

**Universidad de Valparaíso**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



**Propuesta de mejora al modelo de abastecimiento del ácido  
sulfúrico, caso: Minera Antucoya**

Por

**Gonzalo Duarte Maldonado**  
**Sebastián Vergara Villagrán**

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado  
en Ciencias de la Ingeniería y título de Ingeniero  
Civil Industrial

Prof. Guía Luis Escobar

Agosto, 2018

## ***Dedicatoria***

*Agradezco a mis padres por ser un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, por siempre tener una palabra de apoyo y corregir mis errores, por su constante esfuerzo y consejos los cuales me han ayudado a lograr los objetivos planteados durante estos años y ser una mejor persona.*

*A mi hermano por su apoyo incondicional, consejos, asesoramientos, y por estar siempre cuando lo necesite, además de ser un gran amigo.*

*A mi polola Arlette por insistirme siempre en culminar el proceso, por su gran apoyo y amor incondicional.*

*A la minera Antucoya por permitirme en desarrollar la tesis en sus dependencias y brindarme todas las herramientas necesarias, en especial a Don Ives ya que aparte de ser un gran compañero y siempre tener un consejo acertado, es un excelente amigo con el que siempre puedo contar.*

***Gonzalo Duarte Maldonado***

## ***Dedicatoria***

*Ha llegado el final de una etapa que no hubiera sido posible gracias al constante apoyo de mi familia, mis padres y hermanas, los cuales siempre me han demostrado un apoyo incondicional durante este periodo de estudio.*

*Agradecer a nuestro profesor guía Don Luis Escobar que siempre estuvo dispuesto a ayudarnos con las dudas y desafíos que se nos presentaban, por su orientación, consejos y dirección que nos entregó en la presente memoria.*

*Finalmente agradecer a Dios que me daba la fortaleza para seguir adelante aun cuando todo se viera desalentador.*

***Sebastián Vergara Villagrán***

## Índice

<b>1.</b>	<b>Capítulo. Introducción .....</b>	<b>8</b>
1.1.	Marco referencial de la empresa .....	8
1.2.	Misión.....	9
1.3.	Visión.....	9
1.4.	Valores.....	10
1.5.	Minera Antucoya.....	11
1.5.1.	Historia .....	12
1.5.2.	Operaciones .....	13
1.5.3.	Geología .....	14
1.5.4.	Sistema de Trabajo.....	15
1.5.5.	Visión.....	16
1.5.6.	Misión.....	16
1.5.7.	Organigrama.....	16
1.6.	Formulación del problema .....	17
<b>2.</b>	<b>Capítulo. Objetivos.....</b>	<b>17</b>
2.1.	Resultados esperados .....	18
2.2.	Alcance de la investigación .....	18
2.3.	Metodología de trabajo .....	18
<b>3.</b>	<b>Capítulo. Metodología de la investigación.....</b>	<b>20</b>
3.1.	Revisión Bibliográfica .....	20
3.2.	Recopilación de Datos.....	20
3.3.	Definición del Problema.....	21
3.4.	Estrategia para el levantamiento de datos .....	21
3.4.1.	Técnica en la recolección de datos.....	23
3.5.	Clasificación de la Información .....	24
3.6.	Análisis de la Información .....	24
3.7.	Aplicación de las herramientas de calidad para el análisis exhaustivo de datos obtenidos..	24
3.7.1.	Aplicación de Histograma.....	24

3.7.2.	Aplicación gráfico de consumo .....	24
3.7.3.	Aplicación Diagrama de flujo.....	24
<b>4.</b>	<b>Capítulo. Marco Teórico .....</b>	<b>25</b>
4.1.	La minería en Chile .....	25
4.2.	Electrorefinación del cobre .....	27
	.....	27
	.....	27
4.3.	Principios de la Refinación Electrolítica del Cobre.....	27
4.4.	Descripción general del proceso.....	29
4.5.	Procedimiento para la Electrorefinación.....	29
4.5.1.	Control de los Procedimientos de Refinación.....	30
4.6.	El ácido sulfúrico en la producción de cátodos de cobre.....	31
4.6.1.	Proceso de producción.....	32
4.6.2.	Planta de chancado.....	32
4.6.3.	Flotación y relave.....	33
4.6.4.	Apilado y lixiviación.....	33
4.6.5.	Extracción por solventes (sx) y Electro-obtención.....	33
4.7.	Modelos económicos asociados.....	34
4.7.1.	Lote económico de compra (LEC).....	34
4.7.2.	Modelo ABC de inventario.....	35
4.7.3.	Modelo de rutas.....	36
4.7.4.	Definición de VRP (Vehicle Routing Problem).....	37
4.7.4.1.	Metodologías de solución para sistemas VRP.....	38
4.8.	Aspectos por considerar en la logística del transporte para la minera Antucoya.....	38
4.9.	Modelo Matemático .....	39
4.9.1.	Tipos de modelos matemáticos .....	40
4.9.2.	Simulación método MonteCarlo .....	41
4.9.2.1.	Ventajas y Desventajas.....	42
4.9.3.	Método de Montecarlo .....	43
4.9.3.1.	Distribuciones de probabilidad .....	44
4.9.3.2.	Distribución Uniforme.....	44

4.9.3.3. Distribución Beta.....	47
<b>5. Capítulo. Diagnóstico de la Situación actual. ....</b>	<b>50</b>
5.1. Análisis de las fuentes y consumo del ácido sulfúrico .....	50
5.2. Proceso de obtención de cobre .....	51
5.2.1. Lixiviación en pilas.....	51
5.2.2. Extracción por solvente (SX).....	52
5.2.3. Electro-obtención (EW).....	52
5.3. Descripción del consumo y abastecimiento del ácido sulfúrico .....	54
5.4. Carga del ácido sulfúrico .....	57
5.5. Descarga del ácido sulfúrico.....	58
5.6. Manejo de Ácido Sulfúrico. ....	58
5.7. Análisis de datos.....	62
5.7.1. Datos históricos en la serie de tiempo de consumo. ....	62
5.7.2. Datos ingreso de camiones .....	63
5.7.3. Datos frecuencia vehicular en ruta cuesta.....	65
5.7.4. Datos frecuencia camiones en ruta cuesta. ....	66
5.7.5. Datos niveles de ácido sulfúrico.....	68
5.8. Tarifa de las empresas colaboradoras.....	69
<b>6. Capítulo. Evaluación económica.....</b>	<b>72</b>
6.1 Metodología de resolución .....	72
6.2 Resolución del modelo .....	74
6.3. Análisis de resultados.....	82
6.3.1. Escenarios.....	82
6.3.1.1 Escenario 1 Situación Actual .....	82
6.3.1.2. Escenario 2 Análisis del Personal .....	83
6.3.1.3. Escenario 3 Michilla Único Terminal .....	84
6.3.2 Cuadro comparativo de los escenarios propuestos.....	85
6.4. Evaluación económica.....	86
6.4.1 Archivo digital proporcionado por minera.....	86
<b>7. Capítulo. Conclusiones y recomendaciones. ....</b>	<b>90</b>
<b>8. Capítulo. Bibliografía. ....</b>	<b>92</b>



# 1. Capítulo. Introducción

## 1.1. Marco referencial de la empresa

Antofagasta plc es una empresa chilena que opera en diversos sectores de la economía. Es uno de los más importantes conglomerados de Chile, con inversiones en minería, a través de Antofagasta Minerals, la pakistaní Tethyan Copper Company y Twin Metals Minnesota, ferrocarriles, a través de Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia y Ferrocarril Andino o Empresa Ferroviaria Andina S.A. y aguas a través de Aguas Antofagasta. Cotiza en la bolsa de Londres, formando parte del FTSE 100 desde el año 2004. Su accionista mayoritario es la familia Luksic, que controla un 65% del capital. Antofagasta Minerals es la división minera del Grupo Antofagasta PLC. Se dedica a la producción y venta de productos minerales, principalmente concentrado, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno. También realiza exploraciones en Chile y en otros países para asegurar el crecimiento futuro del negocio.

### **Historia**

El germen del grupo es Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, empresa que se incorporó a la bolsa de Londres (London Stock Exchange) en 1888 con el objetivo de operar la concesión del ferrocarril entre el puerto de Antofagasta, en el norte de Chile y La Paz, la capital de Bolivia.

En 1980 la mayoría del capital de la empresa fue adquirido por el Grupo Luksic con la consiguiente integración de ambas empresas bajo el nombre de Antofagasta Holdings.

Durante la década de los 80 la compañía se diversificó hacia otras áreas de actividad como la minería, invirtiendo en 1983 en la mina de Michilla, en 1986 en la mina de Pelambres o en el sector de las telecomunicaciones con Telefónica del Sur.

En 1996 Antofagasta Holdings se reorganizó transfiriendo las actividades financieras e industriales a Quiñenco, otro conglomerado empresarial propiedad de la familia Luksic. Esta reorganización permitió a Antofagasta concentrarse en el desarrollo de las minas de Los Pelambres y El Tesoro, consiguiendo producir cobre a bajo costo. En 1999 la empresa cambió el nombre y pasó a llamarse sencillamente Antofagasta.

## **Operaciones**

Hoy, Antofagasta Minerals es uno de los mayores productores de cobre a nivel mundial concentrando sus actividades de minería principalmente en Chile y más concretamente en las minas de Pelambres, Centinela, Antucoya y Zaldívar.

Asimismo, cuenta con un importante portafolio de oportunidades de crecimiento, con proyectos ubicados principalmente en Chile y en Estados Unidos donde constan con Twin Metals Minnesota el cual es un proyecto minero subterráneo de metales del grupo del cobre, níquel y platino.

El grupo explota una extensa red de ferrocarriles en el norte de Chile, con el nombre de Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, empresa de la cual controla el 100% del capital y en el negocio del agua en Antofagasta y otras 30 localidades de la zona a través de Aguas Antofagasta, de la cual controla también el 100% del capital.

## **1.2. Misión**

Antofagasta Minerals como empresa tiene la misión de extraer mineral, desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros, relacionados en Chile y el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico.

## **1.3. Visión**

Antofagasta Minerals quiere ser reconocida como una compañía minera internacional con base en Chile, centrada en el cobre y sus subproductos, además de destacar por su eficiencia operacional, creación de valor, alta rentabilidad y como un socio preferido en la industria minera-global.

## 1.4.Valores

Antofagasta minerals tiene como valores integrar aspectos sociales y medioambientales en su gestión y mantener relaciones que fomenten el beneficio mutuo con diferentes stakeholders, incluyendo empleados, socios, empresas contratistas, proveedores, comunidades, sociedad civil y autoridades.

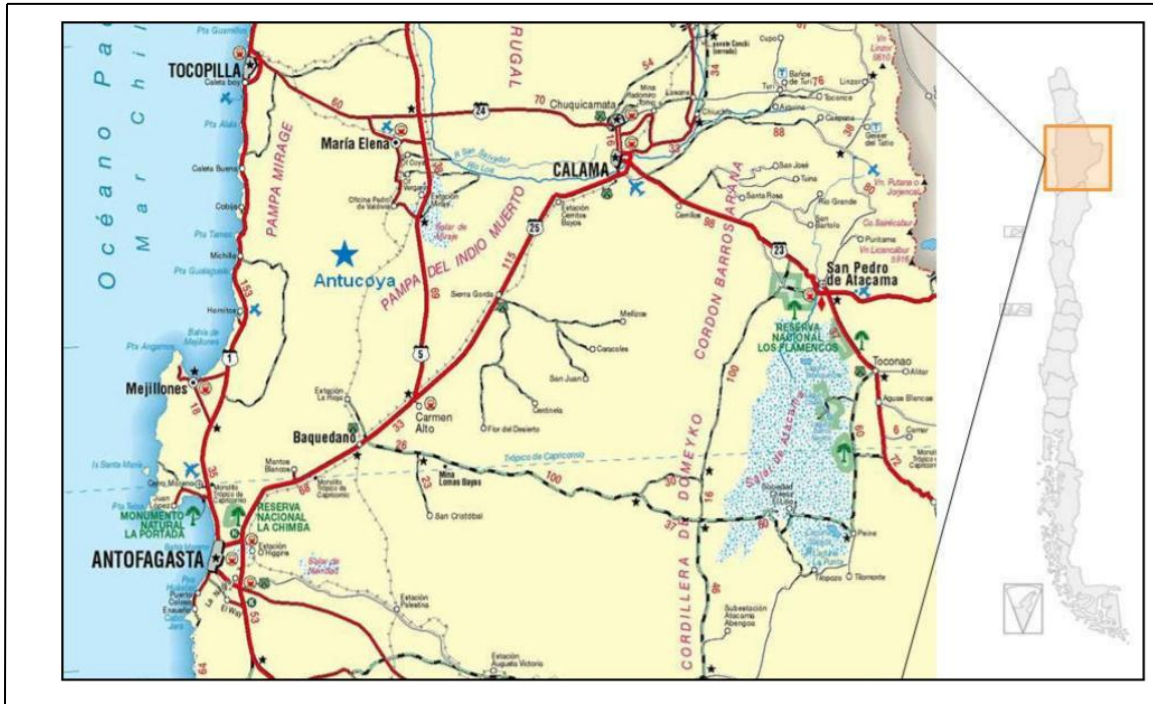
Para cumplir esta meta, el grupo cuenta con una carta de valores que guía el comportamiento empresarial en sus operaciones, proyectos y negocios.

### Carta de valores

- Respeto a los demás: Confiar y respetar a las personas, tener un genuino interés por su bienestar. La opinión es importante y relacionarse de forma abierta y colaborativa.
- Responsabilidad por la seguridad y salud: Ser responsables de la seguridad y salud, identificar y controlar los riesgos que pueden causar una acción.
- Compromiso con la sustentabilidad: Crear valor en lo económico, en lo ambiental y en lo social. Respetando el entorno la forma de relacionarse con ellos de forma proactiva.
- Excelencia en el desempeño diario: Trabajar siempre para alcanzar los mejores resultados a través de la disciplina operacional, siendo austeros, eficientes y cuidando los recursos.
- Innovación como práctica permanente: Reconocer y fomentar las nuevas ideas que permitan mejorar las prácticas de trabajo y la forma de relacionarse con otros, buscando crear valor para la organización, las personas y el entorno.
- Ser visionarios: Ser visionarios al entender que el negocio es de largo plazo, aprender de los errores, tener flexibilidad y el coraje para enfrentar desafíos cambiantes.

## 1.5. Minera Antucoya

Minera Antucoya es una operación ubicada en las comunas de Mejillones y María Elena, a 125 [km] de Antofagasta, a una altura aproximada de 1.700 m.s.n.m. Su ubicación exacta se aprecia en la figura 1.1



**Figura 1.1: Ubicación Minera Antucoya.**

Fuente: Minera Antucoya, 2015.

Actualmente es operada por la compañía Antofagasta Minerals S.A. (AMSA), dueña del 70% de Antucoya, cuyo porcentaje restante es de Marubeni Corporation. AMSA es también la operadora de Minera Los Pelambres, Zaldívar y Michilla, todas ellas productoras de mineral de cobre en Chile.

La construcción del proyecto Antucoya comenzó el 2012, siendo interrumpido el 2013 para reevaluar su factibilidad económica. Una vez retomado el proyecto, la puesta en marcha ocurrió el 2015 y a finales del mismo año logró su primer cátodo.

Su producción objetivo es de 85 [Kton] de cobre fino al año, lo cual debiese cumplirse el 2017 ya que a la fecha de esta memoria aún se encuentra en etapa de ramp-up.

### **1.5.1. Historia**

Los orígenes de Antucoya se remontan a 2006, año en el que se adquirió la propiedad minera perteneciente a la empresa Soquimich, la que unida a Buey Muerto, área colindante de propiedad del grupo, permitieron consolidar la propiedad minera para la explotación del yacimiento Antucoya.

A través de la realización de estudios, se determinó la conveniencia de desarrollar un proyecto independiente en el que se observa un yacimiento de baja ley promedio, pero de gran tonelaje, lo que hace atractivo el desarrollo de un proyecto minero a gran escala.

El 2010, se dio inicio al estudio de factibilidad y ese mismo año se presentó el Estudio de Impacto Ambiental ante las autoridades locales con el propósito de obtener la aprobación ambiental del proyecto, la que se obtuvo en junio del año siguiente.

En septiembre de 2011, se concluyó el estudio de factibilidad y en el mes de diciembre el Directorio de Antofagasta Minerals aprobó la ejecución del proyecto. En ese momento se establece Minera Antucoya y, en paralelo, se inicia el proceso de obtención de financiamiento en esquema de Project Finance.

Durante abril de 2012 se dio el vamos a los trabajos preliminares en el sitio del proyecto con la construcción de caminos y del campamento pionero. En julio de este mismo año se ratifica oficialmente el acuerdo con Marubeni Corporation, por medio del cual el consorcio japonés adquiere el 30% de la propiedad de Minera Antucoya.

En diciembre de 2012, como resultado de los análisis efectuados por algunos equipos de consultores independientes, se decide suspender la ejecución de Antucoya con el propósito de realizar una revisión de la iniciativa, dado el escalamiento de sus costos.

Finalmente, el 27 de marzo de 2013, el Directorio de la Compañía decide retomar el desarrollo del proyecto tras completar la revisión realizada desde diciembre de 2012. Durante este período en que permaneció suspendido, fue posible renegociar los principales contratos de construcción, realizar ingeniería de detalle adicional y actualizar el modelo de recursos mineros gracias a nuevos sondajes.

Esta revisión permitió obtener un mayor grado de certeza y control respecto de los costos de desarrollo del proyecto y de otros parámetros relevantes, así como fortalecer el plan minero, determinando una inversión requerida total de aproximadamente US\$ 1.900.000.

La construcción, iniciada en 2012, llegó a su término el 2015 cuando se da paso la operación en régimen. El primer hito fue el 1 de septiembre de 2015 con la producción del primer cátodo de cobre fino.

## 1.5.2. Operaciones

La operación de Antucoya considera varias etapas, que se irán detallando en orden de ocurrencia.

- Minería a cielo abierto: La extracción se realiza a gran escala en el rajo Antucoya. Allí operan tanto palas eléctricas como hidráulicas además de un cargador frontal, y el transporte se realiza a través de camiones.
- Chancado: Este proceso contempla tres tipos de chancadores: primario, secundario y terciario. Desde la mina el mineral debiese llegar al chancador primario con máximo 66 [cm] y finalizar el proceso por debajo los 12,7 [mm].
- Aglomerado: Una vez chancado el mineral, se introduce en tambores aglomeradores donde se mezcla con ácido sulfúrico y agua de mar. Esto permite que el mineral se sulfate y se forme una mezcla homogénea, que tiene la humedad y calidad física necesaria para el proceso siguiente de apilamiento.
- Lixiviación en pilas: El material se transporta a través de correas y es depositado por un equipo esparcidor en pilas dinámicas de 4 [m] y posteriormente regado con soluciones ácidas que disuelven y arrastran el cobre desde el mineral hasta el fondo de la pila, donde se dispone de un sistema de drenes que recoge la solución desde la pila y la lleva a otro sector a través de canaletas impermeabilizadas. El tiempo de regado de la pila es de 45 días y luego de eso el material se considera agotado.

Una vez que las pilas se agotan, éstas son retiradas por una rotopala y transportado a través de correas a depósito de ripios.

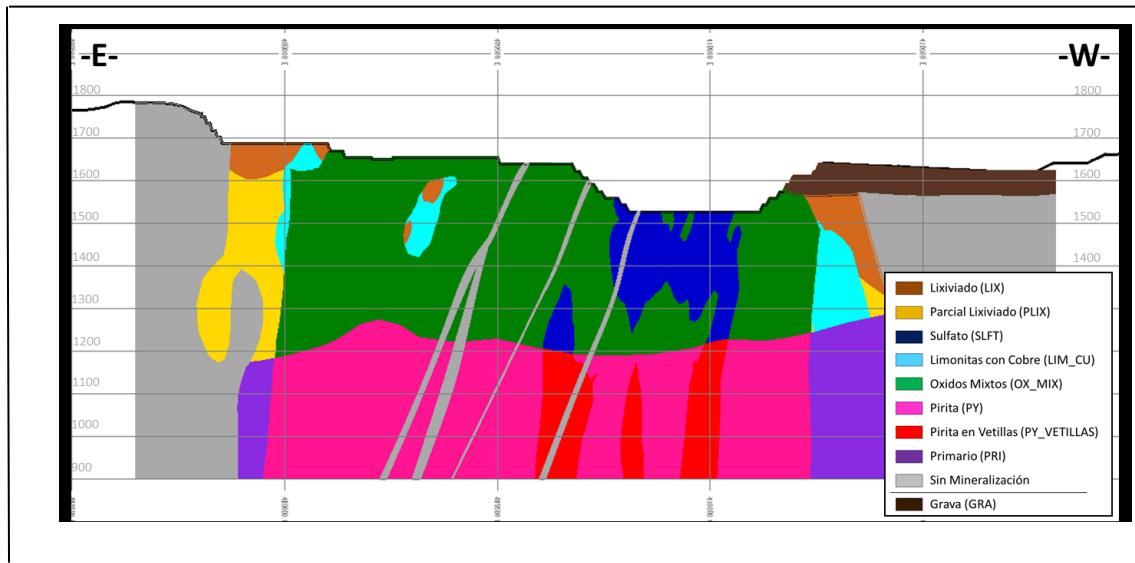
- Extracción por solvente: En esta etapa la solución se libera de impurezas y se concentra su contenido de cobre, pasando de 9 [gpl] a 45 [gpl], mediante una extracción iónica.
- Electro-obtención: Aquí se recupera el cobre de la solución electrolito concentrado para producir cátodos de alta pureza (99,9% de cobre), que son el producto final.

### 1.5.3. Geología

#### Mineralogía y geología estructural

El yacimiento Antucoya corresponde a un pórfido cuprífero, el cual ha sido sometido a intensos procesos supérgenos, llegando incluso a desarrollar una importante mineralización típica de yacimientos exóticos, debido a eventos de hidrólisis, escasa migración de fluidos y entorno de condiciones superáridas.

El modelo de mineralización está compuesto por ocho unidades, las que se han definido a partir de la mineralogía de mena principal presente en el sector. Estas se presentan en la figura 1.2

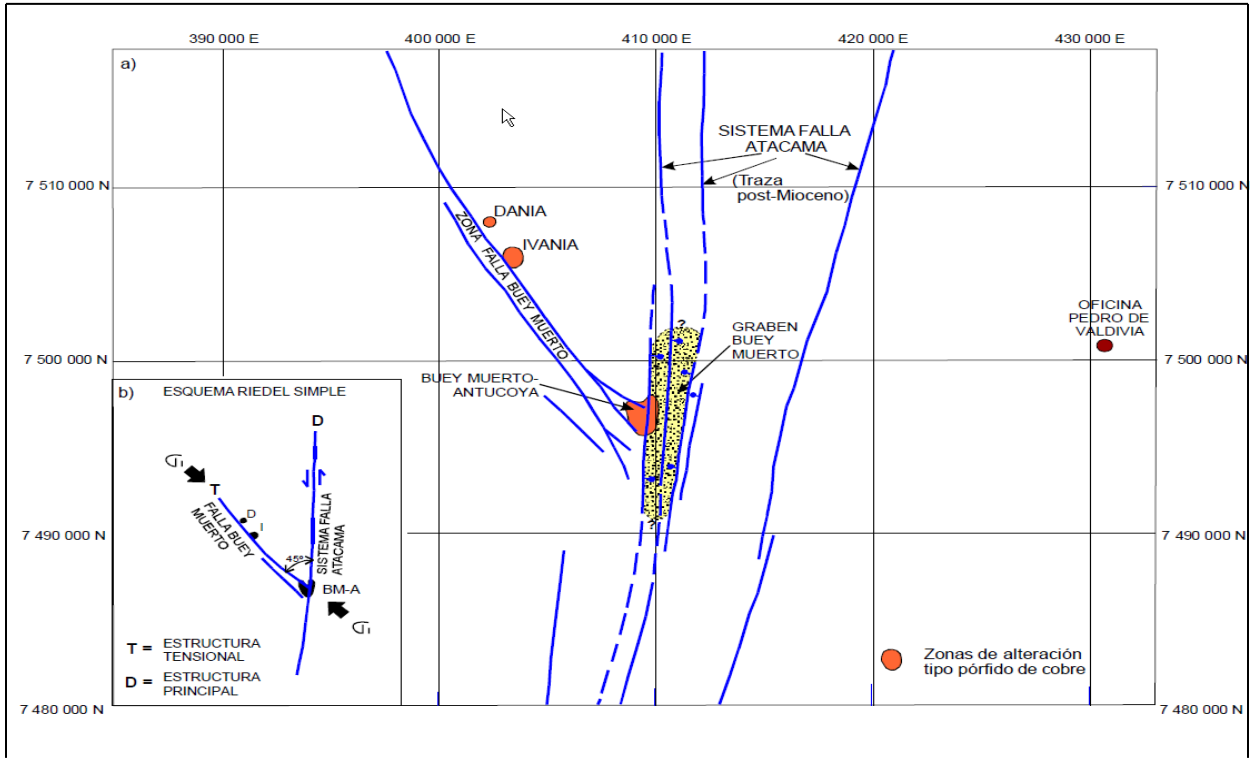


**Figura 1.2: Sección N-7497250. Modelo de Mineralización.**

Fuente: Superintendencia de Geotécnica, Minera Antucoya, 2016, p.12.

La mineralización reconocida en este yacimiento está asociada al complejo intrusivo Buey Muerto y la roca volcánica de caja adyacente a estos pórfidos.

El emplazamiento de estos cuerpos está controlado por la intersección de dos sistemas de falla principalmente: Sistema de Falla Atacama (N-S) y Zona de Falla Buey Muerto (NW-SE), como muestra la figura 1.3. Esto implica que las rocas que se encuentran fuera de este ámbito, tienen poco potencial de mineralización de cobre, ya que no estarían afectadas por este sistema hidrotermal.



**Figura 1.3: Esquema de rangos estructurales mayores.**

Fuente: Superintendencia de Geotécnica, Minera Antucoya, 2016, p.12.

La densidad promedio del yacimiento es de  $2,3 \text{ [ton/m}^3\text{]}$  y se considera una densidad de  $1,8 \text{ [ton/m}^3\text{]}$ , lo que representa un 78% de la in-situ tal como se describió en la metodología.

#### 1.5.4. Sistema de Trabajo

En Minera Antucoya se tiene un sistema de trabajo en faena durante toda la semana de manera continua. Se planifica una contingencia de 15 días, lo que implica un total de 350 días de trabajo al año. Se tiene un sistema de turnos operativos de 12 horas cada uno, por lo que considerando el contra-turno, se tienen 4 grupos de trabajo que van rotando.

Estos turnos son los 7x7 (Días de Trabajo x Días de Descanso) donde se trabajan 12 horas diarias en turno día y noche, de 8:00-20:00 respectivamente.

También se tiene otro sistema de turno administrativo correspondiente al 4x3. Este turno es para supervisores e ingenieros. Se trabaja de lunes a jueves, 12 horas exceptuando el jueves donde se trabajan 9 horas.

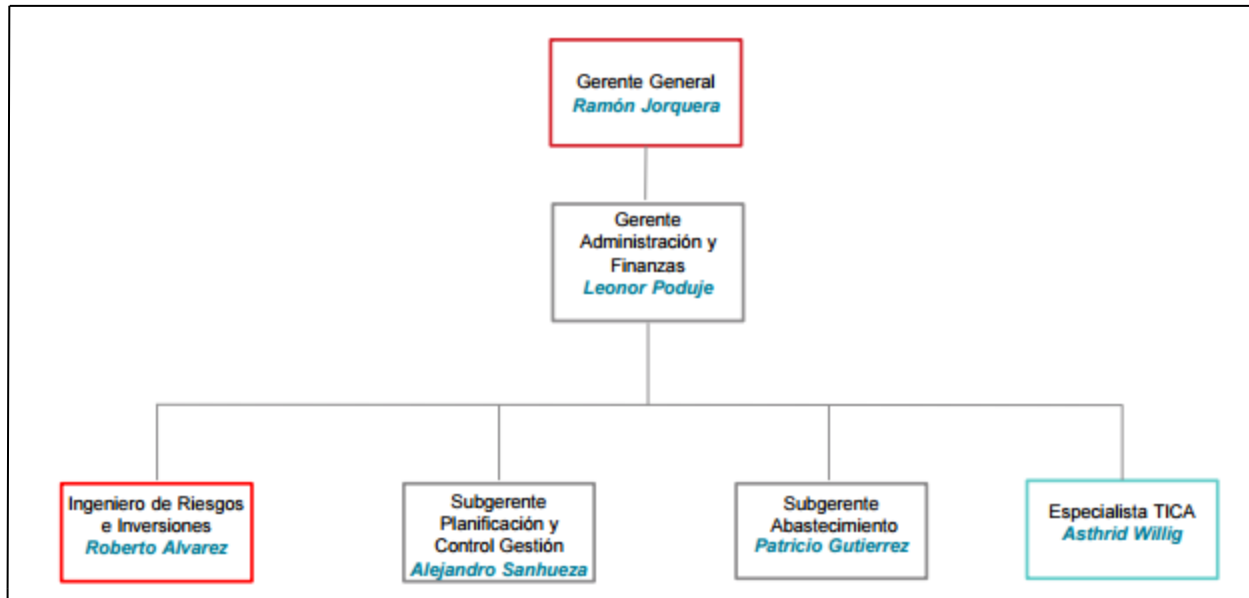
### 1.5.5. Visión

Ser reconocidos como una compañía productora de cobre, que es modelo en seguridad, eficiencia, gestión y respeto por el medio ambiente; que cumple sus compromisos, agregando valor a los accionistas, las personas y la comunidad.

### 1.5.6. Misión

Alcanzar los niveles de diseño de las instalaciones de Antucoya, sin accidentes fatales, cumpliendo los compromisos de producción, reduciendo los costos del presupuesto, con un equipo humano comprometido con los valores del grupo minero.

### 1.5.7. Organigrama



**Figura 1.4 Organigrama**

Fuente: intranet Antucoya

## 1.6. Formulación del problema

Al observar y analizar todo el proceso de abastecimiento del ácido sulfúrico, se nota la necesidad empírica de que no puede existir nunca un quiebre de stock de este elemento ya que esta situación conlleva a la detención de la producción de los cátodos, es decir a la paralización de la minera y con ello grandes pérdidas de dinero, y además de los altos costos que están asociados a todo el proceso de abastecimiento.

Además cabe destacar que para transportar el ácido sulfúrico se carga desde dos terminales, terminal Michilla e Interacid en donde se procede la carga en las plataformas de ácidos, para luego realizar la descarga en la minera Antucoya, todo este procedimiento se realiza con dos empresas colaboradoras en donde el valor cobrado por estas depende de la ruta a utilizar, siendo siempre prioridad la cuesta en vez de la ruta b240 ya que esta última aumenta en un 40% aproximadamente el costo de transporte, la cuesta está restringida en su utilización por horarios y situaciones climáticas, donde por medio de un modelo se busca minimizar los costos de abastecimiento del ácido sulfúrico los cuales son muy elevados, maximizar el uso de la cuesta y los beneficios de la empresa

## 2. Capítulo. Objetivos

Objetivo General: Proponer una mejora al modelo de abastecimiento del ácido sulfúrico de la minera Antucoya con la finalidad de minimizar los costos de transporte.

Objetivos Específicos:

- Disminuir los tiempos en la logística de abastecimiento de ácido sulfúrico.
- Minimizar los costos en la logística de abastecimiento de ácido sulfúrico.
- Optimizar el modelo de abastecimiento de ácido sulfúrico.
- Determinar un modelo de abastecimiento que se ajuste a las características de la demanda de ácido sulfúrico.
- Validar el modelo de gestión de abastecimiento.

## 2.1. Resultados esperados

Al proponer esta mejora en la gestión de abastecimiento del ácido sulfúrico esperamos poder minimizar los costos de transportes que se ven muy elevados, asimismo asegurar a la Minera Antucoya el abastecimiento eficaz de este insumo crítico que permita que las operaciones dentro de la minera se realicen con total normalidad y fluidez evitando quiebres de stock que a la larga se traduce en importantes pérdidas económicas para la empresa.

## 2.2. Alcance de la investigación

El alcance del proyecto se limitará a la minera Antucoya ubicada en las comunas de Mejillones y María Elena dentro del área de abastecimiento, la cual está a cargo de la gerencia de finanzas y abastecimiento, considerando sólo los ítems críticos que se determinarán en la investigación.

## 2.3. Metodología de trabajo

Primeramente a través de la observación se identificó las operaciones que se llevan actualmente dentro de la minera Antucoya, dentro de las cuales en el área logística de la empresa para el abastecimiento de ácido sulfúrico se observó que ocurren en ocasiones “tiempos muertos” en donde los camiones se paralizan y no pueden realizar la descarga del insumo debidamente, esto ocurre en parte por una deficiente coordinación de los camiones con respecto a las rutas que se pueden utilizar, y en este sentido el escoger la ruta más directa y óptima desde los terminales hacia la mina cobra un valor importantísimo dentro de la gestión de operaciones.

Efectivamente existe una ruta que es preferible a las demás rutas para el abastecimiento del ácido sulfúrico y esta ruta se denomina “la cuesta” esta ruta es mucho más directa que las demás sin embargo posee restricciones de diferente índole (climática, horaria, legal, etc.).

En relación con los recursos disponibles de la minera Antucoya en el área de la logística del transporte tenemos lo siguiente:

**Flota de camiones:** Existen 71 camiones para cubrir las demandas de ácido sulfúrico requeridas de la mina, los cuales tienen una capacidad de 27,5 toneladas para transportar el ácido sulfúrico, los cuales deben contar con todos los EPP necesarios y en condiciones de ser operados por los funcionarios.

**Operarios de camiones:** Se realizan turnos rotativos (20x10) en donde los conductores suben a la mina para llevar el insumo, así como también el regreso a las plataformas para volver a cargar en donde no pueden superar dos vueltas, durante el transcurso del día, estos operarios cuentan con licencia profesional para el transporte de carga Clase A5, a que se refiere el artículo 12 de la ley N° 18.290.

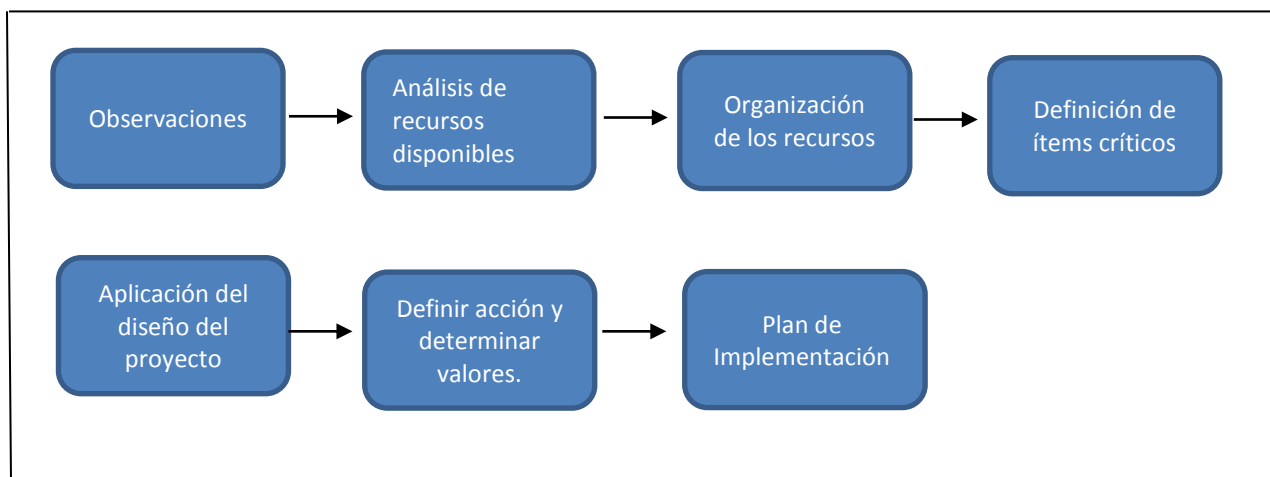
**Ácido sulfúrico:** Este insumo crítico es el que se transporta constantemente en los camiones, el cual es indispensable para la mina, por eso es llamado un insumo crítico. Este debe estar siempre presente para la producción de los cátodos de cobre y en donde los TK nunca deben estar bajo los indicadores establecidos.

**Terminales de carga:** Existen 2 terminales de carga actualmente que son Michilla e Interacid, cada uno cuenta con los implementos necesarios para realizar la carga de camiones la cual tiene un tiempo estimado de 20 min aproximadamente.

**Minera Antucoya:** Lugar final donde llegan los camiones con ácido sulfúrico la cual consta de todas las instalaciones para realizar la descarga de forma segura de este insumo.

Al establecer los ítems que se involucran en el abastecimiento del Ácido sulfúrico en la mina Antucoya se define como ítems críticos los que están susceptibles a ser mejorados con la finalidad de que el proceso sea eficiente en todas sus actividades y tareas.

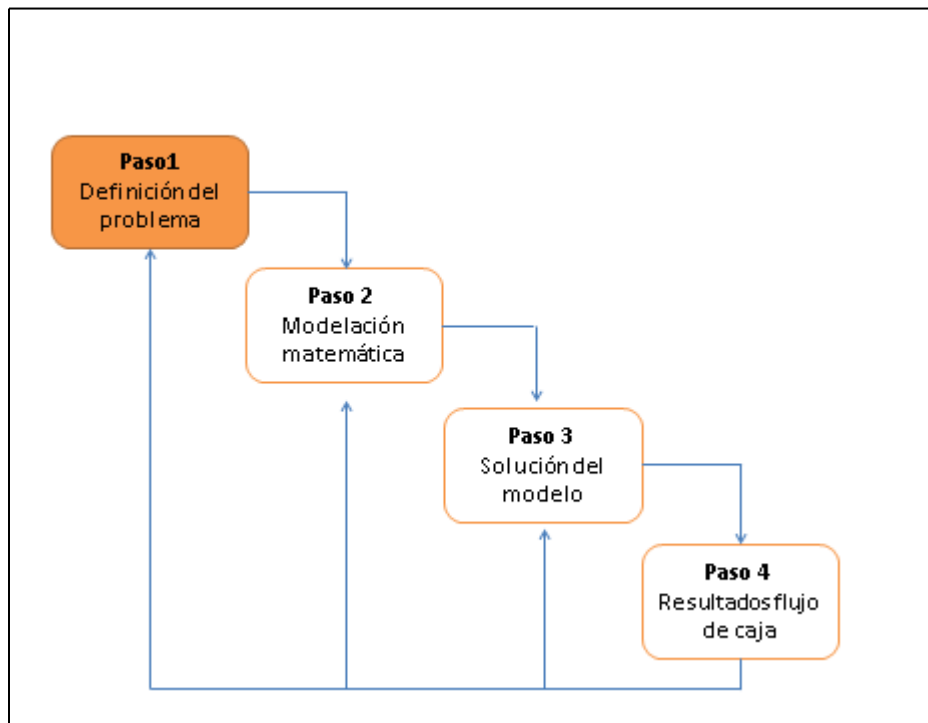
A continuación, se presenta un esquema general de la investigación:



**Fig. 1.6.4 Elaboración propia.**

### 3. Capítulo. Metodología de la investigación

En este capítulo se describirá la metodología que se usará para desarrollar la presente memoria.



**Fig. 2.1 Elaboración Propia**

#### 3.1.Revisión Bibliográfica

El desarrollo de la presente memoria se basará en la recopilación de información por medio de la revisión bibliográfica expuesta en diferentes textos, recolección de datos de la minera y memorias relacionadas sobre el abastecimiento del ácido sulfúrico, niveles de consumo de la mina, sistemas de control y gestión de la logística empleada dentro de todo el círculo minero.

#### 3.2.Recopilación de Datos

Para identificar las deficiencias y vulnerabilidades que existen en el modelo de abastecimiento del ácido sulfúrico, se ahondará en la logística actual que se emplea para el abastecimiento del insumo crítico en la minera Antucoya con la finalidad de proponer mejoras al modelo y bajar los costos asociados.

### **3.3. Definición del Problema.**

Para la definición del problema, es necesario realizar una reunión presencial con el jefe terminal de ácido y subgerente de abastecimiento y contrato que son las personas encargadas del abastecimiento del ácido sulfúrico en la minera Antucoya, para de esta manera poder conocer a cabalidad todo el proceso de logística abastecimiento del ácido sulfúrico, las rutas a utilizar, los terminales y la forma que se realiza la carga y descarga del insumo.

### **3.4. Estrategia para el levantamiento de datos**

La investigación de campo se presenta mediante la manipulación de una variable externa no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o porque causas se produce una situación o acontecimiento particular. Podríamos definirla diciendo que es el proceso que, utilizando el método científico, permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la realidad social (Investigación pura), o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos (investigación aplicada).

Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del investigador, puede manejar los datos con más seguridad y podrá soportarse en diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual manipula sobre una o más variables dependientes (efectos). Por tanto, es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y sus efectos en las conductas observadas.

El uso del término investigación de campo es bastante coloquial. Hablamos de experimentar cuando mezclamos sustancias químicas y observamos la reacción de este hecho, pero también cuando nos cambiamos de peinado y observamos la reacción de nuestras amistades en cuanto a nuestra transformación, también estamos en presencia de un experimento de campo. Cuando los datos se recogen directamente de la realidad se les denominan primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas

condiciones en que se han obtenido los datos, por lo que facilita su revisión y/o modificación en caso de surgir dudas. Conviene anotar que no toda información puede alcanzarse por esta vía, ya sea por limitaciones especiales o de tiempo, problemas de escasez o de orden ético. En materia de investigación de campo es mucho lo que se ha avanzado, puesto que podemos presenciar varios tipos de diseño de investigación de este tipo y, aunque cada diseño es único, cuentan con características comunes, especialmente en su manejo metodológico, lo cual ha permitido clasificarlo en categorías.

- **Concebir la idea a investigar:** La interacción constante con el ambiente permite observar situaciones que a menudo despiertan una serie de interrogantes. En el mundo complejo donde el investigador se mueve, existe un universo de problemas que solo él deberá descifrar. El primer problema será entre varias alternativas, es decir, establecer prioridades al momento de enfrentarse con lo que de ahora en adelante se llamará “Objeto de investigación, problema de investigación o tema de investigación”.

El investigador deberá seleccionar aquel problema que responda a muchas condiciones propias a él, como se explican a continuación:

- **Objetividad:** Se escogerá el problema y lo investigará lo más objetivamente posible, tratando que lo subjetivo no intervenga a priori, para así no distorsionar la investigación y aunque es un tanto difícil desprenderse de esa subjetividad, debe procurar hacerlo. Ello no significa el desprendimiento total de ello, por cuanto a la hora de analizar e interpretar los datos, producto de la recogida de la información por diferentes técnicas de recolección de datos, esa información requerirá de la capacidad de interpretación del investigador, para así determinar los logros que se pretenden alcanzar, cuando utiliza los referentes empíricos (datos, hechos) y que el mismo deberá identificar dentro del proceso de investigación.

- **Agrado del tema:** Es parte del éxito de la investigación. Cuando el tema no es de agrado, existirá una predisposición a que todo lo que vaya a hacer le salga mal, hay desaliento, no hay motivación. Por ello es recomendable que el investigador se compenetre con el objeto, como si se tratara de un matrimonio del sujeto con el objeto.

- **Conocimientos previos sobre el tema:** Es importante que el investigador sea una persona que tenga hábitos de lectura. Esta constancia le permitirá ser conocedor del problema que va a someter a investigación. No es lo mismo partir de la nada que con un conocimiento previo del tema objeto de estudio, pues ello será importante como fuente de información general y así él podrá comparar y determinar cuáles serán las fuentes principales de la investigación.

- **Apoyo documental o bibliográfico:** Es la condición que permitirá brindarle el mayor soporte para lo que se pretende investigar. El material de apoyo significa que el tema ha sido estudiado por otros autores, pero con variables distintas y de ser coincidentes deberá considerarlos en periodos de tiempo diferente o bien, con otros indicadores o referentes empíricos, dentro de las mismas variables. Esta revisión hará que el tema no sea igual a otras investigaciones y que estará con mayor conocimiento para abordar, desde todo punto de vista, la temática seleccionada en ese momento.

### 3.4.1. Técnica en la recolección de datos

Para el registro y análisis de los datos e información referida a la investigación, primero se realizará una auditoría a Minera Antucoya, a través de esta se obtendrán los datos relacionados con el consumo de ácido sulfúrico utilizado en el proceso de sobres de Lixiviación, a su vez se obtendrá información relevante por medio de entrevistas no estructuradas a las personas encargadas en la descarga y carga, además de la gente encargada en el mantenimiento de la ruta denominada cuesta. Posterior a la recolección de datos e información, se procederá a analizar y evaluar los mismos.

- **Registro de Datos de la Empresa:** Constituye la principal fuente de obtención de información, por medio de esta técnica se recopilará la mayor parte de los datos estadísticos de la minera, tales como los niveles de consumo del ácido sulfúrico, los Kpi, políticas de la minera, con el objetivo de conocer el consumo real de la planta.
- **Observación Directa:** Esta fuente permitirá comprobar, verificar e identificar los procesos de carga en los terminales y descarga del ácido por parte de los camiones en la plataforma del ácido sulfúrico para su posterior análisis de tiempos muertos y complejidades que puedan traer estas tareas, además de la observación de la ruta denominada cuesta para ver su complejidad y las restricciones que en esta se presentan, para obtener de forma clara y específica las limitaciones del problema.

### **3.5. Clasificación de la Información**

En esta etapa se ordenará y resumirá la información y/o datos obtenidos por Minera Antucoya.

### **3.6. Análisis de la Información**

El análisis de la información se realizará en base a la información recolectada en la etapa anterior de Recopilación de Datos. Una parte de la información recolectada es de carácter histórica, donde se recolecta información de 6 meses de consumo del ácido por parte de la planta, como las cargas en cada uno de los terminales que realizan los colaboradores, tránsito de la cuesta e información sobre la cantidad de camiones que suben diariamente con el insumo hacia Antucoya. El período de recolección de datos es durante los días hábiles del mes de marzo del 2017, en donde mes a mes se van actualizando.

### **3.7. Aplicación de las herramientas de calidad para el análisis exhaustivo de datos obtenidos**

Se utilizará las herramientas de calidad, con el fin de evaluar y analizar de mejor forma la información y datos obtenidos previamente, para obtener un diagnóstico de la situación actual global, respecto a todos los agentes que se ven involucrados en la logística del abastecimiento del ácido sulfúrico.

#### **3.7.1. Aplicación de Histograma**

Con esta herramienta analizaremos el flujo vehicular que incurre en el tránsito Michilla-cuesta e Interacid-cuesta, además de los horarios con mayor afluencia de camiones descargando en la plataforma de ácido.

#### **3.7.2. Aplicación gráfico de consumo**

Con el gráfico de consumo observaremos la demanda mensual que tiene la planta respecto del ácido sulfúrico para realizar el aglomerado y lixiviación.

#### **3.7.3. Aplicación Diagrama de flujo**

La aplicación del diagrama de flujo la utilizaremos para ver claramente todo el proceso de carga y descarga del ácido en las plataformas ubicadas en la minera Antucoya.

## **4. Capítulo. Marco Teórico**

### **4.1. La minería en Chile**

La minería forma parte de nuestra identidad como nación, y ha sido y sigue siendo clave para el desarrollo del país. Su importancia ha sido evidente durante nuestra historia, es innegable su aporte presente y futuro por ser una industria de largo plazo.

La minería ha sido protagonista de la senda de crecimiento que ha tenido la economía chilena en las últimas décadas. Luego de una producción de cobre estancada en torno a 1,4 millones de toneladas anuales durante los años '80, en la década siguiente se observó un crecimiento sostenido, alcanzando más de 4 millones de toneladas. Posteriormente ese crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción se está acercando a 6 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90 a un 32% en años recientes, y un 30% durante el 2015.

Cabe destacar que el crecimiento se observó tanto en la minería privada de capitales extranjeros y capitales nacionales, como en la minería estatal, dando origen quizás al caso más notable de convivencia entre los tres modelos de propiedad.

Aunque, muy marcado por las fluctuaciones de precios, la participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 9%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los '90, hasta máximos sobre el 20%, en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000. Desde la promulgación del Estatuto de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponden a minería.

Consecuentemente, la inversión en exploración en Chile pasó desde valores por debajo de los 100 millones de dólares anuales, a montos cercanos a 1.000 millones. Este esfuerzo ha permitido, por ejemplo, que Chile mantenga en torno al 30% de las reservas mundiales de cobre.

Por otra parte, la participación de las exportaciones mineras en relación con el total de envíos de Chile sigue siendo la más importante de nuestra economía, el cobre representa más del 90% de las exportaciones mineras del país, mientras que un 55% de las exportaciones corresponden a productos mineros. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación cercana al 15% durante el 2012, presentando una baja durante el 2013 en adelante. Hoy se sitúa en torno al 6%.

Junto con las condiciones jurídico–institucionales, reforzadas por el marco de estabilidad democrática y consensos políticos, el despegue de la minería también se hizo posible por la calidad de su capital humano. Nuestra gente, especialmente en el norte, posee una sólida cultura y tradición minera y una creciente formación técnica en nuevas tecnologías, a la que las empresas dedicaron importantes recursos en la capacitación de sus trabajadores, específicamente a través de la creación del Consejo de Competencias Mineras durante el 2012, constituyéndose en el primer skill Council de Chile, siendo un aporte fundamental en la formación de capital humano, ya que une al mundo de la educación técnico-profesional, con el de la industria, de manera que los organismos de educación ofrezcan formación de clase mundial para los perfiles requeridos por las empresas del sector y sus principales proveedores de operación, incrementando así productividad de la industria.

Un último factor que cabe destacar y que facilitó la expansión minera es la adecuada infraestructura vial, portuaria, energética y de comunicaciones, que en parte ha sido provista a partir de la propia actividad minera.

Mirando hacia el futuro, una cartera de proyectos mineros en ejecución por 15 mil millones de dólares y de proyectos en evaluación por otros 35 mil millones, sitúa al sector en las puertas de una importante fase de expansión, que por cierto requiere la superación de diversos desafíos. Al respecto, en los últimos años se han observado limitaciones a la competitividad de la minería chilena en aspectos tales como caída en la ley mineral, disponibilidad y costo de energía, disponibilidad de agua, productividad del capital humano y certeza jurídica de las autorizaciones. Es un desafío superar estas limitaciones para que la minería profundice su aporte al país y continúe siendo motor del desarrollo nacional.

## 4.2. Electrorefinación del cobre

Es la disolución electroquímica de los ánodos impuros de cobre, para permitir que el metal se deposite en forma selectiva y con máxima pureza sobre cátodos de cobre.

La electrorefinación tiene dos objetivos:

- Eliminar las impurezas que dañan las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre.
- Separar las impurezas valiosas del cobre. Éstas pueden ser recuperadas después como subproductos metálicos.

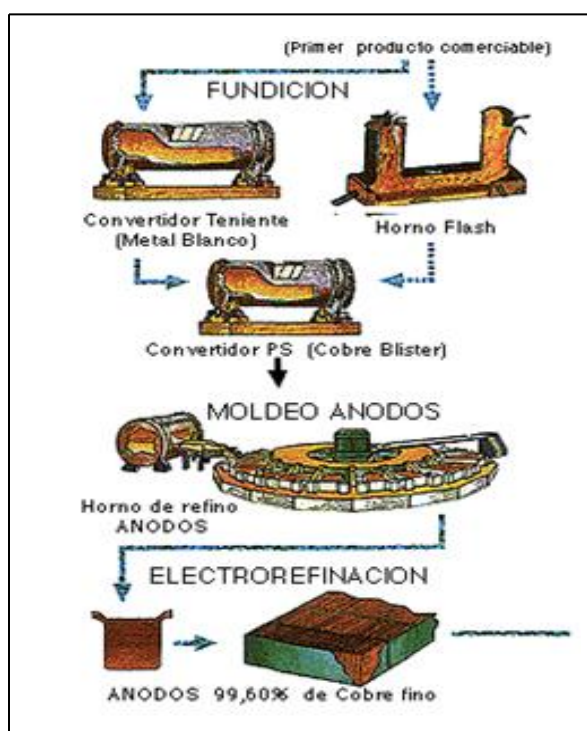


Fig. 4.2 Fuente: Internet proceso de electrorefinación

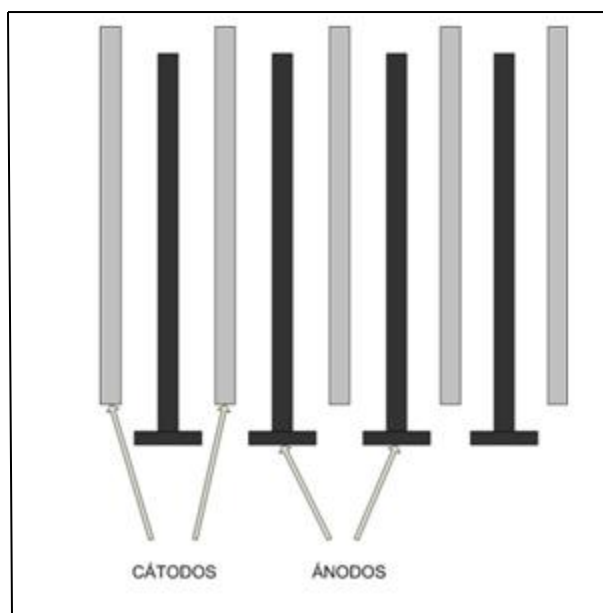
## 4.3. Principios de la Refinación Electrolítica del Cobre.

La aplicación de un potencial eléctrico entre un ánodo de cobre (electrodo positivo) y un cátodo de cobre (electrodo negativo), sumergidos en una celda que contenga una solución de

sulfato de cobre ácida, origina que tengan lugar las siguientes reacciones y procesos:

- a) El cobre del ánodo se disuelve electroquímicamente dentro de la solución con lo que se producen cationes de cobre, más electrones.
- b) Los electrones producidos por la reacción son conducidos hacia el cátodo a través del circuito y suministro de energía externo.
- c) Los cationes  $\text{Cu}^{2+}$  en la solución, emigran por difusión y convección hacia el electrodo negativo (cátodo).
- d) Los electrones y los iones  $\text{Cu}^{2+}$  se recombinan en la superficie del cátodo para producir el cobre metálico que se deposita sobre el cátodo.

En síntesis, se produce la disolución electroquímica del cobre del ánodo; la migración de electrones e iones de cobre hacia el cátodo, y el depósito de cobre sobre la superficie del cátodo.



**Fig. 4.3 referencial de cátodos y ánodos**

Fuente Internet: cátodos y ánodos esquema

#### **4.4.Descripción general del proceso.**

La electrorefinación se lleva a cabo mediante el sistema múltiple (paralelo), en el que ánodos y cátodos están intercalados en un acomodo eléctricamente en paralelo en el interior de la celda electrolítica. Con este sistema, todos los ánodos están a un solo potencial eléctrico y todos los cátodos están en otro potencial más bajo. Cada ánodo está colocado entre dos cátodos, de manera que se disuelven electroquímicamente a velocidad similar.

Las celdas están conectadas en serie para formar secciones. Cada serie, de 26 a 42 celdas, constituye una parte independiente que puede ser aislada eléctrica y químicamente para las operaciones de colocación y retiro de electrodos, limpieza de residuos y mantenimiento.

Las secciones están conectadas eléctricamente para que la tensión total sea del orden de 100 a 250 V dependiendo del equipo de rectificación CA/CD de la planta. Las celdas de refinación electrolítica están hechas de concreto reforzado (en forma de bloques o de monolito), revestidas con plomo antimonial (de 3 a 6 % de Sb) o láminas de PVC blando. En años recientes ha habido una tendencia hacia el uso de revestimientos y materiales de tubería orgánicos para toda la refinería, particularmente cloruro de polivinilo. Estos materiales son más ligeros que el plomo y su resistencia al deterioro en un medio ácido es satisfactoria.

#### **4.5. Procedimiento para la Electrorefinación.**

La electrorefinación comienza con el flujo de electrolito a través de la hilera o sección de celdas de la refinería recientemente limpiadas, seguida por la colocación en grupo de un conjunto completo de ánodos y cátodos en cada celda.

En las refinerías modernas, los ánodos y los cátodos están cuidadosamente espaciados por medio de grúas de posición fija, lo que disminuye considerablemente las probabilidades de un corto circuito accidental.

Una vez instalados los ánodos y cátodos, se conecta la energía eléctrica y el cobre se corroe gradualmente en los ánodos para depositarse sobre los cátodos. Lo usual es que un ánodo permita producir dos cátodos, proceso que se extiende por 12 a 14 días.

Al final de un ciclo, cada ánodo ha sido disuelto electroquímicamente en casi el 85 %. Los restos de los ánodos sin disolver (desperdicio o chatarra) se retiran de las celdas y después de lavados, se funden y se vuelven a vaciar como ánodos nuevos. Se retira el electrolito de las celdas y los residuos del ánodo se canalizan hacia un sistema de donde se recolectan y desde donde son transportados a la planta de recuperación de metales preciosos. Entonces comienza de nuevo el ciclo de refinación.

Los cátodos finales pesan entre 100 y 165 kg., lo que facilita su manejo posterior.



**Fig. 4.5 Cátodos de cobre. Fuente: minería del cobre internet**

#### **4.5.1. Control de los Procedimientos de Refinación.**

Los factores técnicos más importantes en la electrorefinación son:

- a) Pureza del cátodo.
- b) Producción.
- c) Consumo de energía por toneladas de cátodo.

Las variables más importantes que determinan estos parámetros son:

- a) Calidad del ánodo (uniformidad en la forma y peso).
- b) Condiciones del electrolito (pureza, temperatura, velocidad de circulación).
- c) Densidad de corriente del cátodo.

El control del espaciamiento entre los electrodos y la prevención de cortocircuitos también son importantes.

#### **4.6. El ácido sulfúrico en la producción de cátodos de cobre.**

Chile es el país minero más intensivo como consumidor mundial de ácido sulfúrico, debido a la producción hidrometalúrgica de cátodos de cobre SX-EW, que representan un 37% de la producción chilena de cobre mina y un 66% de la producción mundial de cátodos SX-EW. Buena parte de su demanda es satisfecha localmente desde las fundiciones de cobre y el resto es necesario importarlo.

Hacia el decenio 1999–2008 la producción de cátodos SX-EW se incrementó en 600.000 toneladas, con lo que su participación en la producción total de cobre mina creció del 31% al 37%. La producción hidrometalúrgica de cobre supera a la producción de cobre refinado por la vía pirometalúrgica (fundición y refinería) desde 2001. De esta forma, en Chile la producción de cátodos mantiene su tendencia creciente, acercándose en 2008 a 2.000.000 toneladas.

En la actualidad el ácido sulfúrico es imprescindible para la purificación del cobre en su grado máximo, es decir, para generar cátodos de cobre sx-ew, dicho producto, que tiene finalmente un contenido superior al 99,99% de cobre, es el resultante del refino electrolítico de ánodos de cobre. Su proceso de producción está garantizado bajo la norma ISO 9002 y su calidad está dentro de la denominación cu-cath-01, bajo la norma en 1978:1998 para esto, se necesitan grandes volúmenes de ácido sulfúrico.

El tema es de suma importancia, tomando en cuenta que Chile es el principal productor mundial de este tipo de cobre refinado. Solamente en el año 2004, Chile produjo 1,64 millones de toneladas de cátodos de cobre sx-ew exportados a las principales potencias industriales del mundo.

Por otra parte, los cátodos de cobre se aplican fundamentalmente en la producción de alambro de cobre de alta calidad, aunque también se utiliza para la elaboración de otros semitransformados de alta exigencia.

Este ácido además se comercializa para la producción de:

- Abonos y fertilizantes.
- Productos químicos (industria de la pintura).
- Metacrilatos.
- Industria de detergentes.
- Procesos electrolíticos.
- Tratamientos de aguas.
- Industria del curtido.
- Galvanotecnia.
- Fabricación de explosivos.

#### **4.6.1. Proceso de producción.**

Se utiliza el método de explotación a rajo abierto. Los bancos de la mina tienen una altura de 15 metros y sus ángulos generales de talud varían entre los 38 y 53 grados. Las rampas de transporte del rajo han sido diseñadas con un ancho de 30 metros, de modo que permitan la circulación de vehículos de gran tonelaje.

Una vez ejecutada la tronadura, el material extraído es cargado en camiones y, dependiendo de su ley, se envía al botadero de estéril (acopio para material sin ley), al dump leach (botadero para material de baja ley que se somete a lixiviación sin pasar por chancado), o al proceso de chancado primario (material de alta ley, donde comienza el proceso de extracción del cobre).

#### **4.6.2. Planta de chancado.**

El mineral extraído se transporta en camiones de 250 toneladas a una tolva de alimentación del chancador primario, a una tasa de aproximadamente 60 mil toneladas por día. Este mineral de alta ley alimenta a un chancador primario giratorio.

El material que sale desde este chancador es enviado a los chancadores secundarios, desde donde a través de cintas transportadoras se envía hacia el área de stock pile, para luego pasar al área de pre-harneado y chancador terciario. Desde aquí, de acuerdo con su tamaño o

granulometría, se selecciona el material que será derivado a pilas de lixiviación o al proceso de flotación.

#### **4.6.3. Flotación y relave.**

El material fino de bajo tamaño es enviado a las celdas de flotación, donde se mezcla con agua, cal, colectores y espumantes. Esta mezcla se agita y produce burbujas que llevan a la superficie las partículas de cobre adheridas a ellas; para luego pasar a los espesadores y por un filtro que extrae el exceso de humedad, constituyéndose en concentrado de cobre.

El material que queda de este proceso (cola o relaves) se transporta por gravedad a través de una tubería de 4 kilómetros hasta el depósito de relaves, donde se produce la evaporación de agua, quedando finalmente sólo material sólido.

#### **4.6.4. Apilado y lixiviación.**

El mineral chancado se envía por correas transportadoras hacia el área de apilamiento, donde es depositado en una pila de 2.100 metros de largo por 650 metros de ancho y una altura de 9 metros, para luego ser irrigado por goteo con una solución de ácido sulfúrico al 4%. Posteriormente, la solución ácida es percolada.

El cobre de los minerales sulfurados se recupera por lixiviación bioquímica, utilizando bacterias naturales del mineral. La solución obtenida se lleva a una piscina (PLS) y de allí, por gravedad, hasta la planta de extracción por solventes.

Una vez lixiviado el material, se retira de la pila mediante un sistema de roto-pala y es depositado en el área de pilas de rípios, donde permanecerá hasta el cierre de la faena.

#### **4.6.5. Extracción por solventes (sx) y Electro-obtención.**

En esta etapa del proceso, y luego de pasar por tanques y filtros, el cobre es transferido desde el área de lixiviación a una solución purificada denominada electrolito, que luego pasa a la etapa siguiente de electro-obtención.

El electrolito es cargado en celdas de la planta de electro-obtención, donde la corriente eléctrica que circula entre las placas de ánodos y cátodos induce al cobre a depositarse en los cátodos, obteniéndose cobre de alta pureza.

Una vez fuera de la planta, los cátodos son transportados vía ferroviaria hacia el puerto de Antofagasta, desde donde son enviados a los destinos finales correspondientes.

## 4.7. Modelos económicos asociados.

A fin de poder abastecer oportunamente el insumo crítico (ácido sulfúrico) para la obtención de cátodos de cobres tenemos los siguientes modelos económicos que se pueden aplicar:

### 4.7.1. Lote económico de compra (LEC).

El lote económico de compra LEC es una herramienta que optimiza y minimiza los costos de administración de los inventarios. Esta herramienta nos ayudará a definir cuál es la cantidad óptima de compra que se debe realizar de un producto de tal manera que el costo de posesión del inventario y el costo de la elaboración del pedido, sean lo menor posible.

El modelo utiliza la suposición de que la tasa de demanda en un período es constante, sólo se puede llegar a esta conclusión luego de hacer un análisis de la demanda del producto en varios períodos sucesivos. Esto es muy importante porque al proponer una cantidad constante de producción, se dejaría de satisfacer la demanda de varios períodos o, por otro lado, los niveles de inventario podrían elevarse demasiado, lo que haría que el costo para la empresa aumentará en lugar de disminuir que es lo que el modelo busca hacer.

Para calcular el LEC primero se debe establecer un punto de reorden, éste es el mínimo de inventario que debe existir en el almacén, en éste punto es donde se debe de realizar el pedido quedando de esta manera:

PUNTO DE  
REORDEN

D = demanda diaria (la cantidad necesaria diaria para poder operar)

IS = inventario de seguridad

M = Tiempo de entrega del proveedor (Cantidad de días que tarda en abastecer)

$$PR = (D + IS) \times M$$

Cálculo del LEC:

LEC

V = Costo del pedido (costo en que se incurre en cada pedido).

U = Demanda en el período (Es la cantidad requerida para poder operar)

C = Costo de Mantenimiento (Es el % de costo por almacenaje, custodia y gestión

con respecto al costo)

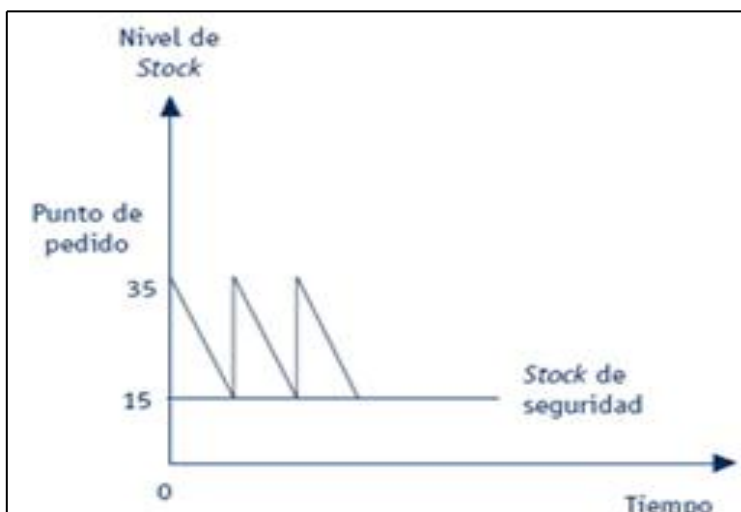
P = Precio unitario

LEC =

Raíz cuadrada de =  $\sqrt{\frac{2(V)(U)}{(C)(P)}}$

Al resultado de la división se le aplica raíz cuadrada y el resultado es la cantidad de unidades adecuadas para realizar solicitud de compra.

En la figura 4.7 que se muestra a continuación se ve definido como es que opera el modelo LEC, en donde se mantiene un stock de seguridad constante a fin de reponer de forma segura y confiable el insumo (ácido sulfúrico) que podría ser requerido y se prevé de forma oportuna su suministro. Es así como en el ejemplo se muestra que cuando el stock baja a 15 unidades se debe reponer el inventario para no generar pérdidas ni tiempos ociosos.



**Fig. 4.7 Marketing Lote económico**

Fuente: LEC modelo económico ilustración internet

#### 4.7.2. Modelo ABC de inventario.

El sistema de Costes Basado en las Actividades ABC (Activity Based Costing), es un modelo que permite la asignación y distribución de los diferentes costes indirectos, de acuerdo con las actividades realizadas, pues son éstas las que realmente generan costes. Este sistema nace de la necesidad de dar solución a la problemática que presentan normalmente los costes estándar, cuando no reflejan fielmente la cadena de valor añadido en la elaboración de un producto o servicio determinados, y por lo tanto, no es posible una adecuada determinación del precio.

El modelo de coste ABC asigna y distribuye los costes indirectos conforme a las actividades realizadas en el proceso de elaboración del producto o servicio, identificando el origen del coste con la actividad necesaria, no sólo para la producción sino también para su distribución y venta; la actividad se entiende como el conjunto de acciones que tiene como fin el incorporar valor añadido al producto a través del proceso de elaboración. Complementando la definición de actividad, debe mencionarse que el Modelo ABC se basa en que los productos y servicios consumen actividades, y éstas a su vez son las generadoras de los costes.

### **4.7.3. Modelo de rutas.**

El sistema de transporte es el componente más importante para la mayoría de las organizaciones, debido a que el éxito de una cadena de suministro está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuados. El transporte es el responsable de mover los productos terminados, materias primas e insumos, entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas. Igualmente, el transporte es uno de los puntos clave en la satisfacción del cliente. Sin embargo, es uno de los costos logísticos más elevados y constituye una proporción representativa de los precios de los productos. Los costos asociados con el transporte son altamente representativos en la cadena de suministro y están involucrados directamente con la relación que se tiene con proveedores y clientes. Debido a lo anterior, para una administración efectiva del sistema de transporte es necesaria la utilización de un sistema de asignación de rutas enfocado a la optimización del proceso de distribución de personas y mercancías cuyo objetivo principal es minimizar tiempos y costos en el proceso de entrega y recogida y en general los costos totales de toda organización, agregando valor al producto a entregar.

La finalidad de la planificación del transporte es hallar la solución óptima para llevar la cantidad correcta de producto desde su origen al lugar adecuado, en el tiempo necesario y al mínimo costo posible. Una manera de optimizar los costos por transporte es el cálculo de las rutas. En el mercado ya existen medios que calculan rutas eficientes, como por ejemplo software que permiten:

- Cálculo de tiempos, distancias e itinerarios.
- Posicionamiento de sitios con GPS (sistema de posicionamiento global).
- Búsquedas de direcciones y sitios.
- Edición de caminos y rutas: nombre, numeración, código postal, sentido de circulación y giros permitidos.
- Creación de nuevos caminos y rutas.
- Bloqueo de zonas y caminos prohibidos al tránsito.

-Ajuste de velocidades.

Para una administración efectiva del sistema de transporte es necesaria la utilización de un sistema de asignación de rutas, enfocado a la optimización del proceso de distribución de personas y mercancías cuyo objetivo principal es minimizar tiempos y costos en el proceso de entrega y recogida y en general los costos totales de toda organización, agregando valor al producto a entregar. Tomando como centro el problema de distribución, vale la afirmación citada por González Vargas y González Aristizábal (2006), en cuanto a que *“el problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos, y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. Esos potenciales ahorros justifican en gran medida la utilización de técnicas de investigación operativa como facilitadoras de la planificación, dado que se estima que los costos del transporte representan entre el 10% y el 20% del costo final de los bienes”*. Dentro de este problema del transporte es necesario determinar el tipo de recurso a utilizar, la cantidad y las rutas a seguir, lo que se denomina problema de ruteo. En la literatura se tratan varios métodos para la optimización de redes logísticas centradas en el transporte urbano de personas y mercancías como: TSP (problema del agente viajero: traveling salesman problem), CPP (chinese postman problem) y finalmente el VRP (enrutamiento o ruteo de vehículos: vehicle routing problem) que es generalizado para problemas con capacidad definida. Cada uno de ellos permite diseñar rutas de transporte para varios vehículos, que visiten varios puntos específicos, y para entregas que se encuentran dispersas geográficamente. El problema de enrutamiento o ruteo de vehículos VRP data del año de 1959 y fue introducido por Dantzig y Ramser, Cinco años después, Clarke y Wright (1964) propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para resolverlo. Y es así como se dio comienzo a grandes investigaciones y trabajos en el área de ruteo de vehículos. La metodología VRP es poco usada por los operadores logísticos en el país, quienes utilizan su experiencia para programar cada una de las entregas con sus vehículos a los clientes; debido a esto se presentan errores en el desarrollo de las rutas que afectan el servicio prestado. Uno de estos casos es la programación excesiva de la capacidad de los camiones (sobrepeso) la cual no permite que se realicen todas las entregas a tiempo

#### **4.7.4. Definición de VRP (Vehicle Routing Problem).**

El problema de asignación de rutas (VRP) es el nombre dado a todas las clases de problemas en donde un conjunto de rutas para una serie de vehículos tiene como origen uno o varios depósitos que se encuentran ubicados geográficamente, y deben atender un número de clientes o ciudades. El objetivo del VRP es minimizar el costo de las rutas, que inician y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas. Los constantes cambios a los que se han visto sometidas las industrias del transporte y la logística durante los últimos años, junto con los nuevos requerimientos relacionados con el aumento de complejidad de las estrategias de planificación, han propiciado la aparición de nuevos problemas de rutas de vehículos, como variaciones y restricciones que generan una “familia”

de VRP. Muchos de ellos incluyen restricciones complejas como pueden ser de precedencia y carga, aunando elementos que antes pertenecían a campos perfectamente diferenciados.

#### **4.7.4.1. Metodologías de solución para sistemas VRP.**

Para solucionar los diferentes tipos de VRP se utilizan las siguientes técnicas:

- Métodos de aproximación exacta. Se incluyen los métodos de ramificación y acotamiento (branch and bound) y ramificación y corte (branch and cut). Son algoritmos de ramificación y acotamiento que pertenecen a una variedad de estrategias de partición para resolver modelos de optimización global. Estos algoritmos se encargan por un lado de mantener un límite inferior y superior (global) del valor óptimo de la función objetivo; o por otro, encontrar las restricciones vulneradas.
- Métodos heurísticos. Realizan una exploración limitada en el espacio de soluciones. Producen soluciones razonablemente buenas con tiempos de computación modestos. Su construcción parte de crear de forma gradual una solución factible a la vez que trata de minimizar el costo pero de por sí no tiene una fase de mejora.
- Métodos Meta heurísticos. Son métodos que realizan una exploración intensiva del espacio de soluciones. La calidad de las soluciones de estos métodos es mucho mayor que la obtenida por los heurísticos clásicos.

#### **4.8. Aspectos por considerar en la logística del transporte para la minera Antucoya.**

1. Red flexible. Las decisiones de la cadena de suministro y de producción afectan a la economía del transporte. Por medio de una comprensión de toda su red se deben evaluar y rediseñar las cadenas de suministro de manera que los proveedores, productores, distribuidores estén alineados con las líneas ventajosas de fletes que permiten reducir costos y mejorar el servicio.

2. Fijar presupuestos y medir el progreso. Como se dice habitualmente, si no lo puedes medir, no lo puedes administrar ni controlar. Se debe comprender el presupuesto de transporte y administrar con mucho cuidado. Realizar controles considerando líneas, tasas, servicios y

modos e incluir indicadores claves de performance (KPIs). Una administración cuidadosa garantiza una mejor visibilidad de la red a medida que ocurren los cambios.

3. Mejorar las estrategias del proceso. Utilizar las redes de transporte para mejorar el cross docking y oportunidades de postergación (postponement) para reducir los tiempos de entrega y mejorar el cash flow.

4. Negociar las limitaciones de precio y capacidad largo plazo. Equilibrar el precio con la capacidad de expansión del distribuidor a medida que crece su negocio.

5. Optimizar el cumplimiento de entrada. Asegurar que sus gastos de flete sean adecuados. Exigir el cumplimiento de las guías de ruta para disminuir los gastos no planificados de transporte.

6. Mejorar la planeación del transporte. Si paga por el espacio, úselo. Es importante conocer las ubicaciones de los puntos de carga y descarga, el tamaño y la naturaleza de la mercancía que se transportará para hacer un uso más eficiente de cada metro cúbico de espacio de carga.

7. Perfeccionar la consolidación de salida. Asegurarse que ingrese toda la carga que pueda en cada contenedor y verificar que se optimizan en todos los fletes y modos.

8. Optimizar la visibilidad. Desde la recepción de la orden hasta la entrega final, conocer qué ocurre todo el tiempo en todo el proceso y anticiparse a las acciones que se deben realizar.

9. Corregir los procesos de ejecución. Sólo pague lo que acordó en el contrato. Auditar constantemente los embarques para asegurarse que cumplen con todas las condiciones que usted y sus socios acordaron de antemano.

10. Integrar. Considerar los procesos de transporte y comercio como un proceso integrado para entender cómo impactan entre sí.

#### **4.9. Modelo Matemático**

En muchos casos la construcción o creación de modelos matemáticos para la logística de abastecimiento útiles sigue una serie de fases bien determinadas:

-Identificación de un problema o situación compleja que necesita ser simulada, optimizada o controlada y por tanto requeriría un modelo matemático predictivo.

-Elección del tipo de modelo, esto requiere precisar qué tipo de respuesta pretende obtenerse, cuáles son los datos de entrada o factores relevantes, y para qué pretende usarse el modelo. Esta elección debe ser suficientemente simple como para permitir un tratamiento matemático asequible con los recursos disponibles. Esta fase requiere además identificar el mayor número de datos fidedignos, rotular y clasificar las incógnitas (variables independientes y dependientes) y establecer consideraciones físicas, químicas, geométricas, etc. que representen adecuadamente el fenómeno en estudio.

-Formalización del modelo en la que se detallarán qué forma tienen los datos de entrada, qué tipo de herramienta matemática se usará, como se adaptan a la información previa existente. También podría incluir la confección de algoritmos, ensamblaje de archivos informáticos, etc. En esta fase posiblemente se introduzcan también simplificaciones suficientes para que el problema matemático de modelización sea tratable computacionalmente.

-Los resultados obtenidos como predicciones necesitan ser comparados con los hechos observados para ver si el modelo está prediciendo bien. Si los resultados no se ajustan bien, es común volver a la fase 1.

Es importante mencionar que la inmensa mayoría de los modelos matemáticos no son exactos y tienen un alto grado de idealización y simplificación, ya que una modelización muy exacta puede ser más complicada de tratar que una simplificación conveniente, y por lo tanto resultar menos útil.

También es importante recordar que el mecanismo con el que se desarrolla un modelo matemático repercute en el desarrollo de otras técnicas de conocimientos enfocadas al área sociocultural.

#### **4.9.1. Tipos de modelos matemáticos**

**Modelo cuantitativo:** Es aquel cuyos principales símbolos representan números. Son los más comunes y útiles en los negocios.

**Modelo cualitativo:** Aquel modelo cuyos símbolos representan en su mayoría a cualidades no numéricas. Una fuente importante es la teoría de conjuntos.

**Modelo Probabilístico:** Son aquellos basados en la estadística y probabilidades (donde se incorpora las incertidumbres que por lo general acompañan nuestras observaciones de eventos reales).

**Modelo Determinístico:** Corresponde a aquel modelo cuantitativo que no contiene consideraciones probabilísticas.

**Modelo Descriptivo:** Cuando el modelo simplemente describe una situación del mundo real en términos matemáticos, descripción que puede emplearse para exponer una situación con mayor claridad, para indicar cómo pueden reajustarse o aún para determinar los valores de ciertos aspectos de la situación.

**Modelo Optimizador:** Corresponde al modelo ideado para seleccionar entre varias alternativas, de acuerdo a determinados criterios, la óptima.

Los modelos de cualquier clase, sin importar su refinamiento y exactitud, pueden probar ser poco prácticos si no están respaldados con datos confiables. Si se distorsionan las estimaciones, la solución obtenida, pese a ser óptima en un sentido matemático, en realidad será de calidad inferior desde la perspectiva del sistema real. En consecuencia, la disponibilidad de datos puede tener un efecto directo en la precisión del modelo. La recopilación de datos puede ser la parte más difícil para determinar un modelo y desgraciadamente no se pueden sugerir reglas para este procedimiento.

Por lo común los modelos matemáticos son de índole iterativa, vale decir, se llega a la respuesta final en pasos o iteraciones y cada iteración acerca la solución al nivel óptimo, pero no todos los modelos matemáticos poseen algoritmos de solución que converjan al nivel óptimo por dos razones:

El algoritmo de solución converge al nivel óptimo solo en teoría. La convergencia teórica señala que hay un límite superior finito, pero sin indicar cuán alto puede ser ese límite. Por lo tanto, se puede gastar horas y horas de computadora sin alcanzar la iteración final. La complejidad del modelo matemático puede hacer imposible idear un algoritmo de solución. Por lo tanto, el modelo puede mantenerse no factible en términos de cálculo.

Entendiendo la gran ayuda que puede proporcionar un modelo matemático en la logística de la distribución del ácido sulfúrico en la minera Antucoya, se hace necesario definir con exactitud un modelo que pueda permitir visualizar claramente todas las variables que participan en la gestión de abastecimiento con el propósito de evaluar cada una de ellas y establecer las mejoras que sean correspondientes que en términos concretos permitiría a Antofagasta Minerals un ahorro considerable del presupuesto estimado, optimizando los recursos con los que se cuenta y siendo eficiente a la hora de tomar decisiones para la empresa.

## **4.9.2. Simulación método MonteCarlo**

La simulación tiene una gran importancia en nuestro mundo actual:

- Modelos a escala.

- Túneles de viento.
- Canales de agua.
- Emergencias o catástrofes.
- Simuladores de vuelo, que recrean condiciones virtuales.

La Realidad Virtual se ha presentado como una nueva herramienta que favorece las técnicas de simulación. En la actualidad se utiliza la simulación para predecir las consecuencias que tendrá la toma de una decisión determinada, en las cuales ayuda en distintas áreas tales como Control de Inventarios, planes de mantenimiento, localización de Recursos, predicción de Ventas o Demanda, etc.

La simulación permite resolver problemas complejos, aunque lo que obtendremos será una aproximación de la solución, se debe considerar que no todos los problemas son abordables mediante simulación.

Simular tiene como objetivo duplicar características y comportamientos propios de un sistema real. Debido a esto es que se simulará el problema relacionado con el alto costo que se tiene en el abastecimiento del ácido sulfúrico a través de la construcción de modelos matemáticos que representen de forma fidedigna la realidad.

La utilización de modelos matemáticos permite:

- Introducir nuevas variables.
- Hacer variar sus valores.
- Analizar las consecuencias de estas modificaciones.  
con la finalidad de tomar la decisión óptima al problema.

La simulación permite abordar desde problemas sencillos hasta problemas muy complicados. Algunos de estos problemas permiten una solución “a mano” aunque la mayoría de los casos requieren el uso de modelo matemáticos para luego ser simulados.

#### **4.9.2.1. Ventajas y Desventajas**

Ventajas:

- Es un método directo y flexible.
- Existe un amplio abanico de programas y lenguajes destinados a simular.
- Cuando el modelo matemático es demasiado complicado la simulación permite obtener una aproximación.
- La simulación nos permite formular condiciones extremas con riesgos nulos.
- La simulación no interfiere con el mundo real. Permite experimentar.
- Permite estudiar la interacción entre las diferentes variables del problema.

- Mediante la simulación podemos “influir en el tiempo” de los procesos.
- La simulación permite resolver problemas que no tienen solución analítica.

Desventajas:

- Una buena simulación puede resultar muy complicada, gran número de variables.
- Cada simulación es única, interviene el azar.

El problema explicado con anterioridad, relacionado con el óptimo abastecimiento de ácido sulfúrico en la Minera Antucoya minimizando los costos de transporte, será simulado utilizando el método Montecarlo, a fin de encontrar la óptima solución, debido a todas las ventajas que nos ofrece la simulación y ayudar gratamente en la toma de decisiones.

### 4.9.3. Método de Montecarlo

El método de Montecarlo permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias.

John Von Neumann, en los años 40 y con los primeros ordenadores, aplica la simulación para resolver problemas complejos que no podían ser resueltos de forma analítica.

El método consiste en realizar una generación de variables aleatorias que representan la ocurrencia de eventos para una distribución de probabilidad asumida. Por ejemplo, para el evento instalación de moldajes se le asigna una duración para la cual la actividad es completada. Esa duración corresponde a la generación de una variable aleatoria (número real) y esa variable aleatoria debe seguir la distribución de probabilidad asumida con anterioridad. Entonces para cada una de las iteraciones se tendrán distintas duraciones para la misma actividad que en su conjunto seguirán la distribución de probabilidad que se asumió. Se hace este mismo procedimiento para cada una de las actividades que son parte del modelo matemático o simplemente para aquellas que tienen un mayor impacto en el desarrollo del modelo, esto según el nivel de detalle que se quiera alcanzar.

Como esto es un método de simulación, para que funcione correctamente se deben conocer todas las variables que definen el problema, relaciones lógicas e interacciones para que el resultado sea confiable. Lo relevante del método es que, como es una simulación, se puede hacer correr el modelo las veces que sea necesario para generar diferentes escenarios modificando las variables constituyentes del problema.

Propiedades de convergencia de probabilidad de grandes muestras demuestran que para un estimador  $\hat{\theta}$  de un parámetro  $\theta$ , que perfectamente puede ser la duración de una actividad, se acerca a medida que el tamaño de la muestra aumenta. Es decir cuando la

muestra tiende a infinito ( $n \rightarrow \infty$ ), la probabilidad del estimador, es el parámetro ( $P(\hat{\theta}) = \theta$ ). La ley de los grandes números aporta estabilidad a la generación de fenómenos aleatorios, sin embargo si estos fenómenos aleatorios son generados de mala forma entregarán una simulación pobre también (Barreto et al., 2006). Para efectos de esta memoria se asumirá que la generación de números aleatorios es aceptable.

Montecarlo es utilizado en el área financiera y es perfectamente aplicable a la generación de presupuestos. En los plazos de un proyecto también es aplicable ya que para las duraciones de las actividades existen distribuciones de probabilidad que las definen, tales como la propia distribución, beta o triangular, según la información disponible. La estimación de los tres valores es la forma más usada para contrarrestar la falta de información en práctica, donde los expertos asignan valores al peor, al más probable y al mejor caso para cada duración de una actividad en un cronograma, o un estimado de costo en el presupuesto. Empero, si así lo desea, el planificador puede ajustar los tres valores a una distribución de probabilidad tal como una Log-Normal, beta o triangular. Lo anterior se puede realizar fácilmente usando software de gestión de proyectos, tales como Microsoft Project o Primavera, junto con complementos de simulación de Montecarlo como @Risk, Risk+, o Oracle Crystal Ball.

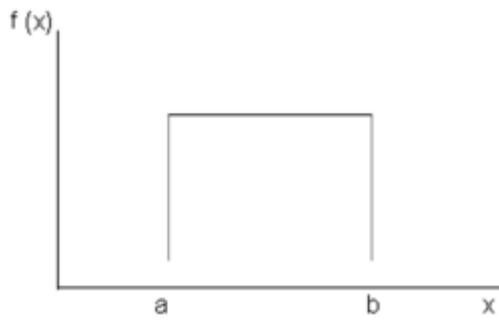
#### **4.9.3.1. Distribuciones de probabilidad**

Para saber lo que es una distribución de probabilidad primero hay que conocer lo que es una variable aleatoria. (Lapin, 1983) en su libro “Probability and statistics for modern engineering” define variable aleatoria como una función que muestra cada evento asociado a un espacio muestral. Por ejemplo, la suma de los puntos de dos dados o la cantidad de tiempo que se demora una actividad en ser completada. Además el autor del libro agrega que los niveles de una variable aleatoria, junto con sus correspondientes probabilidades constituyen una distribución de probabilidad. En el libro se muestra el ejemplo del número de fallas de un equipo y la probabilidad que eso ocurra. En esta memoria se abordan diferentes distribuciones de probabilidad para aproximar la duración de las actividades en la planificación de proyectos y los costos en la elaboración de un presupuesto y sus contingencias.

Muchos autores proponen distribuciones de probabilidad para aproximar la duración de actividades y el presupuesto de una obra. A continuación, se presentan las distribuciones de probabilidad más comúnmente utilizadas para representar la variabilidad inherente tanto a la duración de actividades como a la estimación de costos en un proyecto.

#### **4.9.3.2. Distribución Uniforme**

La distribución uniforme por su parte entrega valores que son igualmente probables, y eso es aplicable cuando no se tiene información histórica del costo o duración de las actividades. Las características de la distribución Uniforme se presentan a continuación.



➤ Función densidad

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & , \quad a \leq x \leq b \\ 0 & , \quad \sim \end{cases}$$

➤ Función distribución

$$f(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \quad a \leq x \leq b \\ 1 & , \quad x \geq b \end{cases}$$

En que;

$$f(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

$$E(x) = \frac{a+b}{2}$$

$$V(x) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Una de las formas para utilizar la distribución uniforme en la simulación de Montecarlo, es ocupar el Método de Transformación Inversa que consiste en los siguientes pasos.

- Se genera un número aleatorio R
- Se establece que R= F(x)
- Se determina el valor de x

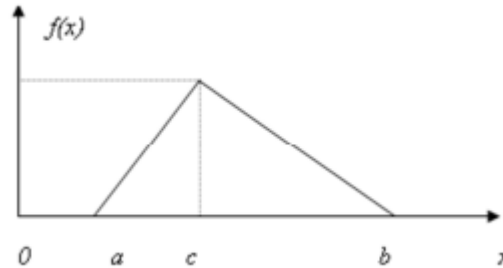
Luego para  $a \leq x < b$

$$f(x) = R$$

$$F(x) = \frac{x - a}{b - a} = R$$

$$\rightarrow x = a + (b - a) * R$$

Distribución Triangular La distribución triangular utiliza tres parámetros a, b, c que corresponden al valor mínimo, el valor máximo y el valor más probable respectivamente tal como muestra la figura siguiente.



Las propiedades de a función distribución Triangular, son las siguientes:

➤ Función densidad

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{2(x - a)}{(b - a)(c - a)} & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b - x)}{(b - a)(b - c)} & c \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$$

➤ Función distribución

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{(x - a)^2}{(b - a)(c - a)} & a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b - x)^2}{(b - a)(b - c)} & c \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$$

En qué;

$$f(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

$$E(x) = \frac{a + b + c}{3}$$

$$V(x) = \frac{(b - c)^2 + (b - a)(c - a)}{18}$$

Para utilizar la distribución triangular en la simulación de Montecarlo, se debe ocupar el Método de Transformación Inversa que consiste en los siguientes pasos.

- Se genera un número aleatorio R
- Se establece que  $R = F(x)$
- Se determina el valor de x

Luego para  $a \leq x \leq c$

$$f(x) = R$$

$$f(x) = \frac{(x - a)^2}{(b - a)(c - a)} = R$$

$$\rightarrow x = a + \sqrt{R(b - a)(c - a)}$$

Y para  $c \leq x \leq b$

$$f(x) = R$$

$$f(x) = 1 - \frac{(b - x)^2}{(b - a)(b - c)} = R$$

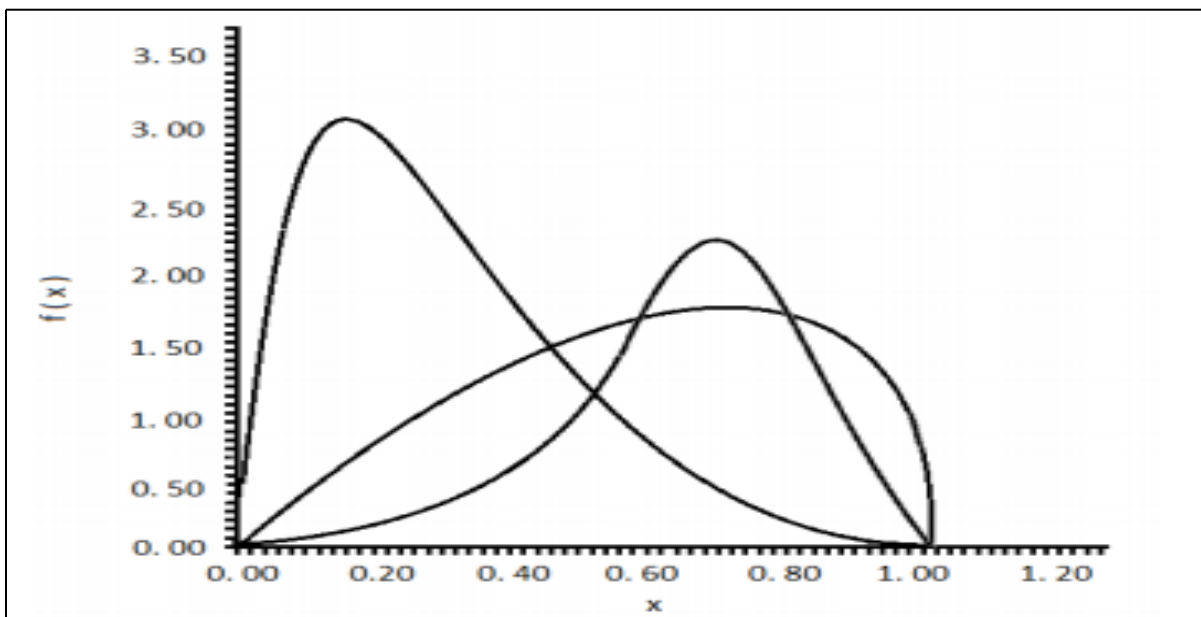
$$\rightarrow x = b - \sqrt{(1 - R)(b - a)(b - c)}$$

La distribución triangular es muy utilizada en simulación Montecarlo, (Walls et al., 1998) la recomienda para análisis financieros cuando no se tiene información histórica de datos, en cambio (Graves, 2001), la propone como distribución para poder comenzar a simular antes de probar con las distribuciones abiertas.

### 4.9.3.3. Distribución Beta

La distribución Beta es muy utilizada para modelar la duración de actividad y es la que fue considerada por los desarrolladores de PERT (Ahuja et al., 1994). La distribución Beta tiene cuatro parámetros representados por  $f(x; a, y, L, U)$  donde x es la variable, a y y son parámetros de forma y L y U son los límites. Debido a que los límites son introducidos por expertos en la materia, la distribución Beta requiere un parámetro adicional para caracterizarla (el de forma a) y esto no es tan fácil de hacer analíticamente. Es por esto que en sus inicios los desarrolladores del método PERT toman el supuesto que la desviación estándar debe ser de 1/6 de la diferencia de los límites L y U facilitando la determinación de valores de los demás parámetros y por eso se adoptó. Actualmente la desviación estándar se encuentra corregida empíricamente por el factor 1/3,2 en vez de 1/6.

La distribución Beta tiene ciertas ventajas sobre las otras distribuciones (por ejemplo la LogNormal, triangular, gamma, uniforme). Por ejemplo, la función de densidad de probabilidad se puede ajustar a muchas formas como muestra la Figura 7, y es utilizable para representar actividades que se acerquen más a las duraciones pesimista u optimista según corresponda. En este sentido, la distribución normal, no tiene esta ventaja de flexibilidad al ser simétrica en torno a la media.



**Fig.4.9.3.3 : Distribución de Probabilidad Beta distintos parámetros de forma. Nota.**  
Fuente: ABOURIZK, S. M., & HALPIN, D. W. (1992)

La distribución beta es completamente definida por dos valores límites y dos factores de forma, su forma funcional la da la siguiente ecuación.

$$f(x, a, L, U) = \left\{ \frac{r(a + \delta)(x - L)^{a-1}(U - x)^{y-1}}{r(a)r(y)(U - L)^{a+y-1}} \right.$$

Donde,  $r()$  es la función Gamma,

$$r(z) \equiv \int_0^a t^{z-1} e^{-t} dt \quad \forall z > 0$$

La desviación de la distribución beta está dada por las siguientes ecuaciones:

$$u = \frac{aU + yL}{a + y}$$

$$\sigma^2 = \frac{(U - L)^2 ay}{(a + y)^2(a + y - 1)}$$

Los desarrolladores de PERT simplificaron la estimación de los parámetros de la media y la varianza para facilitar el procesamiento computacional de la siguiente manera

$$u = \frac{(L + 4M + U)}{6}$$

$$\sigma = \left(\frac{(U - L)}{6}\right)^2$$

De hecho, la distribución beta que satisface esas condiciones debe tener los siguientes factores de forma  $a$  y  $y$  (Ver Grubs, 1962)

$$a = 2 + \sqrt{2} \quad Y \quad y = 2 - \sqrt{2}$$

$$a = 2 - \sqrt{2} \quad Y \quad y = 2 + \sqrt{2}$$

$$a = 3 \quad Y \quad y = 3$$

A esta distribución se le denomina Beta-Pert, la cual aparece programada en complementos para hacer simulaciones Monte Carlo tales como @Risk o Oracle Crystal Ball donde se especifica valores (mínimo, más probable y máximo).

El parámetro de forma se calcula a partir del valor más probable, por lo tanto es una distribución de probabilidad acotada. AbouRizk y Halpin (1992) encontraron que la distribución Beta puede ser aproximada por una distribución de tipo Triangular para simplificar los cálculos, pues la distribución triangular sólo requiere tres parámetros para la duración o costo; Pesimista, Optimista y el valor más probable.

### **Software para utilizar en la simulación**

La principal herramienta con la cual se hará el análisis de riesgo en esta memoria es la simulación de Montecarlo para el porcentaje a retirar de cada uno de los terminales de ácido sulfúrico, el uso de las diferentes rutas a utilizar y el costo de cada uno de los colaboradores. Es la herramienta más usada para el análisis cuantitativo de riesgo. Existen varios programas que permiten hacer simulación de Montecarlo, para esta memoria se utilizará el complemento de Microsoft Excel, Oracle Crystal ball,

Oracle Crystal Ball es la aplicación líder basada en hojas de cálculo para elaborar modelos predictivos, previsión, simulación y optimización. El cual brinda una perspectiva inigualable de los factores críticos que afectan el riesgo. Con Crystal Ball podemos tomar las decisiones tácticas correctas para alcanzar los objetivos presupuestados y ganar una ventaja competitiva incluso bajo las condiciones de mercado más inciertas.

Se suponen 10.000 iteraciones para calcular el porcentaje a retirar de cada uno de los terminales de ácido sulfúrico, el uso de las diferentes rutas a utilizar, para obtener el menor costo en la logística de abastecimiento del ácido sulfúrico, usando variables aleatorias para costos y duraciones de cada actividad y sus respectivas distribuciones de probabilidad, se

estarían creando 10.000 pseudo escenarios distintos, los cuales analizaremos para ver la opción con menor costo y así tomar la mejor decisión.

## 5. Capítulo. Diagnóstico de la Situación actual.

En este capítulo se levantarán los requerimientos de los niveles de consumo del ácido sulfúrico en el proceso productivo de cátodos de cobre, el cual es esencial en todo el proceso con la finalidad de lograr la meta de 80.000 toneladas anuales.

### 5.1. Análisis de las fuentes y consumo del ácido sulfúrico

El análisis consiste en el proceso productivo de los cátodos de cobre.

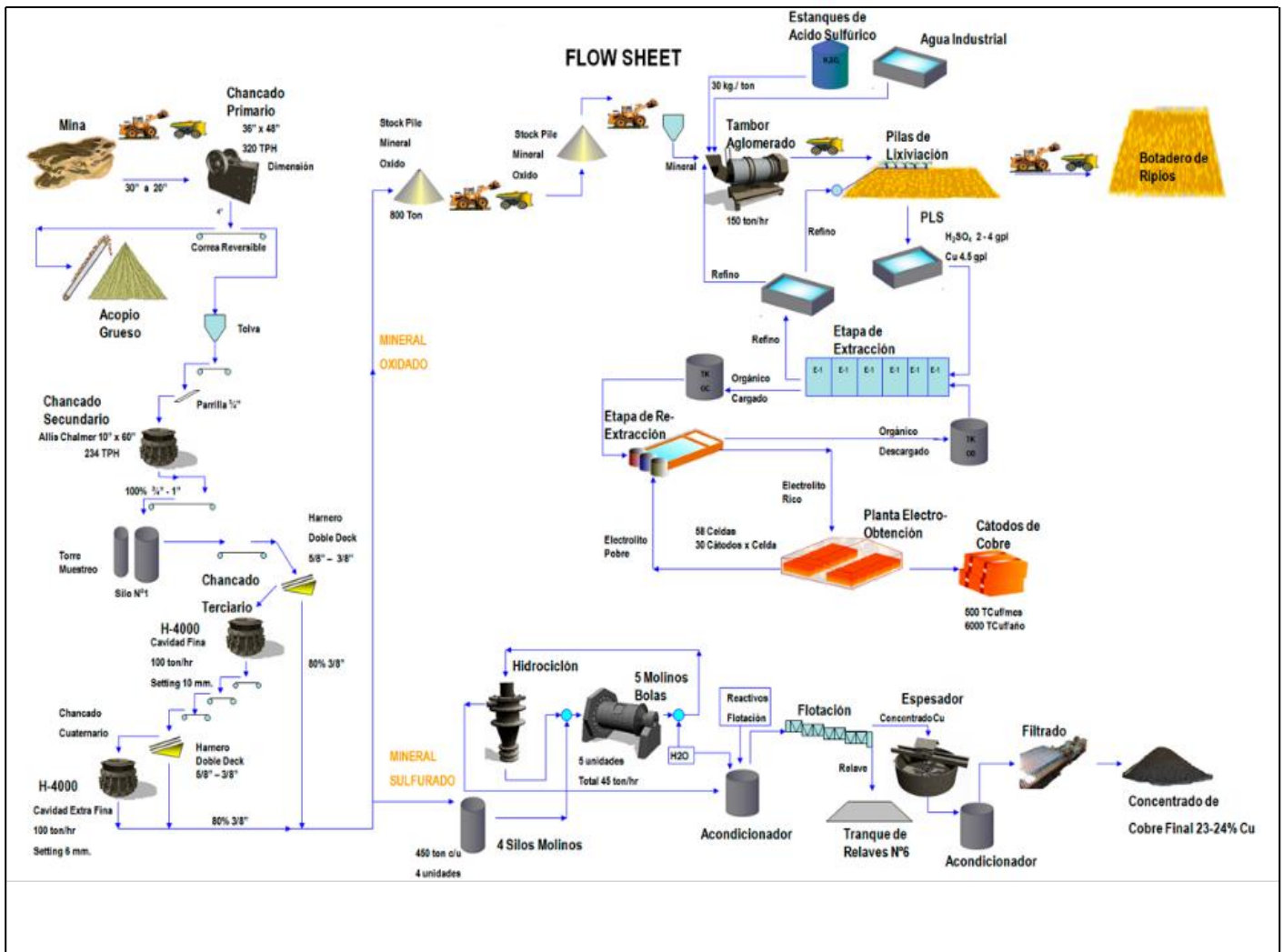


Fig. 5.1 Diagrama para la obtención de un cátodo de cobre.

Fuente Minera cerro negro S.A.

## 5.2. Proceso de obtención de cobre

En los yacimientos de cobre de minerales oxidados, el proceso de obtención de cobre se realiza en tres etapas que trabajan como una cadena productiva, totalmente sincronizadas:

- Lixiviación en pilas.
- Extracción por solvente.
- Electroobtención.

### 5.2.1. Lixiviación en pilas

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas.

Pasos de la realización del proceso.

- **Chancado:** El material extraído de la mina (generalmente a rajo abierto), que contiene minerales oxidados de cobre, es fragmentado mediante chancado primario y secundario (eventualmente terciario), con el objeto de obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a  $\frac{3}{4}$  pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida.
- **Formación de la pila:** El material chancado es llevado mediante correas transportadoras hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico, conocido como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor gigantesco, que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: la pila de lixiviación. Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que van cubriendo toda el área expuesta.

Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

- **Sistema de riego:** A través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, la que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas.

El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por 45 a 60 días, después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de cobre lixiviable. El material restante o ripio es transportado mediante correas a botaderos donde se podría reiniciar un segundo proceso de lixiviación para extraer el resto de cobre.

De la lixiviación se obtienen soluciones de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominadas PLS que son llevadas a diversos estanques donde se limpian eliminando las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Estas soluciones de sulfato de cobre limpias son llevadas a planta de extracción por solvente.

### **5.2.2. Extracción por solvente (SX)**

En esta etapa la solución que viene de las pilas de lixiviación, se libera de impurezas y se concentra su contenido de cobre, pasando de 9gpl a 45gpl, mediante una extracción iónica.

Para extraer el cobre de la solución PLS, ésta se mezcla con una solución de parafina y resina orgánica. La resina de esta solución captura los iones de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) en forma selectiva. De esta reacción se obtiene por un lado un complejo resina-cobre y por otro una solución empobrecida en cobre que se denomina refino, la que se reutiliza en el proceso de lixiviación y se recupera en las soluciones que se obtienen del proceso.

El compuesto de resina-cobre es tratado en forma independiente con una solución electrolito rica en ácido, el que provoca la descarga del cobre desde la resina hacia el electrolito (solución), mejorando la concentración del cobre en esta solución hasta llegar a 45gpl. Esta es la solución que se lleva a la planta de electro obtención.

### **5.2.3. Electro-obtención (EW)**

Esta etapa corresponde al desarrollo de un proceso electrometalúrgico mediante el cual se recupera el cobre disuelto en una solución concentrada de cobre.

Mediante el proceso de electro-obtención se recupera el cobre de una solución electrolito concentrado para producir cátodos de alta pureza de cobre (99,99%) muy cotizados en el mercado.

La solución electrolítica que contiene el cobre en forma de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) es llevada a las celdas de electro-obtención que son estanques rectangulares, que tienen dispuestas en su interior y sumergidas en solución, unas placas metálicas de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> cada una.

Estas placas corresponden alternadamente a un ánodo y un cátodo. Los ánodos son placas de plomo que hacen las veces de polo positivo, ya que por éstos se introduce la corriente eléctrica, en tanto que los cátodos son placas de acero inoxidable, que corresponde al polo negativo, por donde sale la corriente.

Todas las placas están conectadas de manera de conformar un circuito por el que se hace circular una corriente eléctrica continua de muy baja intensidad, la que entra por los ánodos y sale por los cátodos.

El cobre en solución (catión, de carga positiva +2:  $\text{Cu}^{+2}$ ) es atraído por el polo negativo representado por los cátodos, por lo que migra hacia éstos pegándose partícula por partícula en su superficie en forma metálica (carga cero).

Una vez transcurridos seis a siete días en este proceso de electro-obtención, se produce la cosecha de cátodos. En este tiempo se ha depositado cobre con una pureza de 99,99% en ambas caras del cátodo con un espesor de 3 a 4 cm, lo que proporciona un peso total de 70 a 80 kg por cátodo.

Cada celda de electro-obtención contiene 60 cátodos y la cosecha se efectúa de a de 20 cátodos por maniobra. Los cátodos son lavados con agua caliente para remover posibles impurezas de su superficie y luego son llevados a la máquina despegadora, donde en forma totalmente mecanizada se despegan las hojas de ambos lados, dejando limpio el cátodo permanente que se reintegra al ciclo del proceso de electro-obtención.

Los cátodos de cobre son apilados y embalados mediante zunchos metálicos para su transporte final al puerto de embarque, mediante camiones o ferrocarril. Previamente, se efectúa un muestreo sistemático de algunos cátodos para determinar su contenido de cobre, que debe ser de 99,99%, e impurezas (menos de 0,01%, principalmente azufre).

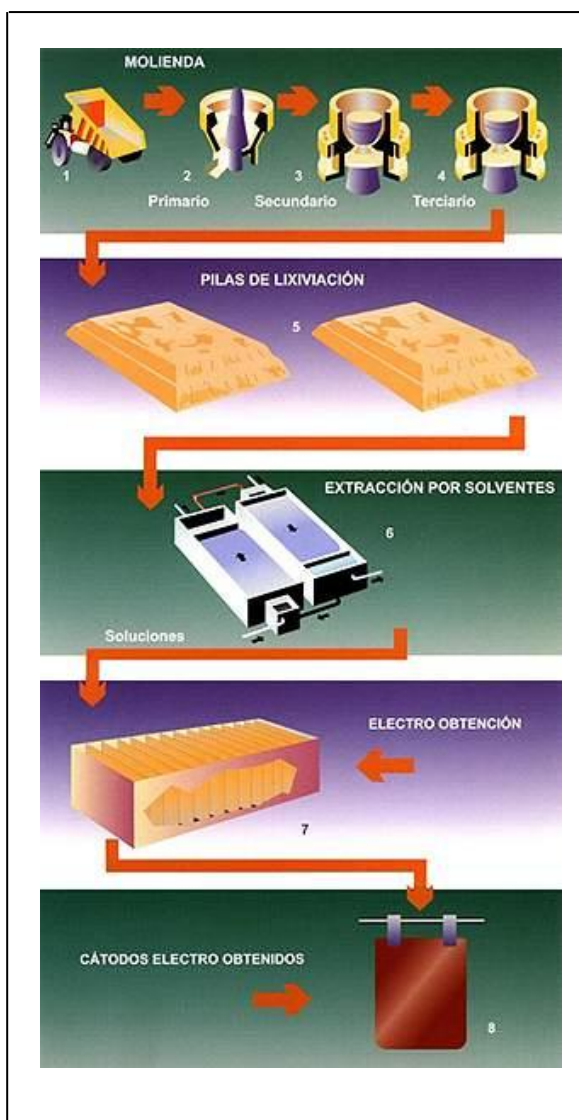


Fig.5.2.3 de las 3 etapas, fuente Codelco educa.

### 5.3. Descripción del consumo y abastecimiento del ácido sulfúrico

En la actualidad el consumo de ácido sulfúrico depende del mineral que se extrae desde el rajo abierto, como Antucoya tiene una ley muy baja consume más ácido respecto de las otras minas del grupo.

En la plataforma de descarga, Antucoya consta con dos estanques de ácido sulfúrico (TK1 Y TK2) , los cuales ambos suman una capacidad de 8.000 toneladas, y su Kpi de abastecimiento es de 62,5% cada TK, por ende no pueden tener un abastecimiento o reserva menor de 2.500 toneladas cada TK, esta situación se debe a que existe en la actualidad un pronósticos de consumo mensual y semanal de ácido sulfúrico por parte del área de metalurgia que se entrega al área de terminal de ácido, pero siempre existen variaciones llegando en

reiteradas ocasiones al 30% de diferencia respecto al consumo real de la planta, esta situación se puede observar de mejor manera en el siguiente gráfico.

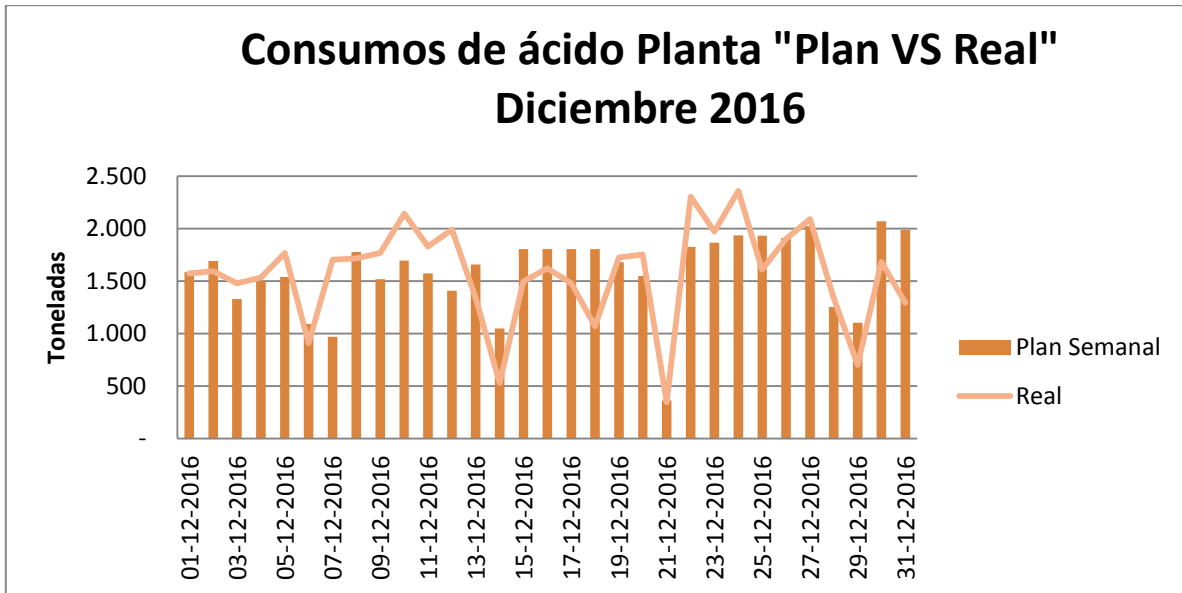


Gráfico 5.3a Elaboración propia, según datos entregados por minera Antucoya.

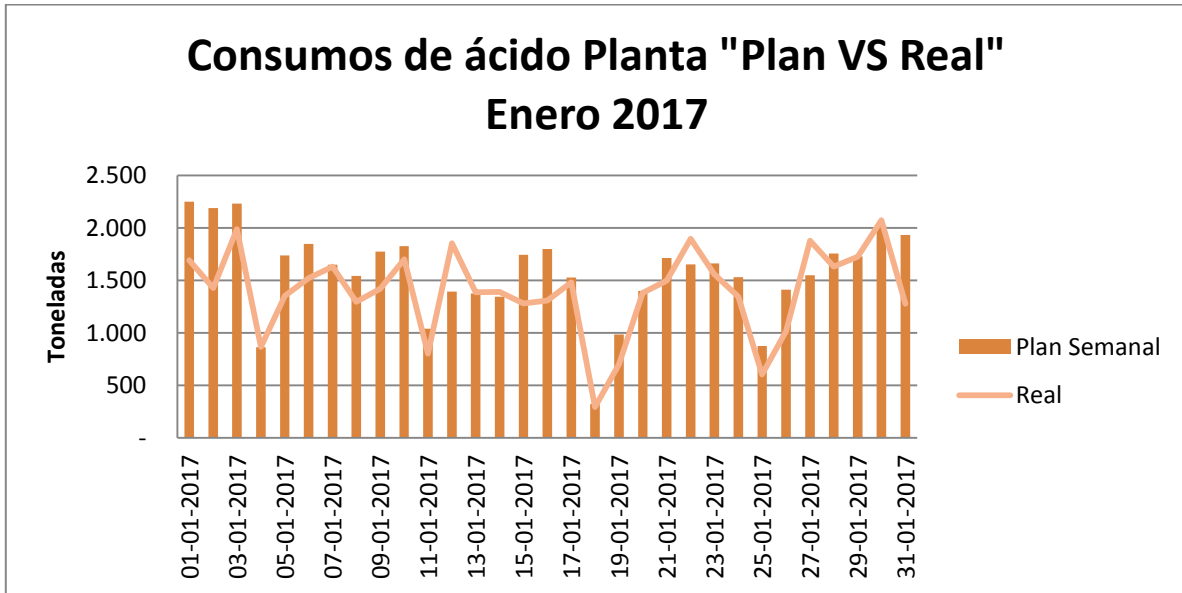


Gráfico 5.3b Elaboración propia, según datos entregados por minera Antucoya.

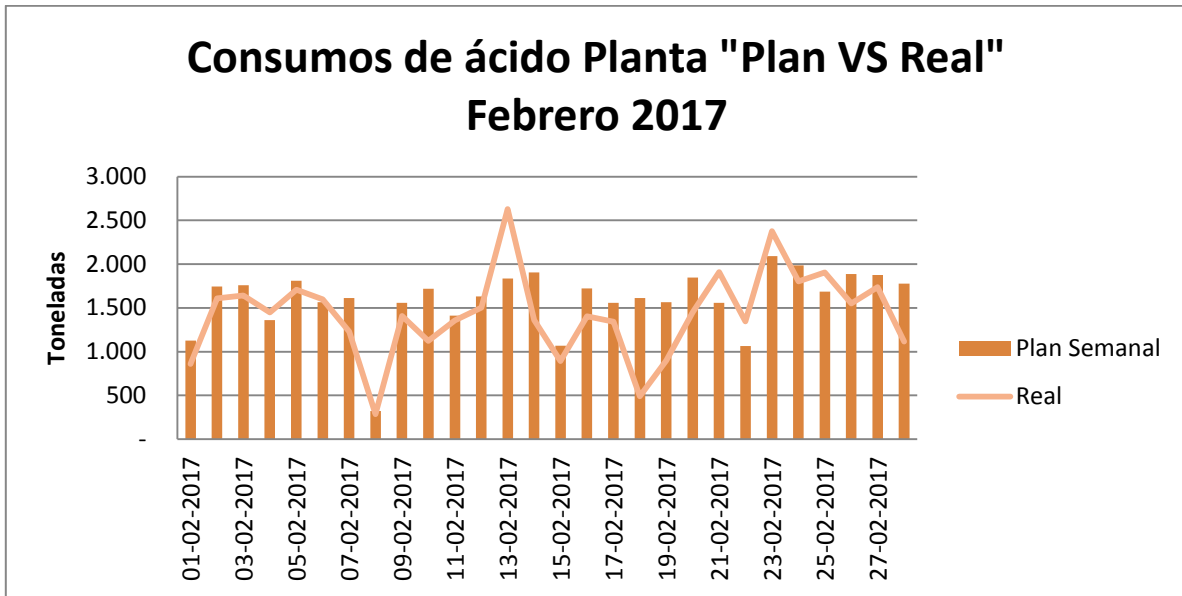


Gráfico 5.3c Elaboración propia, según datos entregados por minera Antucoya.

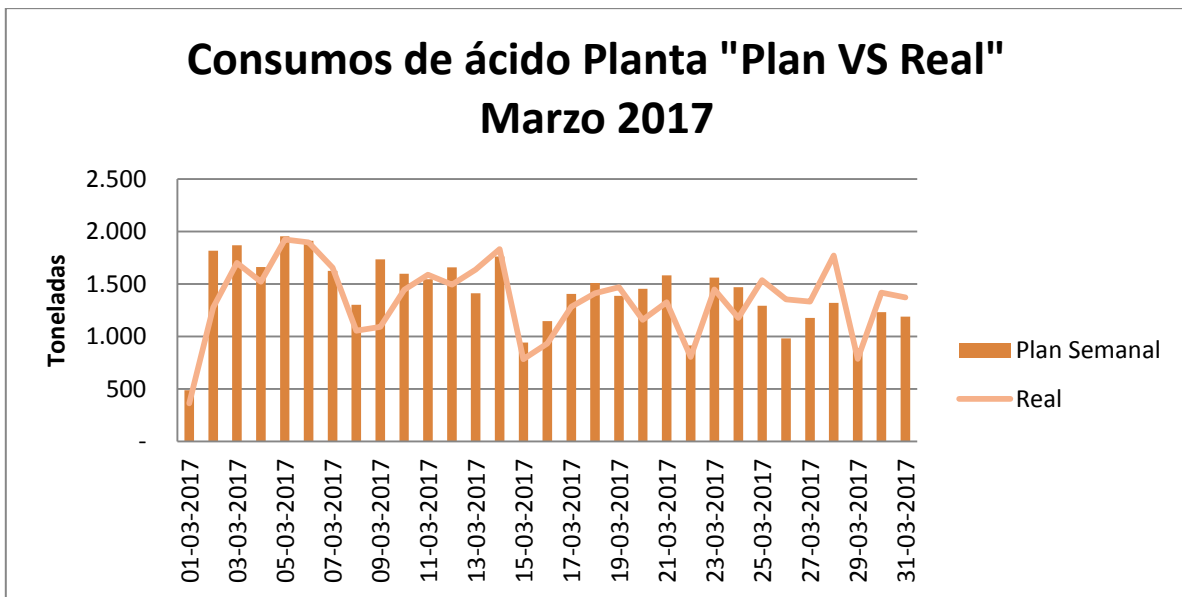
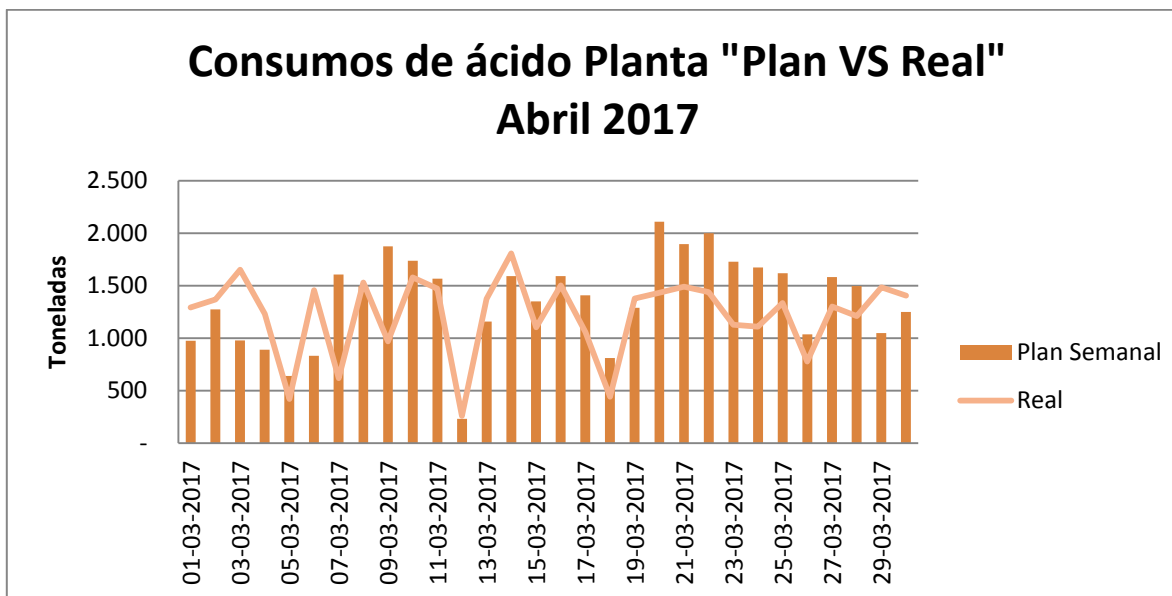


Gráfico 5.3d Elaboración propia, según datos entregados por minera Antucoya.



**Gráfico 5.3d Elaboración propia, según datos entregados por minera Antucoya.**

#### **5.4. Carga del ácido sulfúrico**

El ciclo de carga del ácido sulfúrico comienza en Japón y Perú, que es de donde provienen los buques llegando mensualmente dependiendo de la factibilidad de cada uno de estos lugares y de las condiciones climáticas.

Los buques desembarcan en el terminal de Michilla el cual en la actualidad es propiedad de Antofagasta Minerals, y se arrienda a minera Antucoya mensualmente.

El terminal Michilla tiene una capacidad de almacenamiento de 32.000 toneladas de ácido sulfúrico, siendo este el principal terminal donde las empresas colaboradoras van a cargar el suministro crítico. Además del puerto terminal Michilla los colaboradores van a cargar al terminal Interacid ubicado en Mejillones, en donde tienen una capacidad de almacenamiento exclusiva para minera Antucoya de 20.000 toneladas mensuales.

Las cargas la realizan dos empresas colaboradoras mediante camiones que tienen una capacidad de 27,5 toneladas cada uno de ellos, y se distribuyen las cargas en proporciones de 60% y 40%, lo cual quedó estipulado en las bases técnicas del contrato.

Las cargas a los camiones la realizan los operadores dispuesto por cada terminal para realizar esa tarea en específico, cumpliendo todas las medidas de seguridad impuesta por la empresa y ocupando en todo instante sus EPP.

## 5.5. Descarga del ácido sulfúrico.

Para realizar las descargas de los camiones, los colaboradores tienen 4 distintas rutas a utilizar para llegar a su destino dependiendo del terminal en el cual realizaron la carga, para llegar a la plataforma de ácido ubicada en minera Antucoya, pueden utilizar las siguientes rutas si cargaron en Mejillones.

- **B400-R5**
- **Ruta A1 –Cuesta**

Estas dos opciones si su carga fue realizada en el terminal Michilla

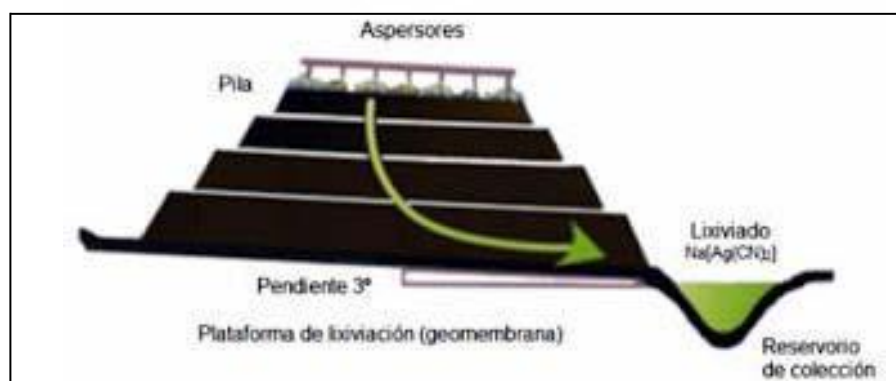
- **Cuesta**
- **Ruta A1-B400-R5**

Cuando llegan a la Minera, deben pasar inmediatamente a la garita de control, donde el conductor debe presentar todos los documentos del camión más el diphoterine, elemento obligatorio para los operadores del ácido, luego de esto se pesan y autorizan su ingreso a faena.

En la plataforma del ácido es el mismo conductor el cual tiene todas las facultades necesarias para realizar las descargas, pero sin antes seguir unas medidas de seguridad obligatorias.

## 5.6. Manejo de Ácido Sulfúrico.

El ácido sulfúrico es un producto líquido altamente corrosivo y oxidante, que requiere especial cuidado para evitar los riesgos derivados de su uso industrial. Especial importancia tiene el ácido sulfúrico utilizado en la lixiviación de minerales oxidados de cobre, lo que se realiza irrigando solución sobre una pila de mineral dispuesto sobre una base impermeable (ejemplo: arcilla, HDP, etc.) para poder recoger la solución resultante enriquecida con cobre. Esta solución alimenta posteriormente otras operaciones complementarias para recuperar el cobre.



**Fig. 5.1 Fuente Internet proceso minera**

El uso de ácido sulfúrico requiere que todos los estanques y equipos donde se almacene manipule o conduzca, deberán ser de materiales adecuados y estar en buenas condiciones para evitar fugas y derrame, y si esto sucede deberá contarse con instalaciones, elementos y procedimientos de contención.



**Fig.5.2: Traspaso de ácido de forma segura**

Fuente Internet manejo de ácido sulfúrico

Por otra parte, las identificaciones y señalizaciones correspondientes de seguridad deberán ser de tamaño adecuado y visible, y aplicarse tanto a estanques, recipientes, cañerías, vehículos de transporte, instalaciones y áreas de manejo.



**Figura 5.3a:** a la izquierda según NFPA, que representa nivel de combustión 0, reactividad 2, Evitar contacto con agua y riesgo para la salud de 3. En los dos rombos restantes lo identifica como tóxico y como corrosivo con nivel 8.

Fuente Internet: señales para manejo de ácido.

En las tablas siguientes se resume las medidas de prevención y acciones a seguir para enfrentar los riesgos más comunes:

### Riesgo: Derrames de Ácido

Medidas de Prevención	Acción
Estanques menores metalicos deberan manipularse en forma sellada	Nunca agregar agua ya que genera calor y salpicaduras.
Estanques mayores debarn ser de acero inox. o de fibra de vidrio.	Los derrames deberan contenerse con algun solido que no reaccione con el acido como cal o arena.
No manipular mangueras ni ductos con acido en su interior.	El producto de la accion anterior debera tratarse como residuo peligroso
Las areas de abastecimiento y manipulacion de acidos deberan contar con sistemas de contención (Piscinas, canaletas, pretilas)	
Evitar el uso de llama abierta, herramientas o equipos que produzcan chispas en la cercania de los estanques.	

Tabla 1

### Riesgo: Inhalación de Vapores

Medidas de Prevención	Acción
Nunca agregar agua, ya que genera calor y salpicaduras.	Contar con fuentes de agua para lavado de ojos, y duchas para lavado de cualquier parte del cuerpo.
	Aplicar indemediatamente en la zona afectada diphoterine.

Tabla 2

**Riesgo: Inflamación y Explosión.**

<b>Medidas de Prevención</b>	<b>Acción</b>
No se deberá fumar o tener fuentes de calor en las cercanías de un estanque que contengan ácido sulfurico.	Considerar que al interior de un estanque metalico con ácido sulfurico puede generarse hidrogeno (gas inflamable)
Mantener buena ventilación en todos los lugares donde se manipule ácido.	Contar con extintores (tipos CO2) en los lugares de riesgo.

**Tabla 3****Riesgo: Contacto con el ácido.**

<b>Medidas de Prevención</b>	<b>Acción</b>
Es obligatorio el uso de equipo de protección personal para la manipulación de ácido.	Proveer equipo adecuado a las personas que trabajan el ácido e instruirlos en la manipulación.
Para manipulación menor es necesario utilizar ropa de lanilla, guantes de pvc, lentes, botas de hule y casco.	
Para manipulación mayor, es necesaria la utilización de un buzo antiácido y equipo de respiración autónomo.	

**Tabla 4**

Por las consecuencias que puede generar el ácido sulfúrico en la salud humana, en Antucoya cumplen a cabalidad todas las medidas de seguridad necesarias para el uso y manejo del ácido sulfúrico.



**Fig. 5.3b:** Para operaciones de contacto directo con ácido, se debe utilizar equipo antiácido  
Fuente Internet operaciones con ácido.

## **5.7. Análisis de datos.**

### **5.7.1. Datos históricos en la serie de tiempo de consumo.**

Las fuentes principales utilizadas para extraer los datos fueron:

- Informes de garita control de los ingreso de camiones del ácido sulfúrico.
- Base de datos del Terminal del ácido sulfúrico.
- Base de datos del área de metalurgia.
- Reportes diarios, semanales y mensuales por parte de las empresas colaboradoras en el transporte del ácido sulfúrico.
- Informe por parte de los terminales marítimos, Interacid y Michilla.

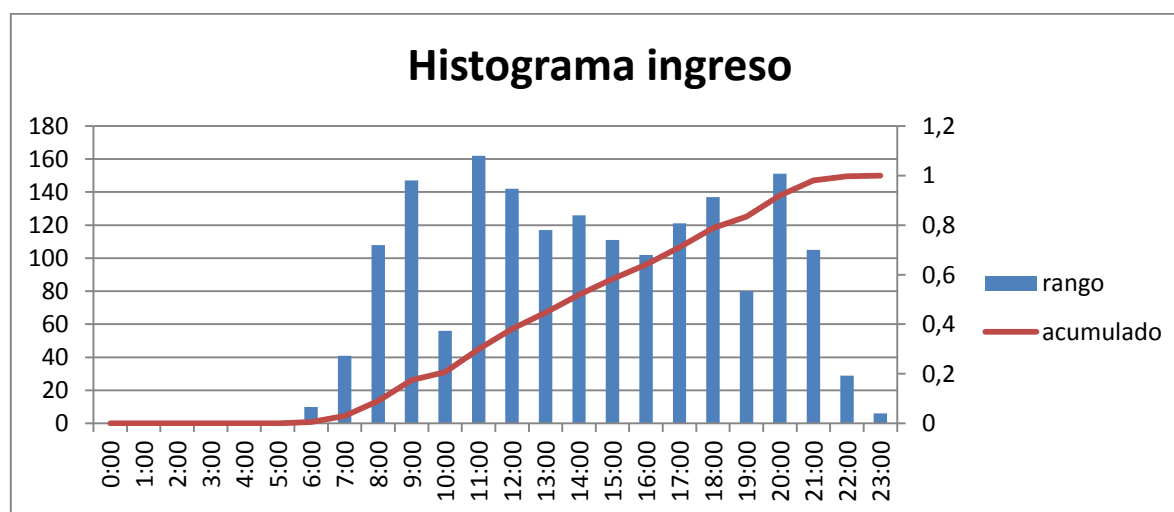
La información proviene principalmente de las guías de despacho emitidas, por lo terminales al momento que el camión realiza el retiro del ácido, además de estar en contacto feedback con los niveles de ácido sulfúrico que se mantienen en los TK de cada uno de los terminales. En el área de metalurgia la información proviene de las estimaciones que realizan respecto al tipo de material que extraerán para luego ir al aglomerado y tener un estimativo del consumo de ácido mensual y que se va corrigiendo mensualmente.

### 5.7.2. Datos ingreso de camiones

N°	Fecha Emision G/D	Fecha Recepcion Antucoya	Hora de Ingreso	Hora de salida	Patente	Guia de Despacho	Pesaje Guia	Pesaje Romana Antucoya	EECC	PROVEEDOR
1	28-02-2017	01-03-2017	11:52	18:26	HDLX-78	18785	27310	27570	ILZAUSPE	MICHILLA
2	28-02-2017	01-03-2017	12:01	18:21	FTTR-80	18784	26870	27220	HURCAM	MICHILLA
3	28-02-2017	01-03-2017	17:14	18:18	HDWW-97	14796	28470	28520	ILZAUSPE	INTERACID
4	28-02-2017	01-03-2017	10:45	18:12	DKST-86	14798	27610	27930	HURCAM	INTERACID
5	28-02-2017	01-03-2017	10:17	18:08	DKST-85	14805	28550	28540	HURCAM	INTERACID
6	28-02-2017	01-03-2017	10:26	18:04	CZSC-81	14799	27550	27700	HURCAM	INTERACID
7	28-02-2017	01-03-2017	10:28	18:02	FTTR-78	14803	27310	27490	HURCAM	INTERACID
8	28-02-2017	01-03-2017	15:06	16:17	GSVC-95	14801	27760	27910	ILZAUSPE	INTERACID
9	28-02-2017	01-03-2017	8:44	9:30	BHPB-28	18775	27400	27530	TAMARUGAL	MICHILLA
10	28-02-2017	01-03-2017	8:23	9:10	DPVL-41	18786	27710	27990	ILZAUSPE	MICHILLA
11	28-02-2017	01-03-2017	8:05	8:45	HJPR-81	14802	27130	27240	ILZAUSPE	INTERACID
12	01-03-2017	01-03-2017	8:40	9:34	GFZZ-17	18787	27350	27960	TAMARUGAL	MICHILLA
13	01-03-2017	01-03-2017	8:00	8:48	DPLS-98	14807	28290	28510	TRANSCALAMA	INTERACID
14	01-03-2017	01-03-2017	9:14	9:48	GZXJ-96	14808	27010	27000	ILZAUSPE	INTERACID
15	01-03-2017	01-03-2017	9:28	10:07	GKZV-24	14809	27780	27950	ILZAUSPE	INTERACID
16	01-03-2017	01-03-2017	11:11	11:48	CFGL-86	14811	27100	27220	ILZAUSPE	INTERACID
17	01-03-2017	01-03-2017	11:09	11:57	FPDW-63	18789	27460	27830	TAMARUGAL	MICHILLA

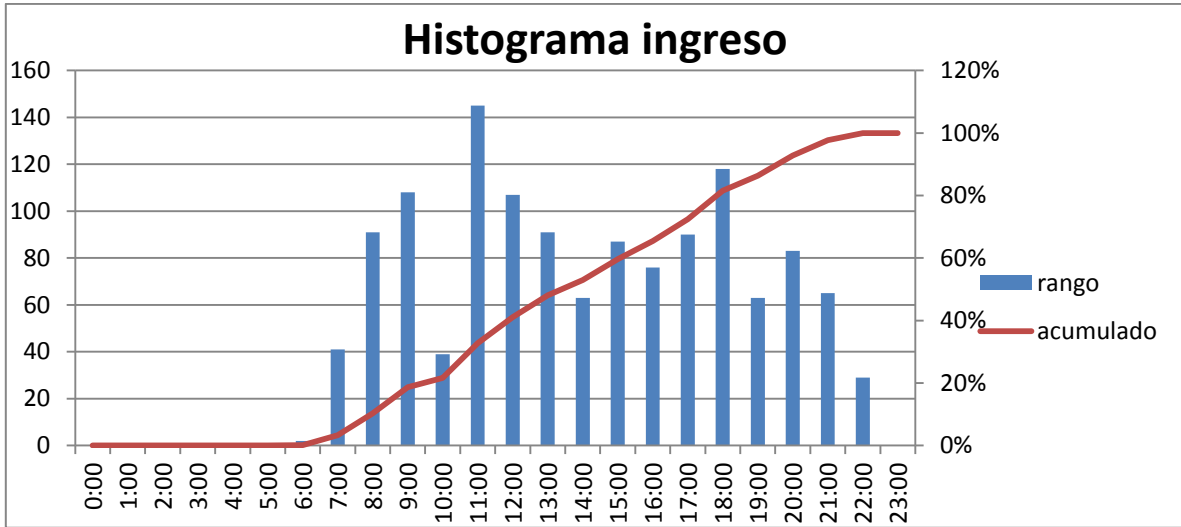
**Tabla 5.7.2. Resumida ingreso de camiones mes de Marzo.**

En la figura 1.1, 1.2 y 1.3 se muestra el grafico histograma que corresponde al ingreso de los camiones con ácido sulfúrico, a la faena Antucoya, en donde se puede apreciar los horarios peak de descarga y en donde existe menos frecuencia de camiones, los meses analizados (marzo, abril, mayo) existe una tendencia donde se repiten los mismos horarios de peak, y menor frecuencias de descarga, los meses analizados no fueron al azar debido que luego de estar dos meses en crisis se estabilizó a fines de febrero nuevamente, y podríamos tener datos más representativos.



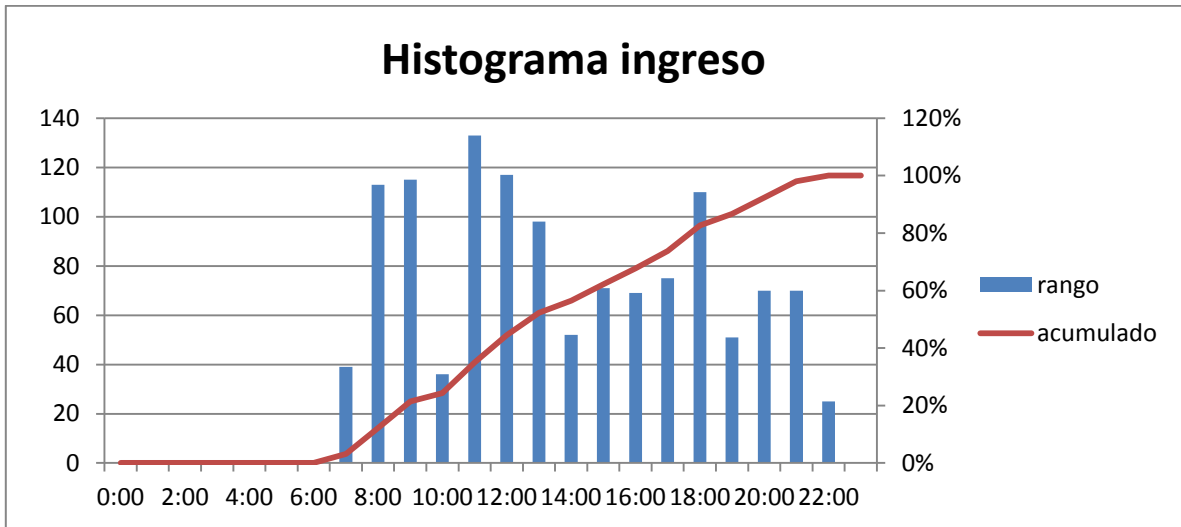
**Fig. 5.7.2a Histograma ingreso de camiones a plataforma marzo**

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera



**Fig. 5.7.b Histograma ingreso de camiones a plataforma abril**

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera



**Fig. 5.7.c Histograma ingreso de camiones a plataforma Mayo,**

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera

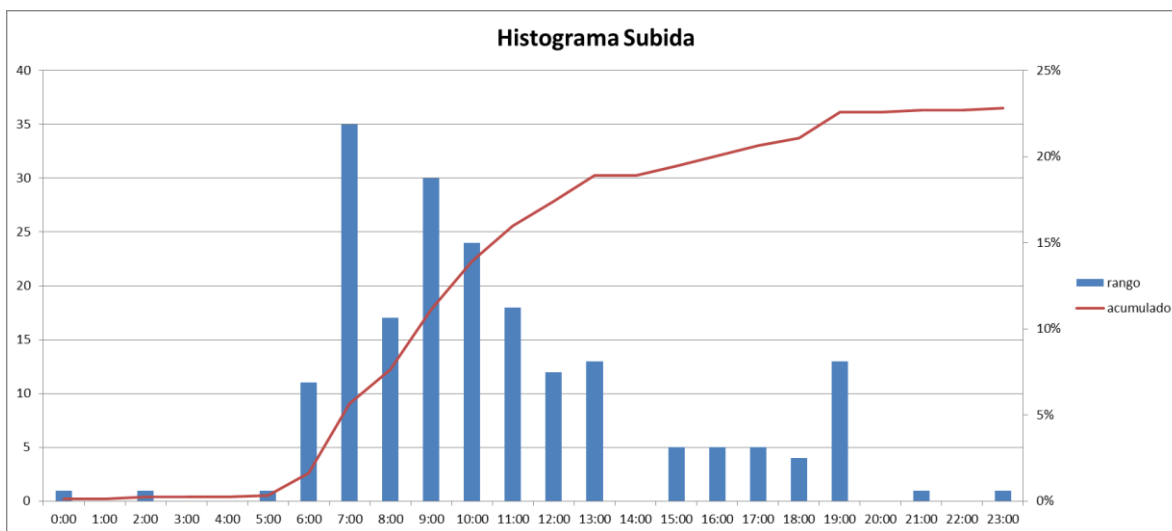
### 5.7.3. Datos frecuencia vehicular en ruta cuesta.

CONTROL VEHICULAR MARZO 2017									
N°	Fecha	Nombre y Apellido	RUT	Empresa	Patente	H/Subida	H/Bajada	Destino	Tipo de vehículo
1	01-03-2017	Leonel Salazar	17,547,558-3	Emsipor	HX JT 86	5:15	5:27	EB-1/Muelle	Camioneta
2	01-03-2017	Miguel Segovia	9,138,603-8	Emsipor	GLBB 41	7:15	6:15	Michilla/Costa	Camioneta
3	01-03-2017	Cesar Mella	15,538,607-6	HMC	FTZR 44	6:10	13:00	Michilla/Costa	Camioneta
4	01-03-2017	Juan Villablanca	6,617,935-4	HMC	CXPB 22	7:10	XXXX	Michilla/Costa	Camioneta
5	01-03-2017	Juan Segovia	9,644,525-3	Tandem	FX ZX 63	7:15	9:07	Michilla/Antof.	Bus
6	01-03-2017	Juan Duran	12,043,590-6	HMC	DFTH 51	7:12	XXXX	Michilla/Costa	Camioneta
7	01-03-2017	Juan Gomez	10004938-4	Tanden	FRHW 69	7:15	18:42	Michilla/Antof.	Bus
8	01-03-2017	Abraam Backit	6,494,568-8	Michilla SPA	GLBB 32	7:28	18:22	Costa/Michilla	Camioneta
9	01-03-2017	Sergio Ramirez	8,560,347-7	ingprosess	HT LB 42	7:55	18:26	Michilla/Antof.	Camioneta
10	01-03-2017	Alexander Martínez	18,311,179-5	Emsipor	GLBB 41	9:25	9:07	Costa/Michilla	Camioneta
11	01-03-2017	Alejandro Castillo	16,054,596-8	Disal	GP DT 89	9:29	XXXX	EB-2/Mititus	Camión Aljibe
12	01-03-2017	Victor Alvarez	16,564,903-6	Sermijor	HLZL 75	9:31	11:19	EB-2/Muelle	Camioneta
13	01-03-2017	Eduardo Rojas	15,785,146-2	Sermijor	HLZL 76	9:32	17:57	EB-2/Muelle	Camioneta
14	01-03-2017	Erwin Castañeda	10,158,643-k	R y R	HTKG 75	9:43	19:06	EB-3/Muelle	Camión pluma
15	01-03-2017	Juán Segovia	13,359,518-k	Centinela	GX LB 44	9:52	19:29	EB-3/Muelle	Camioneta
16	01-03-2017	Mauricio Salinas	14477899-7	Empema	FD GL 33	9:53	13:53	Michilla/Costa	Camioneta
17	01-03-2017	Pablo Ramirez	16,317,668-8	Eaton	GDLD 21	9:54	XXXX	EB-3/Muelle	Camioneta
18	01-03-2017	Shamir Campusano	18,322,237-7	R y R	HD DL 17	10:08	19:46	EB-3/Muelle	Camioneta
19	01-03-2017	Pool Llanos	17,736,422-3	Centinela	HY JT 90	10:10	XXXX	EB-3/Muelle	Camioneta
20	01-03-2017	Emanuel Salva	16,654,482-1	Eaton	GZDC 42	10:14	XXXX	EB-3/Muelle	Camioneta

**Tabla 5.7.3. Resumida del flujo vehicular, mes de Marzo.**

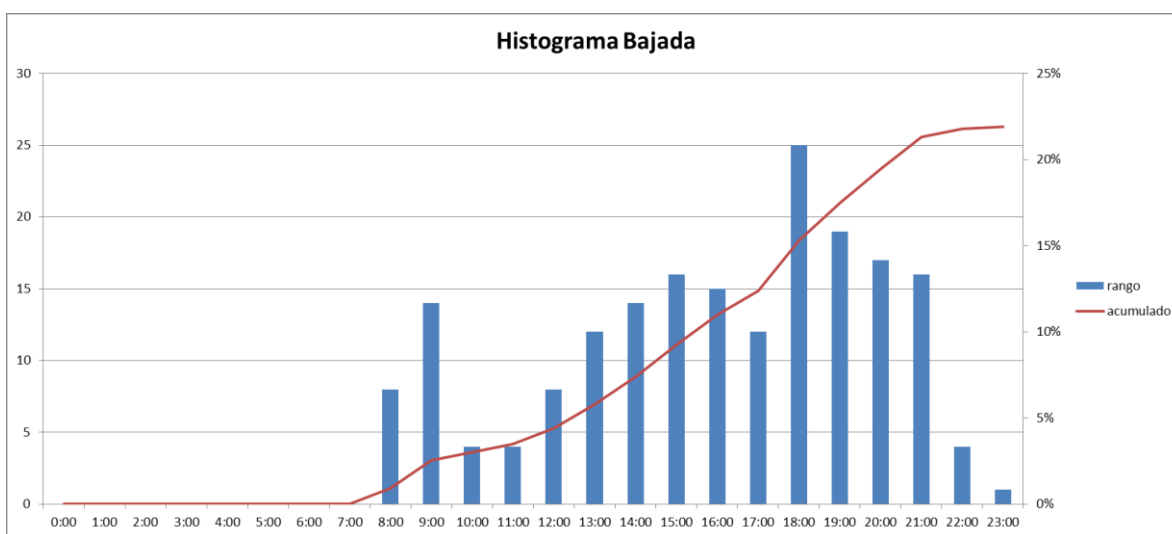
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera

En la figura 5.4d y 5.4f (gráfico histograma) se analiza el uso de la ruta cuesta solo por parte de las camionetas y buses, para observar la subida y bajada a la minera Antucoya utilizando la cuesta, excluyendo los camiones.



**Fig. 5.4.d Histograma de subida en vehículos, mes de Marzo.**

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera



**Fig. 5.4e Histograma de bajada en vehículos, mes de Marzo.**  
Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera

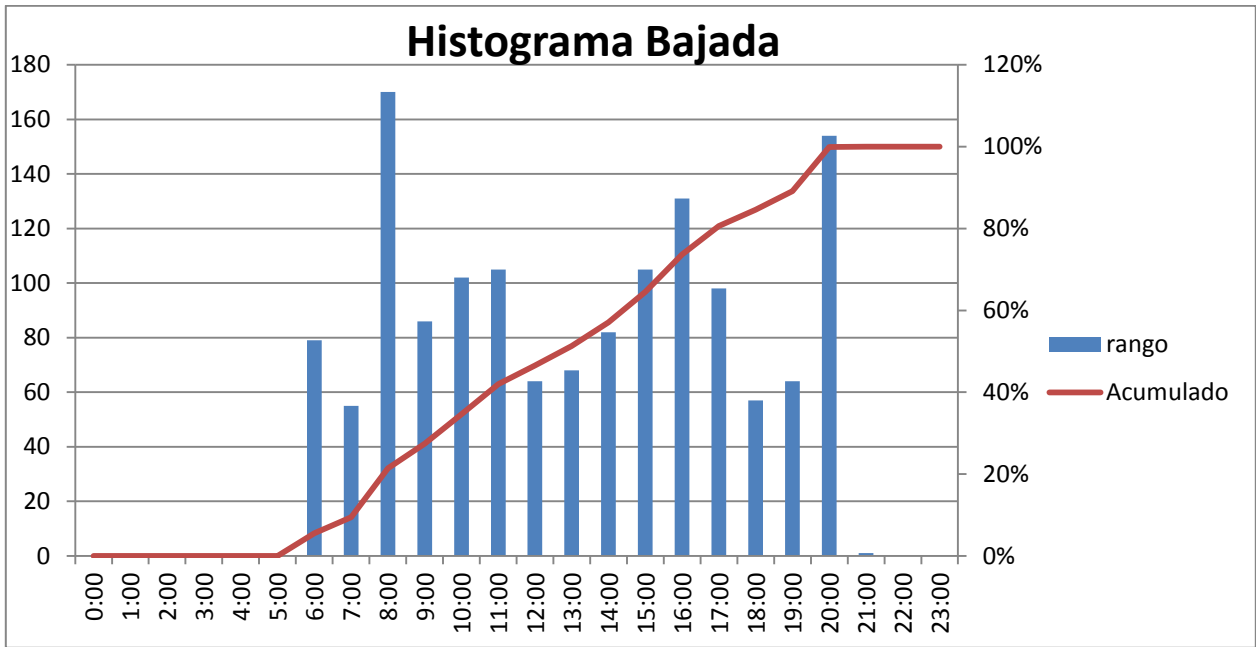
#### 5.7.4. Datos frecuencia camiones en ruta cuesta.

CONTROL CAMIONES DE ACIDO ANTUCOYA								
N°	FECHA	SUPERVISOR	PATENTE	EMPRESA	SALIDA	LLEGADA	DIRECCIÓN	TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO
1	01-03-2017	Juan Bustamante	HJ PR 81	Ilzauspe	6:06	7:12	SUBIDA	1:06
2	01-03-2017	Luis Céspedes	DP VL 41.	Ilzauspe	6:25	7:12	SUBIDA	0:47
3	01-03-2017	Tomas Rubio	GF ZZ 17.	Tamarugal	6:37	7:37	SUBIDA	1:00
4	01-03-2017	Bernardo Andana	BH PB 28	Tamarugal	6:42	7:34	SUBIDA	0:52
9	01-03-2017	Ricardo Bovet	GZ XJ 98	Ilzauspe	7:21	8:08	SUBIDA	0:47
10	01-03-2017	David Baez	CK YJ 45	Hurcam	7:26	8:10	SUBIDA	0:44
11	01-03-2017	Daniel Esparza	GK ZV 24	Ilzauspe	7:30	8:17	SUBIDA	0:47
12	01-03-2017	Héctor Trafipan	FP DW 63	Tamarugal	9:08	9:58	SUBIDA	0:50
13	01-03-2017	Daniel Mamani	CF GL 86	Ilzauspe	9:10	9:57	SUBIDA	0:47
14	01-03-2017	Andrés Nailef	GK ZV 20.	Ilzauspe	9:11	10:11	SUBIDA	1:00
15	01-03-2017	Gonzalo Castillo	GK ZV 22	Ilzauspe	9:12	10:00	SUBIDA	0:48
16	01-03-2017	Sergio Saez	FD KH 96	Ilzauspe	9:13	10:00	SUBIDA	0:47
20	01-03-2017	Luis Alarcón	HD LX 78	Hurcam	9:52	10:42	SUBIDA	0:50
21	01-03-2017	Lucio Choque	GG HJ 24	Ilzauspe	9:56	10:45	SUBIDA	0:49

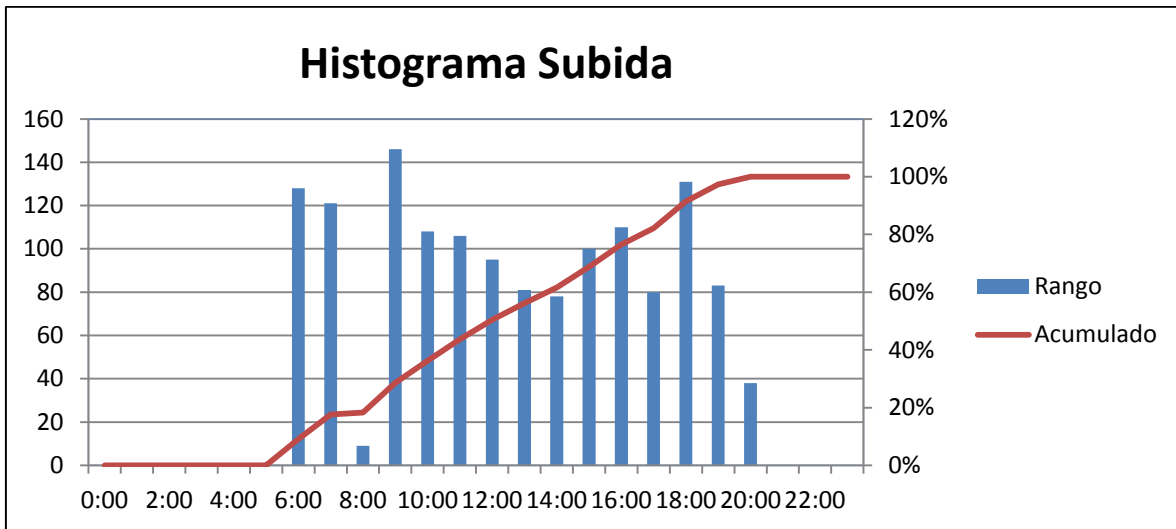
**Tabla 5.4.4 resumida del flujo ruta cuesta por camiones, mes de Marzo**

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera

En la figura 5.4f y 5.4g se muestra el gráfico histograma que corresponde a los horarios que transitan los camiones por la ruta cuesta y el tiempo de desplazamientos que se demoran en cruzarla completa.



**Fig. 5.4f Elaboración propia**  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera



**Fig. 5.4g Elaboración propia**  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por minera

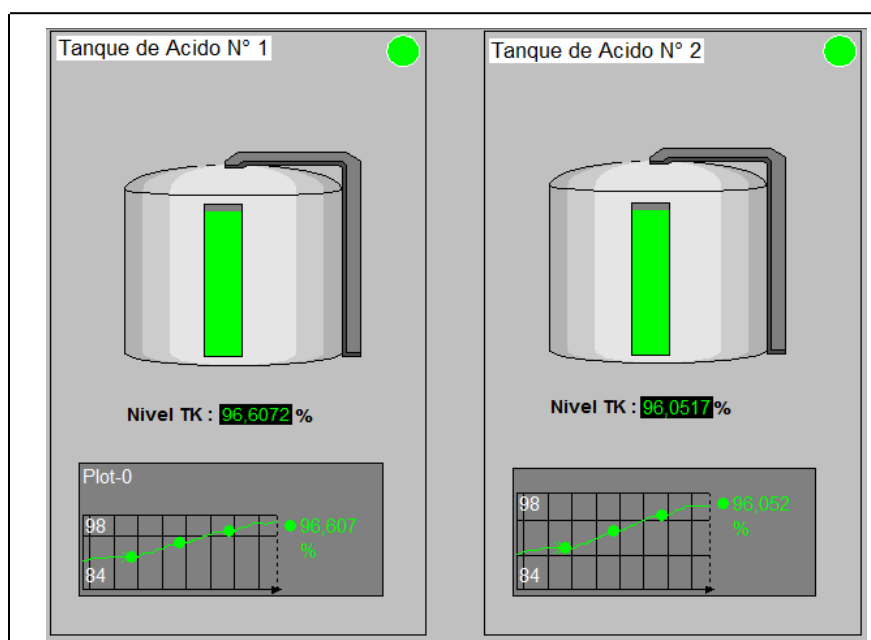
### 5.7.5. Datos niveles de ácido sulfúrico

ESTANQUES DE ACIDO								
31-03-2017	87,9	29%	●	3.516	87,8	29%	●	3.512
01-04-2017	82,5	24%	●	3.300	82,3	24%	●	3.292
02-04-2017	80,8	23%	●	3.232	80,6	22%	●	3.224
03-04-2017	75,7	17%	●	3.028	75,5	17%	●	3.020
04-04-2017	73,1	15%	●	2.924	72,9	14%	●	2.916
05-04-2017	87,8	29%	●	3.512	87,6	29%	●	3.504
06-04-2017	90,3	31%	●	3.612	90,1	31%	●	3.604
07-04-2017	94,7	34%	●	3.788	94,3	34%	●	3.772
08-04-2017	89,7	30%	●	3.588	89,5	30%	●	3.580
09-04-2017	92,4	32%	●	3.696	91,9	32%	●	3.676
10-04-2017	90	31%	●	3.600	89,7	30%	●	3.588
11-04-2017	88,5	29%	●	3.540	88,1	29%	●	3.524
12-04-2017	96,7	35%	●	3.868	96,5	35%	●	3.860
13-04-2017	92,2	32%	●	3.688	92,5	32%	●	3.700
14-04-2017	87,5	29%	●	3.500	87,3	28%	●	3.492

**Tabla 5.4.5 Fuente: Elaboración propia**

Archivo digital proporcionado por minera Antucoya

Esta tabla es fundamental, ya que en conjunto con el pronóstico de consumo mensual y semanal que envía el área de metalurgia, se realiza la programación semanal para el abastecimiento del ácido sulfúrico, y la cantidad a transportar.



**Fig. 4.4.5 Niveles de ácido en minera Antucoya.**

Con los datos obtenidos los cuales se analizaron a profundidad, se revisaron de manera concienzuda, para ver las mejoras en el abastecimiento, reduciendo tiempo y costos.

## 5.8. Tarifa de las empresas colaboradoras

Las empresas colaboradoras, tienen sus precios fijados por las rutas a utilizar, y desde el terminal que retiran el ácido sulfúrico, más un reajuste que se aplica semestral, el cual está especificado en las siguientes tablas.

### 5.8.1. Empresa colaboradora 1.

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
1	Ácido Mejillones - Antucoya		
1.1	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta B400 - Ruta5)	TON	\$ 10.950
1.2	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta A1 - cuesta Michilla)	TON	\$ 8.840
1.3	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta A1 - cuesta Michilla / Retorno vía Ruta B400)	TON	\$ 9.895
1.4	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta B400 - cuesta Michilla / Retorno cuesta Michilla)	TON	\$ 9.895

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
2	Ácido Michilla – Antucoya		
2.1	Michilla - Antucoya (Vía cuesta)	TON	\$ 6.370
2.2	Michilla - Antucoya (Vía Ruta A1 - B400 - Ruta5)	TON	\$ 11.990
2.3	Michilla - Antucoya (Vía Ruta A1 - B400 - Ruta5/ Retorno vía cuesta)	TON	\$ 9.180
2.4	Michilla - Antucoya (Vía cuesta / Retorno Vía Ruta 5 - B400 - Ruta A1)	TON	\$ 9.180

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
3	Ácido Alto Norte – Antucoya		
3.1	Alto Norte - Antucoya (Vía Ruta 5)	TON	\$ 9.850

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
4	Ácido Otros orígenes		
4.1	Chuquicamata - Antucoya (Vía ruta B24 - Ruta 5)	TON	\$ 9.900
4.2	Chuquicamata - Antucoya (Vía ruta B25 - Ruta 5)	TON	\$ 12.700

**Tabla 5.5.1 con precios, fuente contrato marco Antucoya.**

Fuente: Elaboración propia

**REAJUSTES:**

El presente Contrato considera el siguiente polinomio de reajuste:

$$P_i = P_0 \left[ 0,30 \times \left( \frac{PDi}{PD0} - 1 \right) + 0,40 \times \left( \frac{IPCi}{IPC0} - 1 \right) + 0,30 \times \left( \frac{USDi}{USD0} - 1 \right) \right]$$

Dónde:

$P_i$ : Es la tarifa reajustada para el período  $i$

$P_0$ : Es la tarifa base informada en este anexo (ítem N° 2.1).

$PD_i$ : Es el precio del Diésel informado por el Mop del mes anterior al mes que rige el reajuste.  $PD_0$ : Es el precio del Diésel informado por el Mop del mes de Enero de 2016: **\$274.447,47**

Ref: <http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/indicepolinomico/Paginas/default.aspx> (Ítem N°3)

$IPC_i$ : Es el Índice del precio al consumidor, correspondiente al mes anterior que rige el reajuste.  $IPC_0$ : Es el Índice del precio al consumidor, correspondiente al mes de Enero de 2016: **111,39**

Ref: <http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/indicepolinomico/Paginas/default.aspx> (Ítem N°1)

$USD_i$ : Es el Dólar observado correspondiente al mes anterior que rige el reajuste.  $USD_0$ : Es el

Dólar observado correspondiente al mes de Enero de 2016: **\$/US\$ 711,72**.

Ref: <http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/indicepolinomico/Paginas/default.aspx> (Ítem N°22)

Nota:

- La tarifa será reajustada semestralmente.
- Las bases para el cálculo del polinomio corresponde al mes de Enero 2016.

**RETENCIONES:**

El presente contrato no considera retenciones.

**SOBRESTADÍA:**

Sobrestadía \$9.000/hora a contar de la hora 8 de espera.

## 5.8.2. Empresa colaboradora 2

### 5.8.3. TARIFAS UNITARIAS

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
1	Ácido Mejillones - Antucoya		
1.1	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta B400 - Ruta5)	TON	\$ 11.110
1.2	Mejillones - Antucoya (Vía Ruta A1 - cuesta Michilla)	TON	\$ 9.010

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario
2	Ácido Michilla - Antucoya		
2.1	Michilla - Antucoya (Vía cuesta)	TON	\$ 6.410

Ítem	Descripción	Tarifa neta mensual
1.2	Supervisión en faena 7x7	\$ 3.123.804
1.3	Arriendo de camioneta	\$ 1.075.196
1.4	Administrador de contrato	\$ 1.229.182
1.5	Asesor en prevención de riesgos	\$ 1.351.768

El presente Contrato considera el siguiente polinomio de reajuste:

$$\text{Precio período} = \text{Precio base} [(25\% \text{ dólar}) + (40\% \text{ petróleo}) + (35\% \text{ IPC})]$$

Nota:

- **La tarifa será reajustada semestralmente.**
- **Las bases para el cálculo del polinomio corresponde al mes de Marzo 2016.**

Estas tarifas son las que cobran diariamente las empresas colaboradoras al mandante Antucoya, de la misma forma por parte de Antucoya y para el estudio de esta memoria se desestimó la ruta de Chuquicamata, ya que en caso de emergencia solo se utiliza alto norte según los registros históricos de la empresa y en un cifra que no impacta en el costo total de la logística del ácido sulfúrico.

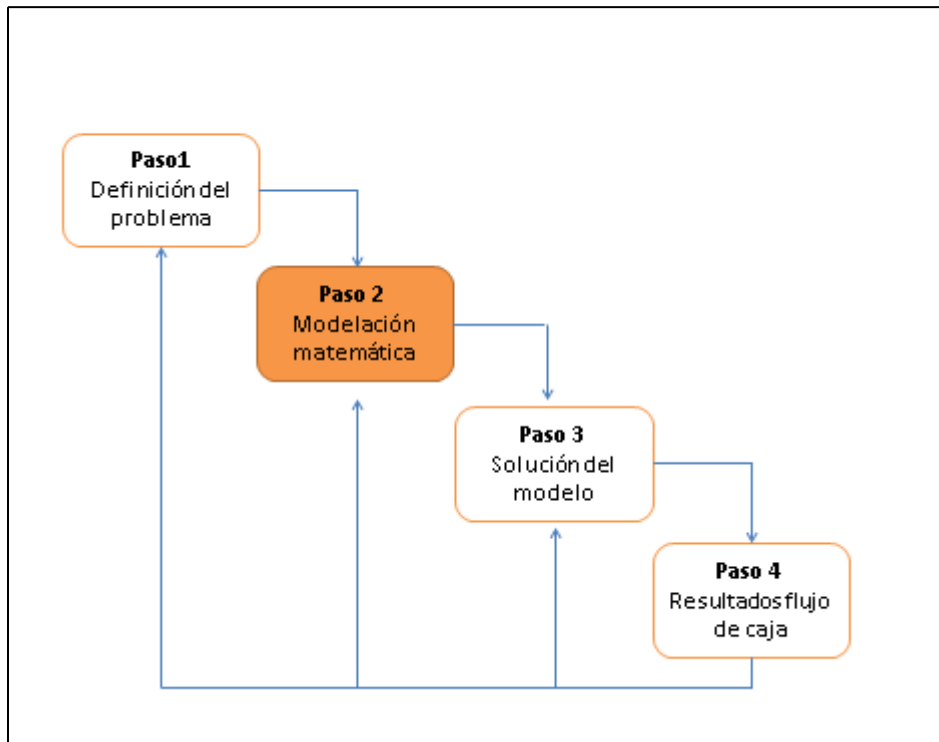
## 6. Capítulo. Evaluación económica

La problemática presente en la minera Antucoya es el elevado costo en toda la logística del abastecimiento del ácido sulfúrico, las causas de este problema son los altos costos asociados y la distribución de retiros realizados a los distintos terminales sin un modelo que se acote a las necesidades de la empresa.

Con el propósito de encontrar una distribución óptima de retiros para cada uno de los terminales se analizarán los distintos escenarios posibles, para encontrar el punto óptimo y con el menor costo para Antucoya. Los resultados obtenidos quedarán documentados en las conclusiones de este capítulo.

Para resolver la problemática ya propuesta se construirá un modelo donde abarque todos los escenarios posibles y factores que estén involucrados en el abastecimiento del ácido sulfúrico, donde presentaremos la solución óptima, acompañado de un flujo de caja que avale los resultados obtenidos.

### 6.1 Metodología de resolución



**Fig. 6.1 Elaboración propia**  
Archivo digital proporcionado por minera Antucoya

El paso 1 fue realizado anteriormente en el capítulo 1 Introducción a la problemática, donde se presenta formalmente el problema, que se pudo constatar en el diagnóstico realizado a la minera Antucoya.

A continuación, se procederá a la realización de la modelación matemática, donde se definirá y se expondrán los resultados obtenidos, para finalmente realizar una evaluación económica

Para la modelación matemática utilizaremos un modelo cuantitativo y predictivo mediante el método Montecarlo que es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemático mediante la simulación de variables aleatorias, el método Montecarlo se basa en la existencia de problemas que tienen difícil solución por métodos exclusivamente analíticos o numéricos. Gracias al avance en diseño de los ordenadores, cálculos Montecarlo que en otro tiempo hubieran sido inconcebibles, hoy en día se presentan como asequibles para la resolución de ciertos problemas. En estos métodos el error  $\sim 1/\sqrt{N}$ , donde N es el número de pruebas y, por tanto, ganar una cifra decimal en la precisión implica aumentar N en 100 veces.

La base es la generación de números aleatorios de los que nos serviremos para calcular probabilidades. Conseguir un buen generador de estos números así como un conjunto estadístico adecuado sobre el que trabajar son las primeras dificultades con la que nos vamos a encontrar a la hora de utilizar este método. En donde podemos utilizar distintos software, pero nosotros emplearemos Oracle Crystal Ball que es una extensión de Excel.

### **6.1.2 Oracle Crystal Ball**

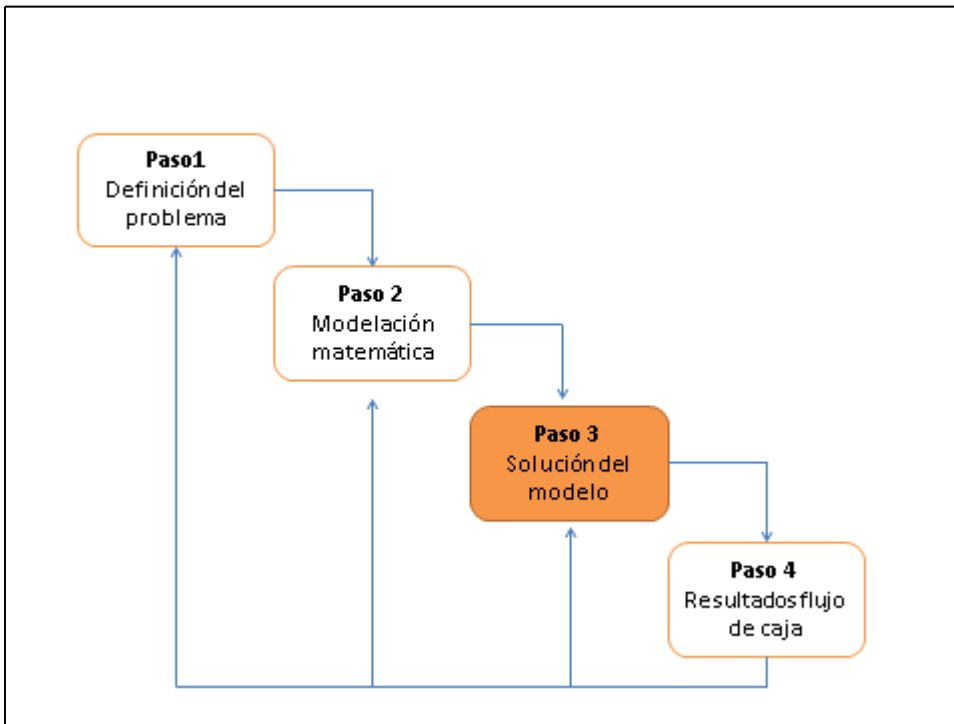
La principal herramienta con la cual se hará el análisis de riesgo en esta memoria es el método Montecarlo para el porcentaje a retirar de cada uno de los terminales de ácido sulfúrico, el uso de las diferentes rutas a utilizar y el costo de cada uno de los colaboradores.

Es la herramienta más usada para el análisis cuantitativo de riesgo. Existen varios programas que permiten hacer simulación de Monte Carlo, para esta memoria se utilizará el Oracle Crystal Ball es la aplicación líder basada en hojas de cálculo para elaborar modelos predictivos, previsión, simulación y optimización. El cual brinda una perspectiva inigualable de los factores críticos que afectan el riesgo. Con Crystal Ball podemos tomar las decisiones tácticas correctas para alcanzar los objetivos presupuestados y ganar una ventaja competitiva incluso bajo las condiciones de mercado más inciertas.

Se suponen 10.000 iteraciones para calcular el porcentaje a retirar de cada uno de los terminales de ácido sulfúrico, el uso de las diferentes rutas a utilizar, para obtener el menor costo en la logística de abastecimiento del ácido sulfúrico. Usando variables aleatorias para costos y duraciones de cada actividad y sus respectivas distribuciones de probabilidad, se estarían creando 10.000 pseudo escenarios distintos, los cuales analizaremos para ver la opción con menor costo y así tomar la mejor decisión.

La licencia de la versión Oracle Crystal Ball 11.1.2.4 extensión de Microsoft Excel fue otorgada por la compañía minera Antucoya, por un periodo de 6 meses.

## 6.2 Resolución del modelo



**Fig. 6.2a Elaboración propia**  
Archivo digital proporcionado por minera

A continuación, se procederá a la solución de la modelación matemática, se expondrán primeramente el modelo desarrollado con todas las variables incluidas y sus respectivas restricciones, para finalmente presentar los resultados obtenidos de los pseudo escenarios.

Para resolver el modelo en Oracle Crystal Ball, primero debemos definir nuestras suposiciones las cuales van a variar respecto a 10.000 iteraciones lo que serán nuestros pseudo escenarios para obtener la solución óptima, utilizaremos una suposición uniforme ya que los resultados tienen la misma probabilidad que sucedan dependiendo cada uno de los respectivos terminales marítimos.

Tonelaje

valor dólar	667,92
----------------	--------

2017

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Octubre	Nov.	Dic	
Cons. Aglom.	388.769	32.506	27.396	31.384	29.076	31.957	30.909	34.454	33.615	29.300	36.445	35.537	36.189
Cons. Lixiv.	96.927	10.755	12.526	10.444	7.238	6.937	6.567	7.072	7.198	6.254	7.325	7.111	7.499
Total Cons	485.696	43.261	39.922	41.828	36.314	38.895	37.476	41.526	40.814	35.553	43.770	42.648	43.688
Origen													
Mjs	45%	19.467	17.965	18.823	16.341	17.503	16.864	18.687	18.366	15.999	19.696	19.192	19.660
Michilla	55%	23.794	21.957	23.005	19.973	21.392	20.612	22.839	22.448	19.554	24.073	23.456	24.029
Otro	0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100%	43.261	39.922	41.828	36.314	38.895	37.476	41.526	40.814	35.553	43.770	42.648	43.688
Ruta Mejillon es ANT													
Cuesta	95%	18.494	17.067	17.881	15.524	16.627	16.021	17.752	17.448	15.199	18.712	18.232	18.677
B400	5%	973	898	941	817	875	843	934	918	800	985	960	983
Ruta Michilla ANT													
Cuesta	95%	22.604	20.859	21.855	18.974	20.322	19.581	21.697	21.325	18.577	22.870	22.284	22.827
B400	5%	1.190	1.098	1.150	999	1.070	1.031	1.142	1.122	978	1.204	1.173	1.201
Ruta Chuqui ANT		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tarifas  
Ilzauspe  
(60%)

Mejillon es-cuesta	9.338	9385	9306	9330	9.805	9.805	9.805	9.805	9.805	9.805	10.295	10.295	10.295
Mejillon es-B400	11.567	12890	11394	12754	12.145	12.145	12.145	12.145	12.145	12.145	12.753	12.753	12.753
Michilla-cuesta	6.530	6927	6870	6531	6.857	6.857	6.857	6.857	6.857	6.857	7.199	7.199	7.199
Michilla B400	11.990	11.990	11.990	11.990	12.590	12.590	12.590	12.590	12.590	12.590	13.219	13.219	13.219



US\$		186.56 3	172.16 3	180.383	156.604	176.119	169.698	188.036	184.810	160.990	198.195	202.770	207.718
TOTAL CH\$		\$ 124.60 8.984	\$ 114.99 1.329	\$ 120.481 .371	\$ 104.598 .846	\$ 117.633 .471	\$ 113.344 .488	\$ 125.592 .952	\$ 123.438 .322	\$ 107.528 .230	\$ 132.378 .656	\$ 135.434 .463	\$ 138.738 .726

Costos  
Michilla

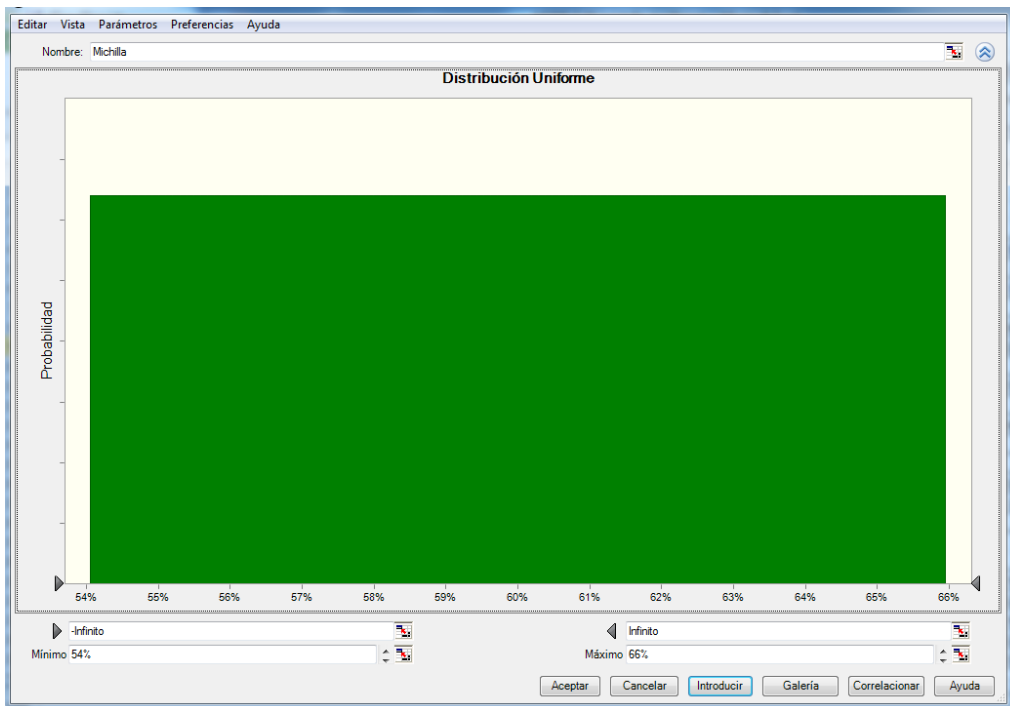
Arriendo		\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000	\$ 86.000
Mantenimiento		\$ 149.00 0	\$ 149.00 0	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000	\$ 149.000
Demurrage		\$ 7.138	\$ 6.587	\$ 6.902	\$ 5.992	\$ 6.418	\$ 6.184	\$ 6.852	\$ 6.734	\$ 5.866	\$ 7.222	\$ 7.037	\$ 7.209
TOTAL US\$		\$ 242.13 8	\$ 241.58 7	\$ 241.902	\$ 240.992	\$ 241.418	\$ 241.184	\$ 241.852	\$ 241.734	\$ 240.866	\$ 242.222	\$ 242.037	\$ 242.209
TOTAL CH\$		\$ 161.72 8.856	\$ 161.36 0.876	\$ 161.570 .930	\$ 160.963 .250	\$ 161.247 .644	\$ 161.091 .358	\$ 161.537 .680	\$ 161.459 .167	\$ 160.879 .420	\$ 161.784 .944	\$ 161.661 .290	\$ 161.775 .961

Costos  
MJS

Costo fijo		\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000	\$ 42.000
Throughput por tonelaje retirado		\$ 85.851	\$ 79.225	\$ 83.008	\$ 72.065	\$ 77.186	\$ 74.372	\$ 82.409	\$ 80.995	\$ 70.556	\$ 86.861	\$ 84.635	\$ 86.700
TOTAL US\$		\$ 127.85 1	\$ 121.22 5	\$ 125.008	\$ 114.065	\$ 119.186	\$ 116.372	\$ 124.409	\$ 122.995	\$ 112.556	\$ 128.861	\$ 126.635	\$ 128.700
TOTAL CH\$		\$ 85.394. 543	\$ 80.968 .742	\$ 83.495. 120	\$ 76.186. 384	\$ 79.606. 877	\$ 77.727. 180	\$ 83.095. 212	\$ 82.150. 920	\$ 75.178. 137	\$ 86.069. 126	\$ 84.581. 905	\$ 85.961. 078

Total costos CH\$		\$ 589.42 9.157	\$ 555.88 6.688	\$ 570.173 .429	\$ 527.589 .482	\$ 557.535 .278	\$ 543.952 .937	\$ 582.741 .348	\$ 575.918 .071	\$ 525.534 .023	\$ 615.251 .917	\$ 610.672 .263	\$ 621.057 .265
US\$		\$ 882.48 5	\$ 832.26 5	\$ 853.655	\$ 789.899	\$ 834.734	\$ 814.398	\$ 872.472	\$ 862.256	\$ 786.822	\$ 921.146	\$ 914.290	\$ 929.838

A continuación, se pueden apreciar todas las variables consideradas en la simulación del modelo, donde como restricción se consideró la capacidad de almacenaje que tiene cada uno de los terminales, y la flota disponible de cada una de las empresas colaboradoras, además de las rutas existentes, los resultados de la simulación se observan en la siguiente imagen.



**Fig. 6.2b Cuadro distribución uniforme obtenida de Crystal Ball.**

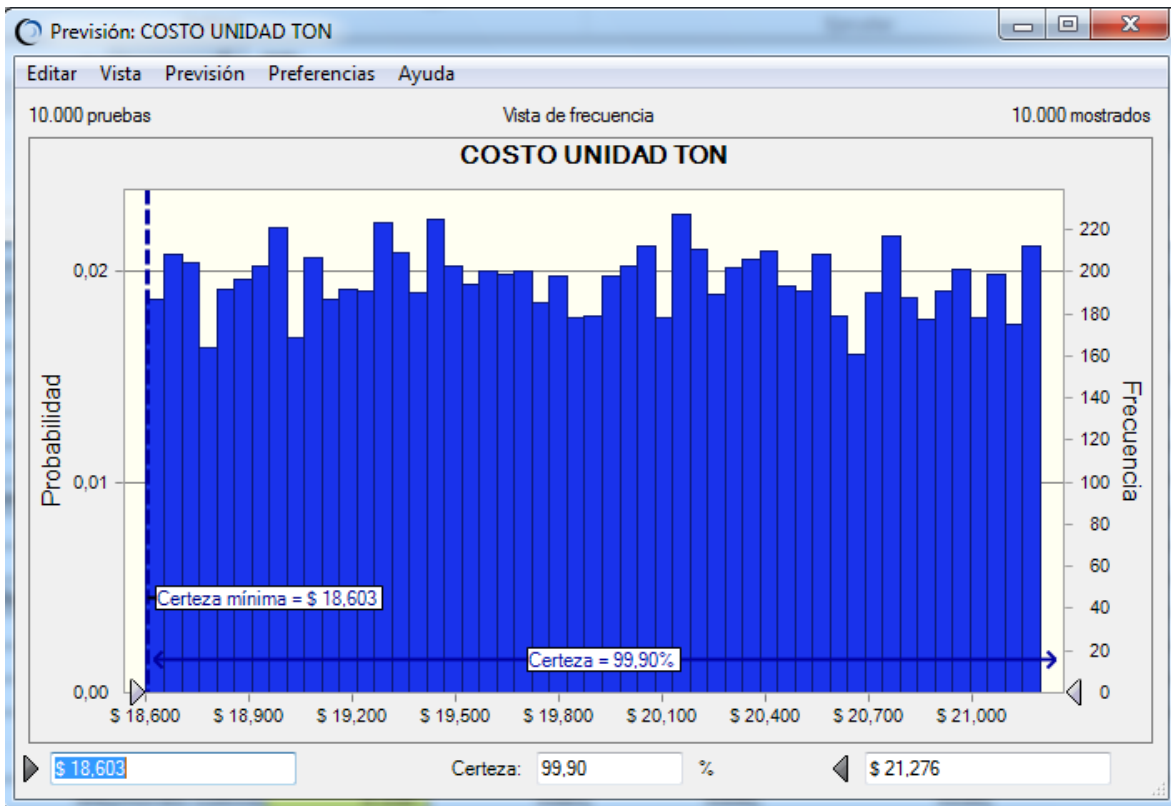
The figure shows a software window titled "Suposición: Michilla" with a menu bar "Editar Vista Preferencias Ayuda". It displays "10.000 pruebas" and "Vista de estadísticas" for "Hoja 11B9". Below is a table with the following data:

Estadística	Valores de suposición	Distribución Uniforme
► Pruebas	10.000	---
Caso base	70%	70%
Media	71%	71%
Mediana	71%	71%
Modo	---	---
Desviación estándar	9%	9%
Varianza	1%	1%
Sesgo	0,0195	0,00
Curtosis	1,81	1,80
Coefficiente de variación	0,1298	0,1301
Mínimo	55%	55%
Máximo	87%	87%
Error estándar medio	0%	---

Below the table, there are input fields for "Mínimo 55%" and "Máximo 87%", both with arrows indicating they can be adjusted. At the bottom, there are buttons for "Aceptar", "Cancelar", "Introducir", "Galería", "Correlacionar", and "Ayuda".

**Fig. 6.2c Cuadro distribución uniforme, estadística obtenida en Crystal Ball**

Ya definidas nuestras suposiciones en el modelo y la distribución que vamos a utilizar nos enfocamos en definir las previsiones en donde generalmente contienen fórmulas que hacen referencia a una o más celdas de variables de decisión y suposición. Las celdas de previsión combinan celdas en el modelo para producir los resultados que necesita. Una vez definido obtenemos 10.000 resultados distintos obtenidos de las iteraciones para luego evaluarlo y obtener el más económico respecto a la logística de abastecimiento del ácido sulfúrico.



**Fig. 6.2d: Gráfico resultado previsión de frecuencia obtenido en Crystal Ball**

Estadística	Valores de previsión
▶ Pruebas	10.000
Caso base	\$ 19,979
Media	\$ 19,911
Mediana	\$ 19,914
Modo	---
Desviación estándar	\$ 0,745
Varianza	\$ 0,555
Sesgo	-0,0195
Curtosis	1,81
Coefficiente de variación	0,0374
Mínimo	\$ 18,601
Máximo	\$ 21,195
Error estándar medio	\$ 0,007

**Fig. 6.2e: Gráfico resultado previsión estadística obtenido en Crystal Ball**

Ya definidos nuestras suposiciones y definiciones realizamos la simulación del modelo en Oracle Crystal Ball y analizamos las soluciones obtenidas que nos arrojó el software en análisis de resultados. A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos de la simulación parcialmente, el total de estos se encuentran en anexos.

### **Informe de Crystal: completo**

Simulación iniciada el 25-09-2017 a las 11:21

Simulación detenida el 25-09-2017 a las 11:22

Prefs ejecución:

Número de pruebas ejecutadas 10.000

Velocidad extrema

Monte Carlo

Inicialización aleatoria

Control de precisión activado

Nivel de confianza 95,00%

Estadísticas de ejecución:

Tiempo de ejecución total (seg) 22,67

Pruebas/segundo (promedio) 441

Números aleatorios por segundo 5.292

Datos de Crystal Ball:

Suposiciones	12
Correlaciones	4
Matrices de correlación	4
VARIABLES DE DECISIÓN	0
Previsiones	28

### Previsiones

Hoja de trabajo: Hoja de cálculo

Previsión: COSTO ANUAL US\$

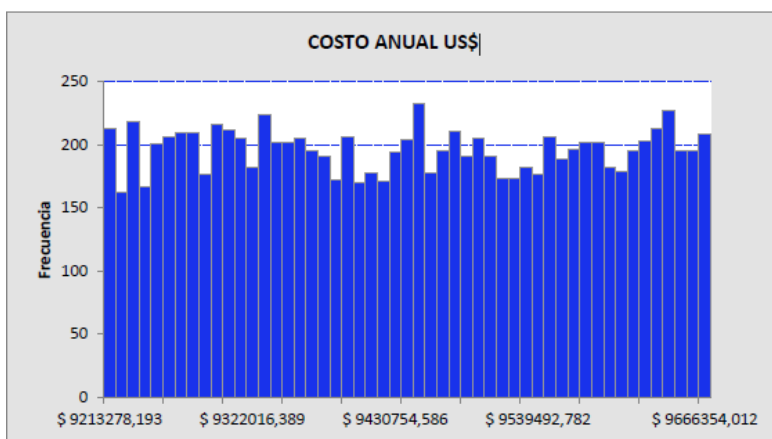
Celda: S63

Resumen:

El rango completo es de \$ 9.208.747 a \$ 9.670.885

El caso base es \$ 10.469.743

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 1.344



### Estadísticas:

Pruebas	10.000
Caso base	\$ 10.469.743
Media	\$ 9.439.611
Mediana	\$ 9.440.195
Modo	---
Desviación estándar	\$ 134.372
Varianza	\$ 18.055.709.622
Sesgo	0,0166
Curtosis	1,78
Coefficiente de variación	0,0142
Mínimo	\$ 9.208.747
Máximo	\$ 9.670.885
Ancho de rango	\$ 462.137
Error estándar medio	\$ 1.344

### Valores de previsión

## 6.3. Análisis de resultados

### 6.3.1. Escenarios

Los escenarios expuestos a continuación se establecen en base a las oportunidades de mejoras detectadas en el análisis realizado anteriormente. Las oportunidades de mejora se definen como lineamientos concretos y medibles que permiten actuar sobre las variables con el objetivo de lograr eficiencia en los procesos de logística y abastecimiento. Por otro lado, las recomendaciones son lineamientos, no necesariamente medibles, que tienen por objetivo orientar a soluciones en el mediano plazo.

En este punto se presentarán distintos escenarios con oportunidades de mejora y recomendaciones más significativas con la finalidad de minimizar los costos de transportes y también en el proceso de retiro y carga de ácido sulfúrico en la Minera Antucoya.

#### 6.3.1.1 Escenario 1 Situación Actual

Actualmente Antucoya cuenta con 2 terminales de carga de ácido sulfúrico Michilla y Mejillones, Michilla aporta un 76% del total de ácido sulfúrico que llega finalmente a la mina, mientras que Mejillones el 24% restante y cada una utiliza 2 rutas alternativas como se aprecia en la siguiente figura.



**Fig.6.3.1 Elaboración propia**

Se proyecta un gasto anual aproximado de US\$ 10.114.934 en todo el proceso logístico considerando 480.000 Ton de consumo de ácido.

Dado el escenario actual no existe un control para optimizar los gastos logísticos que produce realizar el transporte actual en la minera Antucoya, solo se sabe que la ruta óptima para hacerlo es por la ruta la “cuesta” sin embargo no siempre se utiliza por diferentes razones (clima, operativas, entre otras).

En base a lo anterior se busca nuevas alternativas que se traduzcan en un beneficio económico para la empresa.

### 6.3.1.2. Escenario 2 Análisis del Personal

Otra variable en consideración es externalizar el servicio de descarga del personal en minera Antucoya, con la finalidad de reducir el tiempo y la cantidad de incidentes en el área.

Ilzauspe presta servicio con una flota de 21 camiones (variables), lo que equivale a 71 transportistas mensual que interactúan con la plataforma en la descarga del ácido sulfúrico.

Hurcam presta servicio con una flota de 10 camiones (variables), lo que equivale a 44 transportistas mensual que interactúan con la plataforma en la descarga del ácido sulfúrico.

El tiempo promedio por cada uno de los transportistas en la descarga es de 31 minutos, por ende se puede optimizar a un mínimo de 20 minutos, a continuación se observará detalladamente los tiempos

Detalle operaciones	TIEMPO	
	CHOFER-OPERADOR	OPERADOR
EPP	5 Min	0 Min
Conexión manguerote	3 Min	3 Min
Descarga	15 Min	15 Min
Desconectar manguerote	2 Min	2 Min
Lavado en duchas	1 Min	1 Min
Quitarse EPP	5 Min	0 Min
<b>TOTAL</b>	<b>31 Min</b>	<b>21 Min</b>

**Tabla 6.2.1 , Elaboración propia**

Al disminuir el tiempo en la descarga, directamente afectaría al número de vuelta por camión donde aumentaría de 1,5 a 2 vueltas por camión, el costo de externalizar el servicio se costea con la disminución de la tarifa al contratar solo el servicio de transporte con chofer, que disminuye en \$50 por tonelada.

Además, el número de personas interactuando directamente en el área del ácido sulfúrico disminuiría en un 90% lo que equivale al riesgo de producir un incidente y es el KPI más importante del área, que se debe mantener en un 0% esto quiere decir, 0 incidente mensualmente.

### 6.3.1.3. Escenario 3 Michilla Único Terminal

El escenario óptimo es realizar todos los retiros desde el terminal de ácido sulfúrico ubicado en Michilla, ya que tiene los precios más económicos por tonelada transportada, este resultado se obtiene al realizar la simulación y retirar las restricciones para ver un escenario hipotético, una vez realizado se obtiene el siguiente resultado donde se puede observar de mejor manera en el flujo incremental a continuación.

FLUJO INCREMENTAL						
FLUJO INCREMENTAL						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>Peajes</b>	<b>CH\$</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	<b>US\$</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costo transporte Ilzauspe</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mejillones-cuesta		\$ 1.223.001.207	\$ 1.322.338.976	\$ 1.571.545.472	\$ 1.741.927.294	\$ 1.869.924.278
Mejillones-B400		\$ 81.076.031	\$ 95.588.982	\$ 113.603.573	\$ 125.920.101	\$ 135.172.722
Michilla-cuesta		-\$ 863.058.517	-\$ 976.008.747	-\$ 1.159.946.242	-\$ 1.285.703.821	-\$ 1.380.177.461
Michilla B400		-\$ 82.641.889	-\$ 88.914.810	-\$ 105.671.594	-\$ 117.128.162	-\$ 125.734.751
Chuqui-ANT		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL US\$		\$ 536.557	\$ 528.513	\$ 628.116	\$ 696.214	\$ 747.372
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 358.376.832	\$ 353.004.402	\$ 419.531.209	\$ 465.015.411	\$ 499.184.788
<b>Costo transporte Hurcam</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mejillones-cuesta		\$ 780.287.904	\$ 783.643.072	\$ 936.084.193	\$ 1.037.603.455	\$ 1.113.786.437
Mejillones-B400		-\$ 555.121.583	-\$ 557.508.556	-\$ 674.869.565	-\$ 761.853.610	-\$ 832.970.917
Michilla-cuesta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Michilla B400		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL US\$		\$ 337.116	\$ 338.565	\$ 391.087	\$ 412.849	\$ 420.433
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 225.166.321	\$ 226.134.516	\$ 261.214.628	\$ 275.749.845	\$ 280.815.520
<b>Costos terminal Michilla US\$</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Arriendo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mantenimiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Demurrage		-\$ 65.569	-\$ 62.281	-\$ 68.535	-\$ 70.338	-\$ 69.914
TOTAL US\$		-\$ 65.569	-\$ 62.281	-\$ 68.535	-\$ 70.338	-\$ 69.914
<b>TOTAL CH\$</b>		-\$ 43.794.799	-\$ 41.598.437	-\$ 45.775.955	-\$ 46.980.402	-\$ 46.696.784
<b>Costos Terminal Mejillones</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo fijo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Throughput por tonelaje retirado		\$ 963.863	\$ 915.524	\$ 1.007.466	\$ 1.033.974	\$ 1.027.732
TOTAL US\$		\$ 963.863	\$ 915.524	\$ 1.007.466	\$ 1.033.974	\$ 1.027.732
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 643.783.545	\$ 611.497.028	\$ 672.906.537	\$ 690.611.911	\$ 686.442.722
<b>Flujo caja</b>	<b>CH\$</b>	\$ 1.183.531.898	\$ 1.149.037.508	\$ 1.307.876.420	\$ 1.384.396.765	\$ 1.419.746.246
<b>Flujo caja</b>	<b>US\$</b>	\$ 1.771.967	\$ 1.720.322	\$ 1.958.133	\$ 2.072.698	\$ 2.125.623

Se obtiene un VAN US de \$9.648.744.

El gran problema de esta situación es que actualmente el terminal de ácido sulfúrico no tiene la capacidad necesaria para almacenar el ácido sulfúrico que necesita en sus operaciones la minera Antucoya, se recomienda realizar un CAPEX de un estanque de ácido sulfúrico de 20 toneladas para poder realizar todas los retiros desde Terminal Michilla, esta situación fue descartada inmediatamente por la situación actual que vive la Minera Antucoya donde se auto denominan la Minería del futuro, por la baja ley de cobre que tiene esta, por lo cual no se encuentra dentro de la política de la empresa realizar grandes inversiones, ya que la política principal de esta es reducir costos.

### 6.3.2 Cuadro comparativo de los escenarios propuestos

	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>	<b>Escenario 3</b>
<b>Carga y descarga</b>	Se cargan en ambos terminales (Michilla-Mejillones)	Se externaliza la descarga de ácido	Se carga solo en terminal Michilla
<b>Ventajas</b>	Se mantiene lo presupuestado, no existe riesgo ni incertidumbre	Se disminuyen los tiempos de descarga, se reduce la probabilidad de accidentes	Se minimizan los costos por tonelada transportada
<b>Desventajas</b>	Alto costo en la logística de abastecimiento de ácido sulfúrico (10 millones de dólares aprox.)	Externalizar el servicio de descarga produce incertidumbre en los procesos utilizados	Se debe realizar una gran inversión que no está dentro de las políticas de la Minera

**Fig. 6.3.2: Cuadro comparativo. Elaboración Propia**

Se puede observar que cada uno de los escenarios propuestos tiene sus implicancias tanto positivas como negativas, las cuales se deben considerar a la hora de tomar la mejor decisión en beneficio de la Minera Antucoya.

## 6.4. Evaluación económica

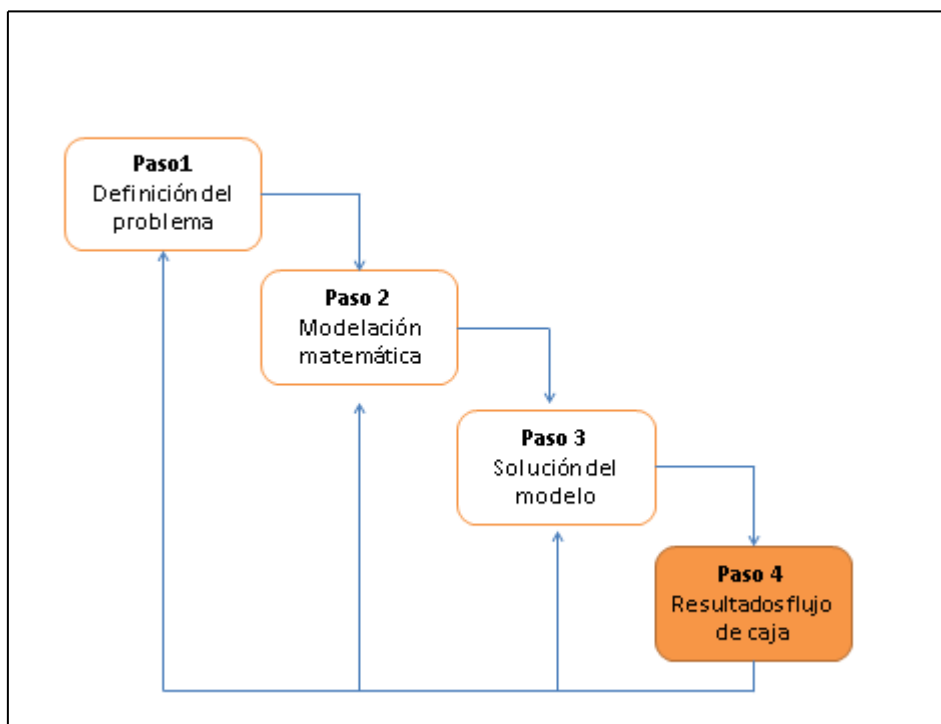


Fig. 7 Elaboración propia

### 6.4.1 Archivo digital proporcionado por minera

A continuación, se procederá a la evaluación económica mediante un flujo de caja incremental, para poder observar de mejor manera, todos los resultados obtenidos.

Una vez obtenido todos los datos y analizados a cabalidad se realiza un análisis a 5 años de la situación actual en contraste con la solución óptima, para observar el comportamiento de los retiros en toneladas de cada terminal marítimo y las rutas a utilizar, con el fin de obtener el máximo de beneficios y ahorros.

Con el objetivo de visualizar de mejor forma los pseudo escenarios posibles, primeramente se expondrá las tarifas de cada uno de los colaboradores que participan en el abastecimiento por 5 años, realizando los reajustes semestralmente como se estipula en el contrato marco incremental, en donde apreciamos la situación actual, respecto a la solución óptima, la variación en toneladas existente en retiro de terminales y las rutas utilizadas.

Tarifas Ilzauspe	2017	2018	2019	2020	2021
Mejillones-cuesta	\$ 10.295	\$ 11.175	\$ 12.069	\$ 13.034	\$ 14.077
Mejillones-B400	\$ 12.753	\$ 15.348	\$ 16.576	\$ 17.902	\$ 19.334
Michilla-cuesta	\$ 7.199	\$ 8.248	\$ 8.908	\$ 9.620	\$ 10.390
Michilla B400	\$ 13.219	\$ 14.276	\$ 15.419	\$ 16.652	\$ 17.984
Chuqui-ANT	\$ 14.002	\$ 15.122	\$ 16.332	\$ 17.638	\$ 19.049

A continuación se observa el consumo que tiene cada una de las áreas en la minera antucoya de ácido sulfúrico, el cual no varía con respecto al modelo propuesto; también podemos percibir el comportamiento de retiros de ácido sulfúrico en cada uno de los terminales marítimos y las rutas que se utilizan, el cual fue proyectado a 5 años para realizar el flujo.

Situación actual					
	2017	2018	2019	2020	2021
Consumo Aglomerado	388.769	373.338	419.667	433.025	429.880
Consumo Lixiviación	96.927	88.000	88.000	88.000	88.000
<b>Total Consumo</b>	<b>485.696</b>	<b>461.338</b>	<b>507.667</b>	<b>521.025</b>	<b>517.880</b>
Origen	0				
Mejillones	218.563	207.602	228.450	234.461	233.046
Michilla	267.133	253.736	279.217	286.564	284.834
Otro	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>485.696</b>	<b>461.338</b>	<b>507.667</b>	<b>521.025</b>	<b>517.880</b>
<b>Ruta Mejillones ANT</b>	0				
Cuesta	207.635	197.222	217.028	222.738	221.394
B400	10.928	10.380	11.423	11.723	11.652
<b>Ruta Michilla ANT</b>	0				
Cuesta	253.776	241.049	265.256	272.236	270.592
B400	13.357	12.687	13.961	14.328	14.242
Ruta Chuqui ANT	0	-	-	-	-

Solución optima					
	2017	2018	2019	2020	2021
Consumo Aglomerado	388.769	373.338	419.667	433.025	429.880
Consumo Lixiviación	96.927	88.000	88.000	88.000	88.000
<b>Total Consumo</b>	<b>485.696</b>	<b>461.338</b>	<b>507.667</b>	<b>521.025</b>	<b>517.880</b>
Origen	0				
Mejillones	154.857	147.091	161.862	166.121	165.118
Michilla	330.824	314.233	345.790	354.888	352.746
Otro	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>485.681</b>	<b>461.324</b>	<b>507.652</b>	<b>521.009</b>	<b>517.864</b>
<b>Ruta Mejillones ANT</b>	0				
Cuesta	147.114	139.736	153.769	157.815	156.862
B400	7.743	7.355	8.093	8.306	8.256
<b>Ruta Michilla ANT</b>	0				
Cuesta	314.283	298.521	328.500	337.144	335.109
B400	16.541	15.712	17.289	17.744	17.637
Ruta Chuqui ANT	0	-	-	-	-

Ya observado todos los agentes involucrados en el abastecimiento del ácido sulfúrico, observamos a continuación el flujo incremental a 5 años.

FLUJO INCREMENTAL						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>Peajes</b>	<b>CH\$</b>	\$ 1.187	\$ 1.127	\$ 1.241	\$ 1.273	\$ 1.266
	<b>US\$</b>	\$ 2	\$ 2	\$ 2	\$ 2	\$ 2
<b>Costo transporte Ilzauspe</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mejillones-cuesta		\$ 356.477.674	\$ 385.432.426	\$ 458.070.582	\$ 507.733.097	\$ 545.041.373
Mejillones-B400		\$ 23.631.861	\$ 27.862.064	\$ 33.112.917	\$ 36.702.911	\$ 39.399.845
Michilla-cuesta		-\$ 251.504.842	-\$ 284.419.793	-\$ 338.021.223	-\$ 374.668.379	-\$ 402.199.047
Michilla B400		-\$ 24.082.765	-\$ 25.910.764	-\$ 30.793.876	-\$ 34.132.448	-\$ 36.640.503
Chuqui-ANT		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL US\$		\$ 156.489	\$ 154.156	\$ 183.208	\$ 203.071	\$ 217.993
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 104.521.929	\$ 102.963.934	\$ 122.368.399	\$ 135.635.181	\$ 145.601.667
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costo transporte Hurcam</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mejillones-cuesta		\$ 227.436.584	\$ 228.414.541	\$ 272.847.740	\$ 302.438.349	\$ 324.643.996
Mejillones-B400		-\$ 161.768.597	-\$ 162.464.188	-\$ 196.664.490	-\$ 222.012.607	-\$ 242.736.981
Michilla-cuesta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Michilla B400		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL US\$		\$ 98.317	\$ 98.740	\$ 114.060	\$ 120.412	\$ 122.630
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 65.667.987	\$ 65.950.353	\$ 76.183.251	\$ 80.425.742	\$ 81.907.015
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costos terminal Michilla U\$</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Arriendo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mantenimiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Demurrage		-\$ 19.108	-\$ 18.149	-\$ 19.972	-\$ 20.497	-\$ 20.374
TOTAL US\$		-\$ 19.108	-\$ 18.149	-\$ 19.972	-\$ 20.497	-\$ 20.374
<b>TOTAL CH\$</b>		-\$ 12.762.291	-\$ 12.122.247	-\$ 13.339.622	-\$ 13.690.611	-\$ 13.607.962
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costos Terminal Mejillones</b>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo fijo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Throughput por tonelaje retirado		\$ 280.945	\$ 266.855	\$ 293.654	\$ 301.380	\$ 299.561
TOTAL US\$		\$ 280.945	\$ 266.855	\$ 293.654	\$ 301.380	\$ 299.561
<b>TOTAL CH\$</b>		\$ 187.648.597	\$ 178.237.795	\$ 196.137.302	\$ 201.298.025	\$ 200.082.799
		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo caja</b>	<b>CH\$</b>	\$ 345.077.409	\$ 335.030.962	\$ 381.350.571	\$ 403.669.610	\$ 413.984.785
<b>Flujo caja</b>	<b>US\$</b>	\$ 516.645	\$ 501.603	\$ 570.952	\$ 604.368	\$ 619.812

Tasa dcto  
VAN US\$

11%  
\$ 2.053.295

Se realiza un flujo de caja incremental, ya que estos analizan con herramientas económicas que permitan tomar una decisión respecto a que alternativa privilegiar. Esta evaluación se realiza mediante el criterio de Valor Actual Neto (VAN), es una medida de rentabilidad absoluta neta del proyecto porque se expresa en términos monetarios, es neta por la razón que se consideran todos los ingresos y egresos del proyecto durante su vida útil.

En esta evaluación se utiliza una tasa de descuento de 11,05% para el proyecto. La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro, se utiliza para descontar el dinero futuro. Es muy utilizado a la hora de evaluar proyectos de inversión. Indica cuánto vale ahora, el dinero de una fecha futura.

La tasa de descuento es la inversa a la tasa de interés, que sirve para aumentar el valor (o añadir intereses) en el dinero presente. La tasa de descuento, por el contrario, resta valor al dinero futuro cuando se traslada al presente, excepto si la tasa de descuento es negativa, caso que supondrá que vale más el dinero futuro que el actual. La tasa de interés se utiliza para obtener el incremento a una cantidad original, mientras que la tasa de descuento se resta de una cantidad esperada para obtener una cantidad en el presente.

Los indicadores para la realización de la tasa de descuento se obtuvieron según los datos del Banco Central y la bolsa de comercio de Santiago, del mes de septiembre que es la utilizada en la industria minera.

El VAN representa el costo de oportunidad de utilizar los fondos en una alternativa y no en otra, se calcula mediante la suma de los flujos de caja del proyecto descontados al periodo 0. Mientras mayor es el VAN mejor es el proyecto, puesto que es capaz de generar más beneficios que costos, maximizando riqueza, sus criterios de decisión son:

VAN > 0	CONVIENE EJECUTAR EL MODELO, GENERA GANANCIA
VAN = 0	INDIFERENCIA
VAN < 0	NO CONVIENE EJECUTAR EL MODELO, NO GENERA GANANCIA

Para poder comparar los flujos de cajas de las propuestas, se considera un horizonte de evaluación de 5 años. Cabe destacar que se elaboran flujos de caja incremental con el fin de evaluar el impacto del flujo de efectivo al hacer cambios, en este caso con la implementación del modelo.

Como se observa en el flujo de caja incremental es mayor que 0, por ende se determina que es conveniente para la minera Antucoya, aplicar las mejoras al modelo de abastecimiento de ácido sulfúrico, donde obtendrá una gran reducción de costos anualmente, los cuales

pueden ser destinados a otras áreas de la mina que tiene mayor gastos, para investigación de yacimientos o activar proyectos que estaban paralizados.

## **7. Capítulo. Conclusiones y recomendaciones.**

Luego de realizada la memoria, las conclusiones más relevantes se presentan a continuación:

Una vez realizado el diagnóstico de la empresa, se concluye que la principal problemática del elevado costo en toda la logística en el abastecimiento del ácido sulfúrico se debe a las rutas utilizadas sin un estudio previo y los retiros de ácido que se realizan de cada uno de los terminales marítimos existentes.

Para proponer las mejoras al modelo de abastecimiento del ácido sulfúrico se aplicó una simulación con el método monte Carlo para obtener la solución óptima al modelo, en donde interactúen todos los agentes involucrados en la logística, cuya función objetivo era la de minimizar los costos. Este modelo fue creado en base a las condiciones de la minera, para así poder ser implementado su resultado a la brevedad.

Como herramienta computacional se utilizó la extensión de Excel Oracle Crystal Ball ya que esta es la aplicación líder basada en hojas de cálculo para elaborar modelos predictivos, previsión, simulación y optimización, y era el software que mejor se comportaba para los requerimientos de la minera.

El ahorro en costos que arrojó la simulación del nuevo modelo en condiciones óptimas es en promedio de US\$ 600.000 dólares anuales, este ahorro se debe principalmente en la modificación de participación de los terminales marítimos y las rutas a utilizar dependiendo de dónde se retire el ácido sulfúrico.

Las recomendaciones finales para la propuesta de mejoras al modelo de abastecimiento ácido sulfúrico, con el objetivo de minimizar los costos en toda la logística, se propone maximizar el uso de la ruta denominada cuesta y realizar los retiros en el terminal marítimo Michilla costa, además de externalizar las descargas de ácido sulfúrico en el terminal ubicado en la minera ya que trae consigo dos beneficios expuestos en el escenario 2, donde se disminuyen gradualmente la probabilidad de incidente en la zona, consigo trae como beneficio lograr el KPI de 0% de accidentes o incidentes, además de la importante reducción de tiempo

HH que trae congio una optimización de uso de camiones por partes de los transportista evitando utilizar de este modo servicios spot.

Respecto a los retiros realizados en el terminal Michilla Interacid se recomienda realizar retiros hasta que los costos del contrato TAKE OR PAY y los costos fijos sean cancelados, además analizar las tarifas que existen al utilizar las B400 desde Michilla e Interacid, porque la diferencia no es representativa respecto a los Km que existe entre los terminales, respecto a las otras tarifas ofrecidas.

Minera Antucoya, al observar y analizar el modelo de abastecimiento de ácido sulfúrico aprobó su implementación.

## 8. Capítulo. Bibliografía.

Modelos de optimización de la gestión logística - Luis Mora García, Mauricio Martiliano Martínez (2010)

Investigación de Operaciones - Hamdy Taha (7ma edición)

Modelado y simulación “Aplicación a procesos logísticos” - Antoni Guasch, Miguel Piera, Josep Casanovas, Jaume Figueras (2002)

Gestión de logística integral: Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento - Luis Aníbal Mora García (2011)

Crystal ball guía de inicio

<http://www.docentes.fcefa.edu.bo/imorales/wp-content/uploads/sites/9/2013/09/MANUAL-CRYSTAL-BALLModelos-de-Simulaci%C3%B3n-4329.pdf>

<https://www.codelcoeduca.cl/>

<http://www.aminerals.cl/>

<http://web.antucoya.cl/>

## ANEXO.

Informe de Crystal: completo

Simulación iniciada el 25-09-2017 a las 11:21 Simulación detenida el 25-09-2017 a las 11:22

Prefs ejecución:

Número de pruebas ejecutadas 10.000

Velocidad extrema

Monte Carlo

Inicialización aleatoria

Control de precisión activado

Nivel de confianza 95,00%

Estadísticas de ejecución:

Tiempo de ejecución total (seg) 22,67 Pruebas/segundo (promedio) 441

Números aleatorios por segundo 5.292

Datos de Crystal Ball:

Suposiciones 12

Correlaciones 4

Matrices de correlación 4

Variables de decisión 0 Previsiones 28

Previsiones

Hoja de trabajo: [Hoja de cálculo en Presentación1]Hoja1

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 10.469.743

Media \$ 9.439.611

Mediana \$ 9.440.195

Modo ---

Desviación estándar \$ 134.372

Varianza \$ 18.055.709.622

Sesgo 0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0142

Mínimo \$ 9.208.747

Máximo \$ 9.670.885

Ancho de rango \$ 462.137

Error estándar medio \$ 1.344

Previsión: COSTO ANUAL US\$ Celda: S63

Resumen:

El rango completo es de \$ 9.208.747 a \$ 9.670.885

El caso base es \$ 10.469.743

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 1.344

Previsión: COSTO ANUAL US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S63

P0 \$ 9.208.747

P10 \$ 9.255.422

P20 \$ 9.300.216

P30 \$ 9.344.464

P40 \$ 9.391.063

P50 \$ 9.440.155

P60 \$ 9.484.864

P70 \$ 9.533.913

P80 \$ 9.580.325

P90 \$ 9.627.683

P100 \$ 9.670.885

Previsión: COSTO UNIDAD TON Celda: S65

Resumen:

El nivel de certeza es 0,00%

El rango de certeza es de \$ 19,110 a \$ 19,168

El rango completo es de \$ 16,743 a \$ 17,583

El caso base es \$ 19,036

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 0,002

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 19,036

Media \$ 17,163

Mediana \$ 17,164

Modo ---

Desviación estándar \$ 0,244

Varianza \$ 0,060

Sesgo 0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0142

Mínimo \$ 16,743

Máximo \$ 17,583  
 Ancho de rango \$ 0,840  
 Error estándar medio \$ 0,002

Previsión: COSTO UNIDAD TON (contin.) Percentiles: Celda: S65

P0 \$ 16,743  
 P10 \$ 16,828  
 P20 \$ 16,909  
 P30 \$ 16,990  
 P40 \$ 17,075  
 P50 \$ 17,164  
 P60 \$ 17,245  
 P70 \$ 17,334  
 P80 \$ 17,419  
 P90 \$ 17,505  
 P100 \$ 17,583

Previsión: Hurcam Celda: S45

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.090.553 a \$ 2.175.329

El caso base es \$ 2.321.873

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 246

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 2.321.873  
 Media \$ 2.132.903  
 Mediana \$ 2.133.010  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 24.649  
 Varianza \$ 607.594.692  
 Sesgo 0,0166  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0116  
 Mínimo \$ 2.090.553  
 Máximo \$ 2.175.329  
 Ancho de rango \$ 84.776  
 Error estándar medio \$ 246

Previsión: Hurcam (contin.) Percentiles: Celda: S45

P0	\$ 2.090.553
P10	\$ 2.099.115
P20	\$ 2.107.332
P30	\$ 2.115.449
P40	\$ 2.123.997
P50	\$ 2.133.003
P60	\$ 2.141.205
P70	\$ 2.150.202
P80	\$ 2.158.716
P90	\$ 2.167.403
P100	\$ 2.175.329

Previsión: Ilzauspe Celda: S37

Resumen:

El rango completo es de \$ 3.562.110 a \$ 3.696.980

El caso base es \$ 3.930.119

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 392

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 3.930.119

Media \$ 3.629.485

Mediana \$ 3.629.656

Modo ---

Desviación estándar \$ 39.215

Varianza \$ 1.537.818.335

Sesgo 0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0108

Mínimo \$ 3.562.110

Máximo \$ 3.696.980

Ancho de rango \$ 134.870

Error estándar medio \$ 392

Previsión: Ilzauspe (contin.) Percentiles: Celda: S37

P0 \$ 3.562.110

P10 \$ 3.575.731

P20 \$ 3.588.804

P30 \$ 3.601.718

P40 \$ 3.615.317

P50 \$ 3.629.644  
 P60 \$ 3.642.692  
 P70 \$ 3.657.007  
 P80 \$ 3.670.551  
 P90 \$ 3.684.372  
 P100 \$ 3.696.980

Previsión: term mejillones US\$ Celda: S59

Resumen:

El rango completo es de \$504.011 a \$762.999

El caso base es \$1.210.689

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$753

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$1.210.689

Media \$633.390

Mediana \$633.717

Modo ---

Desviación estándar \$75.303

Varianza \$5.670.612.961

Sesgo 0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,1189

Mínimo \$504.011

Máximo \$762.999

Ancho de rango \$258.987

Error estándar medio \$753

Previsión: term mejillones US\$ (contin.) Percentiles:

Celda: S59

P0 \$504.011

P10 \$530.168

P20 \$555.271

P30 \$580.068

P40 \$606.183

P50 \$633.695

P60 \$658.751

P70 \$686.238

P80 \$712.248

P90 \$738.788

P100 \$762.999

Previsión: term michilla US\$ Celda: S52

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.968.503 a \$ 2.984.999

El caso base es \$ 2.939.988

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 48

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 2.939.988

Media \$ 2.976.759

Mediana \$ 2.976.738

Modo ---

Desviación estándar \$ 4.796

Varianza \$ 23.005.448

Sesgo -0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0016

Mínimo \$ 2.968.503

Máximo \$ 2.984.999

Ancho de rango \$ 16.496

Error estándar medio \$ 48

Previsión: term michilla US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S52

P0 \$ 2.968.503

P10 \$ 2.970.044

P20 \$ 2.971.735

P30 \$ 2.973.391

P40 \$ 2.975.142

P50 \$ 2.976.736

P60 \$ 2.978.492

P70 \$ 2.980.154

P80 \$ 2.981.734

P90 \$ 2.983.332

P100 \$ 2.984.999

Previsión: total michilla Celda: S9

Resumen:

El rango completo es de 495.011 a 549.998

El caso base es 399.960

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es 160

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base 399.960

Media 522.529

Mediana 522.459

Modo ---

Desviación estándar 15.988

Varianza 255.616.093

Sesgo -0,0166

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0306

Mínimo 495.011

Máximo 549.998

Ancho de rango 54.987

Error estándar medio 160

Previsión: total michilla (contin.) Percentiles: Celda: S9

P0 495.011

P10 500.147

P20 505.782

P30 511.302

P40 517.139

P50 522.455

P60 528.305

P70 533.847

P80 539.114

P90 544.441

P100 549.998

Hoja de trabajo: [Libro2]Hoja1

Previsión: COSTO ANUAL US\$ Celda: S63

Resumen:

El rango completo es de \$ 9.208.792 a \$ 9.670.954

El caso base es \$ 10.469.743

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 1.347

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 10.469.743  
 Media \$ 9.438.934  
 Mediana \$ 9.437.990  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 134.738  
 Varianza \$ 18.154.360.341  
 Sesgo 0,0046  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0143  
 Mínimo \$ 9.208.792  
 Máximo \$ 9.670.954  
 Ancho de rango \$ 462.162  
 Error estándar medio \$ 1.347

Previsión: COSTO ANUAL US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S63

P0 \$ 9.208.792  
 P10 \$ 9.252.380  
 P20 \$ 9.296.893  
 P30 \$ 9.344.134  
 P40 \$ 9.391.979  
 P50 \$ 9.437.947  
 P60 \$ 9.485.791  
 P70 \$ 9.534.466  
 P80 \$ 9.579.477  
 P90 \$ 9.626.321  
 P100 \$ 9.670.954

Previsión: COSTO UNIDAD TON Celda: S65

Resumen:

El nivel de certeza es 0,00%

El rango de certeza es de \$ 19,110 a \$ 19,168

El rango completo es de \$ 16,743 a \$ 17,584

El caso base es \$ 19,036

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 0,002

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 19,036  
 Media \$ 17,162

Mediana \$ 17,160  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 0,245  
 Varianza \$ 0,060  
 Sesgo 0,0046  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0143  
 Mínimo \$ 16,743  
 Máximo \$ 17,584  
 Ancho de rango \$ 0,840  
 Error estándar medio \$ 0,002

Previsión: COSTO UNIDAD TON (contin.) Percentiles: Celda: S65

P0 \$ 16,743  
 P10 \$ 16,823  
 P20 \$ 16,903  
 P30 \$ 16,989  
 P40 \$ 17,076  
 P50 \$ 17,160  
 P60 \$ 17,247  
 P70 \$ 17,335  
 P80 \$ 17,417  
 P90 \$ 17,502  
 P100 \$ 17,584

Previsión: Hurcam Celda: S45

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.090.561 a \$ 2.175.341

El caso base es \$ 2.321.873

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 247

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 2.321.873  
 Media \$ 2.132.779  
 Mediana \$ 2.132.606  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 24.717  
 Varianza \$ 610.914.398  
 Sesgo 0,0046

Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0116  
 Mínimo \$ 2.090.561  
 Máximo \$ 2.175.341  
 Ancho de rango \$ 84.780  
 Error estándar medio \$ 247

Previsión: Hurcam (contin.) Percentiles: Celda: S45

P0 \$ 2.090.561  
 P10 \$ 2.098.557  
 P20 \$ 2.106.723  
 P30 \$ 2.115.389  
 P40 \$ 2.124.165  
 P50 \$ 2.132.598  
 P60 \$ 2.141.374  
 P70 \$ 2.150.304  
 P80 \$ 2.158.561  
 P90 \$ 2.167.154  
 P100 \$ 2.175.341

Previsión: Ilzauspe Celda: S37

Resumen:

El rango completo es de \$ 3.562.123 a \$ 3.697.001

El caso base es \$ 3.930.119

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 393

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 3.930.119  
 Media \$ 3.629.288  
 Mediana \$ 3.629.012  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 39.322  
 Varianza \$ 1.546.220.491  
 Sesgo 0,0046  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0108  
 Mínimo \$ 3.562.123  
 Máximo \$ 3.697.001  
 Ancho de rango \$ 134.877

Error estándar medio \$ 393

Previsión: Ilzauspe (contin.) Percentiles: Celda: S37

P0 \$ 3.562.123  
 P10 \$ 3.574.844  
 P20 \$ 3.587.834  
 P30 \$ 3.601.621  
 P40 \$ 3.615.584  
 P50 \$ 3.629.000  
 P60 \$ 3.642.962  
 P70 \$ 3.657.168  
 P80 \$ 3.670.304  
 P90 \$ 3.683.975  
 P100 \$ 3.697.001

Previsión: term mejillones US\$ Celda: S59

Resumen:

El rango completo es de \$504.036 a \$763.037

El caso base es \$1.210.689

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$755

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$1.210.689

Media \$633.011

Mediana \$632.481

Modo ---

Desviación estándar \$75.509

Varianza \$5.701.595.407

Sesgo 0,0046

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,1193

Mínimo \$504.036

Máximo \$763.037

Ancho de rango \$259.001

Error estándar medio \$755

Previsión: term mejillones US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S59

P0 \$504.036

P10 \$528.463

P20	\$553.409
P30	\$579.883
P40	\$606.696
P50	\$632.458
P60	\$659.270
P70	\$686.548
P80	\$711.773
P90	\$738.025
P100	\$763.037

Previsión: term michilla US\$ Celda: S52

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.968.501 a \$ 2.984.998

El caso base es \$ 2.939.988

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 48

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas	10.000
Caso base	\$ 2.939.988
Media	\$ 2.976.783
Mediana	\$ 2.976.817
Modo	---
Desviación estándar	\$ 4.809
Varianza	\$ 23.131.143
Sesgo	-0,0046
Curtosis	1,78
Coefficiente de variación	0,0016
Mínimo	\$ 2.968.501
Máximo	\$ 2.984.998
Ancho de rango	\$ 16.497
Error estándar medio	\$ 48

Previsión: term michilla US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S52

P0	\$ 2.968.501
P10	\$ 2.970.093
P20	\$ 2.971.766
P30	\$ 2.973.372
P40	\$ 2.975.108
P50	\$ 2.976.815
P60	\$ 2.978.458

P70 \$ 2.980.167  
 P80 \$ 2.981.850  
 P90 \$ 2.983.441  
 P100 \$ 2.984.998

Previsión: total michilla Celda: S9

Resumen:

El rango completo es de 495.003 a 549.993

El caso base es 399.960

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es 160

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base 399.960

Media 522.609

Mediana 522.722

Modo ---

Desviación estándar 16.032

Varianza 257.012.699

Sesgo -0,0046

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0307

Mínimo 495.003

Máximo 549.993

Ancho de rango 54.990

Error estándar medio 160

Previsión: total michilla (contin.) Percentiles: Celda: S9

P0 495.003

P10 500.309

P20 505.885

P30 511.241

P40 517.025

P50 522.717

P60 528.192

P70 533.889

P80 539.501

P90 544.804

P100 549.993

Hoja de trabajo: [MODELO 10 (michilla, mejillones).xlsx]Hoja1

Previsión: COSTO HURCAM Celda: S47

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.184.099 a \$ 2.775.048

El caso base es \$ 2.184.049

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 1.709

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 2.184.049

Media \$ 2.479.832

Mediana \$ 2.480.601

Modo ---

Desviación estándar \$ 170.911

Varianza \$ 29.210.442.940

Sesgo -0,0031

Curtosis 1,80

Coefficiente de variación 0,0689

Mínimo \$ 2.184.099

Máximo \$ 2.775.048

Ancho de rango \$ 590.949

Error estándar medio \$ 1.709

Previsión: COSTO HURCAM (contin.) Percentiles:

Celda: S47

P0 \$ 2.184.099

P10 \$ 2.242.990

P20 \$ 2.301.356

P30 \$ 2.360.975

P40 \$ 2.421.994

P50 \$ 2.480.582

P60 \$ 2.539.317

P70 \$ 2.596.120

P80 \$ 2.656.727

P90 \$ 2.717.277

P100 \$ 2.775.048

Previsión: COSTO ILZAUSPE Celda: S39

Resumen:

El rango completo es de \$ 3.683.061 a \$ 4.689.797

El caso base es \$ 3.682.976

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 2.912

Estadísticas: Valores de previsión  
 Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 3.682.976  
 Media \$ 4.186.869  
 Mediana \$ 4.188.179  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 291.162  
 Varianza \$ 84.775.247.897  
 Sesgo -0,0031  
 Curtosis 1,80  
 Coeficiente de variación 0,0695  
 Mínimo \$ 3.683.061  
 Máximo \$ 4.689.797  
 Ancho de rango \$ 1.006.736  
 Error estándar medio \$ 2.912

Previsión: COSTO ILZAUSPE (contin.) Percentiles:

Celda: S39

P0 \$ 3.683.061  
 P10 \$ 3.783.388  
 P20 \$ 3.882.820  
 P30 \$ 3.984.387  
 P40 \$ 4.088.337  
 P50 \$ 4.188.148  
 P60 \$ 4.288.207  
 P70 \$ 4.384.977  
 P80 \$ 4.488.226  
 P90 \$ 4.591.380  
 P100 \$ 4.689.797

Previsión: COSTO INT Celda: S60

Resumen:

El rango completo es de \$1.467.863 a \$1.467.863

El caso base es \$1.467.863

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$0

Estadísticas: Valores de previsión  
 Pruebas 10.000  
 Caso base \$1.467.863

Media \$1.467.863  
 Mediana \$1.467.863  
 Modo \$1.467.863  
 Desviación estándar \$0  
 Varianza \$0  
 Sesgo ---  
 Curtosis ---  
 Coeficiente de variación 0,00  
 Mínimo \$1.467.863  
 Máximo \$1.467.863  
 Ancho de rango \$0  
 Error estándar medio \$0

Previsión: COSTO INT (contin.) Percentiles: Celda: S60

P0 \$1.467.863  
 P10 \$1.467.863  
 P20 \$1.467.863  
 P30 \$1.467.863  
 P40 \$1.467.863  
 P50 \$1.467.863  
 P60 \$1.467.863  
 P70 \$1.467.863  
 P80 \$1.467.863  
 P90 \$1.467.863  
 P100 \$1.467.863

Previsión: COSTO MICH Celda: S54

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.900.144 a \$ 2.946.765

El caso base es \$ 2.900.140

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 135

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 2.900.140  
 Media \$ 2.923.475  
 Mediana \$ 2.923.535  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 13.484  
 Varianza \$ 181.805.489

Sesgo -0,0031  
 Curtosis 1,80  
 Coeficiente de variación 0,0046  
 Mínimo \$ 2.900.144  
 Máximo \$ 2.946.765  
 Ancho de rango \$ 46.621  
 Error estándar medio \$ 135

Previsión: COSTO MICH (contin.) Percentiles: Celda: S54

P0 \$ 2.900.144  
 P10 \$ 2.904.790  
 P20 \$ 2.909.394  
 P30 \$ 2.914.098  
 P40 \$ 2.918.912  
 P50 \$ 2.923.534  
 P60 \$ 2.928.168  
 P70 \$ 2.932.649  
 P80 \$ 2.937.430  
 P90 \$ 2.942.207  
 P100 \$ 2.946.765

Previsión: COSTO UNIDAD TON Celda: S66

Resumen:

El nivel de certeza es 100,00%

El rango de certeza es de \$ 18,603 a \$ 21,276

El rango completo es de \$ 18,651 a \$ 21,195

El caso base es \$ 21,195

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 0,007

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 21,195

Media \$ 19,805

Mediana \$ 19,743

Modo ---

Desviación estándar \$ 0,732

Varianza \$ 0,536

Sesgo 0,1961

Curtosis 1,85

Coeficiente de variación 0,0370

Mínimo \$ 18,651  
 Máximo \$ 21,195  
 Ancho de rango \$ 2,543  
 Error estándar medio \$ 0,007

Previsión: COSTO UNIDAD TON (contin.) Percentiles: Celda: S66

P0 \$ 18,651  
 P10 \$ 18,844  
 P20 \$ 19,057  
 P30 \$ 19,281  
 P40 \$ 19,502  
 P50 \$ 19,743  
 P60 \$ 19,997  
 P70 \$ 20,278  
 P80 \$ 20,568  
 P90 \$ 20,870  
 P100 \$ 21,195

Previsión: COSTOS TOTAL Celda: S64

Resumen:

El rango completo es de \$ 10.294.400 a \$ 11.957.659

El caso base es \$ 10.294.260

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 4.810

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 10.294.260  
 Media \$ 11.126.757  
 Mediana \$ 11.128.921  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 481.037  
 Varianza \$ 231.396.803.248  
 Sesgo -0,0031  
 Curtosis 1,80  
 Coeficiente de variación 0,0432  
 Mínimo \$ 10.294.400  
 Máximo \$ 11.957.659  
 Ancho de rango \$ 1.663.258  
 Error estándar medio \$ 4.810

Previsión: COSTOS TOTAL (contin.) Percentiles: Celda: S64

P0 \$ 10.294.400  
 P10 \$ 10.460.154  
 P20 \$ 10.624.428  
 P30 \$ 10.792.229  
 P40 \$ 10.963.968  
 P50 \$ 11.128.870  
 P60 \$ 11.294.180  
 P70 \$ 11.454.057  
 P80 \$ 11.624.637  
 P90 \$ 11.795.060  
 P100 \$ 11.957.659

Previsión: total michilla Celda: S9

Resumen:

El rango completo es de 267.146 a 422.550

El caso base es 267.133

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es 449

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base 267.133  
 Media 344.916  
 Mediana 345.118  
 Modo ---  
 Desviación estándar 44.945  
 Varianza 2.020.060.988  
 Sesgo -0,0031  
 Curtosis 1,80  
 Coeficiente de variación 0,1303  
 Mínimo 267.146  
 Máximo 422.550  
 Ancho de rango 155.404  
 Error estándar medio 449

Previsión: total michilla (contin.) Percentiles: Celda: S9

P0 267.146  
 P10 282.633  
 P20 297.982  
 P30 313.660

P40	329.706
P50	345.113
P60	360.559
P70	375.497
P80	391.435
P90	407.358
P100	422.550

Hoja de trabajo: [MODELO 550 T.xlsx]Hoja1

Previsión: COSTO ANUAL US\$ Celda: S63

Resumen:

El rango completo es de \$ 9.208.817 a \$ 9.670.789

El caso base es \$ 10.469.743

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 1.342

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 10.469.743

Media \$ 9.440.682

Mediana \$ 9.441.975

Modo ---

Desviación estándar \$ 134.241

Varianza \$ 18.020.559.512

Sesgo -0,0044

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0142

Mínimo \$ 9.208.817

Máximo \$ 9.670.789

Ancho de rango \$ 461.972

Error estándar medio \$ 1.342

Previsión: COSTO ANUAL US\$ (contin.) Percentiles:

Celda: S63

P0 \$ 9.208.817

P10 \$ 9.254.920

P20 \$ 9.300.684

P30 \$ 9.346.931

P40 \$ 9.393.468

P50 \$ 9.441.970

P60 \$ 9.486.848

P70 \$ 9.534.367

P80 \$ 9.579.897  
 P90 \$ 9.625.798  
 P100 \$ 9.670.789

Previsión: COSTO UNIDAD TON Celda: S65

Resumen:

El nivel de certeza es 0,00%

El rango de certeza es de \$ 19,110 a \$ 19,168

El rango completo es de \$ 16,743 a \$ 17,583

El caso base es \$ 19,036

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 0,002

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 19,036

Media \$ 17,165

Mediana \$ 17,167

Modo ---

Desviación estándar \$ 0,244

Varianza \$ 0,060

Sesgo -0,0044

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0142

Mínimo \$ 16,743

Máximo \$ 17,583

Ancho de rango \$ 0,840

Error estándar medio \$ 0,002

Previsión: COSTO UNIDAD TON (contin.) Percentiles:

Celda: S65

P0 \$ 16,743

P10 \$ 16,827

P20 \$ 16,910

P30 \$ 16,994

P40 \$ 17,079

P50 \$ 17,167

P60 \$ 17,249

P70 \$ 17,335

P80 \$ 17,418

P90 \$ 17,501

P100 \$ 17,583

Previsión: Hurcam Celda: S45

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.090.566 a \$ 2.175.311

El caso base es \$ 2.321.873

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 246

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000

Caso base \$ 2.321.873

Media \$ 2.133.100

Mediana \$ 2.133.337

Modo ---

Desviación estándar \$ 24.625

Varianza \$ 606.411.852

Sesgo -0,0044

Curtosis 1,78

Coefficiente de variación 0,0115

Mínimo \$ 2.090.566

Máximo \$ 2.175.311

Ancho de rango \$ 84.745

Error estándar medio \$ 246

Previsión: Hurcam (contin.) Percentiles: Celda: S45

P0 \$ 2.090.566

P10 \$ 2.099.023

P20 \$ 2.107.418

P30 \$ 2.115.902

P40 \$ 2.124.438

P50 \$ 2.133.336

P60 \$ 2.141.568

P70 \$ 2.150.285

P80 \$ 2.158.637

P90 \$ 2.167.058

P100 \$ 2.175.311

Previsión: Ilzauspe Celda: S37

Resumen:

El rango completo es de \$ 3.562.130 a \$ 3.696.952

El caso base es \$ 3.930.119

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 392

Estadísticas: Valores de previsión  
 Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 3.930.119  
 Media \$ 3.629.798  
 Mediana \$ 3.630.175  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 39.177  
 Varianza \$ 1.534.824.574  
 Sesgo -0,0044  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0108  
 Mínimo \$ 3.562.130  
 Máximo \$ 3.696.952  
 Ancho de rango \$ 134.822  
 Error estándar medio \$ 392

Previsión: Ilzauspe (contin.) Percentiles: Celda: S37

P0 \$ 3.562.130  
 P10 \$ 3.575.585  
 P20 \$ 3.588.941  
 P30 \$ 3.602.437  
 P40 \$ 3.616.019  
 P50 \$ 3.630.174  
 P60 \$ 3.643.271  
 P70 \$ 3.657.139  
 P80 \$ 3.670.426  
 P90 \$ 3.683.822  
 P100 \$ 3.696.952

Previsión: term mejillones US\$ Celda: S59

Resumen:

El rango completo es de \$504.050 a \$762.945

El caso base es \$1.210.689

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$752

Estadísticas: Valores de previsión  
 Pruebas 10.000  
 Caso base \$1.210.689

Media \$633.990  
 Mediana \$634.715  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$75.230  
 Varianza \$5.659.573.646  
 Sesgo -0,0044  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,1187  
 Mínimo \$504.050  
 Máximo \$762.945  
 Ancho de rango \$258.895  
 Error estándar medio \$752

Previsión: term mejillones US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S59

P0 \$504.050  
 P10 \$529.887  
 P20 \$555.534  
 P30 \$581.451  
 P40 \$607.531  
 P50 \$634.712  
 P60 \$659.862  
 P70 \$686.492  
 P80 \$712.008  
 P90 \$737.731  
 P100 \$762.945

Previsión: term michilla US\$ Celda: S52

Resumen:

El rango completo es de \$ 2.968.507 a \$ 2.984.997

El caso base es \$ 2.939.988

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es \$ 48

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base \$ 2.939.988  
 Media \$ 2.976.720  
 Mediana \$ 2.976.674  
 Modo ---  
 Desviación estándar \$ 4.792  
 Varianza \$ 22.960.662

Sesgo 0,0044  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0016  
 Mínimo \$ 2.968.507  
 Máximo \$ 2.984.997  
 Ancho de rango \$ 16.490  
 Error estándar medio \$ 48

Previsión: term michilla US\$ (contin.) Percentiles: Celda: S52

P0 \$ 2.968.507  
 P10 \$ 2.970.112  
 P20 \$ 2.971.748  
 P30 \$ 2.973.373  
 P40 \$ 2.975.072  
 P50 \$ 2.976.674  
 P60 \$ 2.978.403  
 P70 \$ 2.980.066  
 P80 \$ 2.981.717  
 P90 \$ 2.983.351  
 P100 \$ 2.984.997

Previsión: total michilla Celda: S9

Resumen:

El rango completo es de 495.023 a 549.990

El caso base es 399.960

Después de 10.000 pruebas, el error estándar de la media es 160

Estadísticas: Valores de previsión

Pruebas 10.000  
 Caso base 399.960  
 Media 522.401  
 Mediana 522.248  
 Modo ---  
 Desviación estándar 15.972  
 Varianza 255.118.470  
 Sesgo 0,0044  
 Curtosis 1,78  
 Coeficiente de variación 0,0306  
 Mínimo 495.023  
 Máximo 549.990

Ancho de rango 54.967

Error estándar medio 160

Previsión: total michilla (contin.) Percentiles: Celda: S9

P0 495.023

P10 500.373

P20 505.827

P30 511.244

P40 516.905

P50 522.247

P60 528.009

P70 533.553

P80 539.057

P90 544.503

P100 549.990

Fin de previsiones

Suposiciones

Suposición: C8

Normal distribución con parámetros: Celda: C8

Media 25.957

Desv est 2.596

Hoja de trabajo: [Hoja de cálculo en Presentación1]Hoja1

Suposición: Michilla

Uniforme distribución con parámetros: Celda: B9

Mínimo 90%

Hoja de trabajo: [Hoja de cálculo en Presentación1]Hoja3

C9 (C9) 1,00

Suposición: C9

Normal distribución con parámetros: Celda: C9

Media 17.304

C8 (C8) 1,00

Hoja de trabajo: [Libro2]Hoja1

Mínimo 90%

Suposición: C8

Normal distribución con parámetros: Celda: C8

Media 25.957

Desv est 2.596

C9 (C9) 1,00

Suposición: C9

Normal distribución con parámetros: Celda: C9

Media 17.304

C8 (C8) 1,00

Hoja de trabajo: [MODELO 10 (michilla, mejillones).xlsx]Hoja1

Mínimo 55%

Hoja de trabajo: [MODELO 10 (michilla, mejillones).xlsx]Hoja3

Suposición: C8

Normal distribución con parámetros: Celda: C8

Media 25.957

Desv est 2.596

C9 (C9) 1,00

Suposición: C9

Normal distribución con parámetros: Celda: C9

Media 17.304

C8 (C8) 1,00

Hoja de trabajo: [MODELO 550 T.xlsx]Hoja1

Mínimo 90%

Suposición: C8

Normal distribución con parámetros: Celda: C8

Media 25.957

Desv est 2.596

C9 (C9) 1,00

Suposición: C9

Normal distribución con parámetros: Celda: C9

Media 17.304

C8 (C8) 1,00

Fin de suposiciones

Gráficos de sensibilidad

Fin de gráficos de sensibilidad