



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

**GESTIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO CON EL  
MODELO DE BLOQUES**

**TESIS PARA OPTAR AL  
GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

JUAN FRANCISCO BARRIENTOS VARGAS

PROFESORES GUÍA:  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBRO DE LA COMISIÓN:  
GERARDO DÍAZ RODENAS  
LORETO BURGOS RODRÍGUEZ

SANTIAGO DE CHILE  
2018

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:**  
Magister en Gestión y Dirección de Empresas  
POR: Juan Francisco Barrientos Vargas  
FECHA: Enero de 2018  
PROFESORES GUÍA: Loreto Burgos y Luis Zaviezo

## **GESTIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO CON EL MODELO DE BLOQUES**

El presente trabajo surge de la necesidad de mejorar la productividad para aumentar el nivel competitivo de Antucoya. Una alternativa en términos de la gestión de la información es la posibilidad de disminuir de la variabilidad de la dosificación de ácido, ya que este insumo representa el 13% del costo total de producción.

Este es un yacimiento de óxidos secundarios de alta variabilidad, contiene tres menas principales, dos elementos contaminantes de importancia y distintas calidades físicas, que combinadas dan un número considerable de posibles agrupaciones o clasificaciones, por lo que se requiere de una simplificación y agrupación de éstas, bajo un criterio técnico-económico.

Para disminuir dicha variabilidad, se plantea gestionar la información de una forma distinta a la actual. Para ello se incorpora la información de cada bloque del modelo de bloques de corto plazo en el sistema de despacho JIGSAW1, que es constantemente actualizado en base a los pozos de tronadura, generando una unidad de una envergadura bastante menor (10 por 10 metros). Las variables específicas de interés que se miden asociadas a esta unidad son las geológicas (mena, leyes, densidad, calidad de los materiales) y metalúrgicas (recuperación, consumo de ácido), que son obtenidas en laboratorio o en mapeos de campo.

El enlace entre la información del modelo de bloques y el despacho fue posible dado que Antucoya cuenta con el sistema de navegación de alta precisión de los equipos de carguío, que permite saber exactamente la ubicación espacial del balde de la pala con una precisión centimétrica, conociendo con precisión y en línea qué se carga baldada a baldada y, por ende, lo que lleva cada camión, al cruzar dicha información con el modelo de bloques.

Con tal antecedente, dentro del sistema de despacho es posible reportar en línea la información en unidades pequeñas. Esto permite tener el control y gestionar la dosificación del ácido en forma muy precisa en el aglomerador, donde se agrega el 80% del ácido requerido a nivel de la mínima unidad de explotación, que en este caso sería un bloque de tamaño de 10 x 10 x 16 metros.

La principal conclusión que se advierte es que luego de la implementación explicada se aumentó el valor del negocio de Antucoya en 6.8 millones de dólares, derivado de la disminución de consumo de ácido y el aumento en la recuperación.

---

<sup>1</sup> Ref. <http://hexagonmining.com/products/operations-suite>

## Tabla de contenidos

1.	Introducción.....	2
2.	Descripción del tema.....	4
3.	Objetivos .....	9
a.	General.....	9
b.	Específico .....	9
4.	Alcances.....	10
5.	Marco conceptual.....	11
a.	Información automática .....	11
I.	Información mina,.....	11
II.	Información planta,.....	11
b.	Información de reportes la información de reportes: .....	11
c.	Ubicación espacial.....	12
d.	Despacho Mina.....	12
e.	Despacho planta.....	13
f.	Modelo de Bloques .....	14
6.	Metodología .....	15
7.	Desarrollo del tema .....	19
a.	Solución técnica .....	19
b.	Desarrollo técnico .....	20
c.	Implementación técnica .....	21
d.	Implementación organizacional .....	22
e.	Evaluación económica.....	23
I.	Pérdida por exceso, .....	23
II.	Pérdida por recuperación.....	23
f.	Impacto en la gestión.....	24
g.	Nuevas líneas de negocios o desarrollos .....	25
8.	Resultados .....	26
9.	Conclusiones.....	27
10.	Recomendaciones .....	28
11.	Bibliografía .....	29
12.	Anexos .....	30
	Anexo 1 - Zonificaciones geológicas de Fase 02 utilizadas para la comparación y el análisis.....	30
	Anexo 2 - Zonificaciones geológicas de Fase 03 utilizadas para la comparación y el análisis.....	31
	Anexo 3 – Consumo de ácido requerido de fase 2 .....	32
	Anexo 4 – Consumo de ácido requerido de fase 3.....	33
	Anexo 5 – Recuperación fase 2.....	34
	Anexo 6 – Recuperación fase 3.....	35

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1, Ubicación referencial mina Antucoya .....	6
Ilustración 2, Layout Antucoya .....	6
Ilustración 3, Diagrama proceso planta Antucoya.....	7
Ilustración 4, Sistema de alta precisión en pala eléctrica P&H 4100.....	12
Ilustración 5, Sistema de despacho JIGSA.....	13
Ilustración 6, Visualización del modelo de bloques en JIGSAW.....	14
Ilustración 7, Gráfico 1 Frecuencia de consumo de ácido sulfúrico de fase 2.....	19
Ilustración 8, de archivo con un polígono subido al sistema.....	20
Ilustración 9, de archivo con bloques subido al sistema.....	21

## Índice de tablas

Tabla 1, Ejemplo de distribución del consumo de ácido kg/ton en un polígono de tronadura. ....	17
Tabla 2, Estadísticas de información asociada a un polígono.....	20

## 1. Introducción

La contingencia económica actual de crisis y recuperación tiene repercusiones directas en los precios de los commodities, aumentando la incertidumbre y la variabilidad en los ingresos de la industria minera. Este escenario dificulta directamente la determinación de cuál debe ser la estrategia más adecuada a seguir por el sector minero, por tratarse de un negocio a gran escala y de largo plazo, donde los cambios no pueden configurarse a la misma velocidad del escenario económico contingente, razón que con lleva al desafío de abordarlo de una manera óptima en el corto plazo, buscando disminuir las brechas que generen un impacto económico en el negocio.

Sumado a la variable exógena anterior, se presenta otra variable adicional que es la incertidumbre geológica, donde las variaciones propias de cada yacimiento hacen que la variabilidad sea un gran desafío para lograr gestionar la información de la manera adecuada para maximizar la utilidad del negocio. Las leyes, las calidades del día a día, se traducen en una gran complejidad para identificar el tratamiento de los minerales más adecuado para cada tipo de los presentes en un yacimiento, de forma previa a su alimentación a la planta, ya que muchas veces el no contar con la información precisa y oportuna, provoca la toma de decisiones incorrectas del tratamiento de los minerales, y la gestión es de índole correctiva, versus a una gestión proactiva en términos de la utilización óptima de los equipos.

Es por esta razón que el manejo de la información pasa a ser una variable muy relevante para la búsqueda de la gestión anticipada para el tratamiento de cada tipo de mineral, ya que desde el punto de vista de los procesos de tratamiento mineralógico el contar con la información de forma oportuna, confiable y precisa es vital para mejorar y optimizar el control de la utilización de los equipos y los costos.

Esta iniciativa se basa en la constante búsqueda de la industria minera de mejorar la productividad, teniendo en consideración que el tratamiento de los minerales significa el mayor porcentaje del costo de un negocio minero, y donde existe menor flexibilidad, ya que el proceso es más bien rígido, por la envergadura de la inversión en activos, dificultando la obtención del mejor beneficio de dichos minerales. De forma adicional el no conocer la variabilidad de los minerales de forma oportuna, dificulta la gestión anticipada por ende las posibilidades de optimizaciones son cero, ya que las decisiones pasan a ser reactivas y de acuerdo con el comportamiento que ya tuvo un determinado mineral que ya fue tratado.

Como el desafío, en términos de la gestión minera que nos encontramos viviendo, es de la productividad se precisa obtener el máximo retorno posible con un proceso de tratamiento de minerales, que tenga la mejor información disponible de un cierto tipo de material para realizar la gestión más adecuada sobre ese mineral en específico, en el momento justo cuando sea ingresado a la planta.

Dado este gran desafío en términos de proveer la mejor información posible y así eliminar las decisiones incorrectas sobre la gestión de los procesos, es que se plantea una alternativa de gestión con la información disponible en la actualidad que no está siendo utilizada, y que propondremos una alternativa de manejo que permita gestionar

los recursos disponibles, para garantizar el mejor proceso a cada material. De esta forma se generarán ahorros para el negocio y se mejorara el ingreso optimizando la capacidad de tratamiento, de forma instantánea (On line).

## 2. Descripción del tema

Durante la historia reciente, las mejoras que apuntan a la productividad de la industria minera han sido considerables, se puede mencionar entre otras: el gigantismo, la automatización de innumerables procesos, el monitoreo de información a través de sensores, Global Position System (GPS), cámaras, radares, drones, etc., utilizando a la tecnología como un gran aliado.

A modo de ejemplo, cabe recordar que hace 30 años los camiones mineros eran administrados por el criterio y experiencia de profesionales solamente, pero con el desarrollo de herramientas tecnológicas se logró implementar un software que permite realizar la gestión y asignación de los destinos de dichos camiones de forma automática, optimizando su función y disminuyendo los tiempos muertos, con el consecuente aumento de su productividad. Esto fue posible gracias al desarrollo de las redes MESH, con las que se puede transferir y canalizar mucha información en tiempo real. En la actualidad es posible gestionar la asignación de los camiones desde una sala de control, pudiendo visualizar toda la operación de la faena de forma remota en cualquier lugar conectado a internet.

Esta tecnología, en conjunto con el avance computacional, a permitido tener la posibilidad monitorear en tiempo real y de registrar toda esa información de los camiones, velocidades, tiempos de transporte, esperas, demoras, tiempos muertos, indicadores de productividad, monitoreo de signos vitales de los equipos, y además poder corregir desviaciones, o gestionarla a través de reportes.

Este avance también se ha implementado en las plantas de procesamiento de minerales, registrando los indicadores de producción, tiempos, rendimientos consumo de aditivos y energía, por ejemplo.

Sin embargo, la abundante información generada, tanto por los sistemas de despacho del yacimiento, como por los sistemas de control de la planta, hace nacer una nueva posibilidad, que es la de cómo utilizar toda esa gran cantidad de información para realizar la gestión necesaria para maximizar el negocio.

Esta información, para poder ser utilizada en la dirección de alcanzar un mejor rendimiento en términos productivos, requiere ser procesada, por ello se han creado áreas de reporte, que facilitan cierto control sobre los procesos, y que detectan tendencias, para que sean corregidas.

Pero este esfuerzo no es suficiente, ya que por tratarse de una cantidad gigantesca de información sobre muchísimas variables "Big data", que se captura en línea segundo a segundo, no es posible lograr un absoluto control sobre ella por parte de un equipo de personas.

Lo que ocurre en la actualidad, es que las prácticas de control de gestión se basan en la aplicación de medidas de corrección de tendencia posteriores a la ocurrencia de los eventos, es decir, solo sirven para corregir desviaciones, luego de ocurridas las pérdidas.



Con lo cual, hoy nace la gran oportunidad de aprovechar la gran cantidad de información, procesándola por medio de las tecnologías de información y comunicación, en favor de mejorar la productividad del rubro minero, apuntando a disminuir la variabilidad de los resultados; constituyéndose así en la vía de solución al actuar reactivo y a posteriori, en el modo de corregir las desviaciones en el momento en que se van generando y registrando los datos, e incluso pudiendo llegar a configurar modelos predictivos, tanto para el mantenimiento de equipos, anticipando fallas, como para la operación minera y de la planta, buscando las mejores prácticas operacionales con procesos más estables y continuos, y así gestionar al máximo la productividad y el uso de los activos.

Cabe advertir que, actualmente, esta tecnología esta disponible, y está siendo utilizada en otras industrias de forma exitosa, como, por ejemplo, las aerolíneas, aseguradoras que usan los antecedentes arrojados por el comportamiento de sus usuarios para la planificación de los vuelos, definición de las tarifas y optimización de flujos, consiguiendo predecir las preferencias de los clientes para maximizar la venta de pasajes al precio óptimo, o determinar el precio de un seguro de acuerdo a un perfil de riesgo.

Dado que existe este desarrollo ya funcionando en otras industrias, es que se plantea como factible aplicarlo a la industria minera, porque en ésta, desde hace mucho tiempo se ha entendido la necesidad de capturar la información como algo esencial para mejorar el negocio, razón que ha llevado, a que exista monitoreo de muchos indicadores, tanto de productividad como de los signos vitales de los activos, por ende, es posible obtener de manera simple toda la información, y utilizar esto como una oportunidad de mejora sin grandes complejidades, puesto que se estará utilizando lo que ya existe de una manera más eficiente.

Por la razón anterior, es que se plantea hacer uso de estas tecnologías y prácticas, en Antucoya, ya que al ser una faena de bajos costos, obliga a controlarlos al máximo para continuar siendo rentable y competitiva.

Contar con información precisa y en el momento adecuado pasa a ser una necesidad fundamental, para gestionar de manera eficiente los costos, y todas las variables para el tratamiento de los minerales en la planta.

Este trabajo se realiza utilizando la información de la mina Antucoya, que es una mina de óxidos de cobre de baja ley ubicada en la región de Antofagasta, yacimiento que se extrae con el método de explotación a rajo abierto, esta mina, esta conformada por un solo gran rajo dividido por 9 fases.

El yacimiento de Antucoya, son óxidos de cobre de baja ley con un promedio de 0,3% Cut, y una ley de corte de 0.16% Cut, siendo el resultado de pórvido cuprífero que ha pasado por múltiples eventos geológicos, los cuales conforman un yacimiento con alta variabilidad en su mineralización, la mena consiste básicamente en un 60% de óxidos, de los cuales un 40% con alto contenido de carbonatos, 30% de sulfatos, y un 10% de limonitas, ambos con bajas leyes de carbonato.



Ilustración 1, Ubicación referencial mina Antucoya

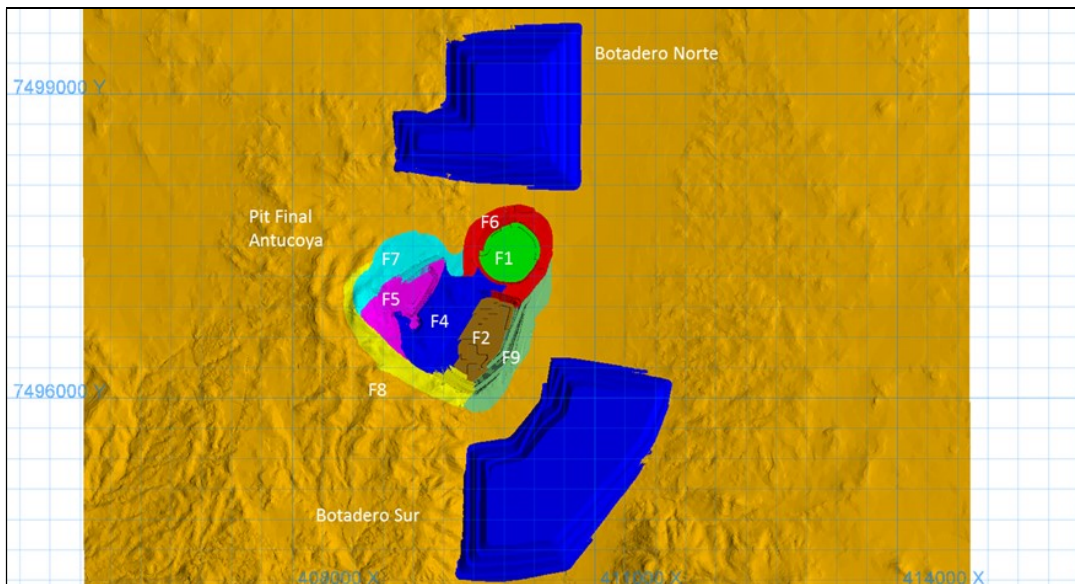


Ilustración 2, Layout Antucoya

Antucoya es una planta de tratamiento de minerales oxidados de cobre, a través de pila dinámica, para lo cual cuenta con una línea de chancado primario, secundario y terciario, un aglomerador, una cancha de pilas de lixiviación luego un proceso convencional de electro obtención, y el remanente de material se envía a un botadero de ripios, para tener un mejor entendimiento del proceso se presenta diagrama de la planta.

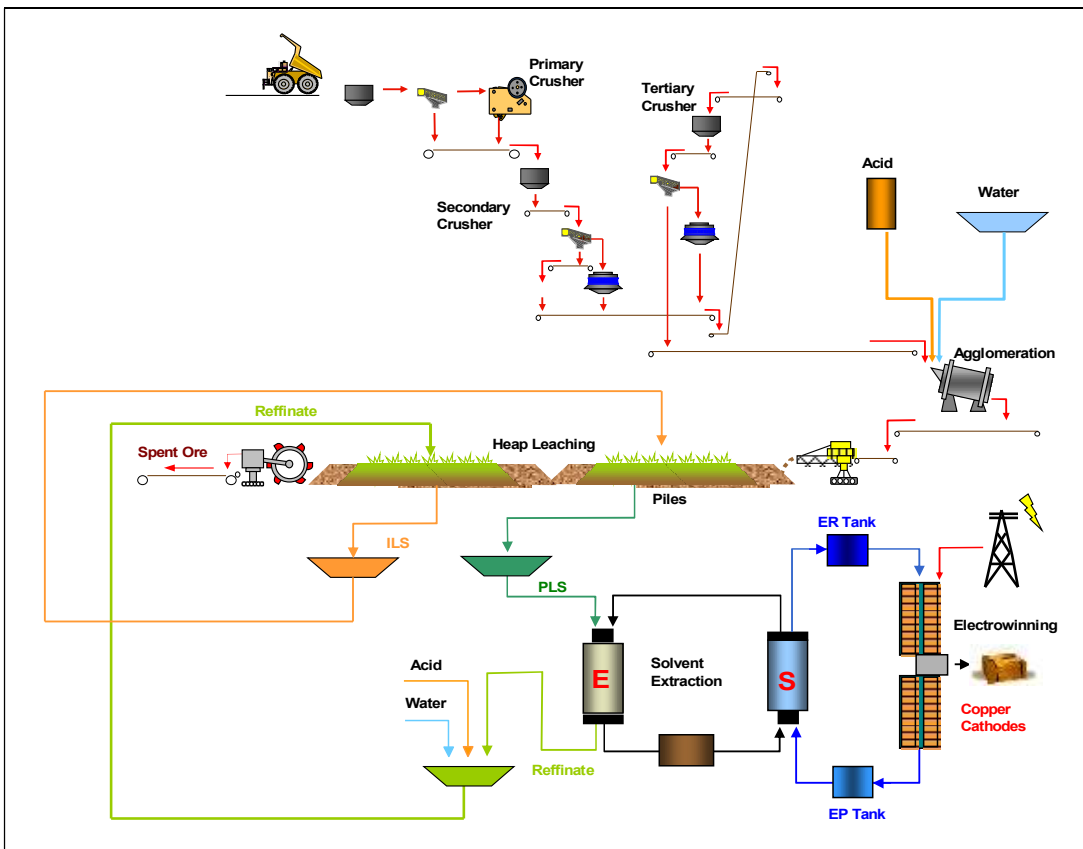


Ilustración 3, Diagrama proceso planta Antucoya

En Antucoya existe un modelo de bloques con tamaño de bloques de 10 x 10 x 16 metros cada uno, las dimensiones de este modelo son de 5020, 5160, 960, metros con un total de 248670720 bloques, que contienen la información generada de todas las variables que se consideró preciso incorporar para medir y cuantificar las calidades y contenidos de los minerales.

Las variables que se utilizan del modelo de bloques de Antucoya son, ley de cobre total (Cut%), ley de cobre soluble (Cus%), ley de nitrato, ley de carbonato, calidad, dosificación de aditivos, impurezas, dureza, etc.

Este modelo es preparado por geología que, a través de la información de las muestras de los pozos de tronadura, va estimando las características de cada bloque.

Por otra parte, la flota de equipos mineros consiste en dos palas eléctricas P&H 4100 XPC y dos palas hidráulicas Hitachi, además de la flota de 15 camiones Komatsu 930E, en la actualidad, además de los respectivos equipos de perforación y apoyo.

Esta flota de equipos está controlada por un sistema de gestión denominado sistema de despacho, donde se captura toda la información de los signos vitales de los equipos y de su performance en la operación. En el rubro minero, estas herramientas son imprescindibles, hoy en día en todas las minas, puesto que con ellas es posible monitorear, controlar, gestionar y reportar la ubicación de los equipos, los indicadores de producción, utilización y disponibilidad de los equipos de forma individual y global,

para poder tomar decisiones inmediatas ante alguna desviación, y analizar tendencias asociadas a eventos que se mantengan en el tiempo, ya que como se comento anteriormente la capacidad de gestión de los individuos es limitada. El sistema de despacho utilizado en Antucoya es JIGSAW<sup>2</sup>.

Además, este sistema de despacho permite gestionar y administrar, la información proveniente de la mina, con el fin de optimizar el uso de los camiones y registrar, cual será el destino de dicho material, diferenciando el mineral del lastre que se está extrayendo, al mismo tiempo.

En este sistema se pueden incluir todas las variables que se requieran para obtener información sobre el material que se esta extrayendo como por ejemplo todas las leyes, cobre total, cobre soluble, nitrato carbonato, calidad, dosificación de aditivos, impurezas, dureza, etc.

A su vez el sistema de despacho monitorea los equipos en tiempo real, de acuerdo con su posición espacial. Hoy en día las redes mesh permiten que la ubicación de los equipos de carguío sea con alta precisión con un error de 5 cm. Para el caso de los camiones el error es de 5 metros. Con lo cual se tiene un control bastante preciso de donde se encuentran los equipos, camiones y palas, en tiempo real de su origen y destino, velocidad y tiempo de desplazamiento, además de donde descargan y lo que llevaban en eso momento. Además, esta información queda respaldada en el sistema de despacho y es visible para la operación de la planta, que puede saber que minerales están siendo alimentados en ese preciso instante.

Al existir este nivel de precisión en los equipos de carguío, e incluir una cantidad de variables significativas en el registro del despacho, es que es factible enlazar la información del modelo de bloques de 10 por 10 por 16 metros, con el carguío de cada baldada de 2 metros, y luego registrar la calidad del material donde serán destinados los camiones, para saber exactamente el contenido de las leyes, dureza etc., del mineral que se está enviando a la planta, o dejando en los stocks, pudiendo incorporar la información del modelo de bloques a los reportes del despacho, con el máximo nivel de detalle.

---

<sup>2</sup> Jigsaw, <http://hexagonmining.com/products/operations-suite>

### **3. Objetivos**

#### **a. General**

Evaluar como la información del modelo de bloques, impacta para disminuir la variabilidad de la dosificación de ácido sulfúrico en el aglomerado, para maximizar la utilidad del negocio.

#### **b. Específico**

Cuantificar el impacto económico del mayor gasto asociado sobre dosificación de ácido sulfúrico.

Cuantificar el efecto económico de la sub dosificación de ácido sulfúrico, que impacta en la recuperación de cobre.

#### **4. Alcances**

Es preciso considerar que esta tesis evalúa solo la variabilidad asociada al cambio en la gestión de la dosificación de ácido sulfúrico, aun cuando la metodología pueda ser aplicada a toda la información existente dentro del modelo de bloques de un yacimiento, es decir, leyes, dureza, contaminantes y aditivos requeridos.

Por otra parte, cabe mencionar que este trabajo no se hace cargo de la dilución presente, tanto en la definición del destino de los minerales, como en propia de la extracción minera.

Se hace presente que este estudio utiliza la información del modelo de bloques del 13 de julio del año 2017 de la minera Antucoya.

Finalmente, se hace hincapié en que esta tesis plantea una metodología para la estimación del impacto en la variabilidad de la dosificación de ácido, de acuerdo con los datos obtenidos en un periodo de tiempo definido.

## 5. Marco conceptual

Como se comentó anteriormente, la información que se registra en minería es enorme, por lo cual es esencial dar el paso a las nuevas tecnologías, como es los temas que se manejan hoy en día, que ya no se habla de TI, sino de TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones), porque la diferencia entre información y comunicación es cada vez más ambigua, ya que todas las cosas se comunican entre sí. En el fondo, cualquier computador y que potencialmente pueda comunicarse con otro está dentro de la definición de TIC, lo que incluye softwares geológicos, de contabilidad y muchos otros.

Al existir comunicación existe transferencia de información y, en el caso específico de este trabajo, se refiere a un paquete de datos que constituyen un contenido y que, por su conformación, puede causar un cambio en quien (o en lo que) lo recibe. En otras palabras, al transmitir un mensaje lo que se está haciendo es darle sentido a un número "x" de datos y compartirlo con un receptor, para proceder a su análisis e interrelación.

Como se planteó anteriormente, en cada mina se genera muchísima información, tanto del sistema de despacho de la mina, como de la planta, y además de los mismos equipos, ya que siempre ha existido la intensión y la necesidad de tener un control de los activos, para realizar gestión de maximización de su uso, sobre la operación de ambos procesos, para entender un poco que tipo de información es generada la dividiremos en dos:

- a. **Información automática:** esta información, es la que se captura de forma automática por los sistemas de monitoreo existentes, dentro de estas podemos destacar:
  - I. **Información mina,** la información generada de forma sistemática, se obtiene de los indicadores de los equipos y es capturada por el despacho JIGSAW, esta información es de monitoreo de los signos vitales de los equipos, además de sus indicadores de ubicación, tiempos, utilización, disponibilidad, y rendimientos. Además también existe información de radares geotécnicos que alertan de posibles desplazamientos que puedan afectar la seguridad de la operación.
  - II. **Información planta,** la información genera se obtiene a través del sistema PI, donde al igual que en la mina se obtiene un conjunto de información de utilización de disponibilidad de los equipos.

Toda la información anterior se obtiene en tiempo real, y sobre esta se van tomando decisiones, para la operación y el mantenimiento.

- b. **Información de reportes la información de reportes:** se contruye en parte con la información obtenida de los sistemas automaticos, se procesa y obtiene promedio, y se utiliza para detectar tendencias, y llevar registro de los resultados de los indicadores de la operación.

Dentro de la información de la mina detallaremos los siguientes puntos, para tener un mejor entendimiento de los conceptos que queremos presentar.

### c. Ubicación espacial

Con respecto a la ubicación espacial, hoy existe tecnología ampliamente masificada donde, a través de satélites, se puede indenficar la ubicación de los equipos en todo momento, con el denominado Global Position System (GPS<sup>3</sup>) ; con el avance tecnologico, y con el afán de tener un mayor grado de exactitud, dicho sistema, ha sido complementados con otras redes de satélites que circulan en distintas órbitas, las que permiten contar con la ubicación espacial de los equipos sin perder señal tener el 100% del tiempo, con un nivel de imprecisión de unos cuantos centímetros (5 cm.).

En la imagen 1, se puede apreciar el sistema de alta precisión instalada en la pala eléctrica P&H 4100, de Antucoya, que está interpolada al centro del balde de la pala, obteniendo así la máxima exactitud posible, para la ubicación del balde.

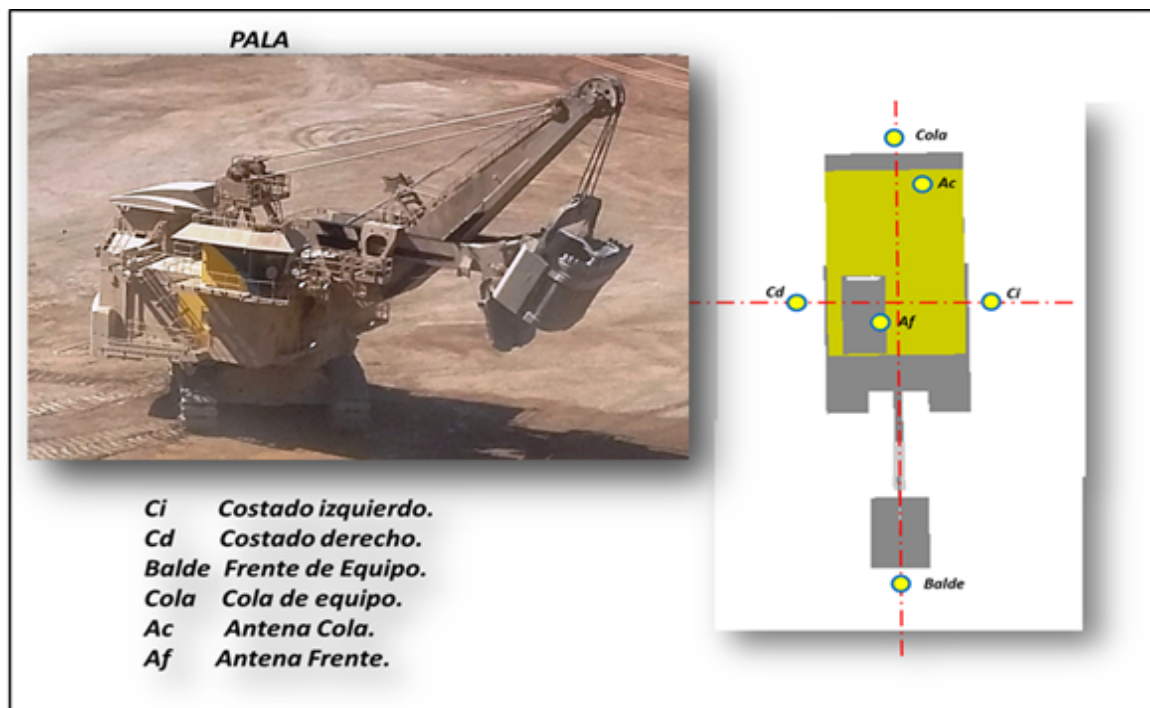


Ilustración 4, Sistema de alta precisión en pala eléctrica P&H 4100.

### d. Despacho Mina

La tecnología existente, permite que tanto los equipos como el despacho, puedan ver la información en tiempo real, de la información de ubicación espacial, los indicadores de signos vitales y de los indicadores de performance de los equipos, a través, de un sistema de comunicación de dicha información al del despacho, que en Antucoya es

<sup>3</sup> GPS Sistema de posicionamiento global.



JIGSAW, que utiliza una red mesh para la transmisión de datos. Con este sistema de despacho es posible registrar y realizar la gestión en tiempo real.

Esta información es muy importante, tanto para el operador como para el despacho, para identificar cual material se esta cargando y asi dar la asignación y destino correcto para el operador del camión, y para el despacho controlar que se haga lo que se planifico.

Con lo cual, se puede ver la información de los equipos de manera remota y dar instrucciones a cada equipo, por ejemplo, la asignación de carguío de un camión. En la figura 2 podemos ver la visualización del despacho de una frente de carguío, con una pala y camiones.

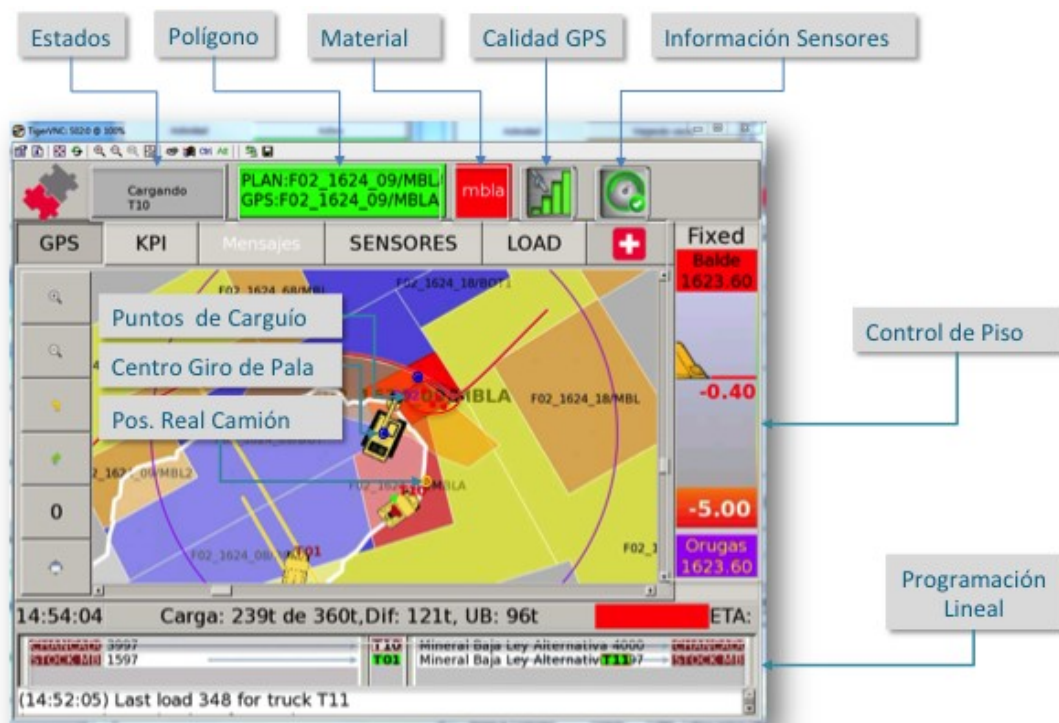


Ilustración 5, Sistema de despacho JIGSA

### e. Despacho planta

El sistema de despacho de la planta (PI) para el caso de Antucoya, es un poco mas complejo en cuanto al monitoreo de equipos, ya que con este se controlan los flujos de material desde chancado las pilas pasando por todos los procesos, por lo cual el control de dichos flujos se hace imprescindible para lograr los rendimientos, y no provocar atochamientos en el camino.

## f. Modelo de Bloques

El modelo de bloques consiste en un archivo de datos con información de identificación única de cada bloque, con los antecedentes de todos los atributos que se consideren convenientes, típicamente leyes y recuperación, asociado a su ubicación espacial. Estos son estimados por geología en base a la información de las muestras de los pozos de tronadura, analizadas en el laboratorio.

En Antucoya las variables analizadas y que se incluyen en el modelo de bloques son:

Cut	Ley de Cobre Total (%)
Cus	Ley de Cobre Soluble (%)
No3	Nitrato (%)
Co3	Carbonato (%)
Zmin	Zona Mineral (Oxido, Limonita Sulfato)
Cal	Calidad (Blando Medio Duro)
Fino	Cobre fino recuperable
Dens	Densidad (ton / m <sup>3</sup> )
Recovery	Recuperación (%)
Ch_net	Consumo de ácido (kg/ton)

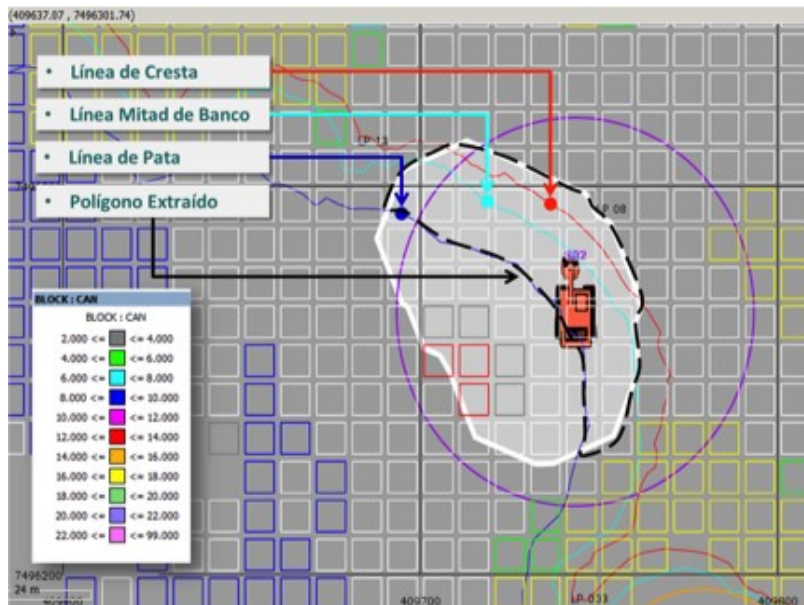


Ilustración 6, Visualización del modelo de bloques en JIGSAW

La información de leyes es estimada a través de distintas metodologías, por ejemplo, interpolación, kriging, etc. En el caso de Antucoya, con dicha información de leyes se calcula la variable de recuperación y la de consumo de ácido, de acuerdo a las ecuaciones metalúrgicas, estando esta última directamente asociada al carbonato contenido en cada bloque, donde siendo más alto el carbonato será mayor el consumo de ácido sulfúrico.

## 6. Metodología

Para determinar dónde y cómo realizar la gestión necesaria para enfrentar este desafío, y buscar oportunidades de productividad, se realiza un análisis 80/20, desde el enfoque de la gestión de los costos de Antucoya, para lo cual se define un modelo de flujos de procesos, desde la mina hasta el cátodo (Ver figura 3), buscando cuáles de los procesos tienen un mayor impacto en el costo global de la compañía.

Como resultado de este análisis, y para el caso específico de Antucoya, se determinó que el costo de operación de la planta representa un 13,8% del costo global del negocio. Y dentro de este costo uno de los insumos más relevantes, es el del ácido sulfúrico, que representa el 30,4% del costo de la planta.

Luego de identificar esta variable como relevante en términos económicos, y con el enfoque de 80/20, se analizó si existían oportunidades o brechas para disminuir los costos y crecer en eficiencia, llegando a la conclusión de que si era posible, ya que existían deficiencias de gestión en el manejo de la variabilidad de la información de la dosificación de ácido correcta, en el momento oportuno, ya que el análisis de la dosificación correcta se estaba realizando con información de forma reactiva a eventos ya ocurridos.

Para esta tarea de eliminar esta brecha, es que decidió que una de las alternativas para gestionar de una forma proactiva la información, y eliminar la variabilidad de dosificación del ácido, es la incorporación y uso de las TIC<sup>4</sup>, en conjunto con interconectar los datos originados en el despacho con el modelo de bloques, utilizando estas herramientas para que la organización se movilice de una forma preventiva y no reactiva, y de forma exacta, no confiando en los promedios.

Para esto se identificó que las fuentes de información son:

- La incertidumbre geológica.
- El modelo metalúrgico.
- La gestión de información de la dosificación de ácido.
- La variabilidad en la aplicación de su dosificación de ácido.

La literatura clasifica a la variabilidad como el enemigo universal de la producción (Shomberger 1986), por lo cual, nuestro esfuerzo debe ir dirigido a al menos conocerla de antemano, y luego tener la capacidad dentro de la organización de gestionarla de forma adecuada, ya que como se presentó anteriormente, la incertidumbre geológica es inherente a este negocio, y es parte de nuestra gestión administrarla.

Este trabajo se enfoca en la gestión de forma efectiva para la disminución de la variabilidad de la información de la dosificación de ácido sulfúrico, a través de la información de los minerales que se alimentarán a la planta, esto es posible disminuyendo actividades que no aportan valor al negocio, y gestionando de forma oportuna y correcta la información precisa, ya que el manejo de esta variabilidad

---

<sup>4</sup> TIC, Tecnologías de información y comunicación

permite tener ahorros en el manejo de inventarios de ácido, y en una disminución de gastos, con una correcta dosificación de ácido.

Dado el alcance de este trabajo, el enfoque estará puesto en la gestión de la información actualmente disponible, en pos de disminuir la variabilidad de dosificación del ácido sulfúrico a través de la gestión de dicha información del modelo de bloques a través del despacho.

Con el fin de entender esta mejora se explicará la gestión actual:

La información para el tratamiento de los minerales, en primer término, se obtiene de las muestras de los sondajes, cuyos datos permiten realizar la estimación de la información de cada bloque del modelo de bloques, denominado de modelo de largo plazo, que sirve para planificar y evaluar un yacimiento, y no para la gestión del corto plazo.

Luego, durante la operación y explotación de la mina, se van realizando perforaciones para realizar la tronadura de la roca, de las cuales se extrae una muestra de mineral, a la cual se le realiza un análisis químico y descriptivo, de información de leyes y calidades, con esto se va generando una gran cantidad de datos, provenientes de las muestras, que, por un lado, va validando la información estimada a partir de los sondajes, y por otro se utiliza para realizar una mejor estimación del mineral existente.

Con todos aquellos datos, se complementa el modelo de bloques de largo plazo existente, y se configura el modelo de corto plazo, con mayor nivel de detalle que el primero, y que se emplea para la planificación de la alimentación de mineral de la planta, en el mediano a corto plazo, presupuestando el fidejazo de cobre a obtener en conjunto con los reactivos a utilizar, para conseguir un mejor retorno del mineral.

Adicionalmente, con la información de los pozos de tronadura, las áreas de geología y planificación generan agrupaciones de minerales denominadas polígonos, esto son definidos de acuerdo con criterios de anchos operacionales, ya sea por el criterio económico o por el contenido de alguna de las leyes de los minerales, esto se realiza por simplicidad para la operación de indicar que es lo que se está extrayendo y así indicar su destino.

Estos polígonos son zonas con anchos operativos para los equipos de carguío, que serán extraídos posteriormente, en dicha zona se determina el destino del material de mina a planta, de mina a stock o de mina a botadero. Todo lo anterior con el fin de simplificar la cantidad de información con que cuenta la operación minera, y así, facilitar la toma de decisiones por parte del despacho, aun cuando ello signifique terminar diluyendo la ley específica del material dentro de los promedios de cada zona operativa, ya que cada una podría llegar a medir 200 x 100 metros aproximadamente.

A continuación, el área de planificación mina, utiliza la información del modelo de corto plazo, para planificar la alimentación de la planta en periodos semanal y diario, a través de sólidos, o polígonos de extracción de las zonas de mineral y lastre según corresponda.

En el caso de Antucoya, la planificación diaria considera la alimentación de 88,000 toneladas de mineral por día, la que se determina de acuerdo con la información del respectivo polígono o polígonos de que se trate, para cumplir con la mezcla a la planta.

Desde este nivel, ya se inicia la gestión de la variabilidad de la dosificación de ácido, ya que en esta instancia es donde se planifican las mezclas para cumplir con un determinado propósito de calidad de los materiales.

En la figura 4, se muestra una distribución de los consumos de ácido sulfúrico en un polígono de mineral, separado por geología, de dimensiones de 140 x 160 metros, y que para este caso la media de la dosificación de ácido sería de 13.6 kg/ton.

Tabla 1, Ejemplo de distribución del consumo de ácido kg/ton en un polígono de tronadura.

8.0	8.0	10.0	10.0	16.0	22.0	24.0	16.0
8.0	8.0	8.0	10.0	16.0	22.0	30.0	16.0
8.0	10.0	12.0	16.0	20.0	28.0	32.0	20.0
10.0	12.0	14.0	14.0	18.0	20.0	19.0	18.0
8.0	10.0	12.0	16.0	20.0	28.0	32.0	20.0
8.0	8.0	6.0	6.0	6.0	8.0	10.0	6.0
8.0	8.0	6.0	6.0	6.0	8.0	10.0	6.0

La información recogida en el proceso explicado anteriormente se difunde a la organización para que se presupueste y prepare la cantidad de aditivos correspondientes a las características de dichos materiales, lo que, en el día a día, se irá adaptando, en términos de las mezclas y calidades, a las condiciones particulares, de acuerdo con la disponibilidad de los equipos, y con el fin de dar cumplimiento al plan semanal planificado. Esta gestión explica en una gran medida, como se va generando la variabilidad en la información.

La planificación de corto plazo, diariamente, informa al despacho las zonas de minerales que serán cargadas para que éste tome control sobre la gestión de alimentación, y se informa la dosificación de ácido que corresponda, a los operadores de la planta.

Cuando existen cambios en la mezcla producto de que un equipo queda fuera de servicio, existe un inconveniente, y se comienza a adicionar ácido de forma incorrecta, ya que al no existir nueva información se sigue aplicando la dosificación de ácido anterior, aunque no es la más adecuada, ni requerida por ese mineral.

Además, como medida mitigatoria del punto anterior, existe el monitoreo de las leyes de los minerales, con las que se calcula la dosificación de ácido, esto se realiza cada 25% del avance de cada módulo de la pila donde es depositado el mineral, es decir con la información de una muestra representativa luego de cada 22 mil toneladas tratadas, pero la información se obtiene, al menos, 6 horas después.

Ya que existen estas desviaciones, se estableció que la información enviada por la planificación del corto plazo del plan diario el día anterior, este se ira contrarrestando con la información del laboratorio, que se toma cada 4 horas, y se va utilizando dicha información hasta que llega una nueva de la siguiente muestra.

Ambas metodologías de dosificación de ácido son transmitidas vía correo electrónico al operador de sala de la planta, que cambia tal dosificación aplicada en el aglomerado, que es donde se emplea el 80% del ácido, con la cual es imposible trazar si este hizo las correcciones de la forma adecuada y en el momento correcto. Sin embargo, se debe reconocer que la metodología de cambio de dosificación tiene una ventaja que puede ser regulada de forma instantánea y con intervalos mínimos de tiempo. Pero esto se realiza de forma manual, con las consecuentes pérdidas de trazabilidad de la información, al ser personas las encargadas de forma rutinaria de ejecutar dicha actividad.

Una de las deficiencias de esta forma de gestionar el ácido esta asociada a que la información es discontinua, ya que se envía una vez al día lo planificado en términos de un promedio y no lo que corresponde a cada zona específica.

Por lo que, ante la eventualidad de identificación de algún cambio de dicho promedio, la respuesta será tardía, porque la trazabilidad que existe no es continua, pues se basa en las muestras de laboratorio que se realizan cada cierto intervalo de tiempo, llegando a ser poco representativa de la realidad del momento.

Además, ya que existe el conocimiento de que la dosificación de ácido sulfúrico tiene una fuerte correlación con las leyes de carbonato, que son variables espacialmente distribuidas dentro del yacimiento, ya que a mayor ley de carbonato existe mayor consumo de ácido, razón por la cual es necesario tener la mejor información de esta variable para dosificar de forma correcta el ácido necesario para obtener la recuperación planificada.

## 7. Desarrollo del tema

El análisis de este trabajo se centrará en mostrar como con el cambio en la gestión de la información de la variabilidad del ácido, impacta al negocio presentando como con la medición y comparación de la variabilidad dosificación de ácido sulfúrico, entre una unidad definida como polígono, o agrupación de bloques y la unidad lo mas pequeña posible, que es un bloque de forma individual,

Para dicho trabajo, lo cual se cuantificará el impacto de una incorrecta dosificación del ácido, sobre una cantidad de información representativa para el yacimiento de Antucoya, en particular, se realizará con información real de dos fases actualmente en operación. Con dicha comparación se realizará una propuesta para mejorar la trazabilidad de la información en conjunto con dar la solución a disminuir la alta variabilidad de la información en la gestión de la dosificación de ácido.

### a. Solución técnica

El problema se genera en sectores donde la información agrupada en un polígono, no es precisa, ya que como vemos en el gráfico 1, existen claramente dos poblaciones de minerales una de alto consumo de ácido sulfúrico y otra de bajo consumo.

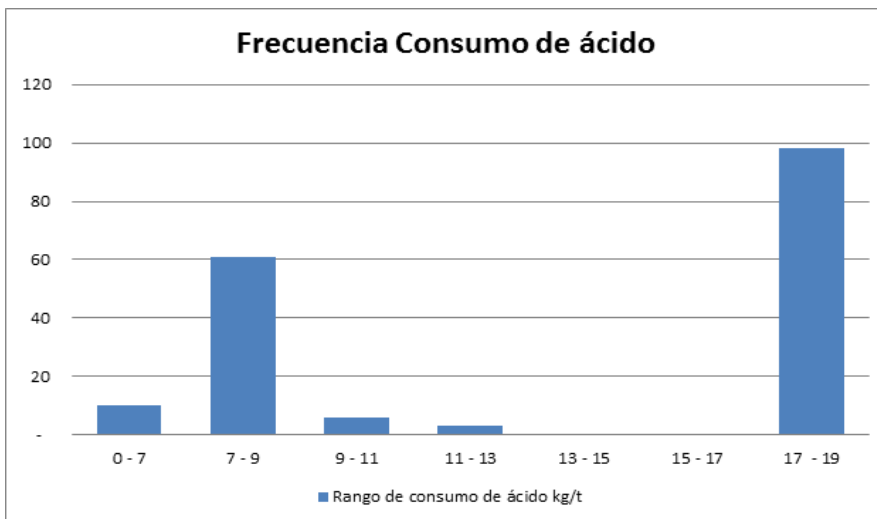


Ilustración 7, Gráfico 1 Frecuencia de consumo de ácido sulfúrico de fase 2

Como se puede observar la distribución muestral del gráfico 1, y las estadísticas de la tabla 1, en este polígono de minerales, se acentúa una incorrecta dosificación a los minerales que rondan los 8 kg /ton ac., se les aplica 13 kg / ton ac. que sería el promedio, y por lo tanto se están perdiendo 5 kg / ton ac., en cambio a los minerales de alto consumo también se les aplica 13 kg / ton ac., con lo cual se pierden aproximadamente 10% de recuperación en dichos minerales.

Tabla 2, Estadísticas de información asociada a un polígono

	Laboratorio	Bloques
Min	8	4
Max	18	22
Promedio	13	15
Dif min - Max	10	18

La solución a este problema se da en base a la utilización de la información ya existente del modelo de bloques, adicionándola a la del sistema de despacho, de una forma mucho mas precisa que actualmente, de un polígono promedio a un bloque, unidad mucho menor. Esto es posible con el uso en línea de la información del modelo de bloques, sobre el lugar desde donde proviene el mineral, con una precisión mucho mayor, que permitiría tener una baja variabilidad en las cantidades correctas de ácido sulfúrico, que requiere cada mineral, consiguiendo un impacto directo en los costos de operación de una planta, ya que la correcta dosificación afecta la recuperación de los minerales oxidados de cobre, y disminuyendo el exceso en minerales que no lo requieren.

El desarrollo de esta nueva herramienta de integración de información permite la gestión de datos puntuales y no del promedio de estos, donde se determina la dosificación del aditivo correspondiente, en este caso, el ácido sulfúrico, sobre la correcta identificación del mineral y de sus leyes, en tiempo real, con la posibilidad de administrar y gestionar dicha información, generando así el máximo retorno.

### b. Desarrollo técnico

Este desarrollo consiste en la transición de la información del modelo de bloques al sistema de despacho, desde un archivo en formato CSV que contiene todos los vértices de un polígono cualquiera que sea, y luego en las columnas respectivas la información que se definió como necesaria para reportar.



Ilustración 8, de archivo con un polígono subido al sistema.



Nuestra propuesta es que, en vez de generar un polígono de grandes dimensiones, donde se le asignen los promedios de información de todos los bloques que se contienen dentro de este, es hacer que la transmisión de esta información se realiza dejando que cada nuevo polígono, como o un bloque individual, lo que se traduce en un archivo, de mayor tamaño.

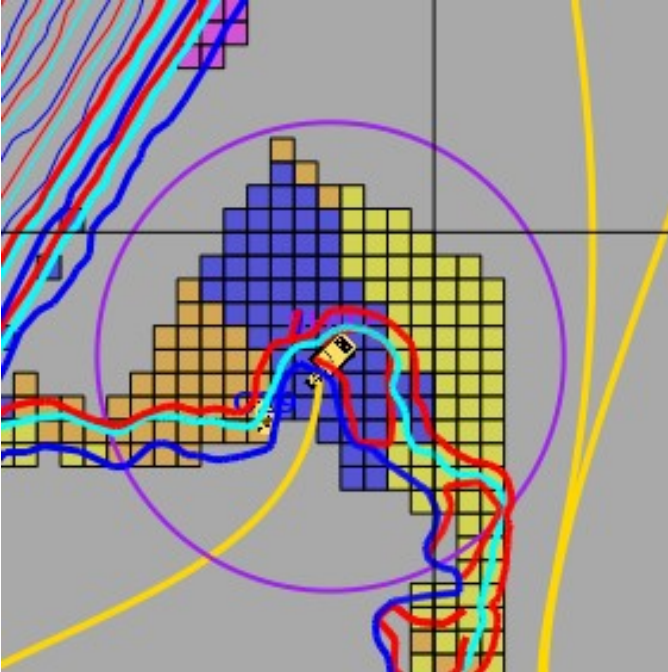


Ilustración 9, de archivo con bloques subido al sistema.

### c. Implementación técnica

En este proceso, existía un gran paradigma asociado a que la densidad de información era imposible de manejar y el sistema no funcionaría, cosa que al realizar las correspondientes pruebas no fue así y el sistema de despacho funciona sin inconvenientes.

Este nuevo archivo es subido por el geólogo de producción de igual forma como con los polígonos, pero conteniendo más información ya que cada bloque es un polígono, en un servidor desde donde el sistema de despacho lo captura y lo visualiza y utiliza para reportar como información de salida. Este archivo se deja en el servidor cada vez que se actualiza el modelo bloques.

Ya que anteriormente este trabajo era para un conjunto de bloques se hubiera requerido un archivo por cada polígono que ahora sería del tamaño de un bloque, sin embargo se desarrolló una herramienta automática desarrollada por un consultor (MAPTEK), donde el geólogo luego de estimar, reporta el modelo de bloques, en un archivo CSV con la nueva información de corto plazo, de un banco en específico por ejemplo, hacia el servidor donde se va actualizando la información cada vez que se realice esta actividad.

Con esto, además, se consideró agregar más variables al sistema de las actuales solo de leyes, se incluyó la calidad de los materiales, permitiendo tener una mayor cantidad de información mucho más precisa, y útil para el tratamiento de los minerales.

Este trabajo de implementación requiere definir la cantidad de información que será levantada al sistema de despacho para no ralentizar en su capacidad de procesamiento de información. Razón por la cual se definió solo generará la información para los sólidos que serán extraídos dentro del plan semanal.

#### **d. Implementación organizacional**

Para la implementación dentro de la organización se considera que se continua con la misma estructura organizacional, en cuanto a los cargos para una correcta implementación continúan siendo los mismos, ya que deben desempeñar funciones necesarias para esta implementación, sin embargo las funciones tendrán algunos cambios, ya que la gestión necesaria será mas automatizada en la transmisión de la información, pero pasa a ser trascendental la función de los geólogos donde se asignaran los destinos y la separación de los minerales para que continúe siendo fácil para la operación la extracción de los materiales.

A continuación, presentaremos la descripción de los roles y sus funciones:

- Geólogo de producción, este rol deberá velar por clasificar los bloques de mineral y de lastre de forma de que sean operativos y contengan la información correcta definiendo si es mineral o lastre según corresponda. Además, deberá generar un reporte cada vez que se actualice la información del modelo de bloques y cargarlo al sistema.
- Planificador de corto plazo, continúa con sus funciones habituales de asignación de las mezclas.
- Operador de la pala, deberá tener una mayor precaución de los destinos de los minerales que se encuentra extrayendo para
- Operador de la sala de planta, seguirá asignando el la dosificación de ácido correcta, pero cada 20 minutos de acuerdo al reporte del despacho de la mina que se genera de forma automática.

## **e. Evaluación económica**

La evaluación económica se realizará dividida en dos partes en la pérdida económica por el exceso de ácido sulfúrico requerido y la pérdida de recuperación de fino de cobre por la merma de ácido aplicado.

### **I. Pérdida por exceso,**

La diferencia que se medirá entre el consumo promedio de un polígono será, restando dicho promedio con el valor del respectivo por bloque, por lo que se asume que cada bloque entre de forma individual a la planta, echo que ocurre en la realidad.

Al realizar la diferencia de consumo en kg / ton ácido, entre lo que se aplica por promedio de cada polígono, y lo que se aplica por bloques podemos ver en la tabla del anexo 3, que en el caso de la fase 2 para un total de 6,6 millones de toneladas, existe una diferencia de 329 toneladas de ácido, y si extrapolamos este resultado a un año de operación que se alimentan 20 millones de toneladas de mineral de fase 2, podríamos aseverar que existe un sobre consumo de ácido de 1000 toneladas aproximadamente.

En el caso de fase 3 al realizar la diferencia de consumo en kg / ton ácido, entre lo que se aplica por promedio de cada polígono, y lo que se aplica por bloques podemos ver en la tabla del anexo 4, para 3,3 millones de toneladas, existe una diferencia de 614 kg / ton ácido, y si extrapolamos este resultado a un año de operación que se alimentan 10 millones de toneladas de mineral de fase 3, podríamos aseverar que existe un sobre consumo de ácido de 1900 toneladas aproximadamente.

El impacto económico lo podemos calcular asociado a un precio de 85 dólares por tonelada de ácido sulfúrico, entonces para fase 2 la pérdida de económica en un año es de 85 mil dólares, y en el caso se fase 3 la pérdida económica es de 161 mil dólares. Por lo que en total es una pérdida de 240 mil dólares por año.

### **II. Pérdida por recuperación.**

La pérdida asociada a la recuperación se medirá, realizando la diferencia entre la recuperación promedio del respectivo polígono, donde se calculará el fino, y luego se sumará el fino de todos los bloques, para calcular dicha diferencia.

Al realizar la diferencia del fino recuperado entre en promedio de cada polígono y el fino recuperado por bloques, podemos ver en la tabla del anexo 5 que en el caso de la fase 2 para un total de 6,6 millones de toneladas, existe una diferencia de 218 toneladas de cobre fino, y si extrapolamos este resultado a un año de operación que se alimentan 20 millones de toneladas de mineral de fase 2, podríamos aseverar que existe una perdida de fino de 650 toneladas de cobre fino aproximadamente.

En el caso de fase 3 al realizar la diferencia del fino recuperado, entre el promedio de cada polígono y el fino recuperado por bloques podemos ver en la tabla del anexo 6

para 3,3 millones de toneladas, existe una diferencia de 126 toneladas de cobre fino, y si extrapolamos este resultado a un año de operación que se alimentan 10 millones de toneladas de mineral de fase 3, podríamos aseverar que existe una pérdida de 378 toneladas de cobre fino aproximadamente.

El impacto económico lo podemos calcular asociado a un precio de 3 dólares por libra de cobre, entonces para fase 2 la pérdida de económica en un año es de 4.3 millones de dólares, y en el caso se fase 3 la pérdida económica es de 2.5 millones de dólares. Por lo que en total es una pérdida de oportunidad de haber ganado 6.8 mil dólares más por año.

#### **f. Impacto en la gestión**

Para la implementación dentro de la organización de este sistema se requiere de una correcta administración del cambio, por lo cual se propone utilizar la metodología propuesta por John Kotter (Liderando el Cambio).

Para planificar la administración del cambio de tal forma que sea efectiva, la comunicación a cada área directamente involucrada, además de una difusión toda la organización para que tenga el conocimiento de esta información y le pueda sacar provecho de acuerdo con las respectivas necesidades y entiendo el funcionamiento, poder evitar pérdidas.

A continuación, se describirá brevemente las funciones de las áreas más relevantes.

En el caso de geología, es necesario asegurar que exista el entendimiento de que la información generada, en el modelo de bloques será directamente la reportada hacia el sistema de despacho y el resto de la organización, ya no será necesario que se publique, como se hacia anteriormente, la zonificación de cada polígono, esta información ahora será asignada de forma automática. Por lo cual deberá ser mucho mas precisa y audita cada tres meses para identificar brechas.

En el caso de el despacho, simplificara sus funciones, ya que ahora existirán solo 3 destinos mineral a planta, stock y estéril, por lo cual hará mas eficiente su gestión. Se medirá cada mes que la asignación y destinos de los materiales sea consistente, y que no tenga una diferencia mayor al 5 %

En el caso de la planta en un principio se deberá realizar la aplicación de la dosificación de ácido de forma manual hora a hora.

En el caso del área de metalurgia se encargará de medir con información mas trazable de forma mensual las diferencias entre el resultado de la recuperación leyes y cobre fino de cada unidad de mineral con la realidad.

#### **g. Nuevas líneas de negocios o desarrollos**

Con este cambio en la gestión de la información, se puede extrapolar hacia el uso de esta metodología, para analizar la dureza del material, y definir si se detienen líneas de chancado al saber que el mineral será más blando, por ejemplo.

Se espera que en un futuro cercano el destino de cada bloque sea despachado de forma automática sin intervención de nadie, la mejora en términos de la autonomía que significa esto y de la eliminación del error humano.

En un futuro, se implementará de forma automática la dosificación del ácido sulfúrico con la integración entre los sistemas de despacho y el PI (sistema de monitoreo de la planta).

## 8. Resultados

Se identificó que la variable de la dosificación de consumo de ácido tiene un impacto importante en el costo del negocio por lo cual se justifica el análisis, para buscar una metodología que gestione dicha variable.

La metodología propuesta al utilizar el modelo de bloques, pero ya no para entregar la información de un promedio, sino que, en la forma de un polígono, haciendo la transformación hacia cada bloque de forma individual versus un polígono, aísla el efecto del promedio, que genera el ruido de la variabilidad.

Al tener la información precisa en cada uno de los bloques, se propuso una solución técnica, que permita mejorar la gestión realizando el enlace entre el despacho y esta nueva unidad, los bloques del modelo, que tengan una geo-referenciación espacial, con los atributos de interés que se determinen, para que sea reportada y monitoreada en línea.

El cambio en la gestión de la información consiste en utilizar la actual tecnología del sistema de navegación de alta precisión, con que cuentan los equipos de carguío, para situarlos dentro del modelo de bloques, es decir se puede tener información segundo a segundo, desde la operación a modo de reporte y de gestión en línea, con la posibilidad mejorar la toma de decisiones sobre ella, con la precisión de un bloque a cada momento.

Este cambio en la gestión de la información tiene impactos en la forma en que geología incorporará la información de los destinos de los minerales, simplificando su función en las separaciones, ya que, en teoría, cada bloque puede ser individualizado con un destino y no requiere ser agrupado; sin embargo, esto por razones operativas no es posible, y se considera que, de todas maneras, habrá dilución, por lo cual el trabajo de geología se hace mucho más relevante en la automatización de la información, pues sería la única intervención que se requerirá con respecto a lo que finalmente reporte el despacho.

El resultado económico de en términos de la pérdida de ácido, y de mejora de recuperación de 7 millones de dólares, puede verse como una cantidad no lo suficientemente considerable, sin embargo, para la magnitud del negocio de Antucoya, esta cantidad es significativa ya que cualquier oportunidad de mejorar el NPV, es importante para un negocio de bajas leyes y de rentabilidad marginal. Además, destacando que la aplicación y la inversión necesaria para esta implementación fue solo de 5 mil dólares, que se pagaron al consultor, el valor generado es considerable.

## 9. Conclusiones

La conclusión principal de este estudio es que podemos indicar que luego de esta implementación se aumentó el valor del negocio de Antucoya en 7 millones de dólares.

Este gran cambio, en la gestión de la información, permitirá tener bajo control la variabilidad del consumo de ácido en la mineralización del yacimiento de óxidos presentes en Antucoya, todo gracias a que el sistema de dosificación de ácido permitirá ser modificado en línea, pudiendo llevarlo al óptimo recomendado por el modelo metalúrgico, aplicando dicho reactivo de forma precisa, sin sobreestimar ni subestimar su consumo, generando ahorros significativos en costos y evitar las pérdidas en términos de cobre recuperado.

Esta metodología permite aumentar el grado de control y la precisión generando un ahorro y evitando pérdidas considerables para Antucoya, además de mejorar la productividad siendo mas eficiente al gestionar los costos en el corto plazo de forma precisa.

Se simplifica la operación en términos de que solo existirán tres destinos de materiales, mineral, stock y lastre, siendo trabajo de planificación mina la asignación de las zonas que se deben enviar a cada destino.

Se hace presente que el trabajo asociado con el modelo de bloques deberá incluir el modelo metalúrgico de consumo de ácido para las distintas especies minerales y asumir la correcta dilución y el ancho operativo mínimo.

Por su parte, la planificación deberá entregar al despacho las zonas planificadas y las respectivas alternativas, en caso de que exista una falla inesperada de algún equipo de carguío.

La dosificación de ácido se realizará de forma automática al producirse la integración del sistema de despacho mina con el sistema de control de la planta.

Por último, es relevante que la reportabilidad de la dosificación de ácido sea en tiempo real y por cada módulo de lixiviación.

## **10.Recomendaciones**

La calidad de la información obtenida con esta metodología permitirá llevar a un nivel mas elevado de gestión de la información ya que permitirá, el desarrollo de modelos fenomenológicos de recuperación donde se podrá obtener con mucha mayor certeza la información predictiva ya que el comportamiento de los minerales será asociado a resultados reales. Por lo cual se recomienda continuar avanzando con esta herramienta haciendo análisis de otras variables y cuantificar las mejoras posibles con esta nueva información.

Se recomienda aplicar esta metodología a cualquier variable que exista en el modelo de bloques, dureza, work index, calidad del material, además permite mejorar la información en la depositación del stock, teniendo una mejor trazabilidad de las leyes, y calidades.

También se recomienda la utilización de IA, con la que, en conjunto con el sistema de la planta y el reconocimiento temprano del comportamiento de los minerales, permita lograr grados óptimos de rendimiento que dada la gran cantidad de información no es posible que sea manejada por personas.



## 11. Bibliografía

- Navegación de alta precisión, Leica JIGSAW J2 Shovel (2011)
- Estimación de recursos Mineros, Marco Alfaro Sironvalle (2007)
- Liderando el cambio John Kotter (1996)
- Administración de proyectos civiles Capítulo 15, Mario Campero, Luis Fernando Alarcón
- <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/tecnologias-de-la-informacion-ycomunicacion-transformando-el-negocio-minero/>

## 12.Anexos

### Anexo 1 - Zonificaciones geológicas de Fase 02 utilizadas para la comparación y el análisis.

Fase	Banco	Disparo	Ton	CuT	CuS	NO3	CO3	Recuperación	CH_Neto	Fino
F02	1576	F02B1576_02	121,623	0.26	0.21	0.10	0.60	78.6%	15.28	250
F02	1576	F02B1576_03	209,444	0.30	0.23	0.10	0.41	83.0%	17.05	518
F02	1576	F02B1576_04	161,449	0.29	0.23	0.09	0.31	83.2%	17.05	392
F02	1576	F02B1576_05	597,841	0.32	0.26	0.10	0.33	82.2%	14.56	1,574
F02	1576	F02B1576_06	171,492	0.25	0.19	0.10	0.32	78.2%	14.45	339
F02	1576	F02B1576_07	783,627	0.35	0.26	0.11	0.62	72.8%	17.05	2,003
F02	1576	F02B1576_08	213,808	0.28	0.20	0.10	0.38	76.8%	16.97	460
F02	1576	F02B1576_09	290,767	0.40	0.32	0.10	0.53	81.0%	17.70	937
F02	1576	F02B1576_10	162,375	0.25	0.20	0.10	0.56	75.2%	14.50	309
F02	1576	F02B1576_11	475,947	0.38	0.29	0.10	0.72	75.7%	17.92	1,364
F02	1576	F02B1576_12	529,594	0.32	0.25	0.12	0.27	82.8%	13.02	1,386
F02	1576	F02B1576_13	470,791	0.44	0.33	0.09	0.32	80.1%	17.21	1,642
F02	1576	F02B1576_14	388,364	0.34	0.28	0.10	0.20	83.0%	11.07	1,094
F02	1576	F02B1576_15	164,896	0.32	0.25	0.10	0.44	76.0%	12.11	401
F02	1576	F02B1576_16	207,266	0.30	0.23	0.10	0.21	77.9%	11.92	487
F02	1576	F02B1576_17	91,248	0.26	0.18	0.10	0.29	78.1%	16.81	182
F02	1576	F02B1576_18	116,061	0.34	0.23	0.10	0.49	72.3%	16.07	283
F02	1576	F02B1576_19	56,485	0.25	0.17	0.10	0.36	73.9%	15.68	103
F02	1576	F02B1576_21	23,812	0.32	0.25	0.10	0.30	81.2%	15.70	62
F02	1576	F02B1576_22	69,564	0.41	0.32	0.11	0.35	80.7%	11.70	228
F02	1576	F02B1576_23	250,347	0.36	0.29	0.10	0.47	83.3%	16.42	760
F02	1576	F02B1576_26	144,972	0.26	0.21	0.10	0.27	82.4%	9.80	309
F02	1576	F02B1576_27	121,623	0.26	0.21	0.10	0.60	78.6%	15.28	250
F02	1576	F02B1576_28	128,656	0.30	0.23	0.10	0.23	78.3%	10.05	299
F02	1576	F02B1576_29	223,887	0.29	0.25	0.09	0.30	85.3%	8.55	552
F02	1576	F02B1576_30	259,709	0.27	0.23	0.10	0.40	84.3%	10.15	588
F02	1576	F02B1576_31	170,348	0.31	0.26	0.10	0.16	84.3%	7.20	441
F02	1576	F02B1576_101	49,046	0.27	0.18	0.10	0.27	70.1%	17.05	95
F02	1576	F02B1576_129	32,204	0.23	0.20	0.10	0.15	84.9%	7.83	64
<b>Total</b>			<b>6,687,247</b>	<b>0.33</b>	<b>0.26</b>	<b>0.10</b>	<b>0.41</b>	<b>79.5%</b>	<b>14.53</b>	<b>17,372</b>

## Anexo 2 - Zonificaciones geológicas de Fase 03 utilizadas para la comparación y el análisis.

Fase	Banco	Disparo	Ton	CuT	CuS	NO3	CO3	Recuperación	CH_Neto	Fino
F03	1640	F03B1640_01	77,167	0.47	0.32	0.10	1.21	55.8%	19.74	204
F03	1640	F03B1640_02	181,264	0.39	0.27	0.11	1.15	59.6%	19.52	425
F03	1640	F03B1640_03	132,785	0.34	0.26	0.10	1.09	66.9%	18.97	306
F03	1640	F03B1640_04	34,899	0.27	0.20	0.10	1.17	63.8%	19.23	60
F03	1640	F03B1640_05	27,941	0.27	0.19	0.10	1.76	50.7%	23.70	38
F03	1640	F03B1640_06	124,876	0.33	0.24	0.10	1.62	52.7%	21.95	216
F03	1640	F03B1640_07	269,304	0.44	0.34	0.10	0.86	74.2%	17.97	870
F03	1640	F03B1640_08	163,315	0.37	0.26	0.10	1.00	64.3%	18.78	385
F03	1640	F03B1640_09	106,973	0.42	0.25	0.10	0.29	63.7%	17.51	288
F03	1640	F03B1640_10	120,383	0.43	0.30	0.10	0.70	66.8%	18.22	345
F03	1640	F03B1640_11	240,033	0.43	0.33	0.10	1.07	68.2%	18.67	701
F03	1640	F03B1640_12	73,816	0.40	0.30	0.10	1.46	62.9%	21.09	185
F03	1640	F03B1640_13	190,678	0.45	0.36	0.10	1.63	63.0%	21.91	543
F03	1640	F03B1640_15	66,544	0.27	0.19	0.10	1.54	56.3%	21.50	100
F03	1640	F03B1640_16	202,773	0.35	0.26	0.10	1.49	61.8%	21.70	433
F03	1640	F03B1640_17	153,312	0.41	0.32	0.10	1.24	65.3%	19.87	413
F03	1640	F03B1640_18	194,658	0.44	0.32	0.10	1.24	61.7%	19.78	527
F03	1640	F03B1640_19	125,252	0.53	0.39	0.10	0.80	72.0%	17.71	476
F03	1640	F03B1640_21	54,298	0.47	0.35	0.10	0.90	72.7%	19.97	185
F03	1640	F03B1640_22	101,277	0.42	0.33	0.10	1.17	71.6%	20.84	302
F03	1640	F03B1640_23	123,099	0.45	0.35	0.10	1.12	70.2%	20.19	390
F03	1640	F03B1640_26	130,070	0.39	0.27	0.10	1.07	63.9%	19.20	325
F03	1640	F03B1640_27	127,397	0.41	0.32	0.10	0.65	78.1%	17.40	409
F03	1640	F03B1640_28	73,059	0.37	0.29	0.10	0.90	78.1%	18.93	211
F03	1640	F03B1640_29	95,839	0.31	0.24	0.13	1.88	56.1%	23.35	167
F03	1640	F03B1640_117	66,035	0.38	0.29	0.10	1.35	60.3%	20.36	152
F03	1640	F03B1640_118	53,706	0.76	0.61	0.10	0.68	80.4%	17.72	327
<b>Total</b>			<b>3,310,752</b>	<b>0.41</b>	<b>0.30</b>	<b>0.10</b>	<b>1.14</b>	<b>66.3%</b>	<b>19.66</b>	<b>8,981</b>

### Anexo 3 – Consumo de ácido requerido de fase 2

Fase	Banco	Disparo	Consumo de ácido por polígono	Consumo de ácido por Bloque
			kg / ton Ac	kg / ton Ac
F02	1576	F02B1576_02	1,859	1,685.33
F02	1576	F02B1576_03	3,571	3,571.43
F02	1576	F02B1576_04	2,753	2,753.03
F02	1576	F02B1576_05	8,706	8,549.46
F02	1576	F02B1576_06	2,477	2,342.53
F02	1576	F02B1576_07	13,361	13,437.59
F02	1576	F02B1576_08	3,628	3,620.69
F02	1576	F02B1576_09	5,148	5,155.65
F02	1576	F02B1576_10	2,354	2,354.50
F02	1576	F02B1576_11	8,529	8,574.67
F02	1576	F02B1576_12	6,894	6,874.46
F02	1576	F02B1576_13	8,103	8,040.37
F02	1576	F02B1576_14	4,299	4,353.11
F02	1576	F02B1576_15	1,996	2,135.52
F02	1576	F02B1576_16	2,470	2,384.78
F02	1576	F02B1576_17	1,534	1,555.46
F02	1576	F02B1576_18	1,865	1,893.48
F02	1576	F02B1576_19	886	868.31
F02	1576	F02B1576_21	374	381.00
F02	1576	F02B1576_22	814	789.92
F02	1576	F02b1576_23	4,110	4,158.78
F02	1576	F02B1576_26	1,420	1,537.01
F02	1576	F02B1576_27	1,859	1,685.33
F02	1576	F02B1576_28	1,293	1,232.42
F02	1576	F02B1576_29	1,914	1,964.86
F02	1576	F02B1576_30	2,636	2,643.21
F02	1576	F02B1576_31	1,227	1,198.83
F02	1576	F02B1576_101	836	836.33
F02	1576	F02B1576_129	252	260.55
<b>Total</b>			<b>97,168</b>	<b>96,839</b>

#### Anexo 4 – Consumo de ácido requerido de fase 3

Fase	Banco	Disparo	Consumo de ácido por polígono	Consumo de ácido por Bloque
			kg / ton Ac	kg / ton Ac
F03	1640	F03B1640_01	1,523	1,505.99
F03	1640	F03B1640_02	3,537	3,444.88
F03	1640	F03B1640_03	2,519	2,509.00
F03	1640	F03B1640_04	671	674.07
F03	1640	F03B1640_05	662	634.98
F03	1640	F03B1640_06	2,741	2,760.46
F03	1640	F03B1640_07	4,840	4,813.63
F03	1640	F03B1640_08	3,068	3,034.79
F03	1640	F03B1640_09	1,873	1,859.34
F03	1640	F03B1640_10	2,193	2,167.11
F03	1640	F03B1640_11	4,481	4,524.53
F03	1640	F03B1640_12	1,557	1,559.54
F03	1640	F03B1640_13	4,178	4,219.99
F03	1640	F03B1640_15	1,431	1,424.45
F03	1640	F03B1640_16	4,400	4,312.43
F03	1640	F03B1640_17	3,046	3,025.11
F03	1640	F03B1640_18	3,851	3,844.12
F03	1640	F03B1640_19	2,218	2,182.90
F03	1640	F03B1640_21	1,084	1,017.98
F03	1640	F03B1640_22	2,110	1,959.97
F03	1640	F03B1640_23	2,486	2,428.57
F03	1640	F03B1640_26	2,497	2,488.60
F03	1640	F03B1640_27	2,217	2,210.13
F03	1640	F03B1640_28	1,383	1,378.18
F03	1640	F03B1640_29	2,238	2,230.86
F03	1640	F03B1640_117	1,344	1,348.61
F03	1640	F03B1640_118	951	925.46
<b>Total</b>			<b>65,100</b>	<b>64,486</b>

## Anexo 5 – Recuperación fase 2

Fase	Banco	Disparo	Recuperación	Fino	Recuperación ajustada a la pérdida por menor	Fino Ajustado a la pérdida por menor consumo
			%	tmf	%	tmf
F02	1576	F02B1576_02	78.6%	250	77.5%	246.28
F02	1576	F02B1576_03	83.0%	518	83.0%	518.15
F02	1576	F02B1576_04	83.2%	392	83.2%	391.87
F02	1576	F02B1576_05	82.2%	1,574	80.7%	1,544.61
F02	1576	F02B1576_06	78.2%	339	76.9%	333.91
F02	1576	F02B1576_07	72.8%	2,003	72.6%	1,997.25
F02	1576	F02B1576_08	76.8%	460	76.7%	459.11
F02	1576	F02B1576_09	81.0%	937	80.8%	934.72
F02	1576	F02B1576_10	75.2%	309	74.0%	304.48
F02	1576	F02B1576_11	75.7%	1,364	75.4%	1,357.50
F02	1576	F02B1576_12	82.8%	1,386	80.8%	1,351.94
F02	1576	F02B1576_13	80.1%	1,642	80.1%	1,641.53
F02	1576	F02B1576_14	83.0%	1,094	80.3%	1,058.91
F02	1576	F02B1576_15	76.0%	401	73.8%	389.01
F02	1576	F02B1576_16	77.9%	487	75.7%	474.01
F02	1576	F02B1576_17	78.1%	182	77.9%	181.48
F02	1576	F02B1576_18	72.3%	283	71.7%	280.29
F02	1576	F02B1576_19	73.9%	103	73.4%	102.56
F02	1576	F02B1576_21	81.2%	62	80.3%	61.51
F02	1576	F02B1576_22	80.7%	228	79.3%	223.62
F02	1576	F02b1576_23	83.3%	760	82.8%	755.60
F02	1576	F02B1576_26	82.4%	309	79.3%	296.95
F02	1576	F02B1576_27	78.6%	250	77.5%	246.28
F02	1576	F02B1576_28	78.3%	299	76.0%	290.13
F02	1576	F02B1576_29	85.3%	552	83.7%	542.14
F02	1576	F02B1576_30	84.3%	588	82.5%	575.37
F02	1576	F02B1576_31	84.3%	441	83.8%	438.17
F02	1576	F02B1576_101	70.1%	95	70.1%	94.56
F02	1576	F02B1576_129	84.9%	64	83.2%	62.58
<b>Total</b>			<b>79.5%</b>	<b>17,372</b>	<b>78.5%</b>	<b>17,155</b>

## Anexo 6 – Recuperación fase 3

Fase	Banco	Disparo	Recuperación	Fino	Recuperación ajustada a la	Fino Ajustado a la pérdida por menor
			%	tmf	%	Tmf
F03	1640	F03B1640_01	55.8%	204	54.7%	199.47
F03	1640	F03B1640_02	59.6%	425	58.9%	420.21
F03	1640	F03B1640_03	66.9%	306	65.8%	301.09
F03	1640	F03B1640_04	63.8%	60	63.1%	59.02
F03	1640	F03B1640_05	50.7%	38	50.1%	37.85
F03	1640	F03B1640_06	52.7%	216	51.3%	210.19
F03	1640	F03B1640_07	74.2%	870	73.5%	861.11
F03	1640	F03B1640_08	64.3%	385	63.3%	378.25
F03	1640	F03B1640_09	63.7%	288	63.4%	286.75
F03	1640	F03B1640_10	66.8%	345	65.8%	340.02
F03	1640	F03B1640_11	68.2%	701	67.1%	688.87
F03	1640	F03B1640_12	62.9%	185	61.8%	181.45
F03	1640	F03B1640_13	63.0%	543	61.5%	529.08
F03	1640	F03B1640_15	56.3%	100	54.7%	97.25
F03	1640	F03B1640_16	61.8%	433	60.7%	425.35
F03	1640	F03B1640_17	65.3%	413	64.4%	407.38
F03	1640	F03B1640_18	61.7%	527	60.9%	520.16
F03	1640	F03B1640_19	72.0%	476	71.6%	473.14
F03	1640	F03B1640_21	72.7%	185	72.4%	184.13
F03	1640	F03B1640_22	71.6%	302	71.2%	300.58
F03	1640	F03B1640_23	70.2%	390	69.0%	383.57
F03	1640	F03B1640_26	63.9%	325	62.7%	318.24
F03	1640	F03B1640_27	78.1%	409	77.6%	406.26
F03	1640	F03B1640_28	78.1%	211	77.1%	208.09
F03	1640	F03B1640_29	56.1%	167	54.4%	162.08
F03	1640	F03B1640_117	60.3%	152	59.1%	148.54
F03	1640	F03B1640_118	80.4%	327	80.2%	326.45
<b>Total</b>			<b>66.3%</b>	<b>8,981</b>	<b>65.3%</b>	<b>8,855</b>