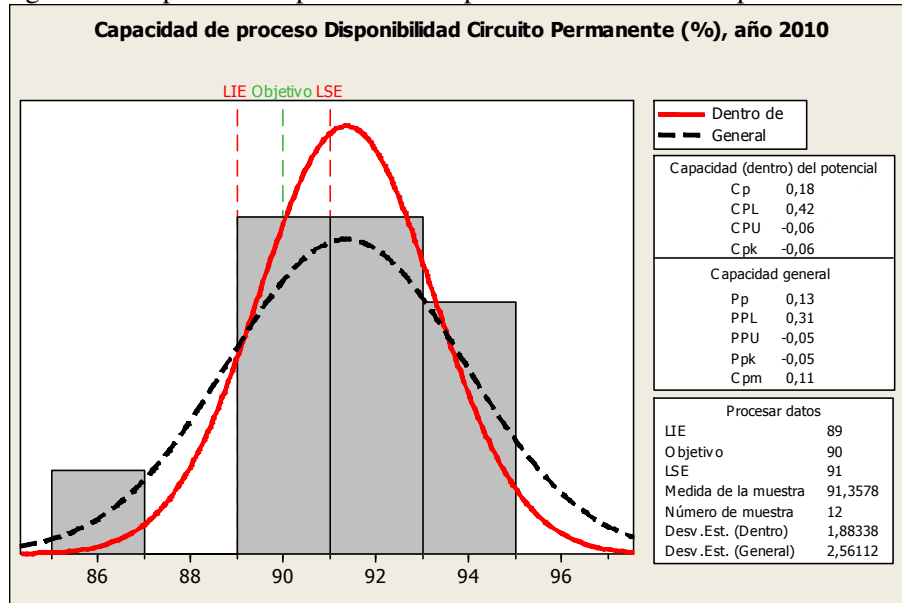
Figura 26: Capacidad de proceso de disponibilidad de proceso tradicional



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

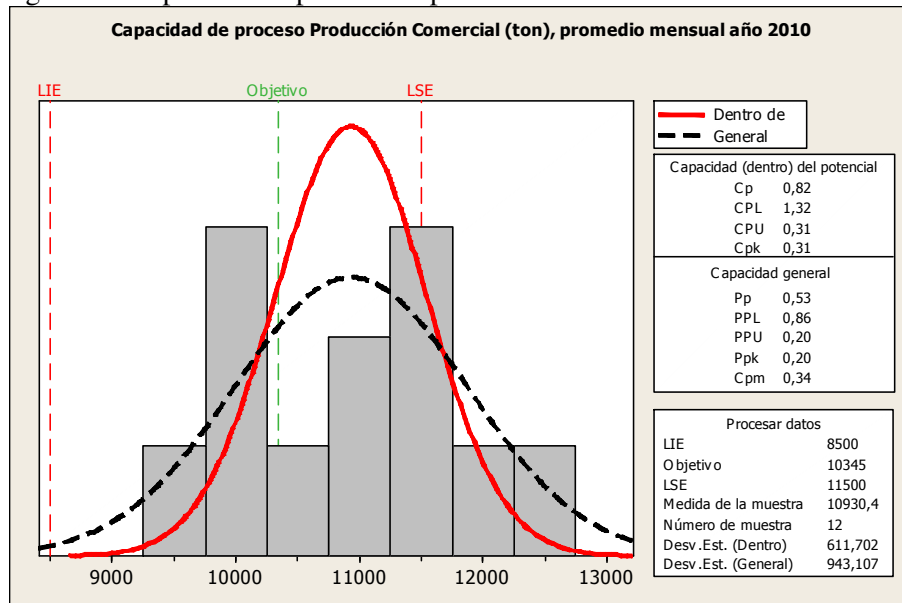
En Nave de EW existen dos líneas productivas asociadas a diversos equipos. El Proceso Tradicional que aporta entre el 60 a 65% de la producción total de cobre catódico, muestra que no contó con la media mensual programada de 94%, sólo alcanzando 93%. Lo negativo es la variabilidad mensual demostrada por un bajo Cpk.

Figura 27: Capacidad de proceso de disponibilidad de circuito permanente



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

Figura 28: Capacidad de proceso de producción comercial



Fuente: Superintendencia Ingeniería de Procesos GEL

El otro 30 a 35% de la producción de cobre catódico en GEL, lo aporta el Circuito Permanente. Se programó una disponibilidad media mensual de 90%, obteniéndose realmente 91%, pero a diferencia del otro proceso, existe mayor concentración de datos hacia el sector derecho del punto máximo de la curva de distribución normal.

A pesar del no cumplimiento del vector ley*tonelaje, de todas formas se cumple con el promedio de producción programada. El valor objetivo es de 10345 ton/mes y se cumple con 10930 ton/mes. Gracias a los otros aportes y mayor recuperación metalúrgica se cumplen con las metas productivas.

3.5. ESTRUCTURA DE COSTOS EN GEL

Como ya se ha comentado, el éxito de una empresa depende, principalmente, de las decisiones que tomen en su interior sus directivos, ejecutivos, profesionales y trabajadores. Decisiones que deben ser coherentes y enmarcadas dentro del contexto estratégico a largo plazo que se haya definido.

El comportamiento organizacional y la toma de decisiones están influenciados, en gran medida, por los sistemas de información establecidos en la empresa, que van creando una determinada cultura empresarial.

En 1997, se implementa un nuevo sistema de información contable de carácter corporativo, el SAP. Sistema diseñado bajo un nuevo concepto de sistema integrado de gestión e incorporado en el marco de una modernización global de Codelco. A diferencia con los antiguos sistemas, el sistema SAP integra horizontalmente la contabilidad de las Divisiones y la Casa Central con una misma tecnología. Integra a todas las actividades contables a través de sus módulos: Financiero Contable, Ventas y Distribución, Proyectos e Inversiones, Recursos Humanos, Abastecimiento y Mantenimiento. La información se ingresa una sola vez al sistema, alimentando automáticamente a todos sus módulos y con respuestas en línea, no batch. El ingreso de datos se descentraliza a través de toda la organización, implicando cambios en la labor de las personas, así como en los sistemas de trabajo. Se involucra y compromete a toda la organización con la información ingresada.

El sistema SAP se incorpora a Codelco evitando que cada División tomara caminos diferentes, desarrollando cada una sistemas propios que respondieran solamente a sus realidades particulares. Este sistema de información contable ha brindado un mejor y más oportuno apoyo a la gestión corporativa y divisional.

El módulo Financiero Contable (FICO) que se utiliza en Codelco como sistema información, requiere el costeo por absorción donde aplica al producto todos los costos incurridos para la elaboración de una libra de cobre, sean costos directos o indirectos, en este se considera mano de obra, materiales, servicios terceros, combustible, energía eléctrica, en cuadro adjunto se detallan el cálculo de costo de un período en la Gerencia Extracción y Lixiviación.

Figura 29: Cálculo de Costos en GEL

| KUS \$ | Enero | | | | Acumulado a Enero | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------|----------|--------------|-------------------|----------------|----------|--------------|
| | Real | Ppto | Desv | | Real | Ppto | Desv | |
| Remuneraciones | 5.982 | 5.373 | ● | 608 | 5.982 | 5.373 | ● | 608 |
| Materiales | 5.734 | 6.174 | ● | -440 | 5.734 | 6.174 | ● | -440 |
| Combustibles | 1.496 | 1.608 | ● | -112 | 1.496 | 1.608 | ● | -112 |
| Energía Eléctrica | 6.641 | 4.786 | ● | 1.855 | 6.641 | 4.786 | ● | 1.855 |
| Servicios de Terceros | 4.855 | 5.476 | ● | -621 | 4.855 | 5.476 | ● | -621 |
| Otros Servicios | 332 | 331 | ● | 1 | 332 | 331 | ● | 1 |
| Impuestos Varios | 1 | | ● | 1 | 1 | | ● | 1 |
| Depreciación y Amortización | 5.401 | 5.576 | ● | -174 | 5.401 | 5.576 | ● | -174 |
| Total Gasto Primario | 30.442 | 29.323 | ● | 1.118 | 30.442 | 29.323 | ● | 1.118 |
| Mantenimiento y Reparación | 10.384 | 10.630 | ● | -246 | 10.384 | 10.630 | ● | -246 |
| Suministros | 573 | 424 | ● | 149 | 573 | 424 | ● | 149 |
| Equipos de Servicio | 0 | 70 | ● | -70 | | 70 | ● | -70 |
| Servicios de Apoyo a la Producción | 425 | 107 | ● | 318 | 425 | 107 | ● | 318 |
| Servicios Varios Internos | 93 | 137 | ● | -44 | 93 | 137 | ● | -44 |
| Otros gastos secundarios | 4.152 | 4.741 | ● | -590 | 4.152 | 4.741 | ● | -590 |
| Total Gasto Secundario | 15.627 | 16.109 | ● | -483 | 15.627 | 16.109 | ● | -483 |
| Total Gasto | 46.068 | 45.433 | ● | 636 | 46.068 | 45.433 | ● | 636 |
| Total Abonos | -9.655 | -10.623 | ● | 967 | -9.655 | -10.623 | ● | 967 |
| Infra/Sobre Cobertura | 36.413 | 34.810 | ● | 1.603 | 36.413 | 34.810 | ● | 1.603 |

Fuente: Short Term GEL

Figura 30: Costos del periodo en GEL

| | | | | | | | | |
|--|--------|--------|---|-----|--------|--------|---|-----|
| Costo unitario Directo (primario) US\$/lb | 106,48 | 110,27 | ● | -4 | 106,48 | 110,27 | ● | -4 |
| Costo Unitario Total (primarios + secundario) US\$/lb | 127,36 | 130,90 | ● | -4 | 127,36 | 130,90 | ● | -4 |
| Actividad | | | | | | | | |
| Movimiento de mineral (Ktmh) | 5.074 | 4.813 | ● | 261 | 5.074 | 4.813 | ● | 261 |
| Producción Planta (TMF) | 12.968 | 12.062 | ● | 906 | 12.968 | 12.062 | ● | 906 |

Fuente: Short Term GEL

Los costos que se obtienen a partir del proceso hidrometalúrgico de la Gerencia Extracción y Lixiviación, se basan en operaciones mineras unitarias, tales como; perforación, tronadura, carguío, transporte, chancado, apilamiento, lixiviación, etc, cuyo detalle se adjunta en cuadro siguiente:

Figura 31: Estructura de costos en GEL

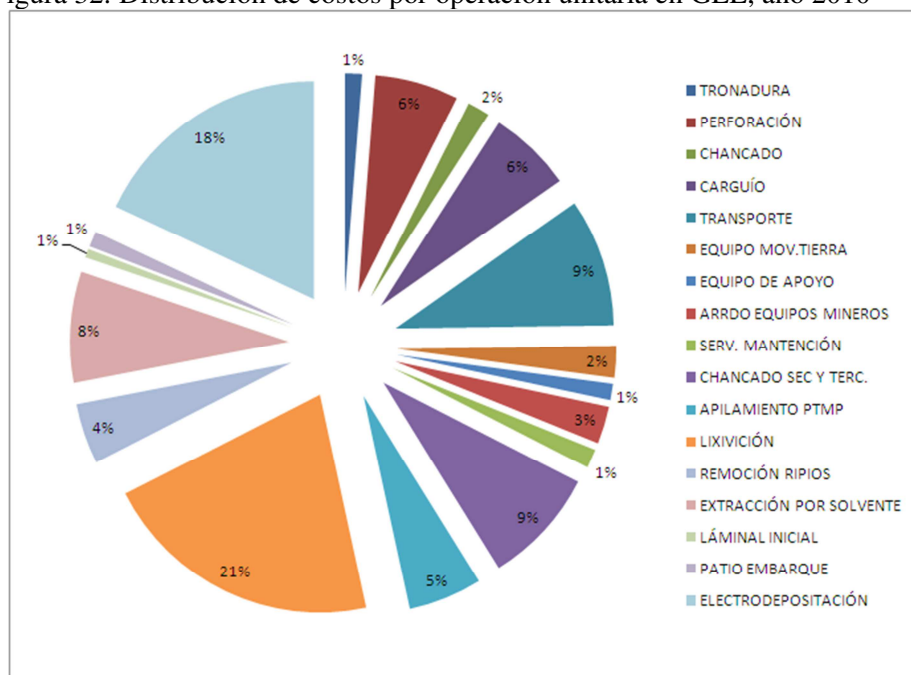
| ESTRUCTURA DE COSTOS 2011 GERENCIA EXTRACCIÓN Y LIXIVIACIÓN | | | | | |
|--|--|---|---|--|---|
| | | | CENTROS DE COSTOS | | |
| CINGEXLS Gcía.de Extracción y Lixiviación | CHO050N Dir. de Ingeniería y Gestión Operacional | | CO003 Gerente GELS CO005 Desar.Procesos Metal CO201 Control y Gestión CO605 Depto. Gestión Opera | | |
| | | CNMS000 Rajo Extensión Norte Mina Sur | CHO142N Superintendencia Operaciones Mina ENMS | CO601 Rajo ENMS CO611 Suptcia. Operaciones ENMS CO615 Tronadura CO621 Perforad Reedril SKF CO623 Perforad Reedril SKS CO625 Perf.Ing.Rand.Nº392 | |
| | | | | CHO144N Chancado CO633 Chancado Pilas CO583 Mantenición Chancado Pilas | |
| | | | | CHO145N Carguío CHO146N Palas CHO147N Cargadores Frontales CO646 Cargador Frontal L-1850 HL | |
| | CHO148N Transporte CO652 Camiones Komatsu 830 F | | | | |
| | CHO149N Equipo Movimiento de Tierra CO661 Bulldozer KMS D375A-5 CO662 Wheelozer KMS WD600 CO663 Motoniveladora G825A.2 | | | | |
| | CHO150N Equipos de Apoyo CO671 Regadores KMS HD605.7 CO672 Equipos Auxiliares | | | | |
| | CHO152N Arriendo Equipos Mineros CO702 Ardo.Eq. Movto.Tierra CO681 Operaciones M.Subterranea CO561 Suptcia. Servicios | | | | |
| | CHO155N Superintendencia Servicios CHO156N Mantenimiento Terreno CO565 Mantenición Perforación CO567 Mantenición Palas CO569 Mant Cargadores Frontales CO571 Mantenición Transporte CO573 Mant Eq Movimiento de Tierra | | | | |
| | CNHS000 Suptcia. Gral. Operaciones Sur | | | CHO500N Superintendencia Chancado y Lixiviación | CO209 Sup. Gral. Oper. Sur CO249 Lix.Polvos Hor.Flash CO261 Apilamiento PTMP CO265 Chancado PTMP CO243 Pilas Lix.Botaderos CO263 Lixiviación PTMP CO267 Remoción Ripios PTMP CO203 Phta.Extrac.Solvente CO205 Phta.Electrodeposita CO206 Fab. Láminas Inicial CO207 Patio de Embarque |
| | | | | | CHO502N Unidad Chancado y Apilamiento |
| | | | | | CHO504N Unidad Lixiviación |
| | | | | | CHO506N Unidad REM Ripios |
| | | | | | CHO402N Unidad Planta Extracción por |
| | | | | | CHO404N Unidad Planta Electrodeposición |
| | | CHO300N Superintendencia Sulfuros Baja Ley CO301 Lix.Parcelas S.B.L. CO303 Electro.Obten.S.B.I. CO305 Extrac.Solve S.B.L. | | | |
| | | CHO200N Superintendencia Mantenimiento Sur | | | |
| | | CO236 Control Mantenimient CO237 Ingen.Plantificación CO238 Inspecc. Sintomática CO210 Manton.Mec Área Seca CO212 Mant.Mec Área Húmeda CO214 Unidad Mant.Eléctrico Área Húmeda y SBL CO234 Unidad Mant.Eléctrico Área Seca CO233 Guardia Eléctrica CO211 Guardias Mecánicas CO315 U.Mant.Mec.Lix.SBL | | | |
| | | CHO202N Unidad Mant. Área Seca | | | |
| | | CHO204N Unidad Mant. Área Húmeda | | | |
| | | CHO206N Unidad Eléct. Mant. y Control Acc. | | | |
| | | CHO208N Unidad Mant. Emergencia. | | | |

Fuente: GEL

En el proceso productivo de la GEL los mayores gastos se generan en los procesos de carguío por alto consumo de repuestos de palas, petróleo, y energía eléctrica, transporte afectado por efecto precio, consumo de neumáticos y petróleo, el proceso de lixiviación se ve afectado por el mayor precio de ácido con respecto a lo

presupuestado, en electrodeposición el 45% de los gastos son atribuibles a efecto de mayor precio y consumo de energía eléctrica, en gráfico adjunto se detalla el aporte en los costos por operaciones unitarias.

Figura 32: Distribución de costos por operación unitaria en GEL, año 2010



Fuente: GEL

CAPÍTULO 4 DESARROLLO DE SOFTWARE SIMULADOR ECONÓMICO MINERO METALURGICO (SEMM) (Ivar Jacobson, 2007), (Pressman, 1993)

4.1. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO

4.1.1. MICROSOFT ACCESS BASE DE DATOS

Es una base de datos, recopila información relativa a un asunto o propósito particular, como el seguimiento de pedidos de clientes o el mantenimiento de una colección de música. Si la base de datos no está almacenada en un equipo, o sólo están instaladas partes de la misma, puede que deba hacer un seguimiento de información procedente de varias fuentes en orden a coordinar y organizar la base de datos.

Por medio de Microsoft Access, se puede administrar toda la información desde un único archivo de base de datos. Dentro del archivo, se puede utilizar:

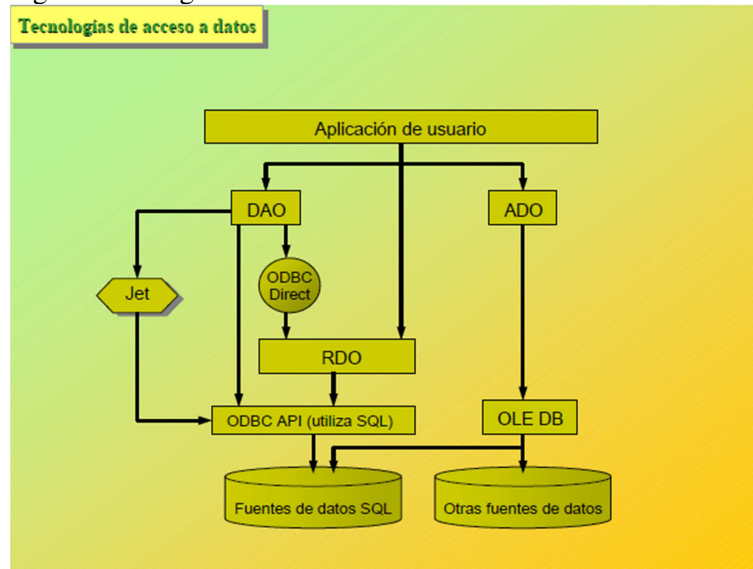
- Tablas para almacenar los datos.
- Consultas para buscar y recuperar únicamente los datos que necesita.
- Formularios para ver, agregar y actualizar los datos de las tablas.
- Informes para analizar o imprimir los datos con un diseño específico.
- Páginas de acceso a datos para ver, actualizar o analizar los datos de la base de datos desde Internet o desde una intranet.
- Almacenar los datos una vez en una tabla y verlos desde varios lugares.

4.1.2 MICROSOFT VISUAL BASIC

Es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. Este lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de

simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma.

Figura 33: Diagrama acceso a base de datos



Fuente: (Ivar Jacobson, 2007)

La última versión fue la 6, liberada en 1998, para la que Microsoft extendió el soporte hasta marzo de 2008.

En 2001 Microsoft propuso abandonar el desarrollo basado en la API Win32 y pasar a un framework o marco común de librerías, independiente de la versión del sistema operativo, .NET Framework, a través de Visual Basic .NET (y otros lenguajes como C Sharp (C#) de fácil transición de código entre ellos); fue el sucesor de Visual Basic 6.

Aunque Visual Basic es de propósito general, también provee facilidades para el desarrollo de aplicaciones de bases de datos usando Data Access Objects, Remote Data Objects o ActiveX Data Objects.

Visual Basic contiene un entorno de desarrollo integrado o IDE que integra editor de textos para edición del código fuente, un depurador, un compilador (y enlazador) y un editor de interfaces gráficas o GUI.

4.2. ARQUITECTURA UTILIZADA

La arquitectura cliente-servidor es un modelo de aplicación distribuida en el que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos o servicios, llamados servidores, y los demandantes, llamados clientes. Un cliente realiza peticiones a otro programa, el servidor, que le da respuesta. Esta idea también se puede aplicar a programas que se ejecutan sobre una sola computadora, aunque es más ventajosa en un sistema operativo multiusuario distribuido a través de una red de computadoras.

En esta arquitectura la capacidad de proceso está repartida entre los clientes y los servidores, aunque son más importantes las ventajas de tipo organizativo debidas a la centralización de la gestión de la información y la separación de responsabilidades, lo que facilita y clarifica el diseño del sistema.

La separación entre cliente y servidor es una separación de tipo lógico, donde el servidor no se ejecuta necesariamente sobre una sola máquina ni es necesariamente un sólo programa. Los tipos específicos de servidores incluyen los servidores web, los servidores de archivo, los servidores del correo, etc. Mientras que sus propósitos varían de unos servicios a otros, la arquitectura básica seguirá siendo la misma.

Una disposición muy común son los sistemas multicapa en los que el servidor se descompone en diferentes programas que pueden ser ejecutados por diferentes computadoras aumentando así el grado de distribución del sistema.

La arquitectura cliente-servidor sustituye a la arquitectura monolítica en la que no hay distribución, tanto a nivel físico como a nivel lógico.

La red cliente-servidor es aquella red de comunicaciones en la que todos los clientes están conectados a un servidor, en el que se centralizan los diversos recursos y aplicaciones con que se cuenta; y que los pone a disposición de los clientes cada vez que estos son solicitados. Esto significa que todas las gestiones que se realizan se concentran en el servidor, de manera que en él se disponen los requerimientos provenientes de los clientes que tienen prioridad, los archivos que son de uso público y los que son de uso restringido, los archivos que son de sólo lectura y los que, por el contrario, pueden ser modificados, etc. Este tipo de red puede utilizarse conjuntamente en caso de que se esté utilizando en una red mixta.

- Ventajas Centralización del control: los accesos, recursos y la integridad de los datos son controlados por el servidor de forma que un programa cliente defectuoso o no autorizado no pueda dañar el sistema. Esta centralización también facilita la tarea de poner al día datos u otros recursos (mejor que en las redes P2P).
- Escalabilidad: se puede aumentar la capacidad de clientes y servidores por separado. Cualquier elemento puede ser aumentado (o mejorado) en cualquier momento, o se pueden añadir nuevos nodos a la red (clientes y/o servidores).
- Fácil mantenimiento: al estar distribuidas las funciones y responsabilidades entre varios ordenadores independientes, es posible reemplazar, reparar, actualizar, o incluso trasladar un servidor, mientras que sus clientes no se verán afectados por ese cambio (o se afectarán mínimamente). Esta independencia de los cambios también se conoce como encapsulación.
- Existen tecnologías, suficientemente desarrolladas, diseñadas para el paradigma de C/S que aseguran la seguridad en las transacciones, la amigabilidad de la interfaz, y la facilidad de empleo.

4.3. DESARROLLO ORIENTADO A PROTOTIPO

El Modelo de prototipos, en ingeniería de software, pertenece a los modelos de desarrollo evolutivo. El prototipo debe ser construido en poco tiempo, usando los programas adecuados y no se debe utilizar muchos recursos.

El diseño rápido se centra en una representación de aquellos aspectos del software que serán visibles para el cliente o el usuario final. Este diseño conduce a la construcción de un prototipo, el cual es evaluado por el cliente para una retroalimentación; gracias a ésta se refinan los requisitos del software que se desarrollará. La interacción ocurre cuando el prototipo se ajusta para satisfacer las necesidades del cliente. Esto permite que al mismo tiempo el desarrollador entienda mejor lo que se debe hacer y el cliente vea resultados a corto plazo.

Etapas

- Plan rápido
- Modelado, diseño rápido
- Construcción del Prototipo
- Desarrollo, entrega y retroalimentación
- Comunicación

Ventajas

- Este modelo es útil cuando el cliente conoce los objetivos generales para el software, pero no identifica los requisitos detallados de entrada, procesamiento o salida.
- También ofrece un mejor enfoque cuando el responsable del desarrollo del software está inseguro de la eficacia de un algoritmo, de la adaptabilidad de un

sistema operativo o de la forma que debería tomar la interacción humano-máquina.

La construcción de prototipos se puede utilizar como un modelo del proceso independiente, se emplea más comúnmente como una técnica susceptible de implementarse dentro del contexto de cualquiera de los modelos del proceso expuestos. Sin importar la forma en que éste se aplique, el paradigma de construcción de prototipos ayuda al desarrollador de software y al cliente a entender de mejor manera cuál será el resultado de la construcción cuando los requisitos estén satisfechos. De esta manera, este ciclo de vida en particular, involucra al cliente más profundamente para adquirir el producto.

Inconvenientes

- El usuario tiende a crearse unas expectativas cuando ve el prototipo de cara al sistema final. A causa de la intención de crear un prototipo de forma rápida, se suelen desatender aspectos importantes, tales como la calidad y el mantenimiento a largo plazo, lo que obliga en la mayor parte de los casos a reconstruirlo una vez que el prototipo ha cumplido su función. Es frecuente que el usuario se muestre reacio a ello y pida que sobre ese prototipo se construya el sistema final, lo que lo convertiría en un prototipo evolutivo, pero partiendo de un estado poco recomendado.
- En aras de desarrollar rápidamente el prototipo, el desarrollador suele tomar algunas decisiones de implementación poco convenientes (por ejemplo, elegir un lenguaje de programación incorrecto porque proporcione un desarrollo más rápido). Con el paso del tiempo, el desarrollador puede olvidarse de la razón que le llevó a tomar tales decisiones, con lo que se corre el riesgo de que dichas elecciones pasen a formar parte del sistema final.

Conclusiones

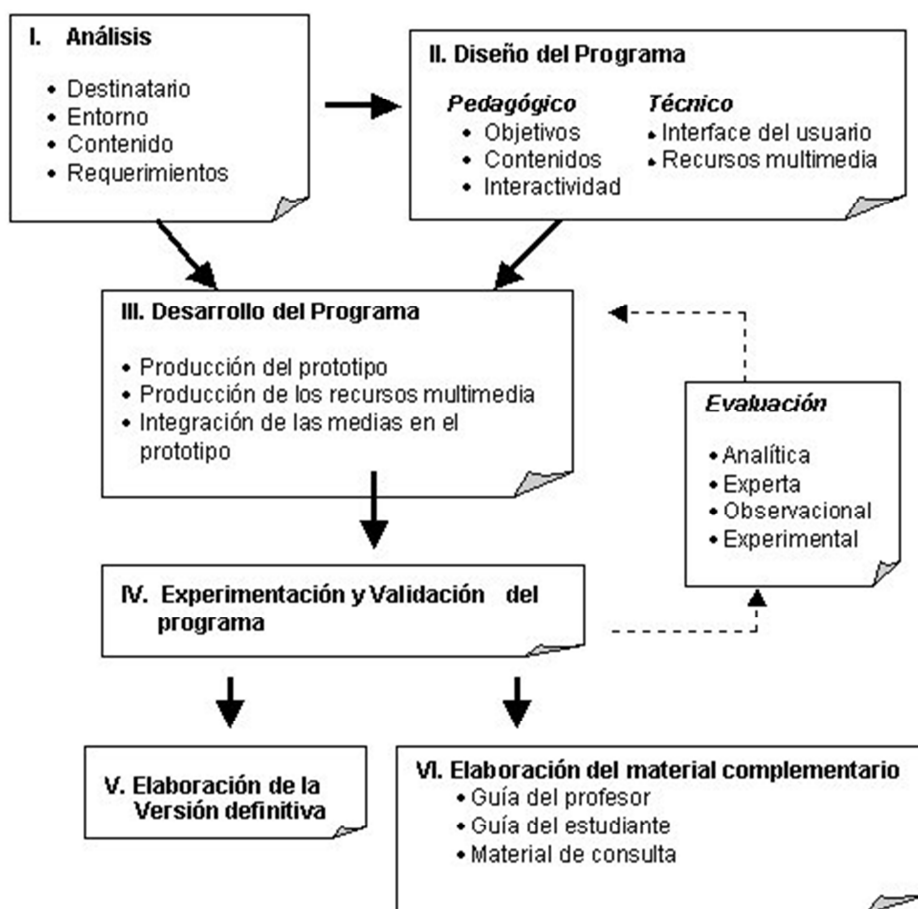
A pesar de que tal vez surjan problemas, la construcción de prototipos puede ser un paradigma efectivo para la ingeniería del software. La clave es definir las reglas del juego desde el principio; es decir, el cliente y el desarrollador se deben poner de acuerdo en:

- Que el prototipo se construya y sirva como un mecanismo para la definición de requisitos.
- Que el prototipo se descarte, al menos en parte.
- Que después se desarrolle el software real con un enfoque hacia la calidad.

4.4. FASES DE DESARROLLO (Ivar Jacobson, 2007)

En la ingeniería del software el término fases de desarrollo expresa cómo ha progresado el desarrollo de un software y cuánto desarrollo puede requerir. Cada versión importante de un producto pasa generalmente a través de una etapa en la que se agregan las nuevas características (etapa alfa), después una etapa donde se eliminan errores activamente (etapa beta), y finalmente una etapa en donde se han quitado todos los bugs importantes (etapa estable). Las etapas intermedias pueden también ser reconocidas. Las etapas se pueden anunciar y regular formalmente por los desarrolladores del producto, pero los términos se utilizan a veces de manera informal para describir el estado de un producto. Normalmente muchas compañías usan nombres en clave para las versiones antes del lanzamiento de un producto, aunque el producto y las características reales son raramente secretas.

Figura 34: Diagrama de desarrollo de software



Fuente: (Ivar Jacobson, 2007)

4.5. APLICACIÓN EN SIMULADOR ECONÓMICO MINERO METALÚRGICO (SEMM)

Para el desarrollo del sistema SEMM se optó por utilizar Access debido a su flexibilidad y portabilidad como aplicación gestor de base de datos, también porque es compatible con sistemas operativos Microsoft en todas sus versiones además utiliza como motor de base de datos el componente JET el cual está incorporado en Windows. Por otra parte para la codificación se utilizó visual Basic debido a su flexibilidad, confiabilidad y compatibilidad con Access y con herramientas Microsoft.

Respecto a la metodología de desarrollo se optó por prototipo debido a que los requerimientos por parte del usuario son analizados en reuniones de avances en las cuales se presentan prototipos los cuales luego son modificados según los nuevos requerimientos.

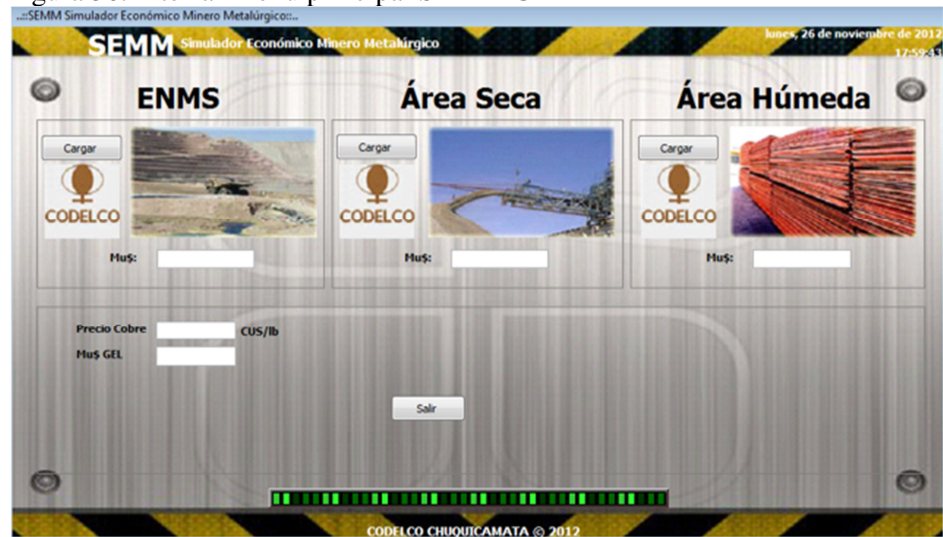
La arquitectura cliente servidor, se optó por esta arquitectura debido a que el tipo de desarrollo necesitaba ser compartido en más de una estación en distancias geográficas superiores a 5 km, aprovechando la red LAN de la división Codelco Chuquicamata y la disponibilidad de un servidor de datos en red es la manera más práctica y rápida de compartir el simulador.

Figura 35: Interfaz de inicio SEMM GEL



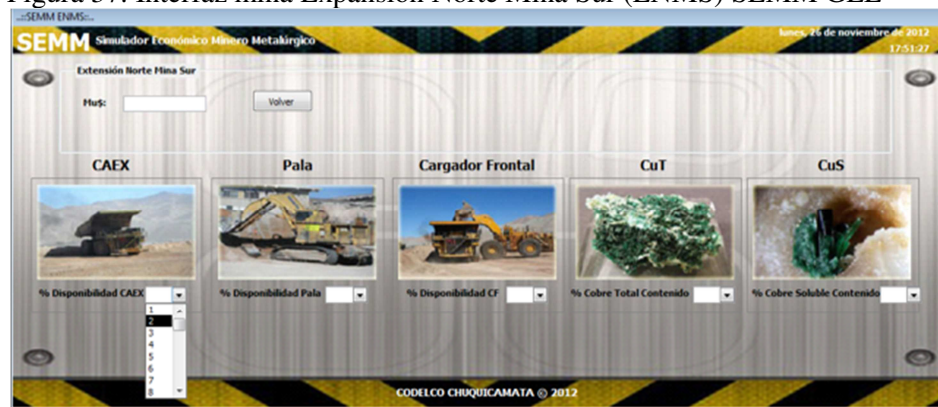
Fuente: Desarrollo SEMM

Figura 36: Interfaz menú principal SEMM GEL



Fuente: Desarrollo SEMM

Figura 37: Interfaz mina Expansión Norte Mina Sur (ENMS) SEMM GEL



Fuente: Desarrollo SEMM

Figura 38: Interfaz área seca SEMM GEL



Fuente: Desarrollo SEMM

Figura 39: Interfaz área húmeda SEMM GEL



Fuente: Desarrollo SEMM

CONCLUSIONES

La gerencia GEL de División Chuquicamata ha mostrado una tendencia para tomar decisiones enfocada principalmente en el grado de complejidad de las problemáticas que se presenten en contingencias del proceso, considerando para ello variables como la disponibilidad de recursos, experiencia del cuerpo directivo y/o del administrador responsable del negocio. Sin embargo, no necesariamente se ha utilizado la valorización económica explícita de cómo impactan al negocio estas decisiones.

De acuerdo a lo anterior, se determinaron 19 variables críticas a lo largo del proceso productivo de la cadena de valor de la hidrometalúrgia, las que se traducen en las variables de mayor influencia en la producción de Cobre Fino, y por ende, de agregación de valor económico al negocio.

Esta caracterización de variables críticas permitió generar la información base para la construcción de nuestro modelo de simulación, siendo fundamental la aplicación de la metodología Six Sigma para la sensibilización de escenarios favorables y desfavorables a lo largo del proceso.

Finalmente, se determinó que el modelo de simulación entregará sólo una referencia económica de cuál es o será la mejor decisión a tomar bajo ciertos potenciales escenario productivos, traducida en producción de Cobre Fino. Sin embargo, siempre existirán factores externos a los procesos tales como las características del recurso humano disponible o los climas organizacionales que se presenten en las empresas, que aportarán información adicional y permitirán en definitiva tomar una decisión mucho más a asertiva al escenario bajo el cual la organización esté sometida.

REFERENCIAS

Boni. (1963).

De la Plaza, J. (2000). *La Inteligencia Asertiva*.

Fernandez García, R. H. (2011). *Diseño Conceptual Sala Operacional de Control para la Integración de Operaciones Mina Planta*. Calama: Universidad de Atacama - Dpto. de Ingeniería de Minas.

Fischman, D. (1990). *Cuando el Liderazgo No Es Suficiente*.

Ivar Jacobson, G. B. (2007). *Uml el proceso unificado de desarrollo de software*. Addison Wesley .

JIGSAW Technologies. (2011). *Indicadores Operacionales por Hora*.

Laudon y Laudon. (1995). *Sistemas de Información Gerencial*.

Maxwell, J. (2008). *El ABC de la Actitud*.

Naylor, T. H. (1977).

Picasso, P. (1960).

Porter, M. E. (2002). *Ventaja Competitiva*. ALAY EDICIONES, S.L. (GRUPO PATRIA CULTURA).

Pressman, R. (1993). *Ingeniería del Software, Un Enfoque Práctico* . Mc Graw-Hill .

Shannon, R. E. (1988). *Systems simulation:the art and science* .

The Boston Consulting Group. (2004). *Estructuración de Indicadores Clave Macroproceso Mina Rajo*.

Wheat Mills & Carnell, B. (2008). *Seis Sigma un cuento de Negocios*.

wikipedia.org. (2011). *Principios de Six Sigma wikipedia.org*.

Wiley & Sons, J. (2011). *Introduction to Statistical Quality*.