

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

MODELACIÓN DE PLANTA DE FLOTACIÓN
Anglo American Chile – División El Soldado

Alejandro Ramos Barraza

Profesores Guías:
Gianni Olguín Contreras
José Torres Titus

2010

RESUMEN

En la presente memoria de titulación se describe el análisis multivariable realizado en la planta de flotación de la División El Soldado de Anglo American Chile.

El análisis efectuado considera la actualización del modelo de la planta de flotación, mediante el método de regresión lineal múltiple. El cual consiste en vincular una serie de variables para describir el comportamiento de una variable.

Se desarrollan los modelos estadísticos para las etapas de flotación primaria y flotación limpieza. Estos modelos principalmente están en función de variables de proceso como el tonelaje de alimentación, ley de cobre, tamaño de partícula, niveles de las celdas, entre otras.

Enfocándonos en la flotación limpieza, se llevan a cabo mejoras mediante la identificación de los puntos críticos y el desarrollo de nuevos procedimientos.

De esta manera, la flotación columnar y la remolienda son las etapas que presentaron las mejores oportunidades de mejoramiento.

En la flotación columnar se mejoró el sistema de adición de agua de lavado y el procedimiento de operación, pasando de manual a automático.

En la remolienda se implementó un sistema de toma de muestras en la batería de hidrociclones, con el cual se podrá evaluar el desempeño del sistema de clasificación. Para así determinar realmente cual hidrociclón requiere realmente de mantención. Adicionalmente, se identificó un problema de transporte hidráulico en la descarga de la batería de los hidrociclones recomendándose un nuevo sistema de impulsión de la pulpa.

AGRADECIMIENTOS

Hace un tiempo ya que comencé este gran desafío y durante este periodo tuve la oportunidad de conocer a grandes personas las cuales me acompañaron durante largo tiempo, algunas desafortunadamente tuvieron que partir y otras siguen junto a mí dándome su apoyo.

No puedo dejar de nombrar a mi amigo y compañero Jonathan Araya el cual nos dejó, pero nos marcó profundamente con su gran espíritu y fortaleza. Tu ejemplo no solo me ayudó a continuar cuando las cosas se complicaron, sino que además me permitió actuar con alegría y optimismo.

También me gustaría agradecer a todos los amigos que logre formar durante mi estadía en El Soldado los cuales me brindaron su ayuda incondicional y desinteresada, especial cariño a Nelson Moraga, Carlos Tapia, Sergio Carrillo y todo el Laboratorio Metalúrgico entre los cuales Luis, Ángelo, Andrea y Carlos fueron los que en más de una ocasión colaboraron con los análisis y pruebas necesarias para llevar a cabo esta memoria.

Obviamente, no puedo dejar de nombrar a quien me dio la oportunidad de realizar mi memoria, Marcelo Bustos Collao, el cual confió en mí y me dio carta blanca para realizar lo que estimase necesario para encontrar las respuestas que andábamos buscando.

Una parte fundamental en este desarrollo personal y profesional fueron mis grandes compañeros, con los cuales formamos un gran grupo, con el cual logramos superar los diversos desafíos académicos, recuerdo claramente esas jornadas en la "cafeta" estudiando hasta que nos echaban, donde desarrollábamos guías interminables y ejercicios incomprensibles.

Sin duda, la alegría fue nuestra gran compañera, ya que nunca nos faltó la sonrisa incluso cuando todo hacía pensar que no podríamos lograr nuestros objetivos. Tampoco puedo olvidar esas extensas jornadas relajándonos luego de las clases en los lugares más pintorescos de Valparaíso.

Por ultimo, quiero dar las gracias a mi familia la cual siempre estuvo apoyándome. Orgullosa de mis padres los cuales trabajaron duramente para lograr darme la educación que yo escogí y que disfruto ejerciéndola día a día.

A mi madre Sonia, que tantas veces me instó a terminar esta memoria y que por diversas razones se extendió mas allá de lo esperado, quiero darle los mas sinceros agradecimientos por todo el apoyo, no solo por lo académico sino como madre y ahora la excelente abuela de mi hija Matilda.

A mi padre Germán, que en innumerables ocasiones me enseñó como ser mejor persona y no olvidar a quienes te acompañaron desde siempre. La humildad, respeto y gratitud son valores que nunca olvidaré gracias a mi padre.

A mi hermano Mauricio, quien me aconsejó en los momentos más complicados, gracias hermano por estar junto a mí. Gracias por toda tu colaboración en este ultimo tiempo donde he comenzado un nuevo desafío.

A mi hija Matilda, mi chiquitita preciosa quien con su inocencia y ternura nos llena de alegría. Sin duda ella es pieza fundamental en mi vida, y razón para continuar día a día, solo quiero decirte que te amo muchísimo.

Gran fortaleza he encontrado junto a María mi pareja, amiga y compañera de vida, y mi nueva hija Cheridan, con las cuales hemos comenzado un nuevo desafío, formar una nueva familia.

A todos los que he nombrado y a los que sin duda olvidé, muchas gracias sin ustedes, no habría logrado terminar mis estudios. Los quiero mucho.

Gracias a todos!!

ANGLO AMERICAN CHILE

“La información que esta Memoria recoge y contiene respecto de las operaciones y actividades de Anglo American Chile Ltda. y/o de cualquiera de las divisiones mineras e industriales operativas, así como la integridad e interpretación de la información, los análisis y conclusiones derivadas de ella, sólo corresponden a su autor y, en consecuencia son de exclusiva responsabilidad, por lo que no comprometen en forma alguna a Anglo American Chile Ltda., sus divisiones operativas o empresas propietarias, como tampoco a sus ejecutivos, profesionales o técnicos. Anglo American Chile Ltda. únicamente ha colaborado con el autor en facilitarle acceso a sus instalaciones e información para la realización de esta tesis y no tiene opinión ni participación alguna en su contenido.”

Anglo American Chile
División El Soldado



INDICE

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ANGLO AMERICAN CHILE	v
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	5
CAPITULO 3: MÉTODO DE ANÁLISIS	13
3.1. Metodología	13
3.2. Etapas.....	15
3.2.1. Recopilación de Información.....	15
3.2.2. Función Objetivo	15
3.2.3. Recopilación de Datos.....	17
3.2.4. Detección y Limpieza de Datos Erróneos	17
3.2.5. Análisis de Regresión Lineal Múltiple	18
3.3. Conclusiones.....	24
CAPITULO 4: ANÁLISIS MULTIVARIABLE.....	25
4.1. Recopilación de Información.....	25
4.2. Función Objetivo	29
4.3. Recopilación de Datos.....	31
4.4. Detección y Limpieza de Datos Erróneos	32
4.5. Análisis de Regresión Lineal Múltiple	37
4.5.1. Relación entre las recuperaciones	37
4.5.2. Actualización Modelo Planta	43
4.5.3. Modelación Flotación Primaria	59
4.5.4. Modelación Flotación Limpieza.....	74
4.6. Conclusiones.....	88

CAPITULO 5: MEJORAS.....	89
5.1. Flotación Columnar.....	91
5.1.1. Estado.....	93
5.1.2. Soluciones.....	96
5.1.3. Recomendaciones.....	98
5.1.4. Conclusiones.....	99
5.2. Remolienda.....	100
5.2.1. Estado.....	102
5.2.2. Soluciones.....	106
5.2.3. Recomendaciones.....	115
5.2.4. Conclusiones.....	115
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA.....	120
GLOSARIO.....	121
ANEXOS.....	123
Anexo A: División El Soldado – Descripción de Procesos.....	124
Anexo B: Balance Celda de Flotación.....	140
Anexo C: Manual de Operación Planta Concentradora.....	144
Anexo D: Diagramas de Instrumentación.....	155
Anexo E: Uso Microsoft Excel – Análisis de Datos.....	160
Anexo F: Análisis de Regresiones 2006 -2007.....	167
Anexo G: Eficiencia en Hidrociclones.....	188

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema Proceso Flotación	5
Figura 2.2. Diagrama de Flujos Planta Concentradora El Soldado.....	7
Figura 2.3. Diagrama de Flujos Planta de Flotación	8
Figura 2.4. Arreglo Celdas Rougher.....	9
Figura 3.1. Etapas de la Metodología de Análisis	14
Figura 3.2. Ejemplo Representación Árbol Funcional.....	16
Figura 4.1. Balance Celda.....	25
Figura 4.2. Árbol Funcional Planta de Flotación	30
Figura 4.3. Celdas Rougher	33
Figura 5.1. Diagrama Flotación Columnar	92
Figura 5.2. Sistema de Adición de Agua Columna 1	93
Figura 5.3. Sistema de Adición de Agua Columna 2	94
Figura 5.4. Incrustaciones Sistema de Lavado Columnas.....	95
Figura 5.5. Mantenimiento Sistema de Lavado Columna 2	96
Figura 5.6. Sistema de Lavado Columna 2 Mejorado.....	97
Figura 5.7. Filtro Sistema de Lavado Columna 2.....	97
Figura 5.8. Circuito de Remolienda	100
Figura 5.9. Configuración Batería de Hidrociclones	101
Figura 5.10. Batería de Hidrociclones	102
Figura 5.11. Embancamientos en el Launder del Underflow.....	103
Figura 5.12. Acordonamiento de los Hidrociclones.....	103
Figura 5.13 Adición de Agua Launder del Underflow	104
Figura 5.14. Cubicación Hidrociclones de Remolienda	105
Figura 5.15. Esquema Sistema de Adición de Agua.....	106
Figura 5.16. Balanza Marcy	108
Figura 5.17. Instalación Válvula Manifold Hidrociclones.....	109
Figura 5.18. Zonas de trabajo de un hidrociclón.....	112

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Ejemplo Análisis de Residuos.....	22
Gráfico 4.1. Tendencia Original Tonelaje de Alimentación	35
Gráfico 4.2. Tendencia Modificada Tonelaje de Alimentación	36
Gráfico 4.3. Recuperaciones Flotación Primaria y Limpieza	38
Gráfico 4.4. Recuperaciones Planta de Flotación El Soldado	38
Gráfico 4.5. Correlación Recuperación Primaria - Planta	39
Gráfico 4.6. Correlación Recuperación Limpieza – Planta.....	39
Gráfico 4.7. Diferencia Recuperaciones Planta 2006	44
Gráfico 4.8. Análisis de Residuos Modelo 2006	45
Gráfico 4.9. Diferencia Recuperaciones Planta 2007	53
Gráfico 4.10. Análisis de Residuos Modelo 2007	54
Gráfico 4.11. Diferencia Recuperaciones Flotación Primaria 2006.....	64
Gráfico 4.12. Análisis de Residuos Modelo Flotación Primaria 2006	65
Gráfico 4.13. Diferencia Recuperaciones Flotación Primaria 2007.....	69
Gráfico 4.14. Análisis de Residuos Modelo Flotación Primaria 2007	70
Gráfico 4.15. Diferencia Recuperaciones Modelo Flotación Limpieza 2006.....	78
Gráfico 4.16. Análisis de Residuos Modelo Flotación Limpieza 2006.....	79
Gráfico 4.17. Diferencia Recuperaciones Modelo Flotación Limpieza 2007.....	84
Gráfico 4.18. Análisis de Residuos Modelo Flotación Limpieza 2007.....	85
Gráfico 5.1. Seguimiento uso de ciclones.....	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Balance Global Planta de Flotación 2006.....	12
Tabla 3.1. Ejemplo Análisis de Regresión.....	18
Tabla 3.2. Ejemplo Análisis de Regresión Corregido.....	21
Tabla 3.3. Ejemplo Estadística Descriptiva	23
Tabla 3.4. Ejemplo Análisis de Sensibilidad	23
Tabla 4.1. Variables de Flotación Primaria	27
Tabla 4.2. Variables de Limpieza Prerougher.....	27
Tabla 4.3. Variables Remolienda.....	27
Tabla 4.4. Variables Flotación Columnar	28
Tabla 4.5. Variables Flotación Scavenger	28
Tabla 4.6. Variables de Entrada	28
Tabla 4.7. Funciones Objetivos para cada proceso	29
Tabla 4.8. Parámetros Operacionales Flotación Primaria	32
Tabla 4.9. Parámetros Operacionales Remolienda	33
Tabla 4.10. Parámetros Operacionales Flotación Columnar.....	34
Tabla 4.11. Parámetros Operacionales Flotación Scavenger	34
Tabla 4.12. Parámetros Operacionales Alimentación.....	34
Tabla 4.13. Recuperaciones para cada etapa	35
Tabla 4.14. Alimentación y Salidas Útiles Planta de Flotación	37
Tabla 4.15. Análisis de Regresión Recuperaciones Planta-Primaria-Limpieza	40
Tabla 4.16. Análisis de Regresión Modelo Planta 2006.....	43
Tabla 4.17. Estadística Descriptiva Modelo 2006	46
Tabla 4.18. Análisis de Sensibilidad Modelo 2006	47
Tabla 4.19. Análisis de Regresión Modelo Planta Enero 2006.....	48
Tabla 4.20. Análisis de Regresión Modelo Planta Enero 2006 Corregido.....	49
Tabla 4.21. Seguimiento Mensual Modelo Planta 2006.....	49
Tabla 4.22. Seguimiento Trimestral Modelo Planta 2006	50
Tabla 4.23. Análisis de Regresión Modelo Planta 2007.....	51

Tabla 4.24. Análisis de Regresión Modelo Planta 2007 Corregido	52
Tabla 4.25. Estadística Descriptiva Modelo 2007	55
Tabla 4.26. Análisis Sensibilidad Modelo 2007	55
Tabla 4.27. Seguimiento Mensual Modelo Planta 2007	56
Tabla 4.28. Seguimiento Trimestral Modelo 2007	57
Tabla 4.29. Seguimiento Coeficientes Modelo Planta 2006-2007	57
Tabla 4.30. Variables Modelación Flotación Primaria	59
Tabla 4.31. Análisis de Regresión Niveles Celdas Rougher 2006	61
Tabla 4.32. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2006	62
Tabla 4.33. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2006 Corregido	63
Tabla 4.34. Estadística Descriptiva Modelo Flotación Primaria 2006.....	66
Tabla 4.35. Análisis de Sensibilidad Modelo Flotación Primaria 2006	66
Tabla 4.36. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2007 Corregido	68
Tabla 4.37. Estadística Descriptiva Modelo Flotación Primaria 2007.....	71
Tabla 4.38. Análisis de Sensibilidad Modelo Flotación Primaria 2007	71
Tabla 4.39. Seguimiento Coeficientes Modelo Flotación Primaria 2006-2007	72
Tabla 4.40. Variables Modelación Flotación Limpieza	74
Tabla 4.41. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2006	76
Tabla 4.42. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2006 Correg.....	77
Tabla 4.43. Estadística Descriptiva Flotación Limpieza 2006	80
Tabla 4.44. Análisis de Sensibilidad Flotación Limpieza 2006	80
Tabla 4.45. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2007	82
Tabla 4.46. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2007 Correg.....	83
Tabla 4.47. Estadística Descriptiva Flotación Limpieza 2007	86
Tabla 4.48. Análisis de Sensibilidad Flotación Limpieza 2007	86
Tabla 4.49. Seguimiento Coef. Modelo Flotación Limpieza 2006-2007	87
Tabla 5.1. Estado Variables Flotación Limpieza	90
Tabla 5.2. Parámetros de Reparto y Eficiencias de Hidrociclones	107
Tabla 5.3. Análisis Muestro Hidrociclones de Remolienda	110
Tabla 5.4. Análisis granulométrico hidrociclones.....	111

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La flotación es un proceso de separación fisicoquímico que se utiliza para separar minerales desde una mezcla sólida-líquida mediante burbujas de aire que transportan el mineral de interés. Este proceso es altamente selectivo y su uso abarca una amplia gama de industrias, en especial la industria minera.

Anglo American Chile es una empresa minera dedicada a la explotación y procesamiento de cobre. Forma parte del Grupo *Anglo American* y opera en Chile desde 1980. Actualmente está conformada por 5 divisiones productivas: Los Bronces, Mantos Blancos, El Soldado, Mantoverde y Fundición Chagres. Además una oficina central en Santiago y la unidad de exploraciones mineras Anglo American Exploration. Además, posee el 44% de la propiedad de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

La división *El Soldado de Anglo American Chile*, posee una mina subterránea y otra a rajo abierto. Además, cuenta con plantas de tratamiento de minerales oxidados y sulfurados. Siendo ésta última, la de mayor relevancia.

La planta de minerales sulfurados se puede dividir en dos grandes áreas, *Molienda* y *Flotación*. Y ésta, en *Flotación Primaria* y *Flotación Limpieza*. La flotación primaria es la etapa donde ocurre la mayor recuperación de mineral desde la pulpa alimentada al sistema, cerca del 90% de la recuperación global se logra en esta etapa. La recuperación limpieza, es una etapa secundaria de gran importancia, ya que gran parte de la rentabilidad del proceso pasa por aumentar la recuperación en esta etapa.

Problema

Como en todo proceso productivo, la meta es utilizar al máximo los recursos y la infraestructura presente en pro de mayores rendimientos. Una de las mejores maneras de lograrlo es poseer un buen control del proceso.

El principal problema de este proceso fisicoquímico, la flotación, es que depende de una gran cantidad de variables, las cuales involucran no solo parámetros cinéticos sino que además operacionales. Dentro de los parámetros cinéticos están las características propias del mineral como el tipo de mineral, concentración del mineral de interés, dureza, etc. Y dentro de los parámetros operacionales están los flujos de alimentación, cantidad de agua en la mezcla sólido-líquido, el tamaño de partícula, cantidad de reactivos, flujo de aire, tipo de celda de flotación, niveles de la celda, entre otras.

Para lograr un buen control en el proceso una herramienta bastante útil, es la utilización de modelos de proceso (modelos matemáticos). Existen variados modelos, con los cuales se permite predecir el comportamiento del proceso.

En función de los parámetros cinéticos existe una serie de modelos, los cuales, en su mayoría, asimila el proceso de flotación con una reacción de primer orden, pero en la realidad las diferencias entre los valores del modelo y los reales hacen que este método no ha resultado ser el más adecuado para la predicción y control del mismo.

Por lo que, para estudiar el comportamiento de la planta ***es necesario encontrar un modelo que vincule no solo las variables cinéticas sino que además relacione las variables de operación.*** De esta manera, ante cambios en las características del mineral y de la operación se podrá definir la estrategia a seguir.

Alcance

Dentro de la amplia gama de modelos existentes, uno de los más usados es el modelo estadístico de *Regresión Lineal Múltiple*, el cual se construye a partir de los valores históricos de las principales variables involucradas en el proceso.

En la actualidad existe un modelo estadístico para la planta completa y para la flotación primaria, siendo necesario en un comienzo *actualizar* dichos modelos, y si fuese necesario modificarlos.

En cambio, en la flotación limpieza habrá que realizar el análisis completo, desde la recopilación de datos hasta la *modelación estadística*, ya que no se cuenta con modelo alguno. Y por último, a partir del modelo generado identificar las oportunidades de mejoramiento existentes en la planta.

Objetivos

Considerando lo anterior, los objetivos trazados para la presente memoria de titulación son:

- Actualizar los presentes modelos de regresión lineal múltiple de la planta (global y flotación primaria).
- Identificar las principales variables en la Flotación Limpieza.
- Crear un modelo de regresión lineal múltiple para la Flotación Limpieza.
- Identificar las oportunidades de mejora en la planta, centrando la atención en la Flotación Limpieza.

Plan de Acción

Para modificar el actual modelo es necesario recopilar los datos históricos de todas las variables y realizar el *análisis de regresión lineal múltiple*, teniendo como variable de salida o respuesta a la *recuperación metalúrgica de la planta de flotación*.

Este método nos permitirá establecer la relación existente entre las variables de proceso y la recuperación. El desarrollo del método estadístico se efectuó mediante el uso de *Microsoft Excel*. El periodo en estudio comprende desde enero del 2006 hasta junio del 2007.

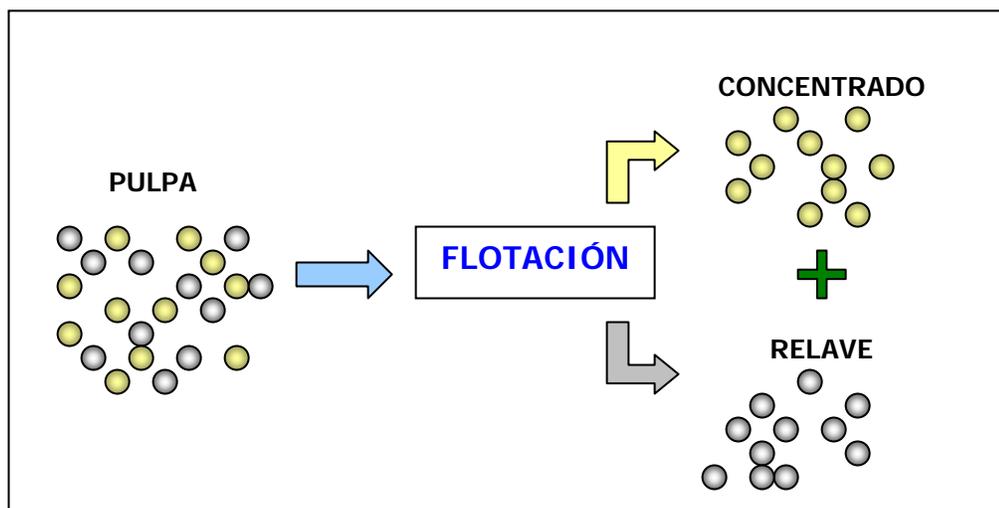
Una vez construidos los modelos se pondrá atención en las variables involucradas, su funcionamiento, medición y control. Identificando así las oportunidades de mejora del proceso.

CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El Soldado se ubica en Nogales, Región de Valparaíso. Comprende una mina subterránea y otra a rajo abierto, con una vida útil estimada en 20 años. Cuenta con plantas de tratamiento de minerales oxidados y sulfurados.

Para el tratamiento de minerales sulfurados se realiza la flotación de estos. La flotación es un método de concentración de minerales que tiene por objeto obtener, a partir de una pulpa mineral, una porción enriquecida (concentrado) que contiene la mayor parte del metal y una cola (relave) compuesta principalmente por material estéril. Ver figura 2.1.

Figura 2.1. Esquema Proceso Flotación



El proceso consiste en adicionar reactivos (colectores, espumantes, modificadores de pH, etc.) a una pulpa mineral, a fin de crear condiciones favorables para que las partículas de interés se adhieran a burbujas de aire. Éstas llevan consigo los minerales a la superficie de la pulpa, desde donde son removidas para obtener el concentrado. Las otras especies mineralógicas permanecen en la pulpa, formando el relave.

Es necesario además acondicionar el tamaño del mineral, así nos aseguramos que las partículas de interés en el mineral (roca) se expongan a las burbujas y a los reactivos. Por otro parte, físicamente las partículas de gran tamaño (y peso) destruyen las burbujas haciendo poco eficiente el proceso.

Para disminuir de tamaño el mineral es tratado en etapas sucesivas de chancado y molienda. La adición de reactivos se realiza en puntos específicos del circuito de flotación. El único reactivo que se adiciona en la molienda es la cal, con la cual se regula el pH^[*].

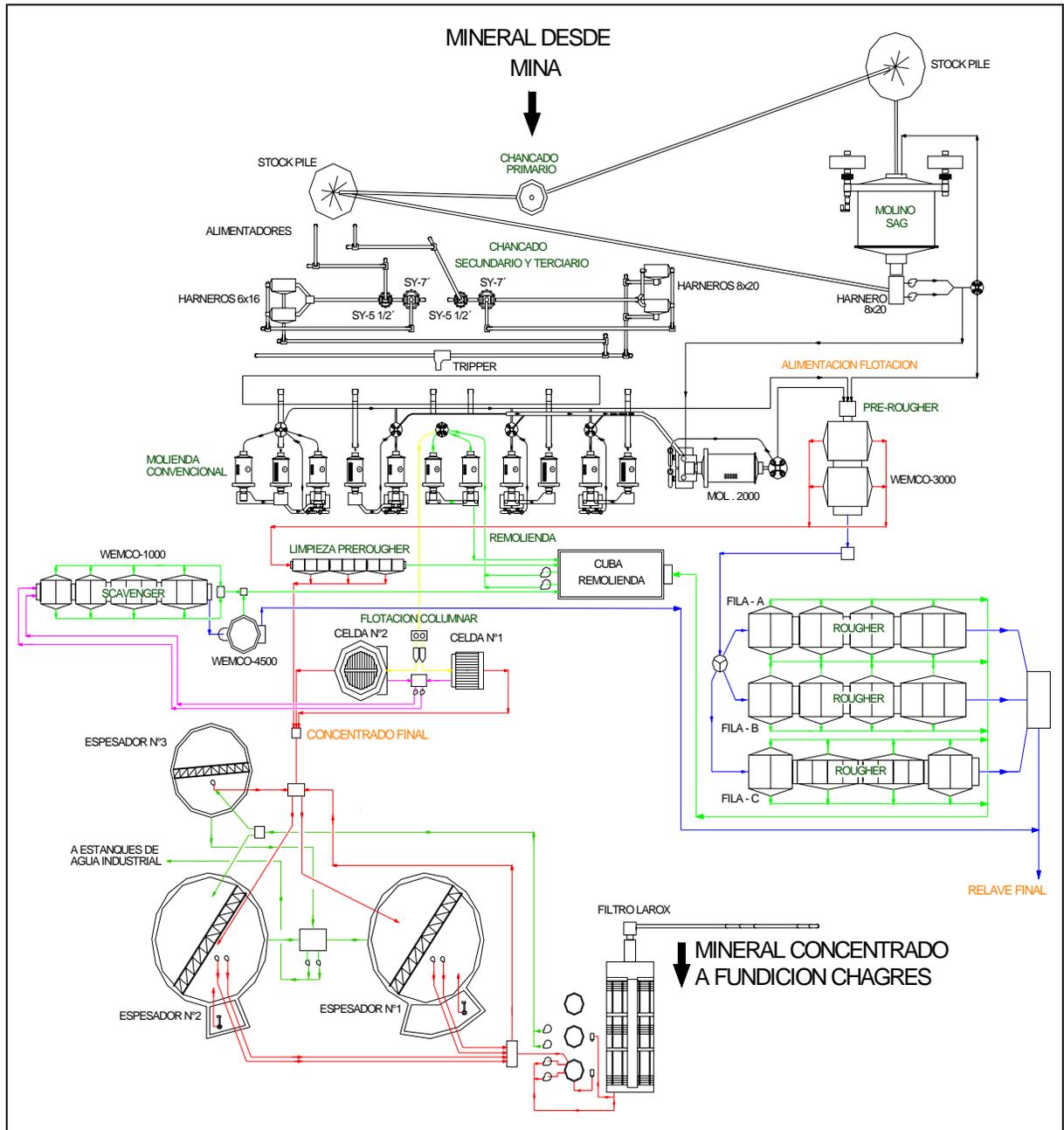
La primera etapa en la reducción de tamaño, es el **chancado primario**. El mineral alimentado consiste básicamente en rocas de gran tamaño las cuales se reducen. El producto obtenido se reparte al **molino SAG** y al **chancado secundario y terciario**. Esta distribución se realiza bajo criterios como capacidad y/o disponibilidad de tratamiento (stock pile). Sin embargo, en el molino SAG se trata gran parte del mineral alimentado en el chancado primario. El producto más fino se va directamente a flotación. Y el producto más grueso (y más duro) se va al chancado secundario y terciario.

En el chancado secundario y terciario el mineral se acondiciona para alimentar a la **molienda convencional**. Aquí, mediante una serie de molinos, de bolas y barras, se logra alcanzar el tamaño requerido para así alimentar a la etapa de flotación.

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de flujos de los procesos que se realizan en El Soldado.

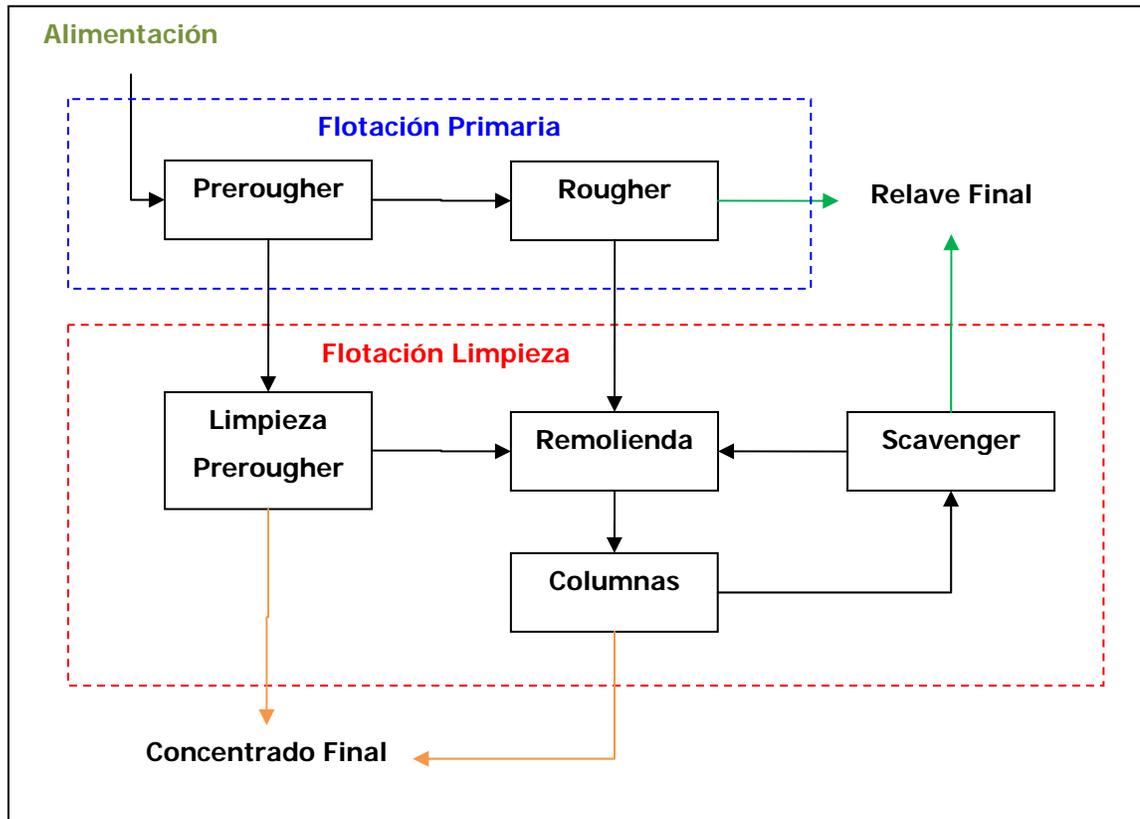
[*] Ver Anexo C, sobre la dosificación, tipos de reactivos y puntos de adición.

Figura 2.2. Diagrama de Flujos Planta Concentradora El Soldado



Para realizar la flotación de minerales, existen diversos equipos y configuraciones. La figura 2.3 muestra un esquemático de la configuración utilizada en El Soldado.

Figura 2.3. Diagrama de Flujos Planta de Flotación



Esta configuración, divide la planta en dos etapas, la **Flotación Primaria** y la **Flotación Limpieza**. Para ambas etapas, la corriente de interés se denomina *concentrado* y la corriente de descarte se denomina *relave*.

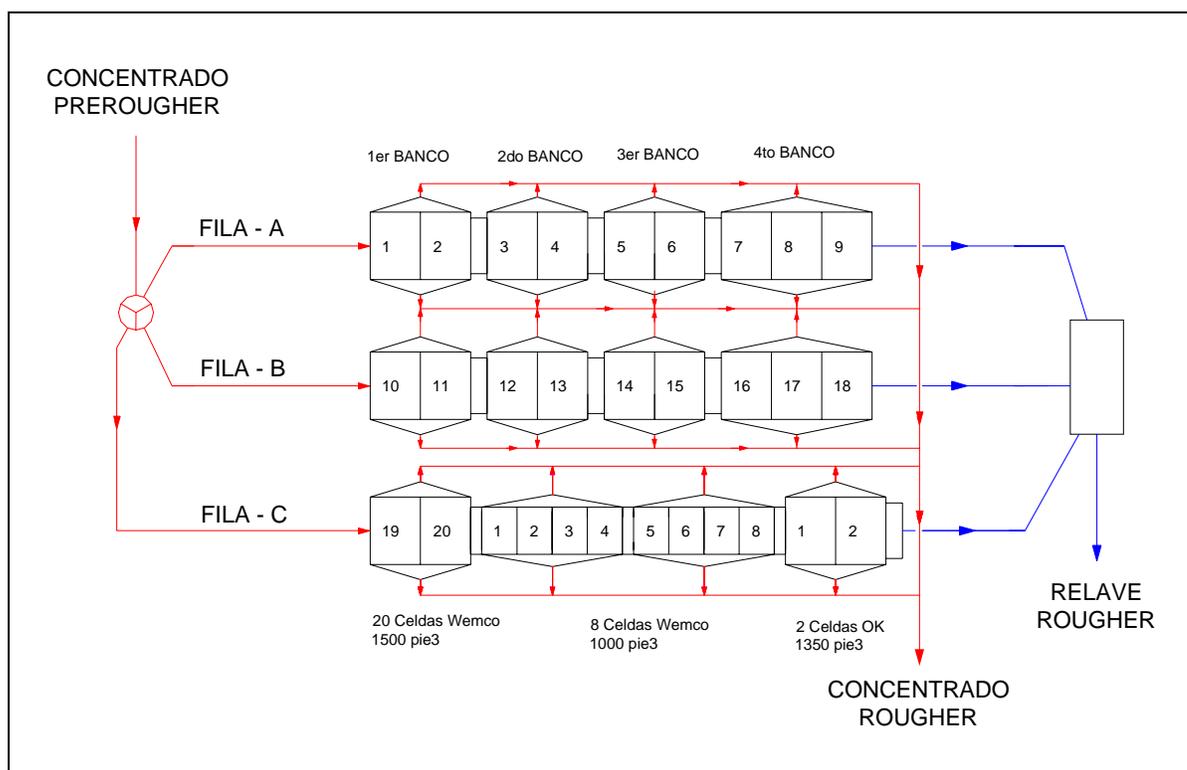
La **Flotación Primaria**, se divide en dos etapas sucesivas, las celdas **Prerougher** y **Rougher**.

La alimentación proveniente del molino SAG y la molienda convencional se trata en las celdas prerougher. Las celdas prerougher están conformadas por dos celdas Wemco de 3000 pie³ de capacidad, dispuestas en serie. En esta etapa se agregan reactivos (espumante y colector, el pH se regula mediante adición de cal en

la molienda). El concentrado obtenido se envía a la limpieza prerougher y el relave alimenta a las celdas rougher.

Las celdas rougher están conformadas por un arreglo serie-paralelo de 20 celdas Wemco de 1500 pie³, 8 celdas Wemco 1000 pie³ y 2 Celdas OK 1350 pie³. El arreglo consiste en tres filas (A, B y C) y cada una de ellas con 4 bancos. En estas celdas también se agregan reactivos. Ver figura 2.4 para mayor detalle.

Figura 2.4. Arreglo Celdas Rougher



El concentrado rougher pasa al acumulador de la flotación limpieza (Cuba de remolienda) y el relave rougher se va a relave final.

En la **Flotación Limpieza** encontraremos cuatro etapas **Limpieza Prerougher, Remolienda, Flotación Columnar y Flotación Scavenger**.

La limpieza prerougher está formada por 18 celdas Minimet de 1 m³ de capacidad, dispuestas en serie y agrupadas en 3 bancos de 6 celdas. El concentrado prerougher aquí se repasa para aumentar la recuperación^[*], sin la adición de reactivos. El concentrado de la limpieza prerougher se va a concentrado final y el relave a la cuba de remolienda.

La remolienda está constituida por una cuba (acumulador), una batería de ciclones y 2 molinos.

La cuba recibe el concentrado de la limpieza prerougher, el concentrado rougher, el concentrado scavenger y el producto de los molinos de remolienda. También se agrega agua con el fin de diluir la pulpa hacia la batería de ciclones. El objetivo de esta cuba es mantener las condiciones de alimentación a los ciclones estables. Manteniendo cierto nivel en la cuba nos aseguramos que la presión de la pulpa no varíe demasiado y así se obtenga una buena clasificación.

Originalmente la batería de ciclones estaba compuesta por 10 ciclones Krebs D-15". En la actualidad existen solo 9 ciclones, de los cuales operan 4 o 5, dependiendo del flujo de alimentación, mientras que los otros permanecen en stand-by. La presión de operación promedio es cercana a los 30 psi (≈ 2 atm).

Las partículas finas, se evacuan por el *overflow* y alimentan a la flotación columnar. En cambio, las partículas gruesas, se descargan por el *underflow* y alimentan a los molinos de remolienda.

Los molinos de remolienda, se ubican en la molienda convencional y se denominan con los correlativos de los molinos de la sección. Por lo que si contamos de derecha a izquierda en la figura 2.1, los molinos de remolienda corresponden a los molinos 6 y 7. Sus dimensiones son de 8x12' y de 9.5x12' respectivamente. Con una potencia instalada de 460 Hp para el molino 6 y 737 Hp para el molino 7. Estos

[*]Relación entre las salidas útiles y la alimentación. Se utiliza como índice de rendimiento en la planta concentradora.

molinos están dispuestos en paralelo, para ello el underflow de los ciclones se reparte en forma proporcional. Empíricamente, se puede establecer que casi un 70% del underflow es tratado en el molino 7. El producto de los molinos vuelve hacia la cuba, donde comienza nuevamente el circuito de remolienda.

La flotación columnar está formada por dos celdas columnares. La columna 1 de 6.8 m² y la columna 2 de 16 m². La alimentación a las columnas se realiza por medio de un cajón repartidor, el cual a través de un sistema de válvulas divide los flujos provenientes del overflow de los ciclones de remolienda. La mayor parte de la alimentación se dirige a la columna 2 debido a que es la de mayor tamaño.

Los concentrados obtenidos de las celdas columnares van a concentrado final y los relaves alimentan a la flotación scavenger, última etapa de la flotación limpieza.

La flotación scavenger está compuesta por 10 celdas Wemco de 1000 pie³ de capacidad y 1 celda Wemco de 4500 pie³ (columnar). El arreglo considera 4 bancos en serie y por último la celda Wemco de 4500 pie³. El concentrado scavenger se reenvía a la cuba. Y el relave se va a relave final.

Al **concentrado final** se le elimina gran parte del agua de la pulpa mediante los espesadores y posterior filtrado. Una vez que se completan estas etapas el mineral está listo para ser retirado de la planta. El agua recuperada en los espesadores y filtro se recirculan al proceso.

El **relave final** es enviado al tranque de relaves donde se dispone finalmente. En el tranque, el relave se separa en arenas y lamas. Una parte, arenas, se utiliza para la auto-sustentación del tranque (muro). Naturalmente, el agua presente en los restos de pulpa aflora a la superficie y es recirculada a la planta, para su reutilización en el proceso.

El proceso descrito corresponde a la manera teórica-ideal de operación, ya que eventualmente dependiendo de las necesidades operacionales el circuito se puede reconfigurar provocando desviaciones de flujos, recirculaciones, etc.

Las ecuaciones del proceso principalmente corresponden a balances de masa sin reacción, tanto para los sólidos como para las pulpas^[*]. Sin entrar propiamente en la cinética de la flotación nos centraremos en las variables globales de cada etapa, tal como se describen en el Anexo C (Manual de Operación Planta Concentradora).

A continuación se indica el balance de la planta para el año 2006 con las cantidades procesadas por etapas (promedio).

Tabla 2.1. Balance Global Planta de Flotación 2006.

Balance Global Planta Concentradora						
Etapa	Recuperación (%)		Corriente	Flujo (Ton/h)	Ley Cu (%)	Cu Fino (Ton/h)
	En peso	Metalúrgica				
<i>Flotación Prerougher</i>	1.4	40.8	Alimentación	815.0	1.0	8.2
			Concentrado	11.5	28.9	3.3
			Relave	803.5	0.6	4.8
<i>Flotación Rougher</i>	7.8	69.2	Concentrado	60.6	5.5	3.3
			Relave	742.8	0.2	1.5
<i>Limpieza Prerougher</i>	55.0	80.0	Concentrado	6.3	42.0	2.7
			Relave	5.2	12.8	0.7
<i>Flotación Columnar</i>	20.0	90.0	Alimentación	83.1	5.2	4.3
			Concentrado	16.6	23.5	3.9
			Relave	66.5	0.7	0.4
<i>Flotación Scavenger</i>	26.0	77.3	Concentrado	17.3	1.9	0.3
			Relave	49.2	0.2	0.1
Global	2.8	80.6	Alimentación	815.0	1.0	8.2
			Concentrado	23.0	28.6	6.6
			Relave	792.0	0.2	1.6

Las corrientes señaladas corresponden a las corrientes que se indicaron previamente en la figura 2.3.

[*]El Anexo B describe el balance tipo aplicable a la mayoría de las etapas presentes en el circuito.

CAPITULO 3: MÉTODO DE ANÁLISIS

Teniendo en cuenta que un proceso puede depender de muchas variables, detectar cuales son las más importantes con el objeto de desarrollar un modelo predictivo y de diagnostico resulta complejo.

Este método de análisis tiene como objetivo evaluar un proceso e identificar las principales variables basándose en los datos históricos de la planta.

Esta técnica permite realizar una detección temprana de problemas de operación, además de dar una guía de posibles causas ante una falla. Esto se realiza analizando los datos históricos del proceso y a partir de ellos construyendo un modelo estadístico. Para ello es de vital importancia contar con un set importante de datos históricos de las variables en cuestión.

3.1. Metodología

Como metodología general los datos deben ser agrupados dentro de bloques funcionales. Las variables asociadas con los bloques son determinadas por procesos como molienda, flotación, entre otros. En la práctica esto significa que los datos de planta están agrupados alrededor de procesos unitarios, permitiendo así un análisis particular para cada proceso. De esta manera se disminuye el impacto de variables ajenas a cada proceso (se elimina el ruido).

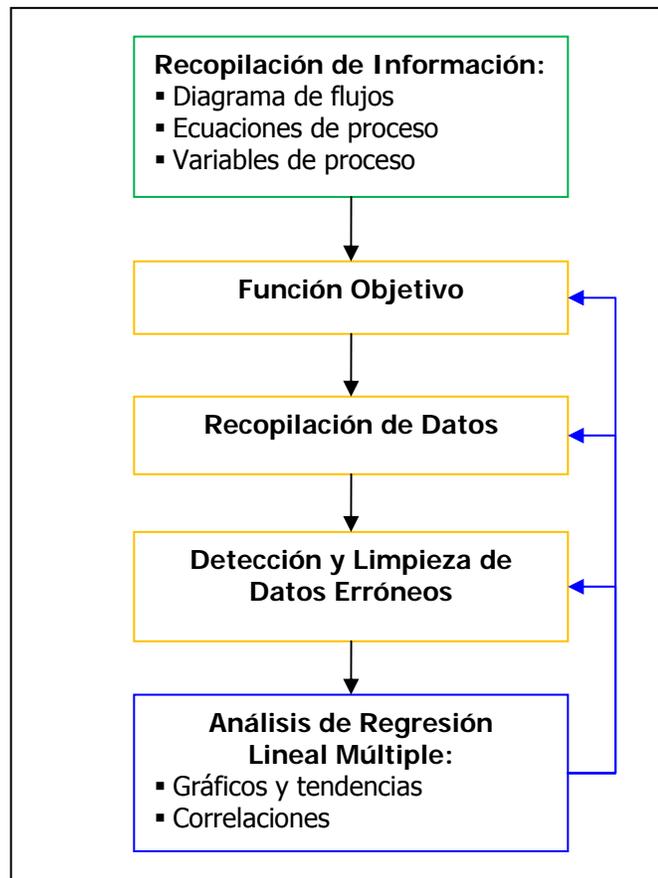
La información de cada variable agrupada en bloques contiene datos de alta o baja frecuencia así como también datos fuera de rango e incluso datos que describen eventos como mantenciones, paradas de emergencia, etc. Siendo necesario realizar una limpieza de éstos, dejando solo aquellos más representativos.

Esta metodología se utiliza como una herramienta para describir la función objetivo del proceso unitario y a su vez, representar al proceso global.

Una vez identificadas las principales variables para cada etapa o bloque, se construye el modelo estadístico, con el cual se analizará el comportamiento del proceso y sus fluctuaciones.

La figura 3.1 muestra las etapas del análisis.

Figura 3.1. Etapas de la Metodología de Análisis



No existe un método universal para resolver todos los problemas, por lo que el método propuesto no pretende establecerse como el único método de análisis, solo como una guía. Los análisis estadísticos propuestos se escogieron por ser los que mejor se adecuan a los procesos mineros.

3.2. Etapas

3.2.1. Recopilación de Información

Se recopilan los diagramas de flujo, se identifican los procesos, sus variables y principales ecuaciones. Así se tiene una idea del comportamiento de cada variable sobre el proceso global y el impacto que pudiese tener.

3.2.2. Función Objetivo

La **función objetivo** representa los objetivos o tareas que se desean en un proceso. Este objetivo puede variar en función de las estrategias operacionales de cada empresa. Esta función está constituida por las variables de cada proceso.

Para identificar las variables, un buen criterio es revisar las ecuaciones de proceso. A partir de ellas, se puede obtener además las relaciones de proporcionalidad entre las variables (relación directa o inversa).

Una vez definida la función objetivo, se genera el **árbol funcional**, el cual representa el circuito global del proceso en estudio. Y está conformado por bloques que señalan los procesos unitarios presentes en él. Cada bloque, por su parte, contiene una función objetivo y las variables de cual depende.

En la figura 3.2 se muestra un ejemplo de esta representación. El proceso descrito es la molienda, la función objetivo es la disminución del tamaño de partícula de la pulpa, para que así se facilite la flotación (etapa sucesora).

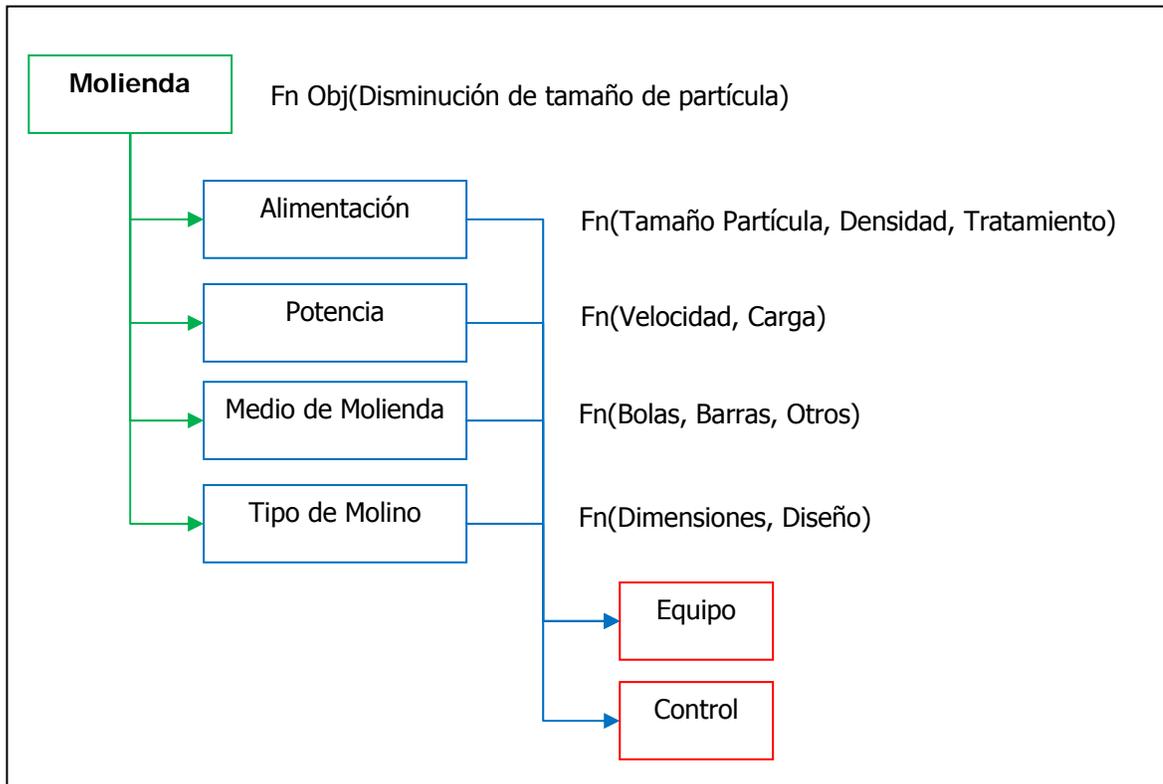
Este proceso depende de la alimentación, la potencia del motor del molino, el medio de molienda y el tipo de molino. Cada uno de estos bloques, a su vez, depende de otros parámetros.

Así la alimentación depende del tamaño de partícula en la carga, la cantidad de agua que contiene la pulpa, velocidad de alimentación, entre otros. La potencia del molino viene dada por la velocidad de giro y la carga entrante. El medio de molienda puede ser bolas, barras u otro medio, el cual dependerá del tipo de mineral.

Y el tipo de molino, hace referencia a la geometría y diseño propio de cada tipo de molino existente.

Cada una de estas variables, en consecuencia serán las que se analizarán en las siguientes etapas. Finalmente, en todo proceso se dependerá del funcionamiento del equipo y del control que se lleve a cabo.

Figura 3.2. Ejemplo Representación Árbol Funcional



Al final del cuadro se señalan el equipo y control como elementos del árbol. Estos elementos hacen referencia a que para alcanzar la función objetivo debe existir una buena mantención (del equipo) y un buen control en la operación. Sin estos elementos bajo supervisión la función no logrará máximos resultados.

3.2.3. Recopilación de Datos

Una vez establecidas las variables de cada bloque y el árbol funcional, se debe realizar la recopilación histórica de los datos para cada variable. Dentro de la disponibilidad de cada planta, debe seleccionarse un buen número de datos para que esto sean lo más representativos del sistema. Entre más datos se dispongan para análisis los resultados serán más fidedignos.

Esta recopilación debe tener la misma escala de tiempo y periodo para cada una de las variables. Es decir, deben existir iguales números de datos para cada variable y a la vez, éstos deben coincidir en la hora y fecha.

3.2.4. Detección y Limpieza de Datos Erróneos

Para una mejor detección y limpieza se recomienda en una primera instancia eliminar los datos que se encuentren fuera de los parámetros operacionales.

Así mismo, se deberán eliminar los valores fuera de rango, valores nulos, valores blancos, etc.

Al realizar la limpieza o descarte de datos, eliminación, es importante mantener la misma escala de tiempo para todas las variables en estudio, tal como se mencionó en el punto 3.2.3.

3.2.5. Análisis de Regresión Lineal Múltiple

Se realiza el análisis de regresión mediante el uso del software *Microsoft Excel*, específicamente se utiliza el complemento *Herramientas para Análisis*. El cual entrega el análisis completo de regresión, varianza, error estándar, límites de confianza, desviación estándar, etc.^[*]

Con esta herramienta se construye el modelo estadístico en función de las distintas variables presentes en el proceso.

Tomando el ejemplo de la tabla 3.1 se indican los criterios de selección de variables y análisis de regresión.

Tabla 3.1. Ejemplo Análisis de Regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,6243
Coefficiente de determinación R ²	0,3898
R ² ajustado	0,3462
Error típico	3,8930
Observaciones	76

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5	678	136	9	1,32E-06
Residuos	70	1061	15		
Total	75	1738			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99,0%</i>	<i>Superior 99,0%</i>
Intercepción	107,82	7,8283	13,77	1,31E-21	92,21	123,43	87,09	128,55
Variable X1	-0,059097	0,0258	-2,29	2,48E-02	-0,110	-0,008	-0,127	0,009
Variable X2	-1,129189	2,6764	-0,42	6,74E-01	-6,467	4,209	-8,216	5,958
Variable X3	-0,785247	0,1565	-5,02	3,79E-06	-1,097	-0,473	-1,200	-0,371
Variable X4	-0,265041	0,0711	-3,73	3,92E-04	-0,407	-0,123	-0,453	-0,077
Variable X5	0,040554	0,0876	0,46	6,45E-01	-0,134	0,215	-0,191	0,273

[*] Ver Anexo E, para saber sobre su uso.

El ejemplo, indica el análisis realizado para 5 variables independientes entre sí, las cuales deberían correlacionarse con una variable de salida Y.

En la tabla, primeramente se indica la Estadística de Regresión, de estos valores el más relevante es el **Coefficiente de Determinación (R^2)**. Este valor en términos prácticos explica porcentualmente cuan representativo es el modelo. En el ejemplo, el modelo tiene un 38,98% de representatividad ($R^2=0,3898$).

Idealmente, se espera que este valor sea cercano a 1, pero para las variables y valores utilizados en esta memoria (variables de flotación) los valores por lo general no superan el 60%.

En el análisis entregado por MS Excel también muestra el **Análisis de Varianza**, pero de éste no se toma ningún valor como criterio de selección o descarte, ya que los valores entregados solo indican si hay o no hay vinculación entre las variables.

El valor mas significativo que se puede observar de este análisis estadístico es la prueba F. Esta prueba estadística tiene como base (hipótesis) que no hay relación entre las variables independientes y la variable dependiente, por lo que para validar esta suposición el valor F debe ser menor que el **Valor Crítico de F**.

En el ejemplo, el valor critico de F ($1,32E-06$) es menor a F (9), por lo que se rechaza la hipótesis de que no hay vinculación entre las variables, y por lo tanto se valida la hipótesis alternativa (que existe vinculación entre las variables).

Para las variables y valores que se utilizan en esta memoria (variables de flotación), la prueba F resulta poco útil porque por lo general el valor F es mayor al valor crítico de F, por que en la mayoría de los análisis realizados se rechaza la hipótesis nula (que NO hay vinculación) y por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (que SI hay una vinculación entre las variables). En vista de lo anterior, aunque MS Excel entregue el análisis de varianza, éste **no se considerará** para determinar la validez de un modelo y/o selección de las variables presentes en él.

El primer criterio de selección o desecho de las variables es el **Límite de Confianza**. El límite de confianza aceptado para las regresiones es de un 95%, lo que indica que solo aceptamos un 5% de posibilidades de que nuestro resultado sea debido al azar. Si el límite inferior y el superior tienen distinto signo (positivo y negativo), la variable **se descarta**. Los límites de confianza también se determinan a un 99%, pero solo para visualizar el comportamiento a un nivel más riguroso.

En el ejemplo de la tabla 3.1, la variable X2 y X5 no superan la prueba, por lo que deben ser eliminadas del modelo.

El segundo criterio de descarte de variables, es la revisión del valor esperado del coeficiente (signo). Este valor esperado se obtiene desde las ecuaciones de proceso, y hace referencia a las relaciones de proporcionalidad existentes entre las variables. De existir una relación directa, se espera que el coeficiente tenga valores positivos. Y por el contrario, si la relación es inversa, se espera que el coeficiente tenga valores negativos.

En el ejemplo, si la relación existente entre X4 e Y fuese directa, la variable X4 también debería ser eliminada del modelo puesto que el coeficiente al tener un valor negativo indicaría una relación inversa. Suponiendo válida esta relación, la variable X4 también se desecha.

Luego de eliminar las variables que presenten conflictos, el análisis de regresión se vuelve a realizar hasta que todas las variables presentes en el modelo se ajusten, ver tabla 3.2.

Tabla 3.2. Ejemplo Análisis de Regresión Corregido

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,4904
Coefficiente de determinación R²	0,2405
R ² ajustado	0,2197
Error típico	4,2528
Observaciones	76

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	418	209	12	4,35E-05
Residuos	73	1320	18		
Total	75	1738			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99,0%</i>	<i>Superior 99,0%</i>
Intercepción	98,89	5,5529	17,81	2,78E-28	87,82	109,95	84,20	113,57
Variable X1	-0,058827	0,0280	-2,10	3,91E-02	-0,115	-0,003	-0,133	0,015
Variable X3	-0,648691	0,1467	-4,42	3,35E-05	-0,941	-0,356	-1,037	-0,261

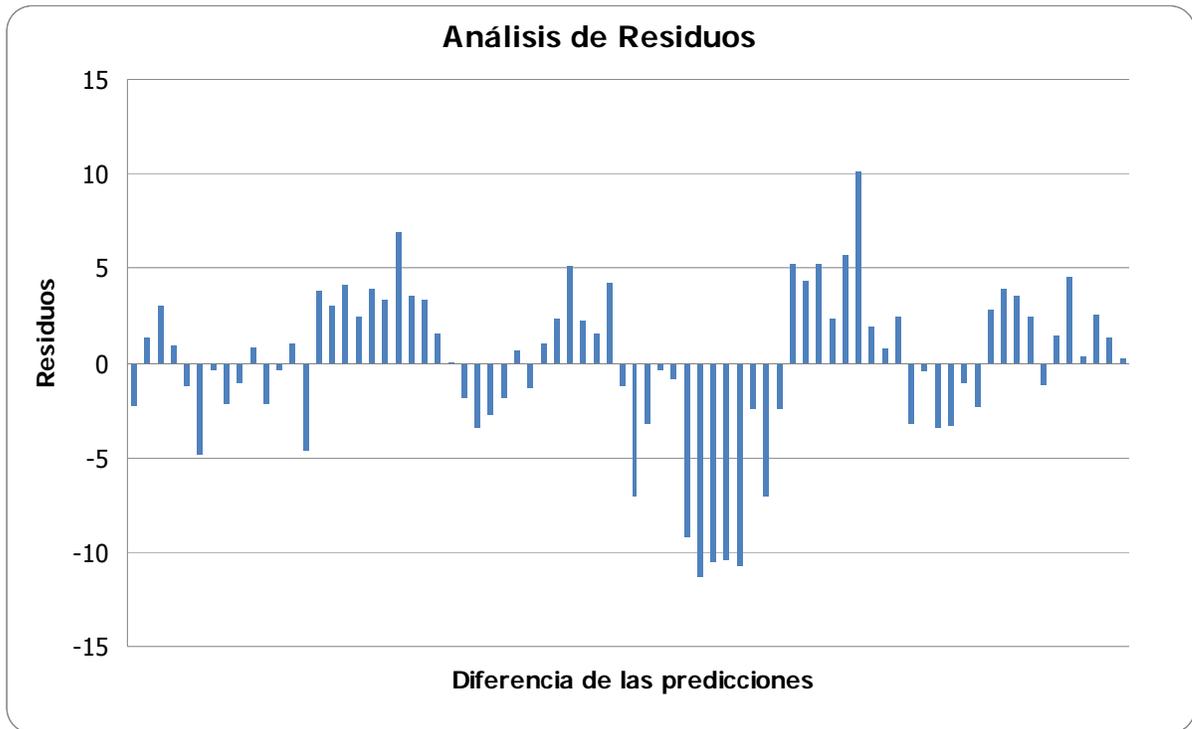
En el ejemplo anterior, tanto los límites de confianza como el valor esperado no presentan reparos, por lo que el modelo **se acepta**.

Una vez generado el modelo, éste se vuelve a validar mediante un **Análisis de Residuos**.

Este análisis consiste en calcular las diferencias entre las mediciones reales y las calculadas mediante el modelo, para así conocer la diferencia que el modelo no explica en cada medición.

Si al graficar los residuos no se distribuyen de forma simétrica a ambos lados del eje X y a lo largo de todo el rango de valores de la estimación, el modelo es inadecuado o poco veraz, y este deberá rechazarse, ver gráfico 3.1.

Gráfico 3.1. Ejemplo Análisis de Residuos



Los residuos se distribuyen a lo largo del eje X, pero no de una manera muy simétrica, lo cual hace suponer que el modelo no se ajusta de muy buena manera. No obstante, el 75% de las predicciones tienen un error menor al $\pm 5\%$ por lo que el modelo **se valida**. Este criterio de validación también es válido, puesto que no siempre se logra apreciar una buena distribución simétrica, pero el error de cada medición es menor al $\pm 5\%$.

Una vez validado el modelo, se realiza el cálculo de la sensibilidad de cada variable, para así determinar cuál de ellas posee un mayor impacto en el modelo.

Este valor se calcula mediante el producto de la **desviación estándar** y el **coeficiente de regresión**. Para determinar la desviación estándar, se utiliza otro complemento de MS Excel, **Estadística Descriptiva^[*]**, el cual entrega valores estadísticos típicos para cada variable, como promedio, máximo, etc., ver tabla 3.3.

[*]Ver Anexo E, para saber sobre su uso.

Tabla 3.3. Ejemplo Estadística Descriptiva

	<i>Variable X1</i>	<i>Variable X3</i>
Media	183,83	12,22
Error típico	2,01	0,38
Mediana	182,42	11,79
Moda	186,02	14,61
Desviación estándar	17,56	3,35
Varianza de la muestra	308,32	11,23
Curtosis	0,82	-0,62
Coficiente de asimetría	0,93	0,24
Rango	82,36	13,71
Mínimo	155,43	5,93
Máximo	237,79	19,64
Suma	13971	928
Cuenta	76	76
Mayor	237,79	19,64
Menor	155,43	5,93
Nivel de confianza(95,0%)	4,01	0,77

Con este valor y el valor obtenido del análisis de regresión, se realiza el análisis de sensibilidad de las variables del modelo, ver tabla 3.4.

Tabla 3.4. Ejemplo Análisis de Sensibilidad

<i>Variable</i>	<i>Coficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
Variable X1	-0,058827	17,56	-1,03
Variable X3	-0,648691	3,35	-2,17

Este análisis se realiza determinando cual de las variables tiene el mayor producto en valor absoluto. Siendo la variable de mayor relevancia o impacto en el modelo la que tenga el producto (coeficiente x desviación estándar) mayor. En el ejemplo, la variable X3 es la que presenta una mayor incidencia en el modelo.

3.3. Conclusiones

Uno de los beneficios que se obtiene de este método es la posibilidad de predicción del comportamiento del proceso. Otro beneficio inmediato, es el control que se puede llevar, ya que se pueden obtener lecturas en tiempo real de la variable respuesta, y ajustar el modelo de manera automática.

En la práctica, tomar las variables de proceso en línea permitirá corregir y/o modificar en tiempo real las posibles fluctuaciones en el objetivo del proceso.

El modelo estadístico de regresión lineal múltiple se construirá a partir de datos históricos del proceso. Para validar este modelo se verificarán los límites de confianza al 95%, el valor esperado de los coeficientes de regresión y el análisis de residuos. Si este último, resulta poco claro en sus resultados (poca simetría), bastará con comprobar que a lo menos el 75% de las predicciones no tenga un error mayor al $\pm 5\%$ para validar el análisis.

Complementariamente, se realizará un análisis de sensibilidad para conocer cual de las variables presentes en el modelo cuenta con el mayor impacto en la variable de salida.

CAPITULO 4: ANÁLISIS MULTIVARIABLE

Este análisis multivariable tiene como objetivo desarrollar los modelos estadísticos para la planta concentradora mediante el método de análisis de regresión lineal múltiple.

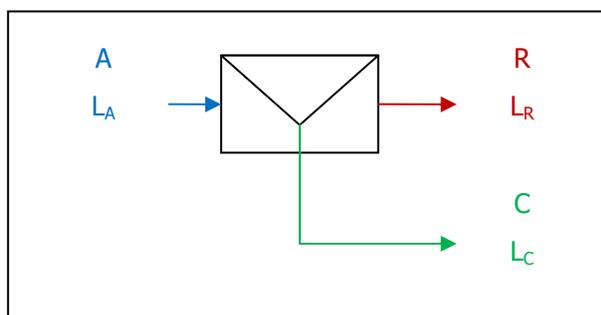
El desarrollo de los modelos estadísticos entregará una herramienta de control y predicción ante cambios en el proceso.

4.1. Recopilación de Información

Según la metodología propuesta se reúnen los diagramas de flujos, ecuaciones de proceso y las principales variables de cada etapa. Esta información se encuentra en los *Anexos A, B, C y D*. No obstante, a continuación sintetizaremos las ecuaciones y las variables para cada proceso y la relación esperada.

En la figura 4.1 se representa una celda de flotación tipo.

Figura 4.1. Balance Celda



Donde:

A: Flujo de alimentación

L_A: Ley de alimentación

C: Flujo de concentrado

L_C: Ley de concentrado

R: Flujo de relave

L_R: Ley de relave

Para todos los casos, las leyes se refieren a la concentración del mineral de interés en la corriente de referencia, en nuestro caso, el mineral de interés es cobre.

La variable respuesta para el presente estudio y análisis estadístico será la **recuperación**. La cual está definida como la relación entre las salidas útiles y la alimentación. Encontraremos por lo tanto, dos tipos de recuperaciones, en peso y metalúrgica, dependiendo si consideramos la salida útil como la corriente completa o solo el mineral de interés. Siendo esta última consideración la de mayor relevancia y más utilizada.

Realizando los balances de materiales, por corriente y por compuesto:

$$A = C + R$$

$$A \cdot L_A = C \cdot L_C + R \cdot L_R$$

Usando la definición de recuperación:

$$\text{Recuperación en Peso} = \frac{C}{A}$$

$$\text{Recuperación en Metalúrgica} = \frac{C \cdot L_C}{A \cdot L_A}$$

En términos de leyes, las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación en Peso} = \frac{L_A - L_R}{L_C - L_R}$$

$$\text{Recuperación en Metalúrgica} = \frac{L_A - L_R}{L_C - L_R} \cdot \frac{L_C}{L_A}$$

De ahora en adelante, se referirá a la **recuperación metalúrgica** simplemente con el término **recuperación**. Cuando corresponda se diferenciará la recuperación en peso, pero de no indicarse terminación (metalúrgica o peso) se deberá entender que se refiere a la recuperación metalúrgica.

Las variables y la relación esperada, para cada proceso se presentan a continuación. La relación de proporcionalidad (directa o inversa) está en relación a la recuperación. De poseer una relación directa, se espera que al aumentar el valor de la variable la recuperación aumente, por el contrario ante una disminución de la variable la recuperación caerá.

Tal como se describió en el capítulo 2. La planta de flotación esta dividida en dos etapas, flotación primaria y flotación limpieza.

La Flotación Primaria se divide en Flotación Prerougher y Flotación Rougher, para ambos casos se cumple:

Tabla 4.1. Variables de Flotación Primaria

Flotación Primaria	
Aumento	Recuperación
<i>Nivel de Pulpa en la Celda</i>	Aumenta
<i>Colector</i>	Aumenta
<i>Espumante</i>	Aumenta
<i>pH</i>	Aumenta
<i>Porcentaje de Sólidos</i>	Disminuye

La Flotación Limpieza se divide en Limpieza Prerougher, Remolienda, Flotación Scavenger y Flotación Columnar.

Para la Limpieza Prerougher se cumple:

Tabla 4.2. Variables de Limpieza Prerougher

Limpieza Prerougher	
Aumento	Recuperación
<i>Nivel de Pulpa en la Celda</i>	Aumenta
<i>Porcentaje de Sólidos</i>	Disminuye

Para la Remolienda la relación entre las variables y la recuperación es:

Tabla 4.3. Variables Remolienda

Remolienda	
Aumento	Recuperación
<i>Potencia Molinos</i>	Aumenta
<i>Presión Ciclones</i>	Aumenta
<i>Porcentaje de Sólidos</i>	Disminuye

Para la Flotación Columnar se tiene:

Tabla 4.4. Variables Flotación Columnar

Flotación Columnar	
Aumento	Recuperación
<i>Nivel de Pulpa en la Celda</i>	Aumenta
<i>Flujo de Aire</i>	Aumenta
<i>Flujo de Agua de Lavado</i>	---
<i>pH</i>	Aumenta

Y por último, para la Flotación Scavenger existe una única variable:

Tabla 4.5. Variables Flotación Scavenger

Flotación Scavenger	
Aumento	Recuperación
<i>Nivel de Pulpa en la Celda</i>	Aumenta

A parte de las variables operacionales ya mencionadas, hay que considerar las características propias del mineral, como el tamaño de partícula (D80) y la ley de cobre.

Tabla 4.6. Variables de Entrada

Alimentación	
Aumento	Recuperación
<i>Ley de Cobre</i>	Aumenta
<i>Relación Cobre Oxidado - Cobre Total</i>	Disminuye
<i>Tamaño de Partícula</i>	Disminuye
<i>Tonelaje</i>	Aumenta

4.2. Función Objetivo

La función objetivo para el proceso de flotación en general es recuperar la máxima cantidad de cobre de la pulpa alimentada, pero este objetivo se contrapone con la ley de cobre en el concentrado. Al aumentar la ley de cobre en el concentrado la recuperación de sólidos desde la pulpa se vuelve poco selectiva y no solo se recupera cobre sino que además otros sólidos, por lo que la recuperación de cobre disminuye.

En vista de lo anterior, la función objetivo debe cuidar maximizar la recuperación sin perjudicar la ley de concentrado.

Para los procesos descritos para El Soldado se tienen las siguientes funciones objetivos.

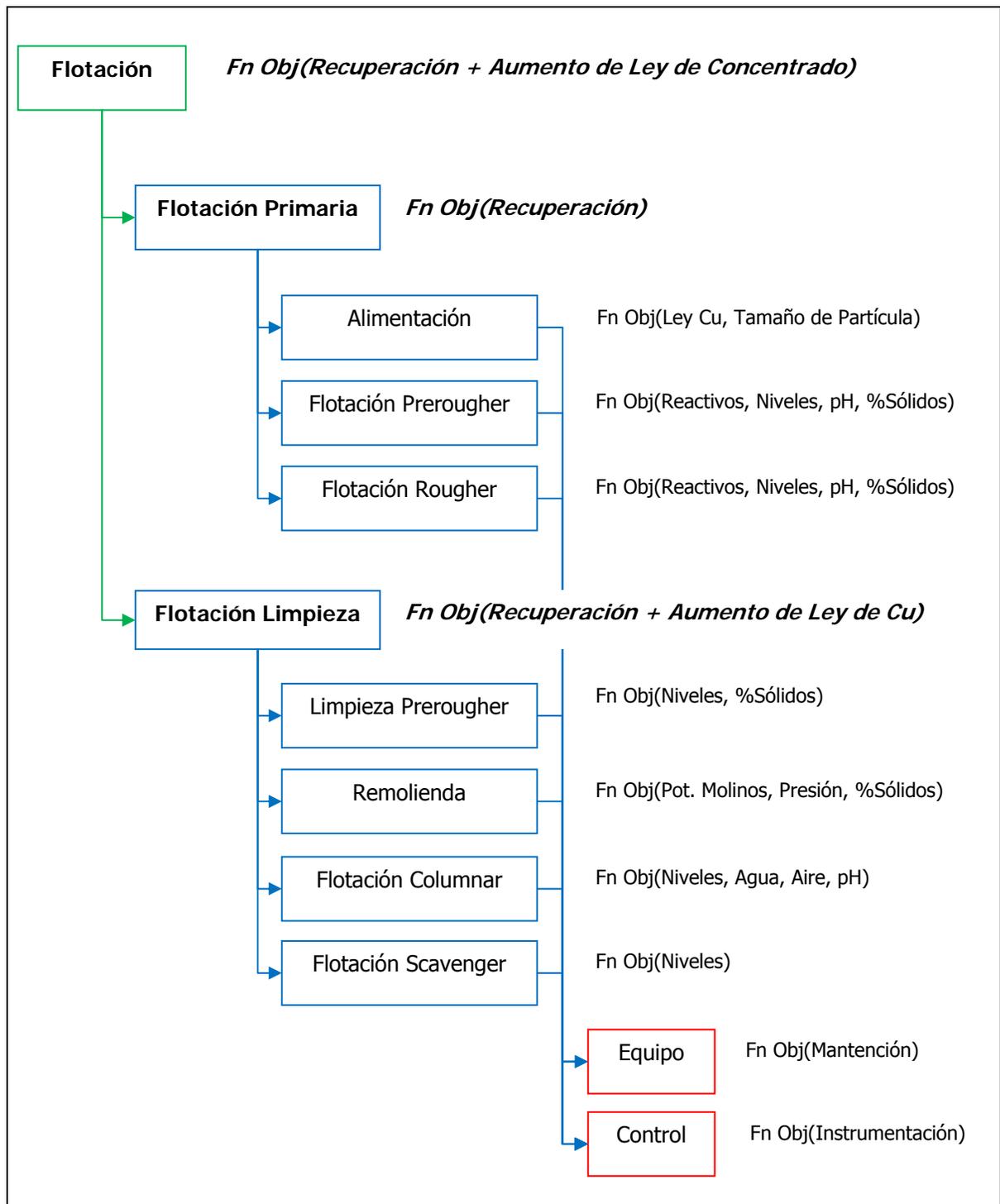
La tabla 4.7 resume las funciones objetivos para cada etapa del proceso. Estas funciones objetivos a su vez dependerán de las variables operacionales ya mencionadas.

Tabla 4.7. Funciones Objetivos para cada proceso

Etapas		Función Objetivo	
<i>Flotación</i>	<i>Flotación Primaria</i>	<i>Flotación Prerougher</i>	Recuperar
		<i>Flotación Rougher</i>	Recuperar
	<i>Flotación Limpieza</i>	<i>Limpieza Prerougher</i>	Aumentar ley de cobre
		<i>Remolienda</i>	Disminuir el tamaño de las partículas
		<i>Flotación Columnar</i>	Aumentar ley de cobre
		<i>Flotación Scavenger</i>	Recuperar

Con las funciones objetivos y las variables para cada etapa y proceso, se construye el árbol funcional, ver figura 4.2.

Figura 4.2. Árbol Funcional Planta de Flotación



4.3. Recopilación de Datos

El Soldado cuenta con una base de datos que obtiene información desde dos sistemas independientes. Uno proveniente de planta y el otro de los laboratorios, tanto del químico como del metalúrgico.

Los datos provenientes de la planta como niveles de pulpa, leyes en línea, reactivos, tonelaje, entre muchos más, son registrados y almacenados mediante el software de *OSI Software Inc. PI System*. El cual registra, en la mayoría de los casos, minuto a minuto las variaciones de los diferentes instrumentos (sensores, controladores, etc.)

Los datos provenientes de los laboratorios, leyes y parámetros cinéticos, son almacenados mediante *SQL Server*. El beneficio de trabajar con SQL y PI System es que existen varios métodos de consulta, sin duda, la vinculación de estos sistemas a *MS Excel* permite realizar consultas más ordenadas y de mayor claridad.

Periódicamente, para ciertos valores, SQL extrae datos de PI esto se realiza para disminuir los tiempos de espera al momento de realizar las consultas.

Para este estudio se recopilaron los datos desde el 1 de enero de 2006 hasta el 30 de junio de 2007 (18 meses). La mayoría de los datos corresponden al promedio del turno (8 horas), por lo que se tienen 3 valores diarios para una misma variable, de esta manera el set de datos nos permitirá ser lo más representativo del sistema.

4.4. Detección y Limpieza de Datos Erróneos

Se debe realizar una limpieza de los datos, para así eliminar los datos que pudiesen interferir en los resultados, como se mencionó en el punto 3.2.4.

Para ello, se utilizarán como criterios de eliminación los valores fuera de los parámetros establecidos. Estos parámetros se señalan en las siguientes tablas.

Tabla 4.8. Parámetros Operacionales Flotación Primaria

Flotación Primaria				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Prerougher 1</i>	%	55	65	60
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Prerougher 2</i>	%	45	55	50
<i>Colector (Ditiofosfato de Sodio + Xantato Isobutílico de Sodio)</i>	gr/ton	25	35	30
<i>Espumante (Metil Isobutil Carbinol + Sasfroth + Down Froth)</i>	gr/ton	25	35	30
<i>pH Prerougher</i>		10	12	11
<i>Porcentaje de Sólidos</i>	%	35	45	50
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A1</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A2</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A3</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A4</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B1</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B2</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B3</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B4</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C1</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C2</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C3</i>	%	50	60	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C4</i>	%	50	60	55
<i>pH Rougher</i>		9	11	10

Los niveles de las celdas rougher se denominan a partir de la fila y el banco al cual corresponden. La figura 4.3 señala esta denominación.

Figura 4.3. Celdas Rougher

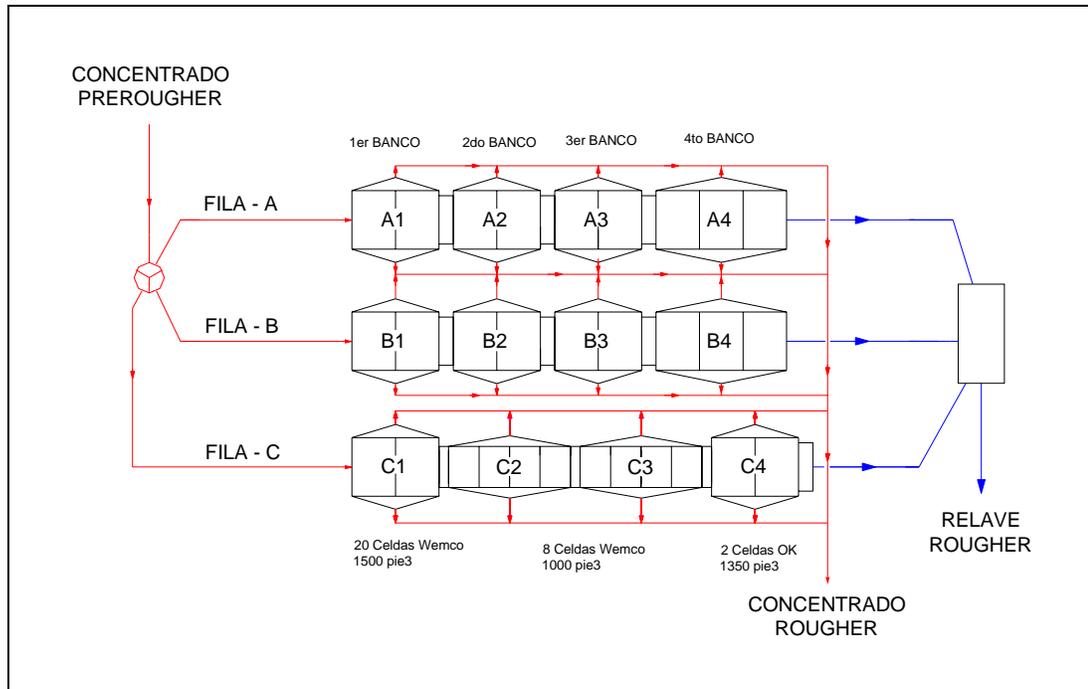


Tabla 4.9. Parámetros Operacionales Remolienda

Remolienda				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Potencia Molino Remolienda N°6</i>	Hp	260	280	270
<i>Potencia Molino Remolienda N°7</i>	Hp	480	540	510
<i>Presión Hidrociclones</i>	psi	25	35	30
<i>Porcentaje de Sólidos</i>	%	33	45	39
<i>Tamaño de Partícula (P80)</i>	µm	36	60	48

Tabla 4.10. Parámetros Operacionales Flotación Columnar

Flotación Columnar				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Nivel de Pulpa en la Columna N°1</i>	%	50	90	70
<i>Nivel de Pulpa en la Columna N°2</i>	%	80	100	90
<i>Flujo de Aire Columna N°1</i>	m ³ /min	2.91	2.93	2.92
<i>Flujo de Aire Columna N°2</i>	m ³ /min	10	14	12
<i>Flujo Agua de Lavado Columna N°1</i>	m ³ /h	9	11	10
<i>Flujo Agua de Lavado Columna N°2</i>	m ³ /h	20	25	22.5
<i>pH</i>		9	12	10,5

Tabla 4.11. Parámetros Operacionales Flotación Scavenger

Flotación Scavenger				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 1</i>	%	40	60	50
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 2</i>	%	40	60	50
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 3</i>	%	40	80	60
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 4</i>	%	40	70	55
<i>Nivel de Pulpa en la Celda Wemco 4500</i>	%	40	60	50

Tabla 4.12. Parámetros Operacionales Alimentación

Alimentación				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Ley de Cobre</i>	%	0,5	2	1,25
<i>Relación Cobre Oxidado – Cobre Total</i>		5	15	10
<i>Tamaño de Partícula (D80)</i>	µm	150	250	200
<i>Tonelaje</i>	Ton/Turno8h	5500	7500	6500
	Ton/h	688	938	813

Adicionalmente se deberán considerar las recuperaciones para cada etapa.

Tabla 4.13. Recuperaciones para cada etapa

Recuperaciones				
Variable	Unidad	Limite Inferior	Limite Superior	Promedio
<i>Recuperación Celdas Prerougher</i>	%	25	55	40
<i>Recuperación Celdas Rougher</i>	%	60	90	75
<i>Recuperación Primaria</i>	%	75	95	85
<i>Recuperación Limpieza</i>	%	94	99	96.5
<i>Recuperación Global</i>	%	70	90	80

Un ejemplo de la eliminación de los valores fuera de rango se señala en los gráficos 4.1 y 4.2 para el tonelaje de alimentación. Este procedimiento se realiza para todas la variables involucradas en el estudio.

Gráfico 4.1. Tendencia Original Tonelaje de Alimentación

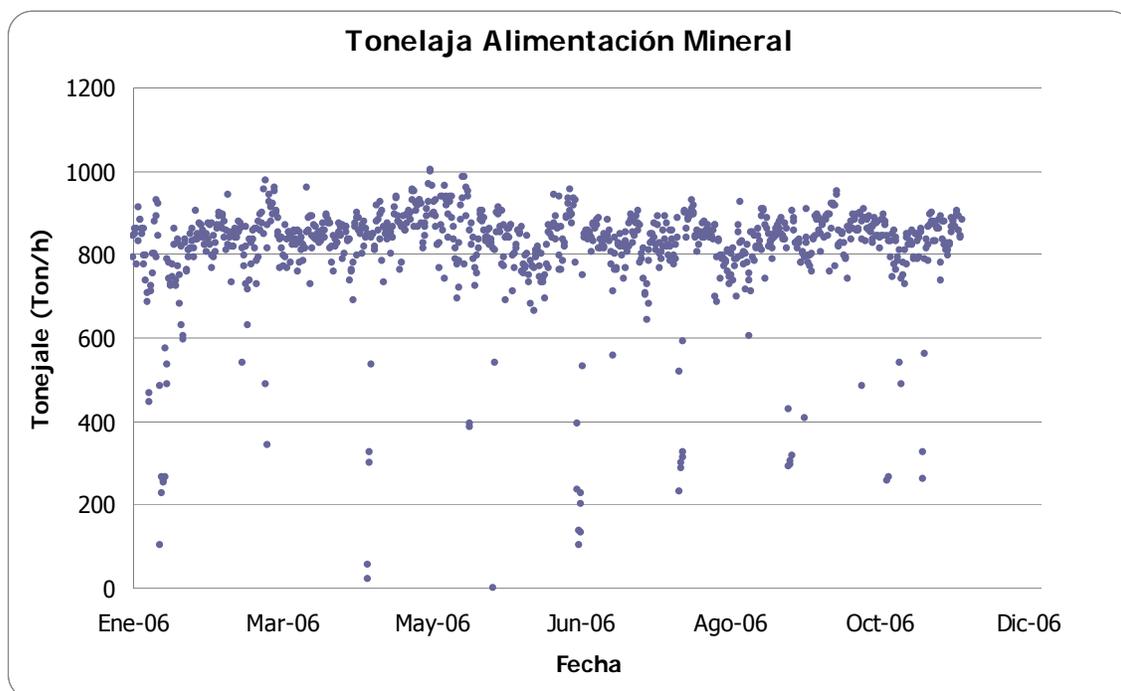
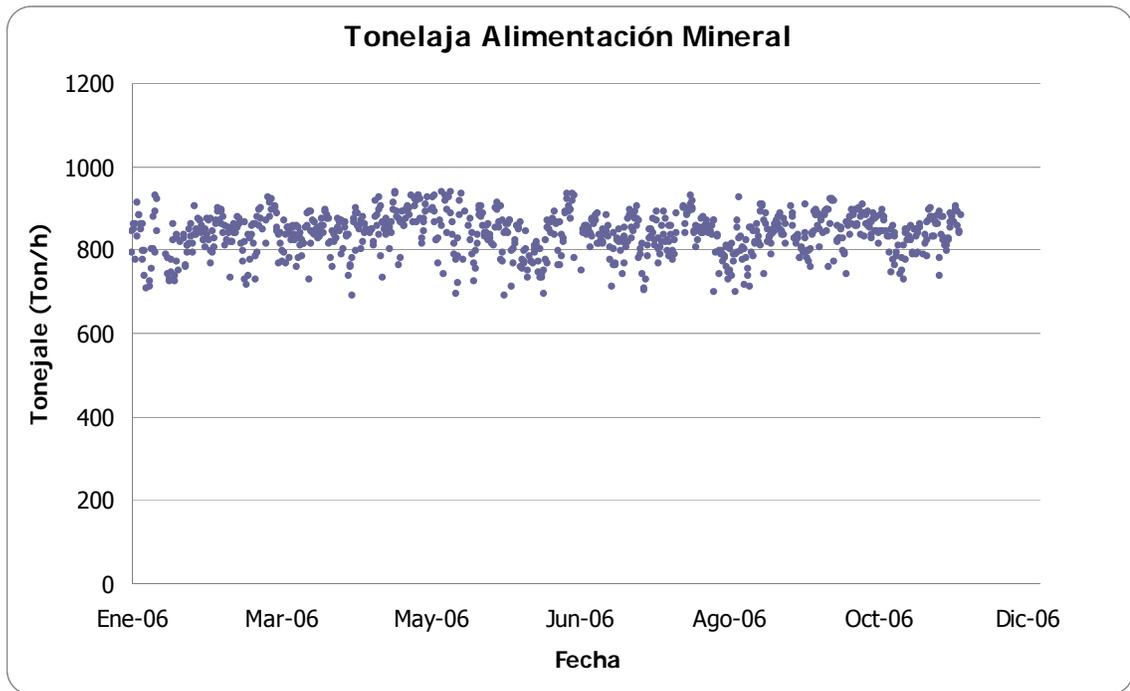


Gráfico 4.2. Tendencia Modificada Tonelaje de Alimentación



4.5. Análisis de Regresión Lineal Múltiple

El análisis de regresión lineal múltiple contempla el seguimiento del modelo de la planta, generar y evaluar los modelos para cada etapa de la flotación. Para todas estas tareas la función objetivo tiene como variable a maximizar la recuperación metalúrgica.

4.5.1. Relación entre las recuperaciones

Tal como se mencionó anteriormente, la función objetivo a maximizar es la recuperación metalúrgica. Es por ello que será necesario calcular las recuperaciones tanto para el proceso global como para las etapas que componen el circuito. En base a lo expuesto en el punto 4.1, las recuperaciones se calcularán como se indica en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Alimentación y Salidas Útiles Planta de Flotación

Recuperación	Alimentación	Salida Útil
<i>Primaria</i>	Tonelaje Alimentación	Concentrado Prerougher + Concentrado Rougher
<i>Limpieza</i>	Concentrado Prerougher + Concentrado Rougher	Concentrado Limpieza Prerougher + Concentrado Columnas
<i>Planta</i>	Tonelaje Alimentación	Concentrado Limpieza Prerougher + Concentrado Columnas

Los gráficos 4.3 y 4.4 muestran las recuperaciones para el periodo en estudio, Enero 2006 – Junio 2007.

Gráfico 4.3. Recuperaciones Flotación Primaria y Limpieza

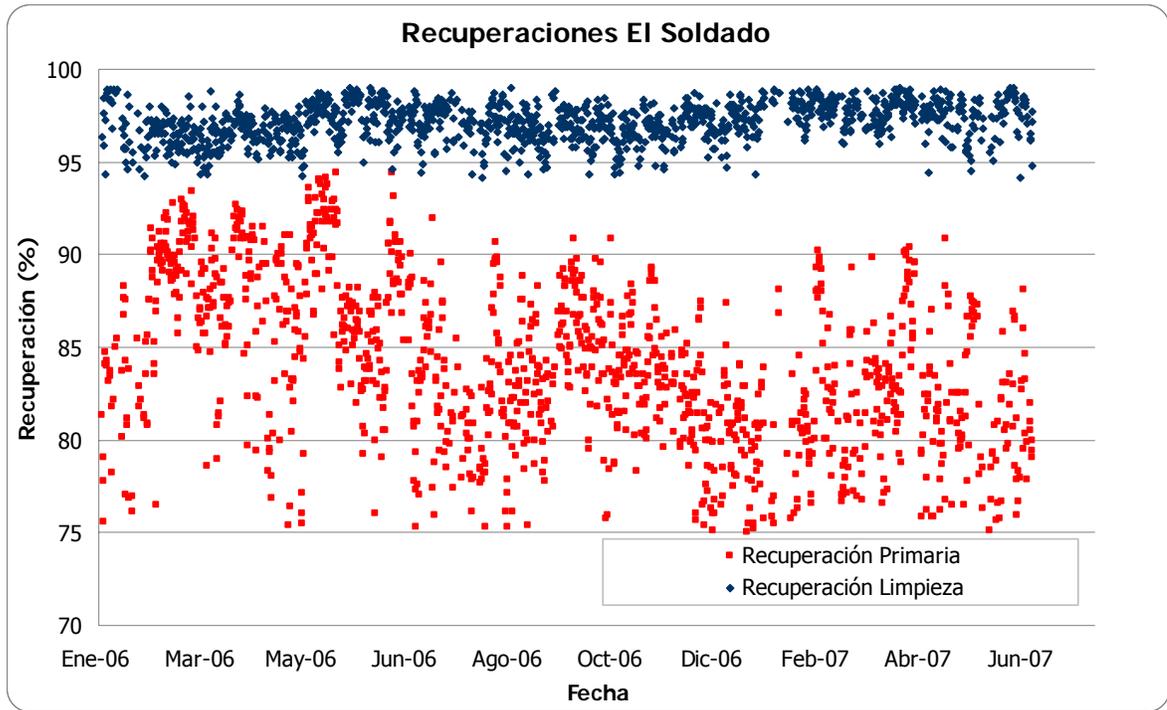
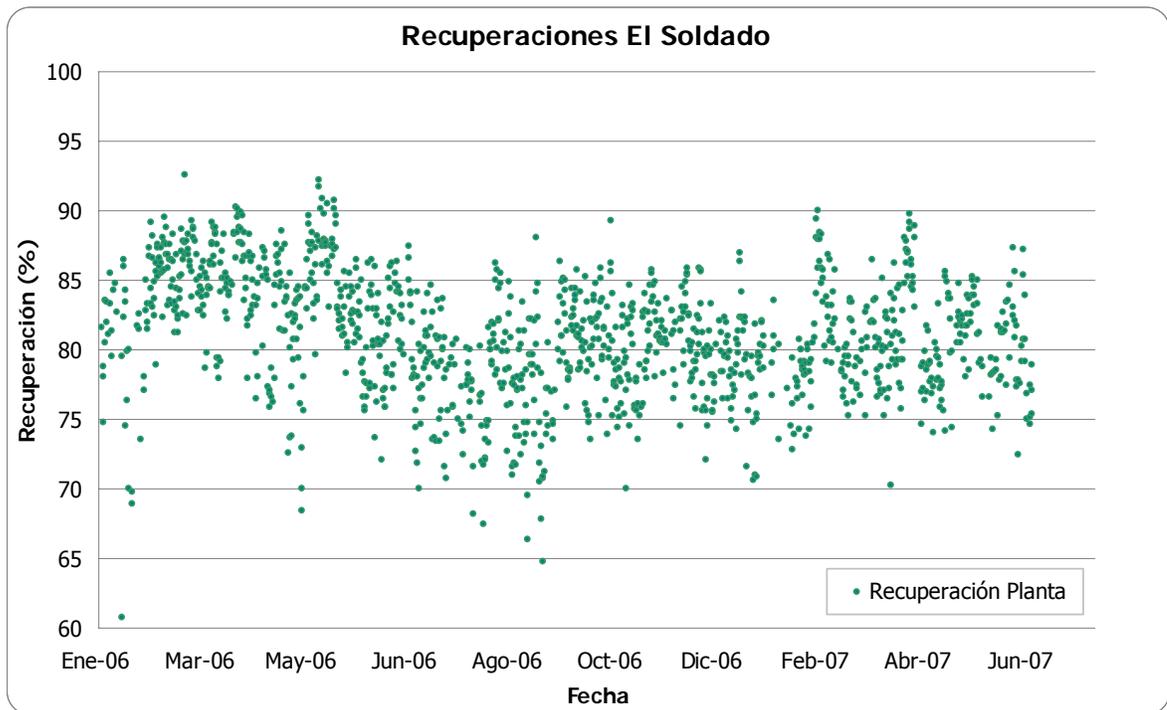


Gráfico 4.4. Recuperaciones Planta de Flotación El Soldado



Notar que la recuperación primaria tiene un comportamiento bastante similar a la recuperación planta, en contraste con la recuperación limpieza. Mediante los gráficos 4.5 y 4.6, se aprecia la correlación existente entre las recuperaciones.

Gráfico 4.5. Correlación Recuperación Primaria - Planta

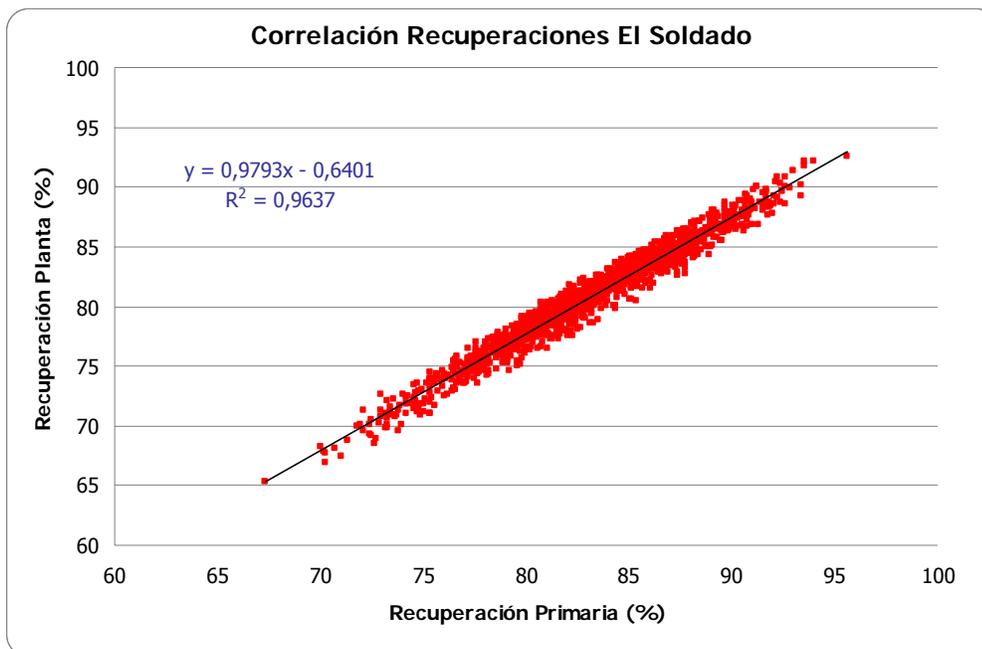
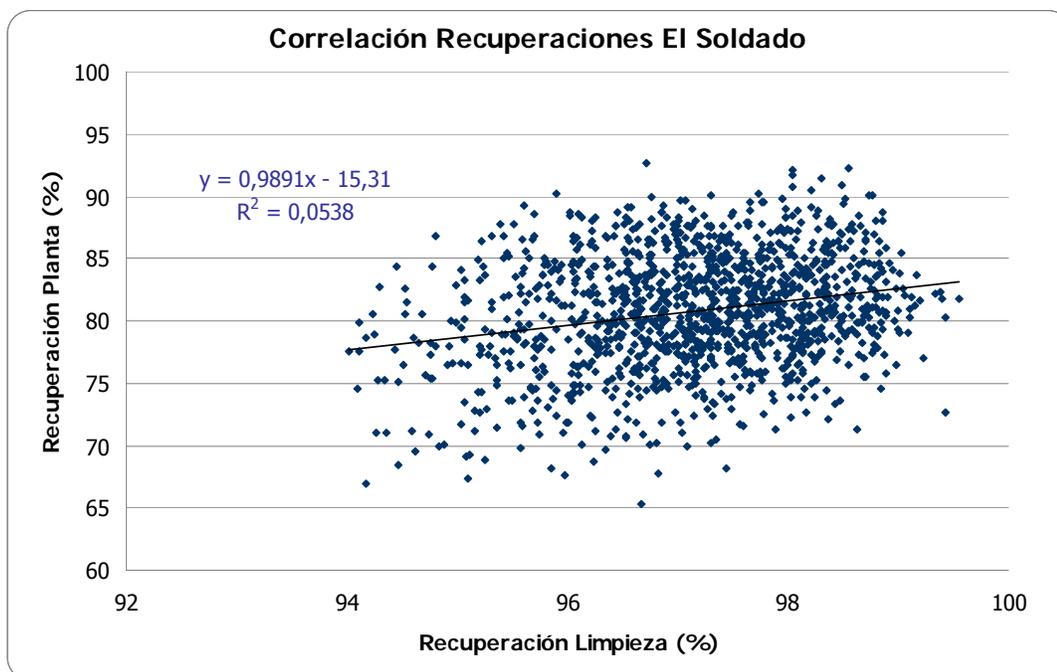


Gráfico 4.6. Correlación Recuperación Limpieza – Planta



Comparando el valor de R^2 y la pendiente se establece que la recuperación primaria se correlaciona de mejor manera que la recuperación limpieza.

Lo anterior queda de manifiesto, ya que para la recuperación primaria el valor de R^2 es de 0.96 y para la recuperación limpieza el valor de R^2 es de 0.05, siendo el valor más cercano a 1, el que cuenta con la mejor correlación.

Siendo más rigurosos la relación existente entre las recuperaciones puede obtenerse mediante el siguiente modelo:

$$\text{Recuperación Planta} = \alpha \cdot \text{Recuperación Primaria} + \beta \cdot \text{Recuperación Limpieza}$$

Donde α y β corresponden a las constantes de la ecuación, para determinarlas se utilizará el análisis de regresión lineal múltiple que proporciona *Microsoft Excel*.

Los resultados se muestran mediante la tabla 4.15.

Tabla 4.15. Análisis de Regresión Recuperaciones Planta-Primaria-Limpieza

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9999
Coefficiente de determinación R^2	0,9999
R^2 ajustado	0,9991
Error típico	0,8522
Observaciones	1319

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	8633622	4316811	5943986	0
Residuos	1317	956,5	0,7		
Total	1319	8634578,6			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Recuperación Primaria	0,9425	0,0051	183,87	0	0,9325	0,9526	0,9293	0,9557
Recuperación Limpieza	0,0250	0,0044	5,69	1,5E-08	0,0164	0,0336	0,0137	0,0363

Recogiendo la información entregada por el análisis de regresión lineal múltiple el primer indicador que se analizará es el *Coefficiente de Determinación R^2* . El cual se interpreta como el porcentaje de variabilidad de la *recuperación planta* explicada o debida al modelo generado. Se aprecia que el valor es cercano a la

unidad, en otras palabras, porcentualmente el modelo explica un 99.999% del comportamiento de la recuperación planta.

A continuación, se analizan los coeficientes de regresión y los límites de confianza (al 95 y 99%) para cada variable independiente del modelo.

Cabe mencionar que este modelo en particular carece de un intercepto en el eje ordenado (Y), pero el análisis que se presenta a continuación es aplicable para cualquier caso en estudio.

Para la recuperación primaria el coeficiente es 0.9425, este valor se ubica dentro de los límites de confianza. Los cuales significan que el 95% de la muestra se ajusta a este valor. De manera similar, el siguiente intervalo analizado indica que el valor obtenido se ajusta en un 99% al valor encontrado.

Para la recuperación limpieza el coeficiente es 0.0250, este valor se ajusta para ambos límites de confianza, 95 y 99%.

No obstante el valor del coeficiente se ubique dentro del límite de confianza, éste debe situarse cercano a ambos límites (promedio), esto reflejará una mínima variabilidad y de esta manera se minimizarán las diferencias entre los valores obtenidos y los valores reales, al momento de utilizar el modelo como herramienta predictiva.

En vista de lo anterior, podemos establecer la siguiente vinculación:

Recuperación Planta=0.9425·Recuperación Primaria+ 0.025·Recuperación Limpieza

Esto corrobora lo señalado anteriormente en base a los gráficos, la recuperación planta depende mayormente de la recuperación primaria más que la recuperación limpieza.

En términos analíticos, cerca del 94% de la recuperación global se debe a la recuperación primaria, se logra inferir que la recuperación primaria posee una mayor relevancia que la recuperación limpieza.

Pero desde el punto de vista operacional es en la flotación limpieza donde se deberá prestar mayor atención, puesto que al excelente precio que presenta el cobre hoy en día, cualquier beneficio adicional que se logré obtener se traducirá en un aumento en la producción y con ello un aumento en el beneficio económico.

Es necesario precisar que la modelación de las etapas se realizará solo en términos de la **recuperación metalúrgica de la planta**. Ya que de esta manera podremos vincular **directamente** los efectos de cada variable.

Es importante interpretar de buena manera los resultados expuestos por el Análisis de Regresión Múltiple, en el Anexo E se abordan con mayor profundidad el significado de los indicadores entregados por *Microsoft Excel* y de qué manera se interpretan.

4.5.2. Actualización Modelo Planta

El modelo que El Soldado utiliza desde hace unos años es del tipo regresión lineal múltiple. La ecuación es del tipo:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_5 \cdot X_5$$

Donde:

a_0 : Intercepto en el eje Y	X_3 : Relación cobre oxidado – cobre total, CuOxCuT
a_1 - a_5 : Coeficientes de la ecuación	X_4 : Colector
X_1 : Tamaño de partícula, D80	X_5 : Espumante
X_2 : Ley de cobre, LeyCuT	Y: Recuperación metalúrgica de la planta

Realizando el análisis de regresión con los datos del 2006 se tiene los siguientes resultados, ver tabla 4.16.

Tabla 4.16. Análisis de Regresión Modelo Planta 2006

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Diciembre 2006</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,5463		
Coefficiente de determinación R²	0,2984		
R ² ajustado	0,2949		
Error típico	3,8904		
Observaciones	1000		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5	6400	1280	85	0
Residuos	994	15044	15		
Total	999	21444			

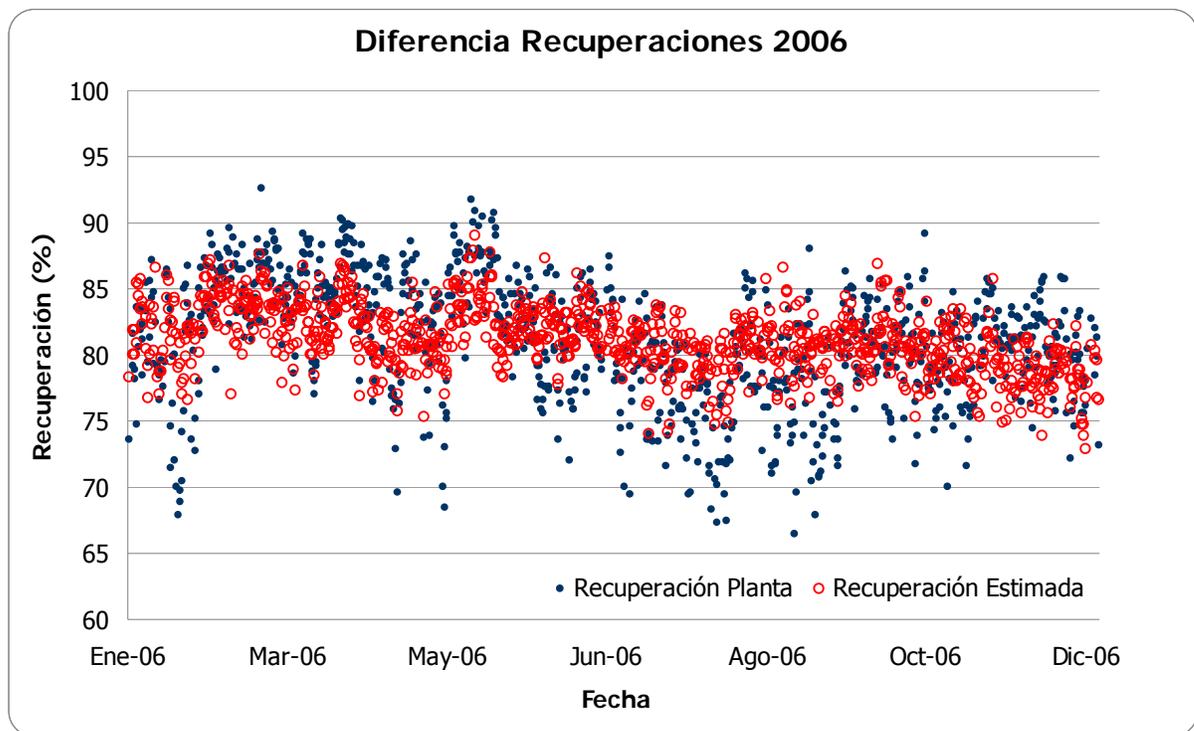
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	97,80	1,6284	60,06	0	94,60	100,99	93,59	102,00
D80	-0,06	0,0070	-8,81	5,61E-18	-0,07	-0,05	-0,08	-0,04
LeyCuT	4,15	0,7085	5,85	6,52E-09	2,76	5,54	2,32	5,98
CuOxCuT	-0,51	0,0441	-11,57	4,10E-29	-0,60	-0,42	-0,62	-0,40
Colector	-0,18	0,0184	-10,01	1,59E-22	-0,22	-0,15	-0,23	-0,14
Espumante	0,10	0,0193	5,17	2,82E-07	0,06	0,14	0,05	0,15

Se observa que ninguno de los parámetros presenta objeciones, puesto que los valores de los coeficientes están dentro de los rangos esperados, y los límites de confianza no muestran variaciones en sus signos.

Si bien, el coeficiente de determinación R^2 debe ser lo más cercano a 1 para asegurar que el modelo sea lo suficientemente representativo, el valor de R^2 para el análisis del 2006, presenta un 29.84% de representatividad, lo cual es un poco bajo para cualquier análisis estadístico. Sin embargo, considerando que usualmente para este sistema (modelo y variables) el valor de R^2 no supera el 60%, este valor se acepta.

El gráfico 4.7 señala la diferencia entre la recuperación planta y las recuperaciones estimadas, a partir del modelo.

Gráfico 4.7. Diferencia Recuperaciones Planta 2006

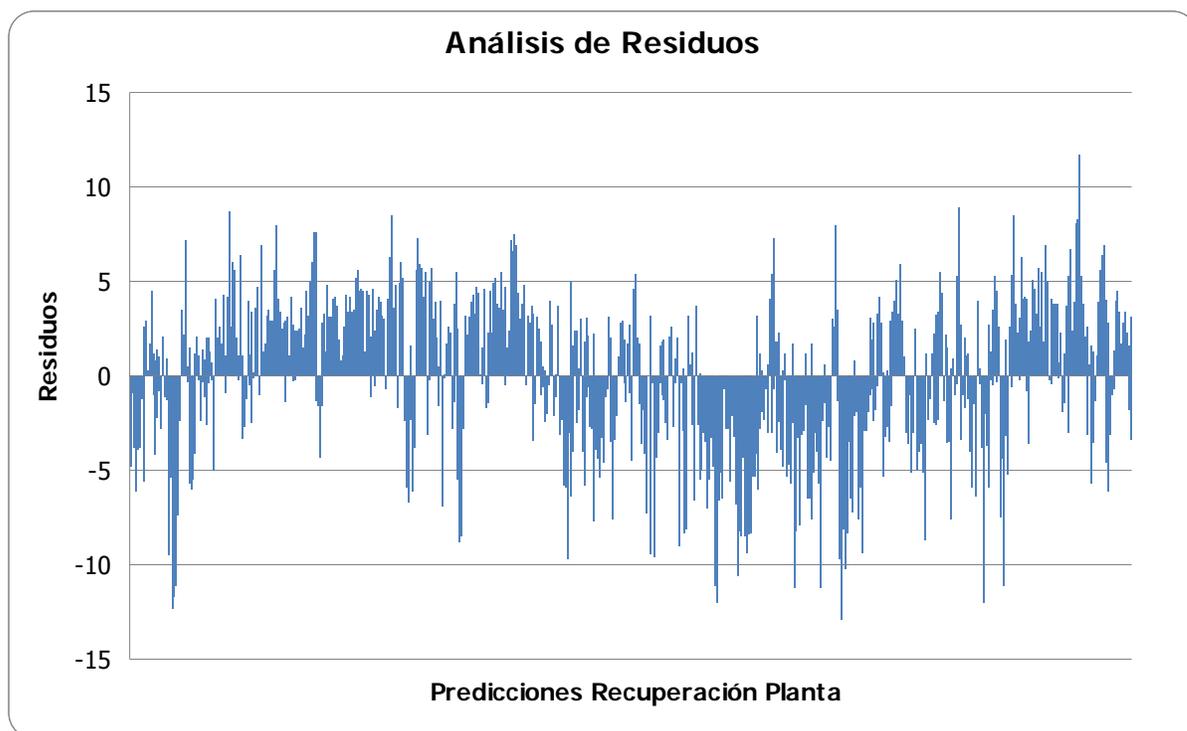


Se percibe que el modelo tiene un comportamiento mucho más estable que los valores reales. En la mayoría de los casos los valores estimados no distan mucho de los valores reales.

No obstante lo anterior, el análisis de residuos indicará analíticamente si el modelo se correlaciona de buena manera con los valores reales. Como se indicó en el capítulo 3, este análisis se realizará observando la distribución de los residuos entorno al eje X. De no existir una distribución simétrica, se entenderá que no existe una buena correlación entre el modelo y los valores reales.

Realizando el análisis de residuos se tiene el gráfico 4.8.

Gráfico 4.8. Análisis de Residuos Modelo 2006



El análisis gráfico de los residuos muestra poca simetría entorno al eje X, analíticamente, el 75% de la muestra presenta un error menor al $\pm 5\%$, por lo que el modelo se valida completamente, según los criterios indicados en el capítulo 3.

El modelo generado queda de la siguiente forma:

$$\text{Recuperación} = 97.80 - 0.06 \cdot D80 + 4.15 \cdot \text{LeyCuT} - 0.51 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.18 \cdot \text{Colector} + 0.10 \cdot \text{Espumante}$$

Además del análisis de regresión se podrá evaluar el “peso” o sensibilidad de cada variable, para esto se debe calcular el producto la desviación estándar y el coeficiente de regresión.

Para obtener la desviación estándar se utiliza *Herramientas para Análisis de Excel* y la opción *Estadística Descriptiva* la cual entrega entre otros valores, el promedio, la varianza y la desviación estándar. En la tabla 4.17 se señalan los valores obtenidos.

Tabla 4.17. Estadística Descriptiva Modelo 2006

	<i>D80</i>	<i>LeyCuT</i>	<i>CuOxCuT</i>	<i>Colector</i>	<i>Espumante</i>
Media	195,43	0,96	10,26	36,66	32,93
Error típico	0,57	0,01	0,09	0,26	0,21
Mediana	194,12	0,94	10,00	35,79	33,46
Moda	194,46	0,94	9,09	27,70	27,02
Desviación estándar	17,94	0,22	2,91	8,06	6,67
Varianza de la muestra	321,74	0,05	8,45	65,04	44,44
Curtosis	0,08	0,17	0,19	-0,20	-0,37
Coficiente de asimetría	0,36	0,57	0,59	0,46	-0,17
Rango	99,06	1,32	15,95	46,78	34,05
Mínimo	150,88	0,48	4,05	15,16	15,24
Máximo	249,94	1,80	20,00	61,94	49,29
Suma	195427,9	964,6	10255,6	36658,9	32932,5
Cuenta	1000	1000	1000	1000	1000
Mayor	249,94	1,80	20,00	61,94	49,29
Menor	150,88	0,48	4,05	15,16	15,24
Nivel de confianza(95,0%)	1,11	0,01	0,18	0,50	0,41

La tabla 4.18 indica el análisis de sensibilidad realizado al modelo para el año 2006.

Tabla 4.18. Análisis de Sensibilidad Modelo 2006

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
D80	-0,06	17,94	-1,10
LeyCuT	4,15	0,22	0,90
CuOxCuT	-0,51	2,91	-1,48
Colector	-0,18	8,06	-1,48
Espumante	0,10	6,67	0,66

Para determinar cuál es la variable que presenta mayor influencia, solo se debe identificar cuál de ellas presenta el mayor valor absoluto.

De esta forma, la **relación de cobre oxidado** y el **colector** son las variables que presentan mayor influencia o impacto en la variabilidad del modelo (-1.48). Luego aparece el tamaño de partícula, D80 (-1.10), ley de cobre (0.90) y por último el espumante (0.66).

Así las variables manipulables, *colector* y *tamaño de partícula (D80)* son las variables que se deben controlar de mejor forma.

En cuanto a la *relación de cobre oxidado – cobre total* y la *ley de cobre*, se deberá conocer las proyecciones del tipo mineral que se entregará para su procesamiento desde la mina (extracción), así se podrá evaluar oportunamente de que manera responderá el proceso ante estas fluctuaciones.

De manera complementaria con los datos del 2006, se hace un **seguimiento mensual y trimestral** con el objeto de establecer cuál es el comportamiento de las variables en los distintos periodos. Estos periodos, mensual y trimestral, corresponden a los periodos en que se revisa la programación de producción (Budget). El Budget por lo general se establece anualmente, pero se sigue mes a mes para establecer en que proporción de la meta establecida se encuentra la producción.

Este seguimiento tiene como objetivo permitir conocer si el modelo (anual) cuenta con la continuidad necesaria para utilizar el modelo como herramienta predictiva, puesto que en base al modelo se establece el Budget, de lo contar con la

continuidad necesaria, el modelo deberá corregirse, para así evitar diferencias muy grandes con el Budget. Un modelo poco veraz podría indicar establecer para ciertas condiciones (Ley de cobre, relación de cobre oxidado-cobre total, etc.) metas de producción muy altas para los valores obtenidos, lo cual indicaría, erróneamente, que el proceso en la planta tiene fallas. Por el contrario, si la meta se fija más baja que la producción obtenida, ésta al ser más alta indicaría una sobre producción lo cual causaría un falso rendimiento en el proceso.

Para este seguimiento se realiza el análisis eliminando las variables que no entren en el modelo, de esta manera tendremos periodos en los cuales algunas variables no participan. Ejemplo de lo anterior se puede ver en el análisis del mes de enero 2006 donde fallan los límites de confianza (95%) para la ley de cobre (LeyCuT) y espumante (tabla 4.19), por lo que estas variables se eliminan y se repite el análisis (tabla 4.20).

Tabla 4.19. Análisis de Regresión Modelo Planta Enero 2006

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero-06						
Coefficiente de correlación múltiple	0,6243							
Coefficiente de determinación R²	0,3898							
R ² ajustado	0,3462							
Error típico	3,8930							
Observaciones	76							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	5	678	136	9	0			
Residuos	70	1061	15					
Total	75	1738						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	107,82	7,8283	13,77	1,31E-21	92,21	123,43	87,09	128,55
D80	-0,06	0,0258	-2,29	2,48E-02	-0,11	-0,01	-0,13	0,01
LeyCuT	-1,13	2,6764	-0,42	6,74E-01	-6,47	4,21	-8,22	5,96
CuOxCuT	-0,79	0,1565	-5,02	3,79E-06	-1,10	-0,47	-1,20	-0,37
Colector	-0,27	0,0711	-3,73	3,92E-04	-0,41	-0,12	-0,45	-0,08
Espumante	0,04	0,0876	0,46	6,45E-01	-0,13	0,22	-0,19	0,27

Tabla 4.20. Análisis de Regresión Modelo Planta Enero 2006 Corregido

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero-06	
Coefficiente de correlación múltiple	0,6204		
Coefficiente de determinación R²	0,3849		
R ² ajustado	0,3593		
Error típico	3,8538		
Observaciones	76		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	669	223	15	0
Residuos	72	1069	15		
Total	75	1738			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	108,41	5,5394	19,57	1,53E-30	97,36	119,45	93,75	123,06
D80	-0,06	0,0254	-2,35	2,18E-02	-0,11	-0,01	-0,13	0,01
CuOxCuT	-0,77	0,1362	-5,66	2,93E-07	-1,04	-0,50	-1,13	-0,41
Colector	-0,28	0,0679	-4,11	1,03E-04	-0,41	-0,14	-0,46	-0,10

Aunque el límite de confianza al 99% del D80 falla, el modelo se acepta puesto que el criterio de eliminación se realiza con el límite de confianza al 95%.

Este procedimiento se realizó para el 2006 mensualmente, eliminando las variables que presentarían problemas. Ordenando los resultados se tiene la tabla 4.21 donde se observan los distintos coeficientes para cada mes. El detalle de cada análisis se señala en el Anexo F.

Tabla 4.21. Seguimiento Mensual Modelo Planta 2006

ANÁLISIS MENSUAL 2006	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Coefficiente de determinación R ²	0,385	0,320	0,592	0,300	0,160		0,184	0,407	0,148	0,160		0,050	0,298
Intercepto	108,41	81,13	87,11	95,81	90,27		98,93	97,67	99,09	73,22		86,87	97,80
D80	-0,06			-0,07			-0,10	-0,09	-0,09				-0,06
LeyCuT		7,17	10,18							6,62			4,15
CuOxCuT	-0,77	-0,18	-0,36	-0,72	-0,60			-0,75	-0,35				-0,51
Colector	-0,28		-0,24									-0,13	-0,18
Espumante				0,23				0,17					0,10

El **Coefficiente de determinación R^2** señala porcentualmente cuan representativo es el modelo, así el modelo anual representa cerca de un 30% ($R^2=0.298$) de la variabilidad.

En el mes de marzo se obtiene una representatividad bastante aceptable cercana al 60% ($R^2=0.592$). Pero el resto de los meses los valores obtenidos son bastante bajos por lo que la representatividad del modelo es limitada.

La exclusión de variables se debe a la poca relación existente entre las variables excluidas. Operacionalmente esta falta de relación se justifica con la estabilidad de las variables. Esta estabilidad se logra manteniendo un adecuado control sobre las variables, disminuyendo la inestabilidad de las variables.

Al comparar los resultados mensuales con el valor anual, se presentan casos en los que los valores mensuales obtenidos distan bastante del valor anual, ejemplo de esto se presenta con el *Espumante*, donde los valores mensuales obtenidos 0.23 y 0.17 son mayores al valor del modelo anual, 0.10.

Este comportamiento lleva a realizar el seguimiento de las variables del modelo en distintos periodos de tiempo, para así tener una visión más clara de la real veracidad del modelo. Es por esto, que se realizó el mismo análisis pero de manera trimestral, a modo de corroborar el modelo. La tabla 4.22 presenta el seguimiento realizado trimestralmente durante el 2006.

Tabla 4.22. Seguimiento Trimestral Modelo Planta 2006

ANALISIS TRIMESTRAL 2006	ENE-MAR 06	ABR-JUN 06	JUL-SEP 06	OCT-DIC 06	ANUAL
Coefficiente de determinación R^2	0,429	0,287	0,265	0,069	0,298
Intercepto	85,02	98,28	101,51	79,14	97,80
D80		-0,05	-0,09		-0,06
LeyCuT	5,02	4,73		4,82	4,15
CuOxCuT	-0,66	-0,56	-0,54		-0,51
Colector	-0,18	-0,26	-0,12	-0,09	-0,18
Espumante	0,19	0,10	0,13		0,10

Corroborando el análisis mensual, el primer trimestre presenta la mejor representatividad (42.9%) y el último trimestre la peor (6.9%).

Tomando un periodo más grande de análisis (trimestre) se excluyen menos variables y los resultados se acercan más al valor anual.

Estos periodos corresponden a los periodos de proyección que utiliza la planta para establecer las metas productivas. Es por ello que tener un modelo lo más cercano a la realidad permitirá tener mínimas diferencias entre los valores esperados y los valores obtenidos. De tal manera de no realizar proyecciones que lleven a tomar decisiones erróneas.

Para el 2007 se realizó el análisis de regresión de manera similar al 2006 obteniéndose los siguientes resultados, ver tabla 4.23.

Tabla 4.23. Análisis de Regresión Modelo Planta 2007

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero - Junio 2007						
Coefficiente de correlación múltiple	0,5670							
Coefficiente de determinación R²	0,3215							
R ² ajustado	0,3143							
Error típico	3,4287							
Observaciones	480							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	5	2640	528	45	0			
Residuos	474	5572	12					
Total	479	8212						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	79,94	2,1068	37,94	9,5127E-146	75,80	84,08	74,49	85,39
D80	-0,001	0,0085	-0,12	9,02E-01	-0,02	0,02	-0,02	0,02
LeyCuT	3,11	0,7100	4,39	1,43E-05	1,72	4,51	1,28	4,95
CuOxCuT	-0,52	0,0598	-8,62	1,01E-16	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Colector	-0,08	0,0219	-3,65	2,90E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Espumante	0,17	0,0252	6,64	8,49E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

El tamaño de partícula (D80), no se correlaciona adecuadamente puesto que fallan los límites de confianza, el análisis se reitera eliminando esta variable y se corrige el modelo estadístico, ver tabla 4.24.

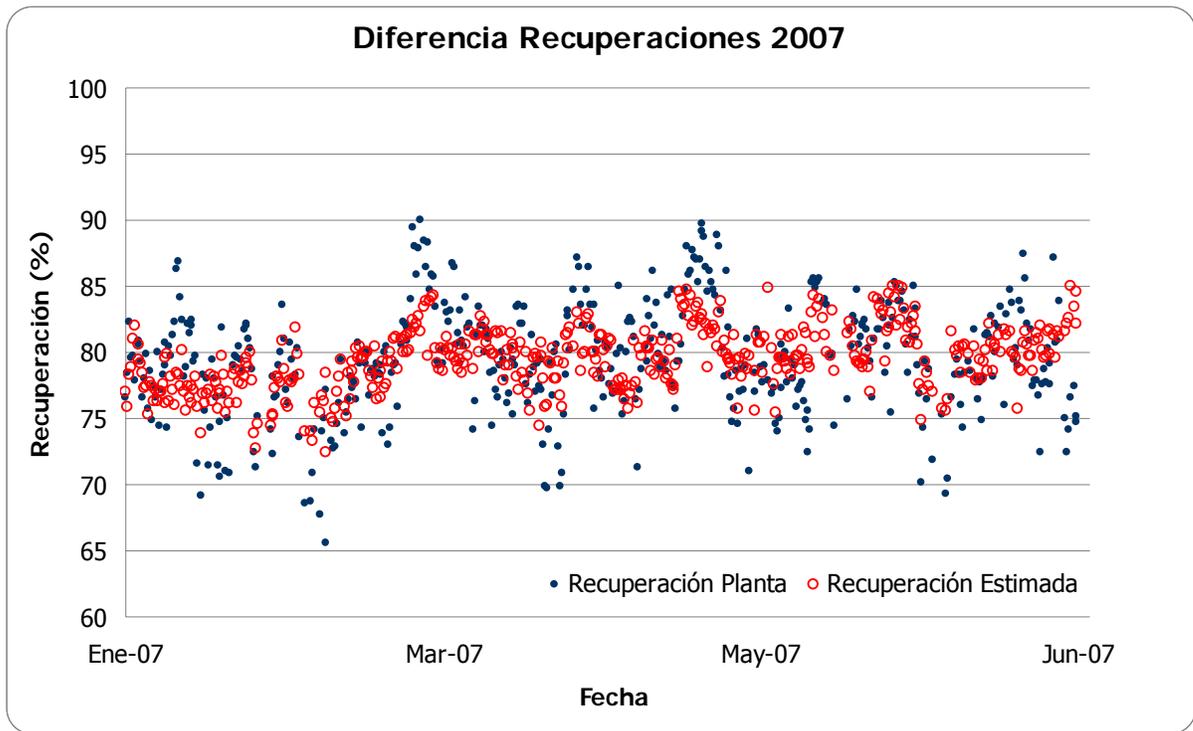
Tabla 4.24. Análisis de Regresión Modelo Planta 2007 Corregido

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero - Junio 2007						
Coefficiente de correlación múltiple	0,5670							
Coefficiente de determinación R²	0,3214							
R ² ajustado	0,3157							
Error típico	3,4252							
Observaciones	480							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	4	2640	660	56	0			
Residuos	475	5573	12					
Total	479	8212						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	79,74	1,3745	58,01	1,0201E-217	77,04	82,45	76,19	83,30
LeyCuT	3,12	0,7040	4,44	1,13E-05	1,74	4,51	1,30	4,94
CuOxCuT	-0,52	0,0597	-8,63	9,18E-17	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Colector	-0,08	0,0217	-3,69	2,48E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Espumante	0,17	0,0249	6,70	5,76E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

Las variables no presentan objeciones. Es importante destacar que el coeficiente de determinación ($R^2=0.3214$) para este periodo es mayor al obtenido para el modelo 2006 ($R^2=0.2984$). Lo cual estaría indicando un mejor ajuste y por lo tanto mejores predicciones.

En el grafico 4.9 se señala la diferencia entre la recuperación planta y la estimada, a partir del modelo.

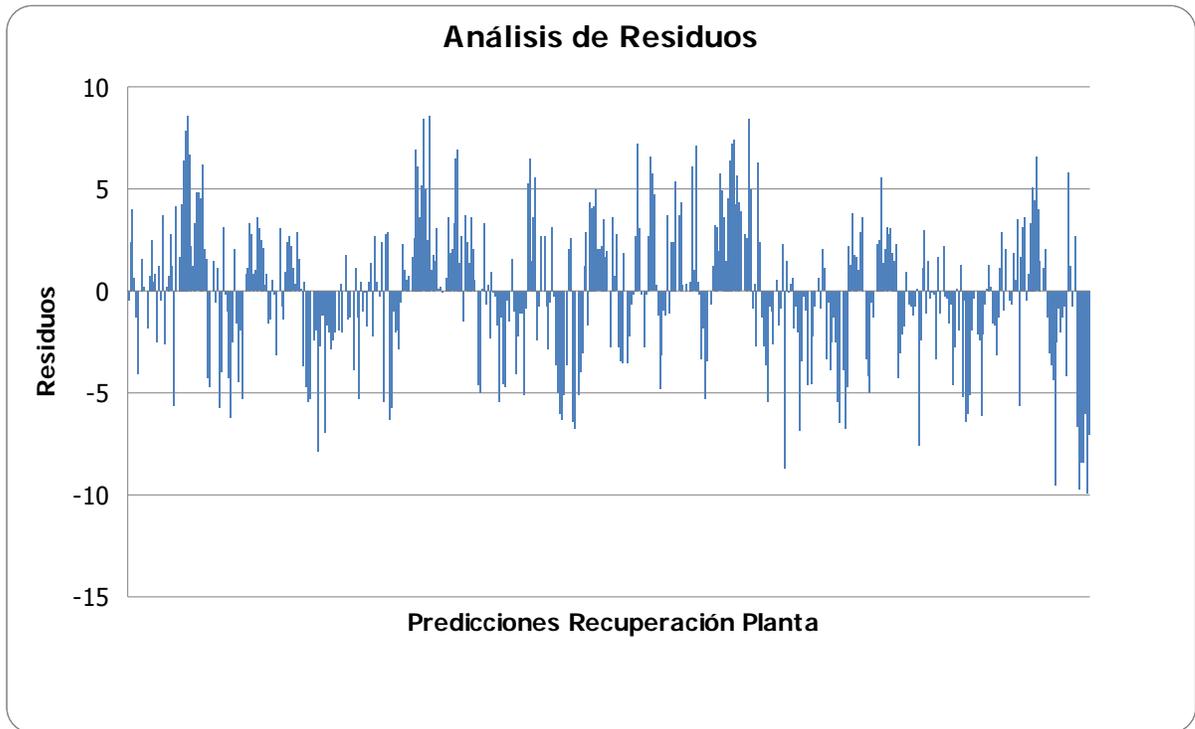
Gráfico 4.9. Diferencia Recuperaciones Planta 2007



En la mayoría de los casos los valores estimados no distan mucho de los valores reales. El modelo tiene un comportamiento mucho más ajustado que el modelo 2006.

Continuando con el método planteado, el análisis de residuos indicará si el modelo se correlaciona de buena manera con los valores reales. Realizando el análisis de residuos se tiene el gráfico 4.10.

Gráfico 4.10. Análisis de Residuos Modelo 2007



Este análisis señala una buena distribución entorno al eje X, como se indicó en el capítulo 3, este análisis se realiza observando la distribución de los residuos entorno al eje X. Como existe una distribución simétrica, se deduce que existe una buena correlación entre el modelo y los valores reales. Además el 76% de la muestra presenta un error menor al $\pm 5\%$.

En vista que todos los criterios de selección y validación no presentan disconformidades, el modelo se valida.

El modelo generado para la primera mitad del 2007 tiene la siguiente forma:

$$\text{Recuperación} = 79.74 + 3.12 \cdot \text{LeyCuT} - 0.52 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.08 \cdot \text{Colector} + 0.17 \cdot \text{Espumante}$$

A continuación se determina la sensibilidad de cada variable, tal como se realizó para el periodo 2006, ver tablas 4.25 y 4.26.

Tabla 4.25. Estadística Descriptiva Modelo 2007

	<i>LeyCuT</i>	<i>CuOxCuT</i>	<i>Colector</i>	<i>Espumante</i>
Media	1,05	10,20	38,42	28,66
Error típico	0,01	0,13	0,35	0,31
Mediana	1,00	9,74	37,18	28,37
Moda	0,90	9,09	34,53	23,70
Desviación estándar	0,26	2,80	7,67	6,69
Varianza de la muestra	0,07	7,82	58,82	44,73
Curtosis	0,15	0,62	0,41	-0,41
Coefficiente de asimetría	0,70	0,81	0,62	0,34
Rango	1,38	15,07	45,13	33,16
Mínimo	0,50	4,68	16,77	15,17
Máximo	1,88	19,75	61,90	48,33
Suma	505,4	4894,0	18439,3	13754,5
Cuenta	480	480	480	480
Mayor	1,88	19,75	61,90	48,33
Menor	0,50	4,68	16,77	15,17
Nivel de confianza(95,0%)	0,02	0,25	0,69	0,60

Tabla 4.26. Análisis Sensibilidad Modelo 2007

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
LeyCuT	3,12	0,26	0,80
CuOxCuT	-0,52	2,80	-1,44
Colector	-0,08	7,67	-0,61
Espumante	0,17	6,69	1,12

La variable que presenta mayor influencia tiene en el modelo es la **relación de cobre oxidado-cobre total** (-1.44), luego aparece el *espumante*, la *ley de cobre* y el *colector*.

Este resultado se asemeja al obtenido en el modelo 2006, por lo cual se ratifica la importancia de la *relación cobre oxidado-cobre total* en el proceso.

Esta relación de mineral oxidado se puede manejar, pero a nivel de geología, es decir, mediante la determinación de los lugares de donde extraer el mineral y que luego se enviarán a flotación.

Habitualmente se presentan bajas recuperaciones debidas a la mala calidad del mineral entregado desde la mina a la planta (alto contenido de oxido, bajo contenido de cobre, impurezas inertes, etc.), por lo que la labor de ingeniería se ve reducida ante estos hechos.

Sin embargo, el reconocer estas causas permitirá manejar y preparar de mejor manera la operación en planta.

Con esto, se concluye que la mayor variabilidad se debe a un parámetro operacional de alimentación, por lo que aumentar o disminuir la recuperación se deberá manejar mediante el manejo de las variables manipuladas.

A continuación se presentan los valores de los análisis de regresión mensuales corregidos y ordenados para el 2007.

Tabla 4.27. Seguimiento Mensual Modelo Planta 2007

ANALISIS MENSUAL 2007	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	ANUAL
Coefficiente de determinación R ²	0,238	0,682	0,265	0,325	0,458	0,175	0,294
Intercepto	85,29	70,67	76,01	79,64	82,60	91,99	80,04
D80							
LeyCuT		7,52	5,76	5,66	7,75		3,76
CuOxCuT	-0,69	-0,69	-0,41	-0,45	-0,33	-0,36	-0,49
Colector			-0,15		-0,24	-0,26	-0,09
Espumante		0,28	0,25				0,13

Al igual que en el análisis del 2006, la variable que presenta mayor peso o sensibilidad, la relación cobre oxidado (CuOxCuT), está presente durante todos los periodos. La mayor representatividad se obtuvo durante el mes de febrero con un 68.2% y la menor en junio con un 17.5%.

Realizando el mismo procedimiento del 2006, se presentan los análisis trimestrales para el 2007, ver tabla 4.28.

Tabla 4.28. Seguimiento Trimestral Modelo 2007

ANALISIS TRIMESTRAL 2007	ENE-MAR 07	ABR-JUN 07	ANUAL
Coefficiente de determinación R^2	0,422	0,227	0,294
Intercepto	77,47	83,91	80,04
D80			
LeyCuT	4,27	3,51	3,76
CuOxCuT	-0,59	-0,19	-0,49
Colector	-0,07	-0,42	-0,09
Espumante	0,23	0,11	0,13

Coincidiendo con el análisis mensual, durante el primer trimestre se muestra la representatividad más alta (42,2%).

El propósito, en la práctica, de desarrollar estos análisis semestrales y trimestrales se debe a que son estos periodos de tiempo los utilizados para la proyección de producción del siguiente periodo.

Analíticamente, la variación de los coeficientes está relacionada con la relación existente entre las variables. Operacionalmente, esta variabilidad se puede deber al control de la variable y al comportamiento que ésta presente.

La tabla 4.29 compara el valor de los coeficientes del modelo desde el 2006 hasta el primer semestre del 2007.

Tabla 4.29. Seguimiento Coeficientes Modelo Planta 2006-2007

Variables	Años	
	2006	2007
<i>Coefficiente de Determinación R^2</i>	0.298	0.321
<i>Intercepto</i>	97.80	80.04
<i>D80</i>	-0.06	---
<i>LeyCuT</i>	4.15	3.76
<i>CuOxCuT</i>	-0.51	-0.49
<i>Colector</i>	-0.18	-0.09
<i>Espumante</i>	0.10	0.13

Al comparar el comportamiento del modelo, en primer lugar ha de notarse la desaparición del término **D80**, debido fundamentalmente al buen control que se ha tenido de la variable, provocando que la variabilidad en la recuperación no sea justificada por la movilidad del tamaño de partícula.

Este buen control se debe principalmente a la incorporación de lógicas automáticas (Control Experto) en el control de la molienda. La cual actúa directamente sobre los molinos (ejemplo, modificando la potencia). Sin la intervención humana en el control de la molienda se reducen los tiempos de respuesta y por lo tanto se disminuye la variabilidad del tamaño de partícula, dejando así de ser una variable influyente en el modelo.

Otro punto importante, es el peso que las variables no manipuladas en el modelo ejercen, **LeyCuT** y **CuOxCuT**, ya que al no poder controlar estas variables la operación se condiciona a las fluctuaciones de éstas.

Una variable no considerada directamente en el modelo es el tonelaje. Pero su incidencia está sobre la dosificación de reactivos, ya que ésta se realiza en función de la cantidad de mineral tratado.

El tamaño de partícula también se ve afectado por el tratamiento de la planta, puesto que la eficiencia en la molienda depende directamente del tonelaje alimentado.

A pesar que el modelo 2007 cuenta con menos variables, este posee un coeficiente de determinación R^2 más alto que el 2006. Esto implica que las variables seleccionadas para el 2007 ejercen una mayor incidencia en el modelo. Otro punto importante de destacar es que un R^2 mayor indica que el modelo es más representativo.

4.5.3. Modelación Flotación Primaria

Para la confección del modelo se consideran las variables de la flotación primaria y las de alimentación, la cuales se resumen en la tabla 4.30.

Tabla 4.30. Variables Modelación Flotación Primaria

Variables Flotación Primaria	
<i>Flotación Prerougher</i>	Nivel de Pulpa en la Celda Prerougher 1
	Nivel de Pulpa en la Celda Prerougher 2
	Colector
	Espumante
	pH Prerougher
	Porcentaje de Sólidos
<i>Flotación Rougher</i>	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A1
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A2
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A3
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher A4
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B1
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B2
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B3
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher B4
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C1
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C2
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C3
	Nivel de Pulpa en la Celda Rougher C4
	pH Rougher
<i>Alimentación</i>	Ley de Cobre
	Relación Cobre Oxidado – Cobre Total (CuOxCuT)
	Tamaño de Partícula (D80)
	Tonelaje

Una parte de estas variables ya se utilizaron en la actualización del modelo planta, pero se han agregado variables más específicas de cada proceso.

De manera similar al análisis realizado para el modelo planta es necesario realizar la limpieza de los datos a analizar y se descartan aquellas variables que presenten problemas. Esta limpieza se realiza tomando como criterio los mismos parámetros operacionales ya expuestos en el punto 4.4.

Debido a que la herramienta de análisis, MS Excel, trabaja con un máximo de 16 variables, el análisis se realizará en 2 etapas debido al gran número de variables.

Se comienza analizando solamente los niveles de las celdas rougher, como se presenta en la tabla 4.31.

Tabla 4.31. Análisis de Regresión Niveles Celdas Rougher 2006

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Diciembre 2006</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,3835		
Coefficiente de determinación R²	0,1471		
R ² ajustado	0,1313		
Error típico	4,1068		
Observaciones	662		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	12	1887	157	9	0
Residuos	649	10946	17		
Total	661	12833			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	88,46	6,6505	13,30	7,19E-36	75,40	101,52	71,28	105,64
Nivel Celda Rougher A1	0,19	0,1227	1,56	1,20E-01	-0,05	0,43	-0,13	0,51
Nivel Celda Rougher A2	-0,64	0,1166	-5,53	4,68E-08	-0,87	-0,42	-0,95	-0,34
Nivel Celda Rougher A3	0,67	0,1674	4,02	6,59E-05	0,34	1,00	0,24	1,10
Nivel Celda Rougher A4	-0,10	0,1253	-0,83	4,07E-01	-0,35	0,14	-0,43	0,22
Nivel Celda Rougher B1	0,01	0,1251	0,07	9,48E-01	-0,24	0,25	-0,32	0,33
Nivel Celda Rougher B2	0,00	0,1114	-0,03	9,73E-01	-0,22	0,22	-0,29	0,28
Nivel Celda Rougher B3	-0,24	0,1014	-2,36	1,85E-02	-0,44	-0,04	-0,50	0,02
Nivel Celda Rougher B4	0,20	0,0971	2,05	4,06E-02	0,01	0,39	-0,05	0,45
Nivel Celda Rougher C1	-0,06	0,0255	-2,32	2,06E-02	-0,11	-0,01	-0,13	0,01
Nivel Celda Rougher C2	-0,04	0,0304	-1,18	2,37E-01	-0,10	0,02	-0,11	0,04
Nivel Celda Rougher C3	-0,14	0,0832	-1,65	9,84E-02	-0,30	0,03	-0,35	0,08
Nivel Celda Rougher C4	0,02	0,0335	0,52	6,06E-01	-0,05	0,08	-0,07	0,10

Revisando el análisis de regresión se observa que la mayoría de los niveles no se correlaciona adecuadamente con la recuperación, algunos fallan en los límites de confianza y otros en el valor del coeficiente. Recordar que el valor del coeficiente para los niveles debe ser positivo, ya que la relación existente entre nivel de pulpa y recuperación es directa o proporcional. Solo se aceptan el nivel de la celda A3 y B4.

A continuación se incorporan el resto de las variables más los niveles indicados anteriormente, como se muestra en la tabla 4.32.

Tabla 4.32. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2006

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero - Diciembre 2006						
Coefficiente de correlación múltiple	0,6263							
Coefficiente de determinación R²	0,3923							
R ² ajustado	0,3811							
Error típico	3,4665							
Observaciones	662							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>			
Regresión	12	5034	420	35	0			
Residuos	649	7799	12					
Total	661	12833						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	120,22	8,3112	14,46	2,63E-41	103,90	136,54	98,75	141,69
Tonelaje	-0,000002	0,0004	-0,01	9,95E-01	-0,001	0,001	-0,001	0,001
D80	-0,04	0,0072	-5,96	4,23E-09	-0,06	-0,03	-0,06	-0,02
LeyCuT	5,27	0,8612	6,12	1,58E-09	3,58	6,97	3,05	7,50
CuOxCuT	-0,47	0,0568	-8,35	4,28E-16	-0,59	-0,36	-0,62	-0,33
Colector	-0,27	0,0289	-9,49	4,40E-20	-0,33	-0,22	-0,35	-0,20
Espumante	0,05	0,0224	2,03	4,23E-02	0,002	0,090	-0,012	0,104
Nivel Celda Prerougher 1	-0,14	0,0682	-2,07	3,86E-02	-0,28	-0,01	-0,32	0,03
Nivel Celda Prerougher 2	0,23	0,0663	3,47	5,65E-04	0,10	0,36	0,06	0,40
pH Celda Prerougher	-1,97	0,2638	-7,46	2,72E-13	-2,49	-1,45	-2,65	-1,29
Porcentaje de Sólidos	0,11	0,0983	1,08	2,82E-01	-0,09	0,30	-0,15	0,36
Nivel Celda Rougher A3	-0,12	0,0862	-1,35	1,76E-01	-0,29	0,05	-0,34	0,11
Nivel Celda Rougher B4	-0,01	0,0714	-0,17	8,63E-01	-0,15	0,13	-0,20	0,17

Continuando con el método descrito, se eliminan las variables que fallan y se repite el análisis hasta que ninguna variable presente objeciones. La tabla 4.33 señala el análisis con las variables aceptadas finalmente.

Se puede dar el caso que algunas variables en determinados escenarios fallen, como ocurrió con los niveles, y en otros escenarios se acepten. En general las variables seleccionadas deberán sobrevivir bajo cualquier escenario (entiéndase como el resto de las variables que componen el modelo).

Tabla 4.33. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2006 Corregido

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Diciembre 2006</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,5752		
Coefficiente de determinación R²	0,3308		
R ² ajustado	0,3247		
Error típico	3,6209		
Observaciones	662		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	6	4245	708	54	0
Residuos	655	8588	13		
Total	661	12833			

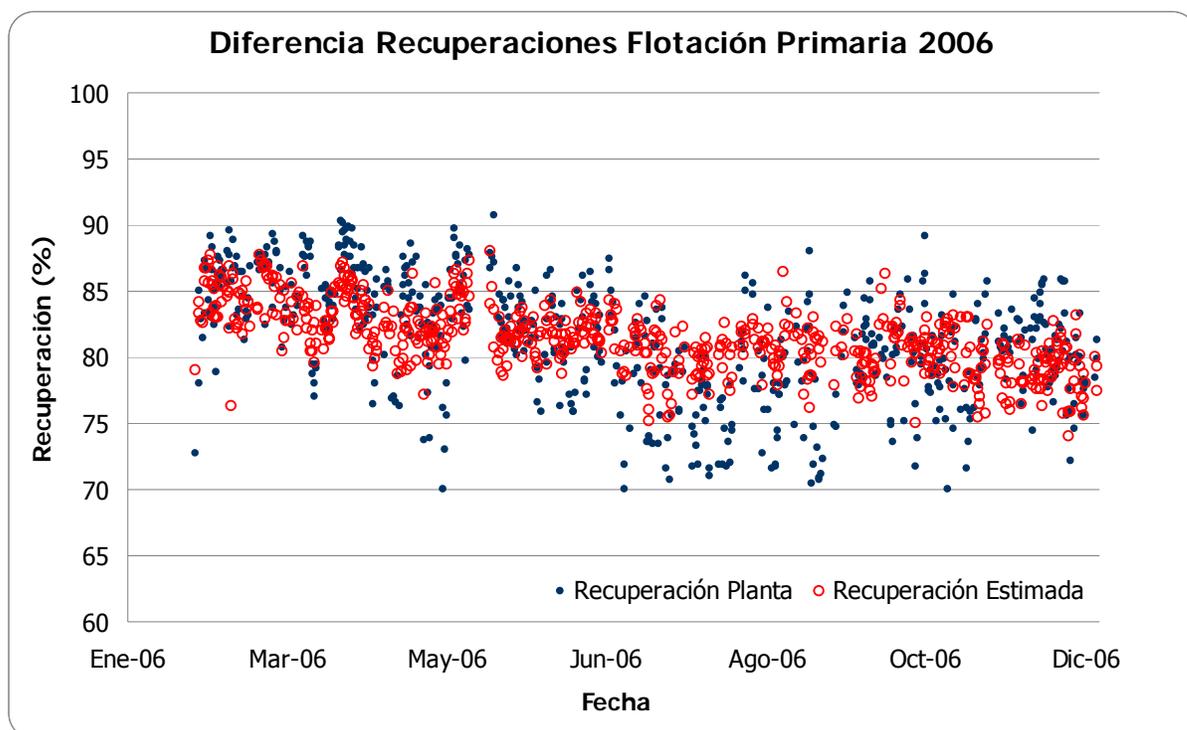
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	83,00	2,9616	28,03	3,47E-114	77,18	88,81	75,35	90,65
D80	-0,05	0,0071	-6,36	3,84E-10	-0,06	-0,03	-0,06	-0,03
LeyCuT	4,96	0,8744	5,67	2,11E-08	3,24	6,68	2,70	7,22
CuOxCuT	-0,46	0,0562	-8,12	2,31E-15	-0,57	-0,35	-0,60	-0,31
Colector	-0,23	0,0225	-10,20	9,02E-23	-0,27	-0,19	-0,29	-0,17
Espumante	0,03	0,0232	1,42	1,57E-01	0,01	0,08	-0,03	0,09
Nivel Celda Prerougher 2	0,28	0,0552	5,14	3,55E-07	0,18	0,39	0,14	0,43

Los resultados obtenidos señalan una gran similitud con el modelo planta. Considerar el nivel de la segunda celda prerougher no solo se limita a señalar que el nivel de la celda debe ser alto. Bajo este criterio se fija el nivel para ambas celdas prerougher como una estrategia operacional. La cual considera mantener el nivel siempre sobre el 50% de su capacidad. Notar que esta es una medida que no involucra aumento en los costos de operación, como lo es modificar la dosificación de reactivos o modificar los porcentajes de sólidos (al incorporar agua).

El coeficiente de determinación presenta un valor bastante aceptable ($R^2=0.3308$), incluso mayor al del modelo planta ($R^2=0.2984$) del mismo periodo.

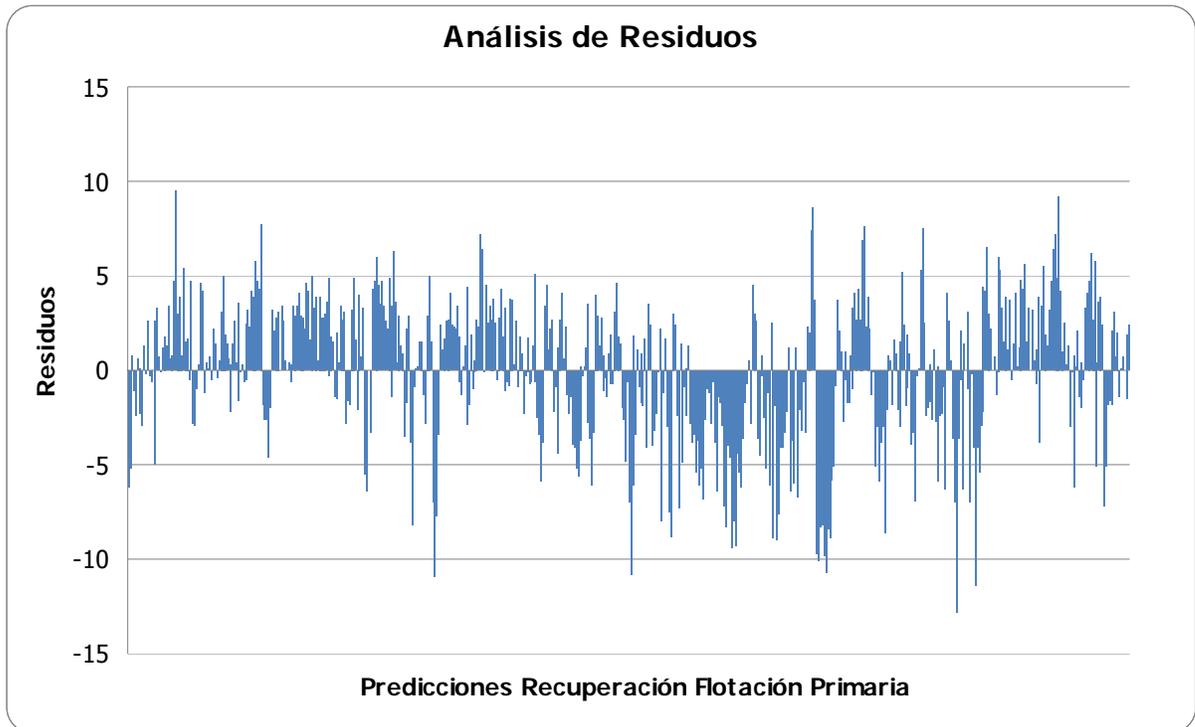
Siguiendo con la validación del modelo, el grafico 4.11 indica las diferencias entre las recuperaciones estimadas y las reales.

Gráfico 4.11. Diferencia Recuperaciones Flotación Primaria 2006



No se observa una gran diferencia entre los valores estimados y los obtenidos en el proceso durante el 2006. Por ultimo se realiza el análisis de residuos, el cual se expone en el gráfico 4.12.

Gráfico 4.12. Análisis de Residuos Modelo Flotación Primaria 2006



Aunque la distribución no es completamente simétrica al eje X, el 77% de las estimaciones tienen un error menor al $\pm 5\%$. Esto quiere decir que la probabilidad que la predicción se ajuste con un error menor $\pm 5\%$ es de un 77%, lo cual es bastante aceptable, considerando el volumen de predicciones, y el criterio de validación del modelo establece que el 75% de la muestra debe tener un error no mayor al $\pm 5\%$.

En vista de lo anterior, el modelo se valida a cabalidad. Por lo que el modelo de flotación primaria queda de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación} = 83 - 0.05 \cdot \text{D80} + 4.96 \cdot \text{LeyCuT} - 0.46 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.23 \cdot \text{Colector} + 0.03 \cdot \text{Espumante} + 0.28 \cdot \text{Nivel Celda Prerougher2}$$

Continuando se realiza el análisis de sensibilidad como se ha efectuado con anterioridad, ver tabla 4.34.

Tabla 4.34. Estadística Descriptiva Modelo Flotación Primaria 2006

	<i>D80</i>	<i>LeyCuT</i>	<i>CuOxCuT</i>	<i>Colector</i>	<i>Espumante</i>	<i>Nivel Celda Prerougher 2</i>
Media	197,35	0,97	10,10	37,39	32,84	51,58
Error típico	0,78	0,01	0,10	0,31	0,26	0,11
Mediana	195,26	0,94	10,00	36,06	33,07	51,79
Moda	191,31	0,94	9,09	33,12	34,48	54,00
Desviación estándar	20,16	0,21	2,69	8,02	6,59	2,74
Varianza de la muestra	406,33	0,04	7,24	64,27	43,44	7,52
Curtosis	2,01	0,33	0,51	-0,22	-0,38	0,12
Coefficiente de asimetría	1,01	0,63	0,59	0,62	-0,18	-0,46
Rango	137,64	1,26	15,95	40,11	32,92	17,65
Mínimo	150,88	0,54	4,05	21,18	16,30	41,02
Máximo	288,52	1,80	20,00	61,29	49,22	58,67
Suma	130647	640	6683	24754	21739	34146
Cuenta	662	662	662	662	662	662
Mayor	288,52	1,80	20,00	61,29	49,22	58,67
Menor	150,88	0,54	4,05	21,18	16,30	41,02
Nivel de confianza(95,0%)	1,54	0,02	0,21	0,61	0,50	0,21

Tabla 4.35. Análisis de Sensibilidad Modelo Flotación Primaria 2006

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
D80	-0,05	20,16	-0,91
LeyCuT	4,96	0,21	1,04
CuOxCuT	-0,46	2,69	-1,23
Colector	-0,23	8,02	-1,84
Espumante	0,03	6,59	0,22
Nivel Celda Prerougher 2	0,28	2,74	0,78

El **colector** es la variable que presenta una mayor sensibilidad (-1.84), seguido de la *relación cobre oxidado* (1.23) y la *ley de cobre* (1.04). Esto acusa la importancia de mantener un adecuado control sobre la dosificación de los reactivos, no solo por el costo operacional que significa una mala dosificación, sino además por las repercusiones que tiene en la recuperación.

Como se indico el coeficiente de determinación presenta un valor mayor al del modelo plata del mismo periodo lo cual indica que el modelo de la flotación primaria es más representativo que el modelo planta. Esto sin duda hará evaluar la incorporación de nuevas variables al modelo planta.

Otro punto destacable de señalar es la escasa diferencia existente entre este modelo y el modelo planta, lo cual ratifica la relación existente entre la recuperación primaria y planta, vista ya con anterioridad en el punto 4.5.1.

De manera análoga al modelo flotación primaria 2006, se realiza el análisis para el modelo 2007. Obteniéndose los siguientes resultados finales (sin variables que presenten problemas), ver tabla 4.36.

Tabla 4.36. Análisis de Regresión Flotación Primaria 2007 Corregido

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>
		<i>Enero - Junio 2007</i>
Coefficiente de correlación múltiple	0,5913	
Coefficiente de determinación R²	0,3497	
R ² ajustado	0,3423	
Error típico	3,5142	
Observaciones	357	

ANÁLISIS DE VARIANZA

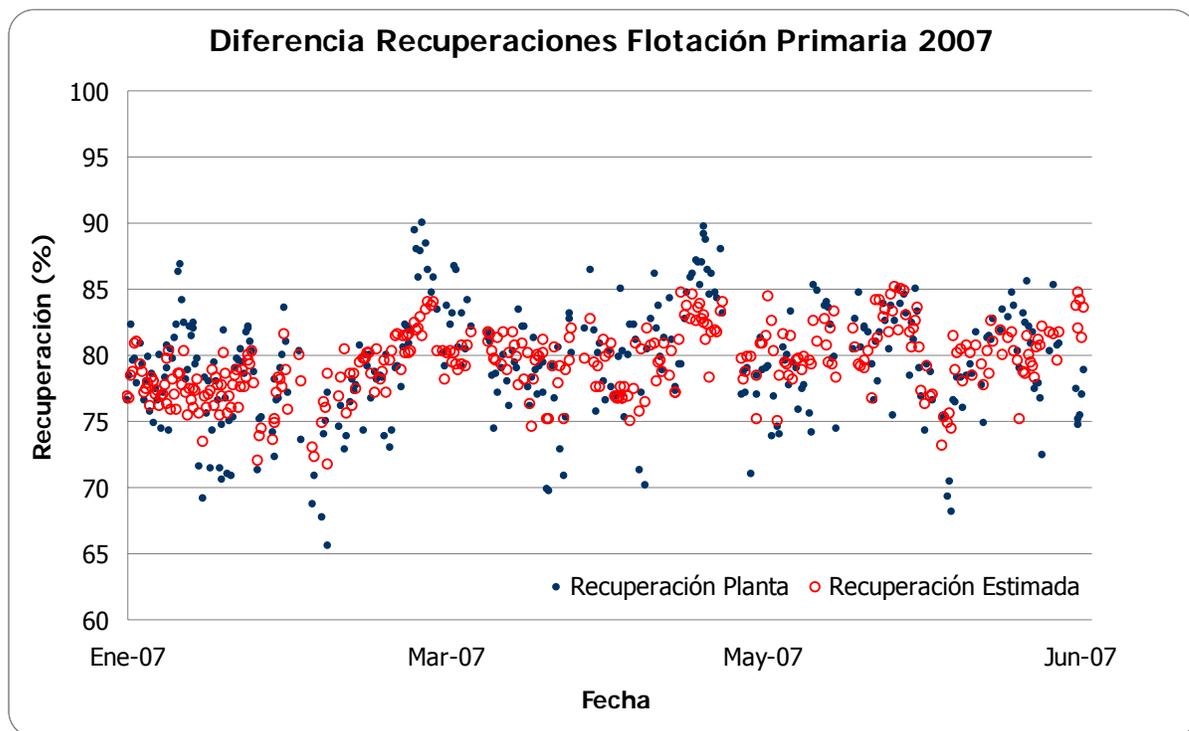
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	4	2337	584	47	0
Residuos	352	4347	12		
Total	356	6684			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	81,23	1,6762	48,46	8,08E-158	77,94	84,53	76,89	85,58
LeyCuT	2,68	0,8622	3,11	2,04E-03	0,98	4,38	0,45	4,91
CuOxCuT	-0,63	0,0686	-9,11	6,18E-18	-0,76	-0,49	-0,80	-0,45
Colector	-0,08	0,0245	-3,15	1,78E-03	-0,13	-0,03	-0,14	-0,01
Espumante	0,16	0,0306	5,38	1,37E-07	0,10	0,22	0,09	0,24

Las variables seleccionadas no difieren mucho del modelo planta. Se observa que el coeficiente de determinación ($R^2=0.3497$) es mayor al del 2006 ($R^2=0.3308$), dejando de manifiesto una mejor correlación entre las variables propuestas y la recuperación.

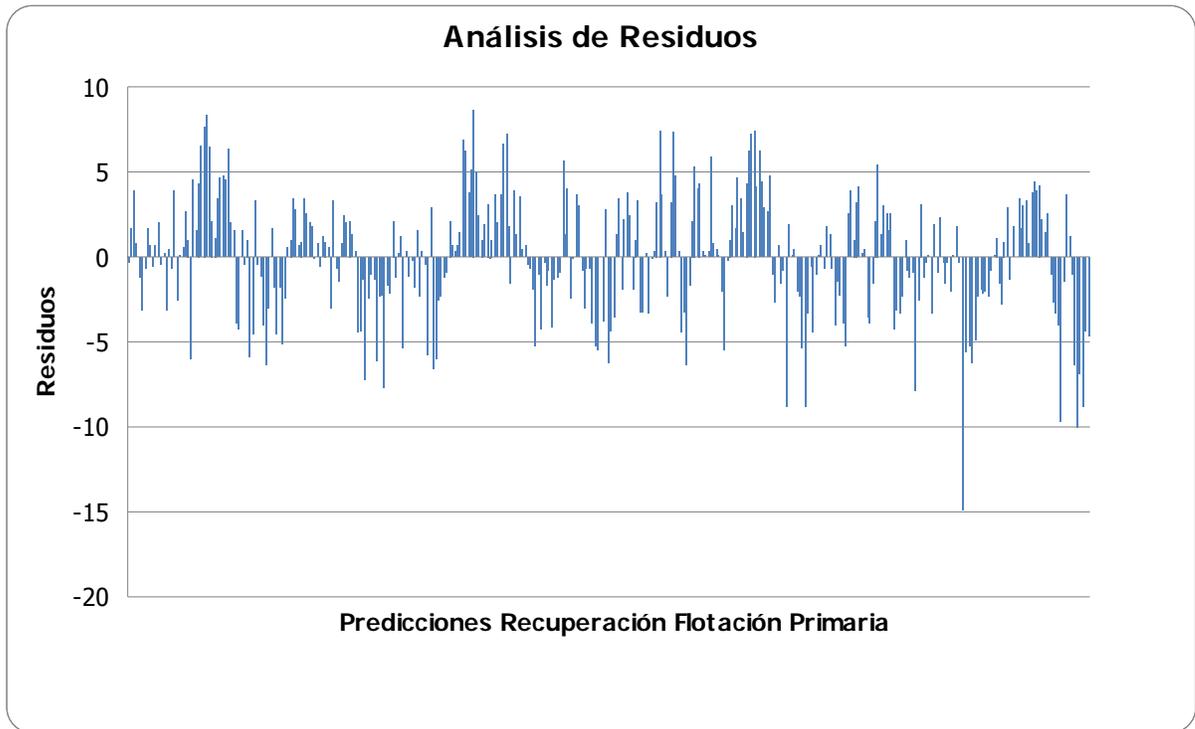
Análogamente al 2006, los gráficos 4.13 y 4.14 indican la diferencia entre las predicciones y los valores reales, y el análisis de residuos.

Gráfico 4.13. Diferencia Recuperaciones Flotación Primaria 2007



La tendencia global de las predicciones se asemeja bastante al comportamiento del proceso. Esto corrobora lo expuesto sobre la mayor similitud que genera el modelo sobre comportamiento real de la planta, en comparación al modelo planta.

Gráfico 4.14. Análisis de Residuos Modelo Flotación Primaria 2007



La dispersión no es la esperada, puesto a que si bien el coeficiente de correlación y las diferencias entre el modelo y los valores indicaban una gran analogía, la dispersión alrededor del eje X no es completamente simétrica. A pesar de lo anterior, el 76% de las predicciones tiene un error menor al $\pm 5\%$ por lo que el análisis valida el modelo.

Considerando que los valores obtenidos no distan demasiado del modelo planta y los resultados derivados de los distintos análisis validan el modelo, éste se acepta, obteniéndose el siguiente modelo para la flotación primaria 2007:

$$\text{Recuperación} = 81.23 + 2.63 \cdot \text{LeyCuT} - 0.63 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.08 \cdot \text{Colector} + 0.16 \cdot \text{Espumante}$$

Siguiendo con el método propuesto, las tablas 4.37 y 4.38 indican el análisis de sensibilidad.

Tabla 4.37. Estadística Descriptiva Modelo Flotación Primaria 2007

	<i>LeyCuT</i>	<i>CuOxCuT</i>	<i>Colector</i>	<i>Espumante</i>
Media	1,05	10,26	39,26	28,74
Error típico	0,01	0,15	0,43	0,35
Mediana	1,01	9,76	37,60	28,58
Moda	0,90	9,09	34,53	23,70
Desviación estándar	0,25	2,92	8,12	6,56
Varianza de la muestra	0,06	8,53	65,94	43,01
Curtosis	0,31	0,64	-0,11	-0,47
Coefficiente de asimetría	0,73	0,83	0,61	0,30
Rango	1,35	15,07	41,81	33,16
Mínimo	0,53	4,68	20,09	15,17
Máximo	1,88	19,75	61,90	48,33
Suma	376	3662	14015	10259
Cuenta	357	357	357	357
Mayor	1,88	19,75	61,90	48,33
Menor	0,53	4,68	20,09	15,17
Nivel de confianza(95,0%)	0,03	0,30	0,85	0,68

Tabla 4.38. Análisis de Sensibilidad Modelo Flotación Primaria 2007

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
LeyCuT	2,68	0,25	0,67
CuOxCuT	-0,63	2,92	-1,83
Colector	-0,08	8,12	-0,63
Espumante	0,16	6,56	1,08

Nuevamente la variable que presenta mayor incidencia en el modelo es la **relación cobre oxidado-cobre total** (-1.83). Le sigue el *espumante* (-1.08), *ley de cobre* (0.67) y *colector* (-0.63).

Reiteradamente, aparece la relación cobre oxidado-cobre total lo cual como ya se ha manifestado, es de esperarse puesto que bajo esta variable se esconde el tipo de mineral a tratar y lo complejo que resultará extraer el cobre presente en la pulpa.

La tabla 4.39 compara los modelos generados para el 2006 y primer semestre del 2007.

Tabla 4.39. Seguimiento Coeficientes Modelo Flotación Primaria 2006-2007

Variables	Años	
	2006	2007
<i>Coefficiente de Determinación R²</i>	0.331	0.350
<i>Intercepto</i>	83.00	81.23
<i>D80</i>	-0.05	---
<i>LeyCuT</i>	4.96	2.63
<i>CuOxCuT</i>	-0.46	-0.63
<i>Colector</i>	-0.23	-0.08
<i>Espumante</i>	0.03	0.16
<i>Nivel Celda Prerougher 2</i>	0.28	---

De manera similar al modelo planta, la variable *tamaño de partícula* (D80) desaparece. Como también lo hace el *nivel de la celda prerougher 2*. Esta desvinculación se debe al buen control de las variables (estabilidad). Esta estabilidad hace que las variables no se correlacionen de buena manera con la recuperación, por lo que mediante los análisis realizados estas variables se descartan.

El coeficiente de determinación R² también es mayor para el periodo 2007, confirmando que el modelo 2007 es el que mejor se ajusta. Este indicador es sin duda el mejor parámetro de comparación porque refleja directamente (porcentualmente) cual de los dos modelos tiene una mejor vinculación con las variables seleccionadas.

En general, el modelo de la flotación primaria es muy similar al modelo planta, lo cual ratifica la estrecha vinculación existente entre la recuperación primaria y la recuperación planta, como se analizó en el punto 4.5.1 donde cerca del 94% de la recuperación planta estaba dada por la recuperación de la flotación primaria. En otras palabras, cerca del 94% del cobre presente en la alimentación se recupera en la flotación primaria. Es por esto, lo fundamental que resulta obtener altas recuperaciones en esta etapa.

4.5.4. Modelación Flotación Limpieza

Cabe indicar que para la Flotación Limpieza no se cuenta con modelo alguno, por lo que los resultados obtenidos serán de gran utilidad en el proceso y en las estrategias de control que se deban tomar.

Las variables a utilizar para modelar el proceso se señalan en la tabla 4.40.

Tabla 4.40. Variables Modelación Flotación Limpieza

Variables Flotación Limpieza	
Remolienda	<i>Potencia Molino Remolienda N°6</i>
	<i>Potencia Molino Remolienda N°7</i>
	<i>Presión Hidrociclones</i>
	<i>Porcentaje de Sólidos</i>
	<i>Tamaño de Partícula (P80)</i>
Flotación Columnar	<i>Nivel de Pulpa en la Columna N°1</i>
	<i>Nivel de Pulpa en la Columna N°2</i>
	<i>Flujo de Aire Columna N°1</i>
	<i>Flujo de Aire Columna N°2</i>
	<i>Flujo Agua de Lavado Columna N°1</i>
	<i>Flujo Agua de Lavado Columna N°2</i>
	<i>pH</i>
Flotación Scavenger	<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 1</i>
	<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 2</i>
	<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 3</i>
	<i>Nivel de Pulpa en la Celda Scavenger 4</i>
	<i>Nivel de Pulpa en la Celda Wemco 4500</i>
Alimentación	<i>Ley de Cobre Limpieza (LeyCuTLimp)</i>
	<i>Tonelaje Limpieza</i>

La alimentación al circuito como se mencionó en la tabla 4.14 corresponde a los concentrados prerougher y rougher, ***Tonelaje Limpieza***. De esta forma podemos calcular una ley ponderada de entrada, ***LeyCuTLimp***, la cual queda determinada por la siguiente relación:

$$\text{LeyCuTLimp} = \frac{\text{Concentrado Prerougher} \cdot \text{Ley}_{\text{Con. Prerougher}} + \text{Concentrado Rougher} \cdot \text{Ley}_{\text{Con. Rougher}}}{\text{Concentrado Prerougher} + \text{Concentrado Rougher}}$$

Realizando la limpieza de datos se eliminan: la potencia del molino 6, la presión de los hidrociclones, porcentaje de sólidos, flujo de aire columna 1, flujo de agua columna 1 y 2, debido a que el número de datos blancos para el periodo en estudio (2006-2007) es muy alto.

Seguido a esto, la tabla 4.41 presenta el análisis de regresión para el 2006, presentándose variables con objeciones, tanto en el valor esperado como en los límites de confianza.

Tabla 4.41. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2006

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Diciembre 2006</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,6288		
Coefficiente de determinación R ²	0,3953		
R ² ajustado	0,3850		
Error típico	3,4532		
Observaciones	777		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	13	5949	458	38	0
Residuos	763	9098	12		
Total	776	15047			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	70,82	6,0030	11,80	1,26E-29	59,04	82,61	55,32	86,33
Tonelaje Limpieza	0,01	0,0009	8,64	3,25E-17	0,01	0,01	0,01	0,01
LeyCuTLimp	0,77	0,0886	8,70	2,04E-17	0,60	0,94	0,54	1,00
Potencia Molino 7	-0,01	0,0088	-1,32	1,86E-01	-0,03	0,01	-0,03	0,01
P80	-0,02	0,0060	-3,01	2,67E-03	-0,03	-0,01	-0,03	0,00
Nivel Columna 1	0,12	0,0187	6,29	5,46E-10	0,08	0,15	0,07	0,17
pH	-0,74	0,2263	-3,25	1,21E-03	-1,18	-0,29	-1,32	-0,15
Flujo Aire Columna 2	0,48	0,2121	2,27	2,33E-02	0,07	0,90	-0,07	1,03
Nivel Columna 2	-0,03	0,0132	-2,09	3,72E-02	-0,053	-0,002	-0,06	0,01
Nivel Scavenger 1	0,10	0,0356	2,91	3,72E-03	0,03	0,17	0,01	0,20
Nivel Scavenger 2	-0,20	0,0324	-6,13	1,38E-09	-0,26	-0,14	-0,28	-0,11
Nivel Scavenger 3	-0,01	0,0402	-0,33	7,43E-01	-0,09	0,07	-0,12	0,09
Nivel Scavenger 4	0,18	0,0413	4,36	1,45E-05	0,10	0,26	0,07	0,29
Nivel Wemco 4500	-0,03	0,0149	-2,19	2,92E-02	-0,062	-0,003	-0,07	0,01

Las variables que se eliminan en una primera instancia son la potencia del molino 7, pH, nivel columna 2, nivel Scavenger 2 y 3, y nivel Wemco 4500.

La tabla 4.42 presenta el análisis de regresión corregido, sin variables que presenten objeciones.

Tabla 4.42. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2006 Correg.

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Diciembre 2006</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,5784		
Coefficiente de determinación R²	0,3346		
R ² ajustado	0,3294		
Error típico	3,6060		
Observaciones	777		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	6	5035	839	65	0
Residuos	770	10012	13		
Total	776	15047			

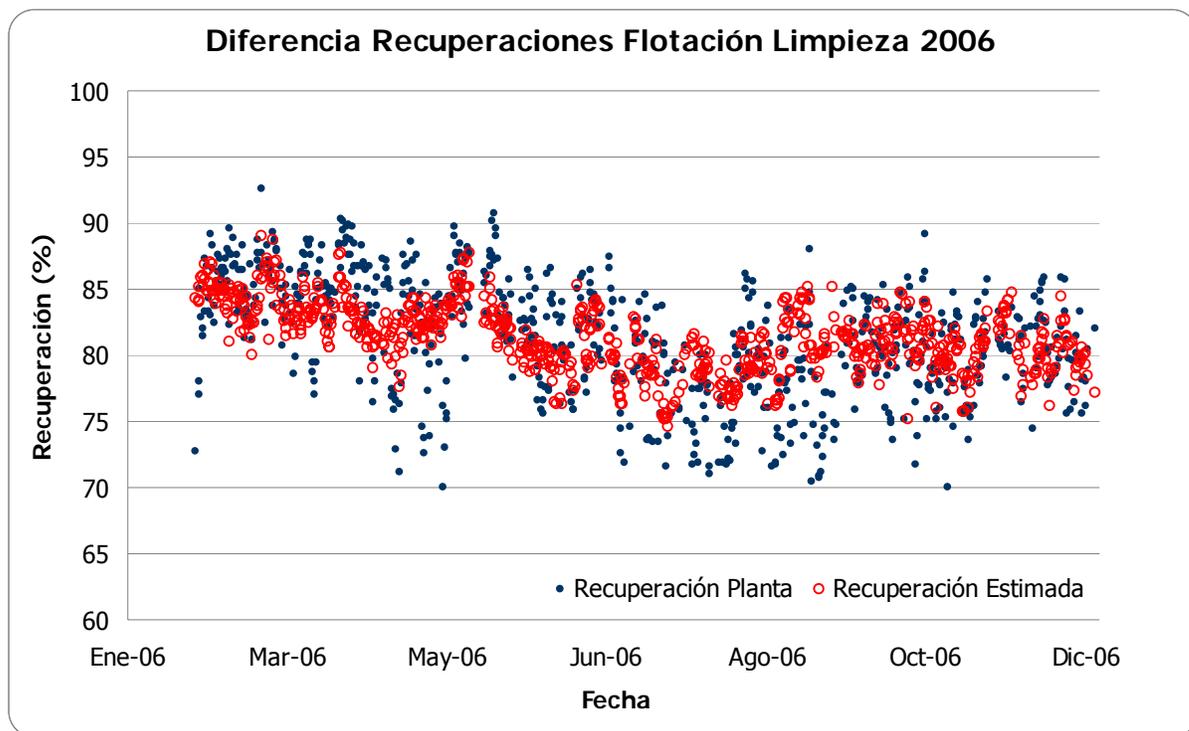
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	52,23	2,2214	23,51	1,47E-92	47,87	56,59	46,49	57,97
Tonelaje Limpieza	0,01	0,0009	7,62	7,42E-14	0,01	0,01	0,00	0,01
LeyCuTLimp	0,73	0,0891	8,24	7,64E-16	0,56	0,91	0,50	0,96
P80	-0,03	0,0058	-4,64	4,15E-06	-0,04	-0,02	-0,04	-0,01
Nivel Columna 1	0,11	0,0143	7,38	4,01E-13	0,08	0,13	0,07	0,14
Flujo Aire Columna 2	0,66	0,2153	3,07	2,18E-03	0,24	1,08	0,11	1,22
Nivel Scavenger 4	0,09	0,0152	5,92	4,91E-09	0,06	0,12	0,05	0,13

Destacan las variables que son de carácter operacional como el tamaño de partícula (P80) y los niveles de las celdas (columna 1 y scavenger 4).

La participación en el modelo del tamaño de partícula (P80), era de esperarse ya que actúa de manera similar al tamaño de partícula en la entrada del proceso (D80). El inconveniente de esta variable, P80, radica en que depende del funcionamiento de los hidrociclones, y como clasifiquen la pulpa. Y esta clasificación depende fuertemente, entre otros factores, de la geometría y desgaste que tengan los hidrociclones. Más adelante se profundizará más en el control de esta variable y en cómo mejorar su eficiencia.

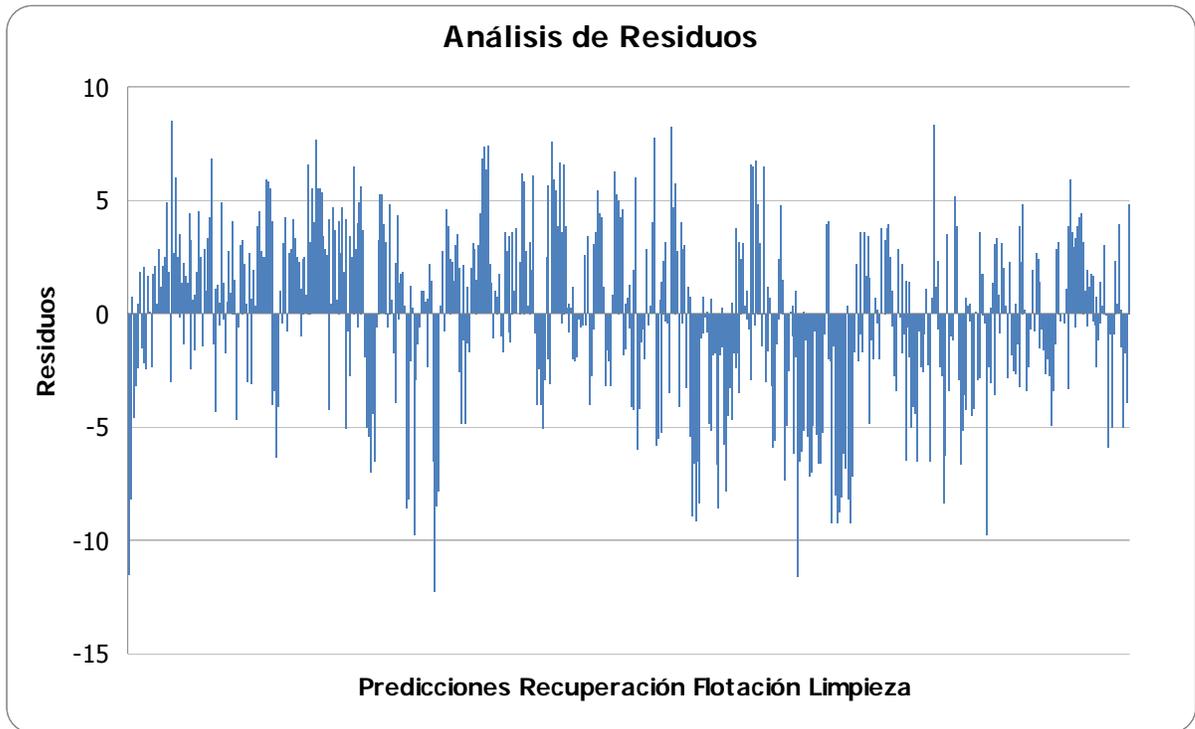
Siguiendo con el procedimiento, el grafico 4.15 señala las diferencias entre el modelo y los valores reales.

Gráfico 4.15. Diferencia Recuperaciones Modelo Flotación Limpieza 2006



Existe una gran similitud entre los valores pronosticados y los obtenidos. Lo anterior hace suponer que tendrá una dispersión bastante simétrica en el análisis de residuos. Este análisis se presenta en el gráfico 4.16.

Gráfico 4.16. Análisis de Residuos Modelo Flotación Limpieza 2006



La dispersión de residuos se comporta de manera bastante simétrica, aunque se presentan valores dispares, estos no impiden la aprobación del modelo. Además el 75% de las predicciones tiene un error menor al $\pm 5\%$, por lo que el modelo se valida completamente.

Luego de validar el modelo para el 2006, éste queda de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación} = 52.30 + 0.01 \cdot X_1 + 0.73 \cdot X_2 - 0.03 \cdot X_3 + 0.11 \cdot X_4 + 0.66 \cdot X_5 + 0.09 \cdot X_6$$

Donde:

X_1 : Tonelaje Limpieza

X_4 : Nivel Columna 1

X_2 : Ley de cobre, $LeyCuTLimp$

X_5 : Flujo de Aire Columna 2

X_3 : Tamaño de partícula (P80)

X_6 : Nivel Scavenger 4

Como ya se ha efectuado, a continuación las tablas 4.43 y 4.44 señalan el análisis de sensibilidad.

Tabla 4.43. Estadística Descriptiva Flotación Limpieza 2006

	<i>Tonelaje Limpieza</i>	<i>LeyCuTLimp</i>	<i>P80</i>	<i>Nivel Columna 1</i>	<i>Flujo Aire Columna 2</i>	<i>Nivel Scavenger 4</i>
Media	693,42	8,17	63,40	79,23	11,77	43,28
Error típico	7,06	0,07	0,85	0,42	0,03	0,37
Mediana	674,63	7,95	57,02	81,50	11,93	41,11
Moda	---	---	70,60	80,00	12,00	32,07
Desviación estándar	196,80	2,05	23,77	11,62	0,78	10,41
Varianza de la muestra	38729,96	4,21	564,79	135,12	0,61	108,36
Curtosis	0,90	0,06	0,90	0,47	-0,34	-0,06
Coefficiente de asimetría	0,75	0,38	1,14	-0,95	-0,22	0,79
Rango	1297,68	12,16	124,95	57,31	3,73	49,11
Mínimo	195,26	2,54	23,54	39,00	9,85	23,27
Máximo	1492,94	14,71	148,49	96,31	13,58	72,38
Suma	538789	6347	49260	61564	9143	33631
Cuenta	777	777	777	777	777	777
Mayor	1492,94	14,71	148,49	96,31	13,58	72,38
Menor	195,26	2,54	23,54	39,00	9,85	23,27
Nivel de confianza(95,0%)	13,86	0,14	1,67	0,82	0,05	0,73

Tabla 4.44. Análisis de Sensibilidad Flotación Limpieza 2006

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
Tonelaje Limpieza	0,01	196,80	1,36
LeyCuTLimp	0,73	2,05	1,51
P80	-0,03	23,77	-0,64
Nivel Columna 1	0,11	11,62	1,23
Flujo Aire Columna 2	0,66	0,78	0,52
Nivel Scavenger 4	0,09	10,41	0,94

La variable que presenta un mayor impacto (1.51) en el modelo es la ley de cobre en la alimentación, **LeyCuTLimp**. Le siguen el *tonelaje* alimentado (1.36) y *nivel de la columna 1* (1.23).

Claramente existe una mayor presencia de variables manipulables desde el punto de vista operacional. Esto apunta a mejorar el control de estas variables, y por ende, de todas las variables presentes en la etapa (flotación limpieza).

Continuando con el análisis planteado se realiza el mismo procedimiento para el primer semestre del 2007.

Se dejan fuera las mismas variables señaladas para el periodo 2006, ya que no se cuenta con suficiente información.

La tabla 4.45 muestra el análisis de regresión para el 2007.

Tabla 4.45. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2007

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i> Enero - Junio 2007	
Coefficiente de correlación múltiple	0,5484		
Coefficiente de determinación R²	0,3008		
R ² ajustado	0,2749		
Error típico	3,2858		
Observaciones	365		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	13	1630	125	12	0
Residuos	351	3790	11		
Total	364	5420			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	56,67	12,6837	4,47	1,07E-05	31,72	81,62	23,82	89,52
Tonelaje Limpieza	0,01	0,0016	5,41	1,17E-07	0,01	0,01	0,00	0,01
LeyCuTLimp	0,57	0,0982	5,85	1,14E-08	0,38	0,77	0,32	0,83
Potencia Molino 7	-0,001	0,0113	-0,12	9,07E-01	-0,02	0,02	-0,03	0,03
P80	0,15	0,0452	3,24	1,29E-03	0,06	0,24	0,03	0,26
Nivel Columna 1	0,02	0,0195	0,88	3,81E-01	-0,02	0,06	-0,03	0,07
pH	0,84	0,7261	1,16	2,46E-01	-0,58	2,27	-1,04	2,72
Flujo Aire Columna 2	0,05	0,0681	0,74	4,58E-01	-0,08	0,18	-0,13	0,23
Nivel Columna 2	-0,11	0,0841	-1,35	1,77E-01	-0,279	0,052	-0,33	0,10
Nivel Scavenger 1	-0,02	0,0370	-0,51	6,10E-01	-0,09	0,05	-0,11	0,08
Nivel Scavenger 2	0,01	0,0488	0,21	8,30E-01	-0,09	0,11	-0,12	0,14
Nivel Scavenger 3	0,11	0,0467	2,31	2,16E-02	0,02	0,20	-0,01	0,23
Nivel Scavenger 4	-0,08	0,0218	-3,59	3,78E-04	-0,12	-0,04	-0,13	-0,02
Nivel Wemco 4500	0,03	0,0879	0,29	7,74E-01	-0,148	0,198	-0,20	0,25

Se aprecia la mayoría de las variables presenta objeciones (limites en su mayoría). Efectuando los ajustes necesarios se tiene la tabla 4.46 corregida con los valores finales.

Tabla 4.46. Análisis de Regresión Modelo Flotación Limpieza 2007 Correg.

<i>Estadísticas de la regresión</i>		<i>Periodo</i>	
		<i>Enero - Junio 2007</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,4813		
Coefficiente de determinación R²	0,2317		
R ² ajustado	0,2274		
Error típico	3,3917		
Observaciones	365		

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	1256	628	55	0
Residuos	362	4164	12		
Total	364	5420			

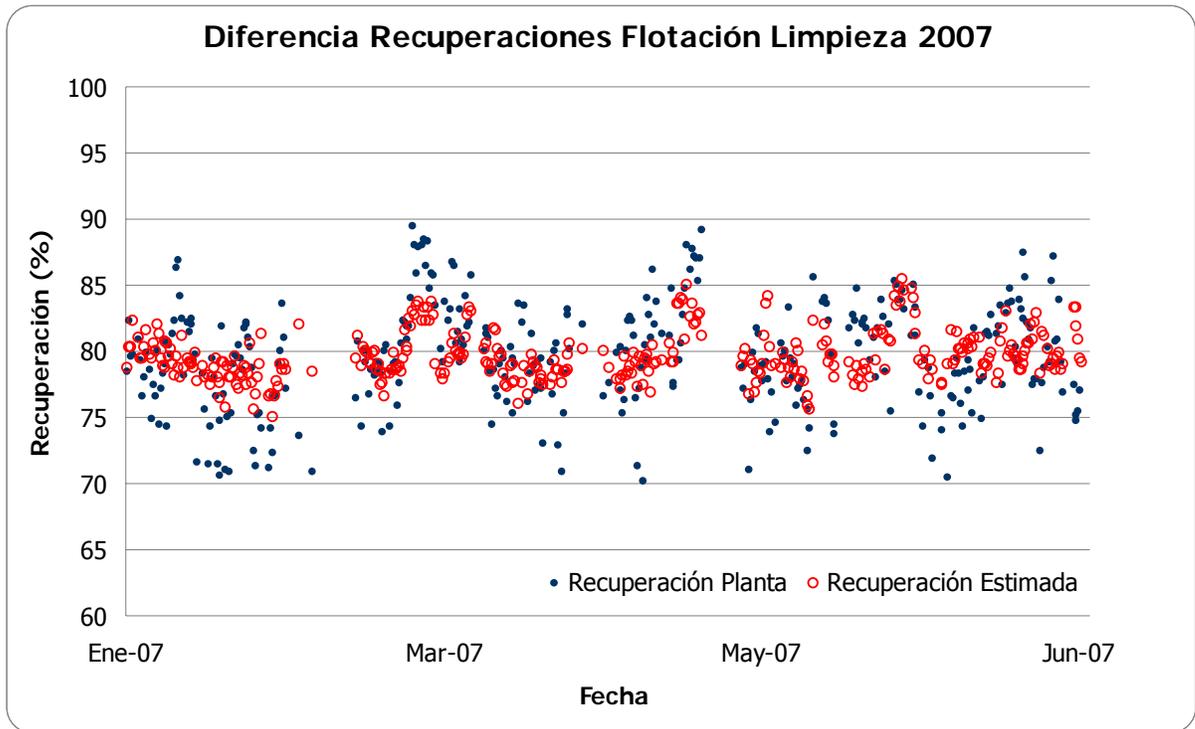
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99%</i>	<i>Superior 99%</i>
Intercepto	64,99	1,4141	45,96	3,74E-153	62,21	67,77	61,33	68,65
Tonelaje Limpieza	0,01	0,0013	8,79	6,31E-17	0,01	0,01	0,01	0,02
LeyCuTLimp	0,75	0,0836	8,92	2,27E-17	0,58	0,91	0,53	0,96

Las únicas variables que se aceptan son las variables de entrada a la etapa, el resto de las variables se desechan. Esto operacionalmente se puede justificar, ya que para el periodo de estudio, primer semestre 2007, la planta presentó varios problemas del tipo mecánico-instrumental.

Esto es principalmente, paradas incidentales y fallas en la instrumentación. Ya sea por mala manipulación o simplemente desgaste, varios instrumentos sufrieron daños (descalibraciones) por lo que los valores registrados son erróneos. Y por lo tanto su vinculación con la recuperación se hace insatisfactoria.

El grafico 4.17 señala las diferencia obtenidas entre las predicciones y los valores reales.

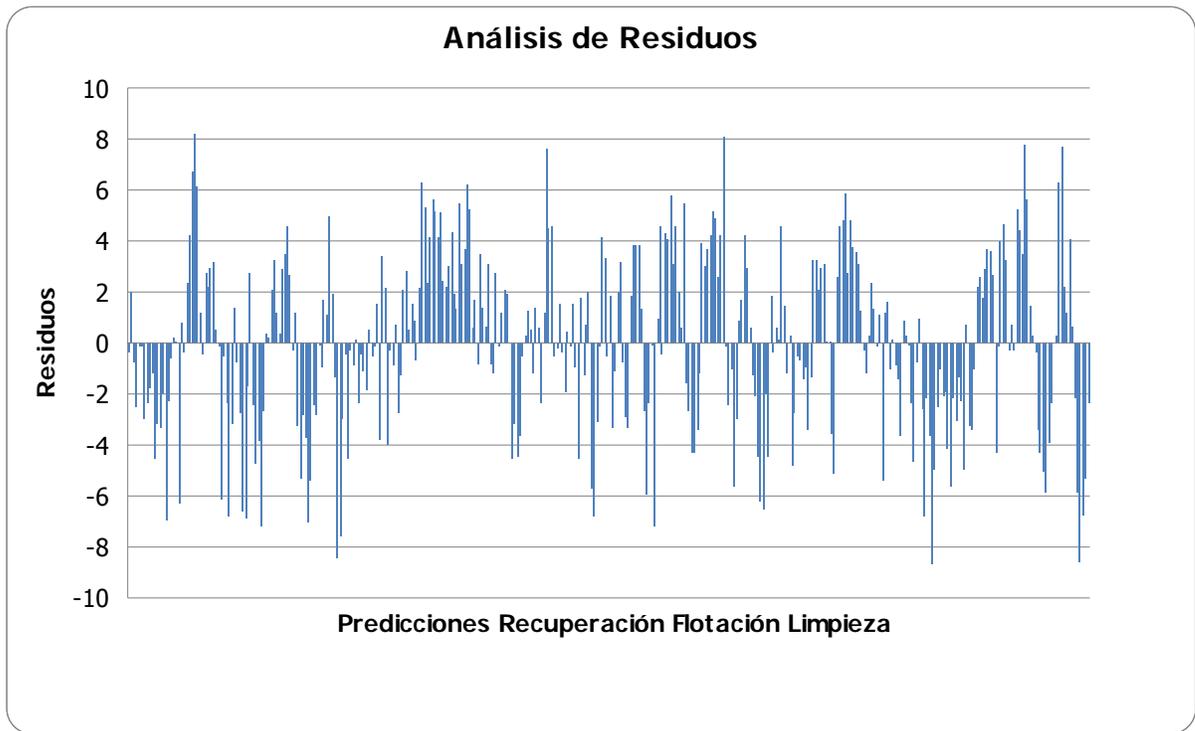
Gráfico 4.17. Diferencia Recuperaciones Modelo Flotación Limpieza 2007



Los valores estimados, muy por el contrario de lo esperado, se ajustan en gran medida a los valores obtenidos. Claramente comparten la misma tendencia lo cual indica que el modelo, después de todo, concuerda con la recuperación real.

El gráfico 4.18 muestra el análisis de residuos realizado para el modelo flotación limpieza 2007.

Gráfico 4.18. Análisis de Residuos Modelo Flotación Limpieza 2007



Aunque existen valores bastante alejados de eje X (diferencia entre el modelo y los valores reales) estos valores se dispersan de buena manera alrededor del eje X. considerando esto y que el 75% de las predicciones tiene un error menor al $\pm 5\%$, a pesar de contar con un reducido numero de variables el modelo se valida. El modelo estadístico para el 2007 resulta de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación} = 64.99 + 0.01 \cdot \text{Tonelaje Limpieza} + 0.75 \cdot \text{LeyCuTLimp}$$

Las tablas 4.47 y 4.48 muestran la estadística descriptiva y la sensibilidad del modelo 2007.

Tabla 4.47. Estadística Descriptiva Flotación Limpieza 2007

	<i>Tonelaje Limpieza</i>	<i>LeyCuTLimp</i>
Media	524,53	11,26
Error típico	7,69	0,12
Mediana	502,62	10,83
Moda	---	---
Desviación estándar	146,77	2,37
Varianza de la muestra	21540,12	5,60
Curtosis	0,30	0,56
Coefficiente de asimetría	0,66	0,79
Rango	764,97	12,87
Mínimo	210,57	6,05
Máximo	975,54	18,91
Suma	190930	4097
Cuenta	364	364
Mayor	975,54	18,91
Menor	210,57	6,05
Nivel de confianza(95,0%)	15,13	0,24

Tabla 4.48. Análisis de Sensibilidad Flotación Limpieza 2007

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Sensibilidad</i>
Tonelaje Limpieza	0,01	146,77	1,74
LeyCuTLimp	0,75	2,37	1,77

Este análisis indica que la variable que presenta una mayor incidencia en el modelo es la ley de cobre en la alimentación a la etapa, **LeyCuTLimp** (1.77).

El limitado número de variables (2) hace suponer que el modelo no es del todo representativo, sumado a esto el modelo no presenta un coeficiente de determinación muy alto ($R^2=0.23$).

De modo análogo al 2006, la tabla 4.49 compara los coeficientes de los modelos para el 2006 y 2007.

Tabla 4.49. Seguimiento Coef. Modelo Flotación Limpieza 2006-2007

Variables	Años	
	2006	2007
<i>Coeficiente de Determinación R^2</i>	0.33	0.23
<i>Intercepto</i>	52.30	64.99
<i>Tonelaje Limpieza</i>	0.01	0.01
<i>LeyCuTLimp</i>	0.73	0.75
<i>Tamaño de partícula (P80)</i>	-0.03	---
<i>Nivel Columna 1</i>	0.11	---
<i>Flujo de Aire Columna 2</i>	0.66	---
<i>Nivel Scavenger 4</i>	0.09	---

El 2006 se obtuvo un coeficiente de determinación mayor (0.33), lo cual indica una mayor representatividad del modelo.

Para el periodo 2007 desaparecen en su totalidad las variables manipuladas (P80, niveles y flujo de aire) esta desvinculación corresponde principalmente a la falta de datos idóneos para el análisis. A pesar que el modelo 2007 solo cuenta con dos variables, los coeficientes de estas variables no varían demasiado en comparación con los valores obtenidos para el modelo 2006.

4.6. Conclusiones

El análisis de regresión múltiple permitió actualizar el modelo de la planta, encontrándose que la variable tamaño de partícula para el periodo 2007 no participaba en el modelo, fundamentalmente por la estabilidad asociada a esta variable lo cual desvinculó su variación a las fluctuaciones de la recuperación.

Por otro lado, el modelo para la flotación primaria se asemejó bastante al modelo planta, ratificando la estrecha relación existente entre la recuperación planta y la recuperación primaria. Esto debido, esencialmente a que en la etapa de flotación primaria se tiene lugar a la mayor recuperación de cobre del proceso.

Dentro del modelo flotación primaria se incorpora una variable manipulada, nivel celda prerougher 2, lo cual involucra un mayor control sobre los niveles, ya que al aumentarlos se mejora la recuperación. Un beneficio de controlar el nivel es que no conlleva ningún gasto asociado, puesto a que solo se deberá fijar un nuevo set-point al control de nivel de las celdas (automático).

Para la flotación limpieza se generó un modelo que se ve afectado principalmente por variables manipuladas (tamaño de partícula, flujos, niveles, etc.), lo cual hace referencia a que una mayor productividad (recuperación) se verá afectada solo con cambios operacionales.

Estos cambios a diferencia del modelo de flotación primaria, pueden significar un aumento en los consumos eléctricos, especialmente, puesto que para disminuir el tamaño de partícula se deberá aumentar la potencia de los molinos, o para mejorar la clasificación en los hidrociclones se deberá aumentar la presión, y por ende aumentar la potencia de las bombas, etc.

Considerando las variables obtenidas en el modelo flotación limpieza 2006 y 2007, se realizarán las mejoras en la planta, uno de los objetivos trazados en la presente memoria.

CAPITULO 5: MEJORAS

Las *mejoras* de la planta se realizan en función de las variables presentes en los modelos estadísticos desarrollados mediante el análisis de regresión multivariable.

Los modelos *planta* y *flotación primaria*, no se analizaron puesto que cada variable presente en los modelos es controlada y/o medida, por lo que cualquier alteración de los valores normales se detecta rápidamente.

Por el contrario, en la *flotación limpieza* no existe una adecuada supervisión de las variables detectadas, ni de las que actualmente se controlan. Es por esto que las mejoras se centrarán únicamente en esta etapa para la detección de puntos de mejoramiento.

Considerando las variables presentes en los modelos flotación limpieza 2006 y 2007, en la tabla 5.1 se señala la revisión realizada para la detección de los puntos de mejoramiento.

Esta revisión no solo considera el estado actual de las variables involucradas en los modelos estadísticos, ya estudiados, además se complementa un análisis global a cada etapa involucrada.

Tabla 5.1. Estado Variables Flotación Limpieza

Variables Flotación Limpieza			
Variables	Etapa	Estado	Acción
<i>Tonelaje Limpieza</i>	Alimentación	Estas variables no se miden ni se calculan, pero mediante balance de materia se pueden determinar. No se justifica su medición si se pueden determinar indirectamente (ahorro en instrumentación).	Sin acción.
<i>Ley de Cobre Ponderada</i>			
<i>Tamaño de partícula (P80)</i>	Remolienda	Si bien esta variable se mide y no presenta variaciones significativas con los valores esperados, la clasificación presenta deficiencias en el producto de fondo de los ciclones. Además existe un problema en el transporte hidráulico del producto de fondo desde los ciclones hacia los molinos de remolienda.	Se revisará el sistema completo de clasificación.
<i>Nivel Columna 1</i>	Flotación Columnar	Para ambas columnas el control de nivel y aire no presenta problemas. Los inyectores de aire reciben mantención periódica, por lo que se descarta la posibilidad de una adición de aire defectuosa (no homogénea). Se detectó una no uniforme adición de agua de limpieza para ambas columnas por un diseño inadecuado y por una mala operación.	Se revisará el sistema de adición de agua a ambas columnas
<i>Flujo de Aire Columna 2</i>			
<i>Nivel Scavenger 4</i>	Flotación Scavenger	Los niveles para la etapa completa son medidos y no presentan mayores reparos.	Sin acción.

En consideración a este análisis, se detectó una defectuosa clasificación en los hidrociclones, principalmente al producto de fondo (underflow, partículas más gruesas), el cual contiene más partículas finas de las que debería, produciendo así un aumento de la carga circulante, haciendo ineficiente el sistema al tener que remoler partículas finas que ya han sido remolidas.

Dentro de esta misma etapa, y en el mismo equipo, se encontró que el sistema de transporte de pulpa del producto de fondo desde los ciclones hacia los molinos de remolienda, presenta un problema de diseño.

En la flotación columnar no se encontraron deficiencias en la medición y/o control de las variables, sino que un mal diseño y operación en el sistema de adición de agua de lavado a cada columna.

5.1. Flotación Columnar

La flotación columnar, de un modo general, aumentan la flotación de las fracciones finas y ultrafinas y permiten eliminar, el arrastre hidráulico de las partículas no deseadas por el eficiente drenaje realizado con la adición de agua de lavado.

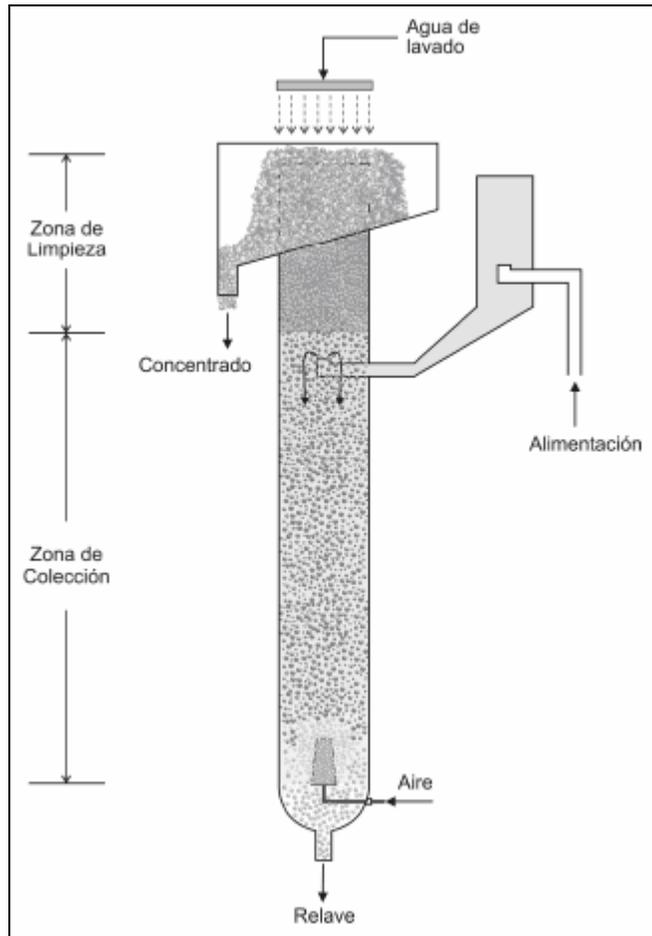
Esto es asociado al contacto en contracorriente entre las burbujas de aire y la pulpa en condiciones de flujo mas tranquilas (sin agitación mecánica), hacen de la columna un buen proceso de recuperación de las fracciones finas de minerales o de enriquecimiento de concentrados.

Comercialmente, las columnas son utilizadas en la limpieza de cobre, molibdeno, zinc, plomo, estaño y oro, además de varios usos en minerales industriales como fosfatos, fluorita, calcita, etc.

Básicamente consisten en columnas de gran altura (10 a 15 metros), de sección circular, rectangular o cuadradas con una relación altura/diámetro del orden de 10, generalmente.

Su operación se basa en contactar en contracorriente, un flujo ascendente de burbujas de aire y un flujo descendente de pulpa mineralizada, la cual es alimentada a $2/3$ de la altura de la columna. En su extremo superior que es por donde se descarga el concentrado mediante el rebalse de la espuma, posee además un sistema de agua de lavado (en forma de lluvia). La descarga del relave se realiza en el extremo inferior de la columna, donde también está dispuesto un difusor de gas que genera las burbujas, ver figura 5.1.

Figura 5.1. Diagrama Flotación Columnar



En una columna de flotación se distinguen dos zonas diferentes que poseen flujos en contracorriente bien definidos:

Zona de Colección: en esta zona ubicada bajo la interfase (llamada también zona de suspensión, de burbujeo o de recuperación), las partículas en suspensión alimentadas son contactadas en contracorriente con un enjambre de burbujas producidas por un difusor en el fondo de la columna.

Zona de Limpieza: en esta zona ubicada sobre la interfase (también llamada zona de espuma) existe un flujo en contracorriente entre las burbujas mineralizadas (lecho de espuma) y el agua de lavado que previene el arrastre hidráulico de partículas no deseadas al concentrado, haciéndolo más selectivo.

5.1.1. Estado

El Soldado cuenta con 2 celdas columnares, una rectangular de 6.8 m² (columna 1), y otra cilíndrica de 16 m² (columna 2).

Ambas columnas poseen un sistema de parrillas, de barras perforadas (originalmente de 3 mm), mediante las cuales se agrega agua para lavar el concentrado y aumentar la ley, ver figuras 5.2 y 5.3.

El control de la adición de agua está a cargo del operador de flotación, el cual fija el flujo de agua para la columna 1 y 2, 10 y 22.5 m³/h respectivamente. Además, localmente se puede manipular el flujo de cada barra mediante válvulas de corte (tipo bola).

Cada columna, además cuenta con un sistema de lavado del colector de concentrado, que en ocasiones se utiliza también para lavar las barras. Especialmente cuando la columna rebalsa y las barras quedan cubiertas con concentrado.

Figura 5.2. Sistema de Adición de Agua Columna 1



Figura 5.3. Sistema de Adición de Agua Columna 2



El principal problema del sistema de adición de agua es que la red de agua posee una alta cantidad de impurezas las cuales regularmente obstruyen los orificios de las barras y la manipulación inadecuada de las válvulas de control produce flujos irregulares y hacen ineficiente el sistema, como se aprecia en la figuras 5.2 y 5.3.

Además al operar manualmente las válvulas de cada barra éstas se obstruyen inhabilitando toda la barra (bloqueada).

La fuente de agua de la planta se compone de agua fresca y agua recuperada del tranque de relave. Ésta última es la que se utiliza principalmente como agua de proceso, entre otras aplicaciones como agua de lavado.

Esta agua contiene un alto nivel de impurezas y agentes biológicos, los cuales producen la aparición de *lama*^[*].ver figura 5.4.

[*] Cobertura de plantas briófitas muy pequeñas que crecen formando capas aterciopeladas en lugares húmedos y sombríos.

Figura 5.4. Incrustaciones Sistema de Lavado Columnas



Las lamas obstruyen los orificios alterando la presión en la barra originando una adición irregular de agua a la pulpa. Y con ello, una baja eficiencia en el lavado del concentrado resultante.

5.1.2. Soluciones

Como primera medida fue necesario realizar limpieza a las barras, para ello se desmontaron todas las barras y se aumento el tamaño del orificio a 4 mm con el objeto de disminuir las incrustaciones.

Además se reemplazaron las válvulas de cada barra, ver figura 5.5.

Figura 5.5. Mantenimiento Sistema de Lavado Columna 2



Como segunda medida, el control del flujo de agua se automatizó, así el flujo se mantiene constante y se evita la manipulación en terreno, ver figura 5.6.

El procedimiento anterior, se realizó para ambas columnas. Para ambos casos, fue necesario establecer los nuevos flujos de agua.

Lamentablemente, las fluctuaciones en la red local, hacen inviable establecer un flujo fijo de adición de agua, por lo que simplemente el operador debe fijar un flujo en base a las condiciones diarias.

En la práctica, esto implica que luego de realizar una inspección visual a cada sistema de adición, el flujo se fija desde la sala de control (mediante comunicación radial entre el operador de terreno y el operador de la sala de control) para que la

adición se realice de una manera óptima, es decir que el agua se adicione de forma pareja y estable sobre la sección de la columna.

Figura 5.6. Sistema de Lavado Columna 2 Mejorado



Para disminuir la cantidad de impurezas se instaló un filtro en la columna 2, que es la más grande y por ello la que entrega un mayor flujo de concentrado, ver figura 5.7.

Figura 5.7. Filtro Sistema de Lavado Columna 2



5.1.3. Recomendaciones

La mantención de las barras se realiza, en teoría, junto con la mantención de la columna, es decir cada 45 días, aumentar esta frecuencia, realizando la mantención cada 15 ó 21 días se disminuirán las barras en mal estado y a la vez el tiempo que dura la mantención.

Asignar tareas rutinarias a los operadores como:

- Limpiar el filtro.
- Lavar las cañerías.
- Chequear estado de válvulas.
- Destapar cañerías mediante agua a presión.

Como se aprecia no es mucho tiempo el que se debe tomar para realizar pequeñas pero significativas labores de mantención.

Como alternativa de eliminación de lamas, es necesario realizar un estudio sobre el impacto que puede tener en la recuperación la adición de alguicidas u otro agente antibiológico, especialmente debido al efecto en las propiedades físico-químicas

5.1.4. Conclusiones

Si bien la principal causante de las obstrucciones del sistema de lavado es la misma agua, debido al alto contenido de impurezas y lamas. La escasa mantención que se realiza es la que permite el deterioro de las cañerías y mal funcionamiento del sistema.

Realizar una adecuada mantención no es solo labor del *Taller de Mantención* (mecánicos) deben incluirse a los operadores de flotación en la mantención día a día.

Con labores sumamente sencillas, que no involucran mayores riesgos ni inversión se puede mantener el sistema actual en un adecuado funcionamiento, pero es necesario incrementar las mantenciones programadas, y no esperar, que la cañería este obstruida totalmente para informar y luego reparar.

5.2. Remolienda

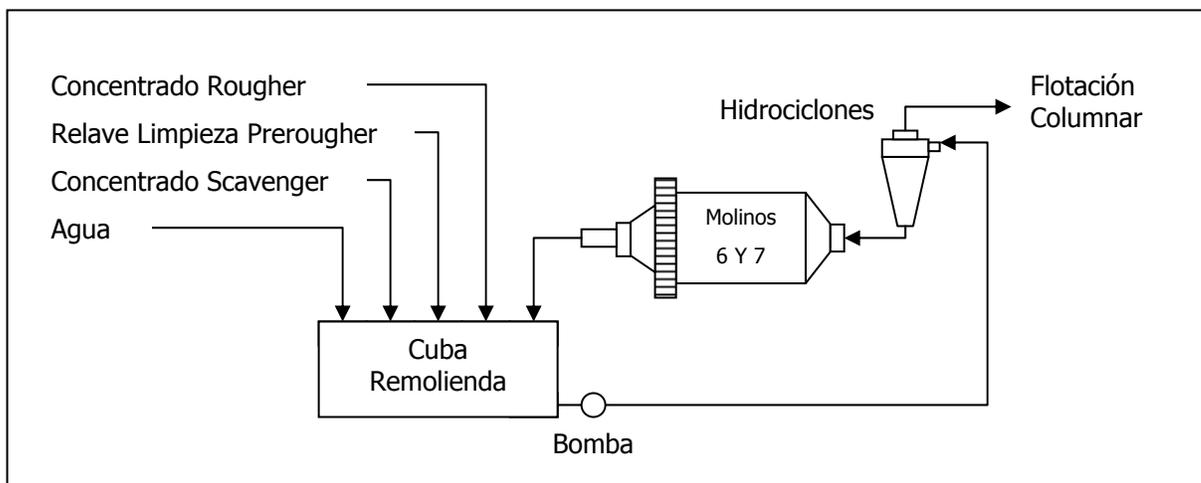
La etapa de remolienda esta conformada de una etapa de homogenización (cuba), de clasificación (hidrociclones) y de conminución (molinos de remolienda).

En la cuba convergen las pulpas provenientes de distintas etapas (concentrado rougher, relave limpieza prerougher, concentrado scavenger y producto de los molinos de remolienda), adicionalmente se agrega agua para mejorar la clasificación. La pulpa se impulsa hacia los hidrociclones mediante una bomba que descarga a una presión promedio de 30 psig (206842.7 Pa).

La etapa de clasificación en la remolienda cuenta con una batería de ciclones (10) los cuales se alimentan desde la cuba. El material fino (overflow) alimenta a las columnas y el material grueso (underflow) pasa a los molinos los cuales entregan su producto a la cuba, generando la recirculación.

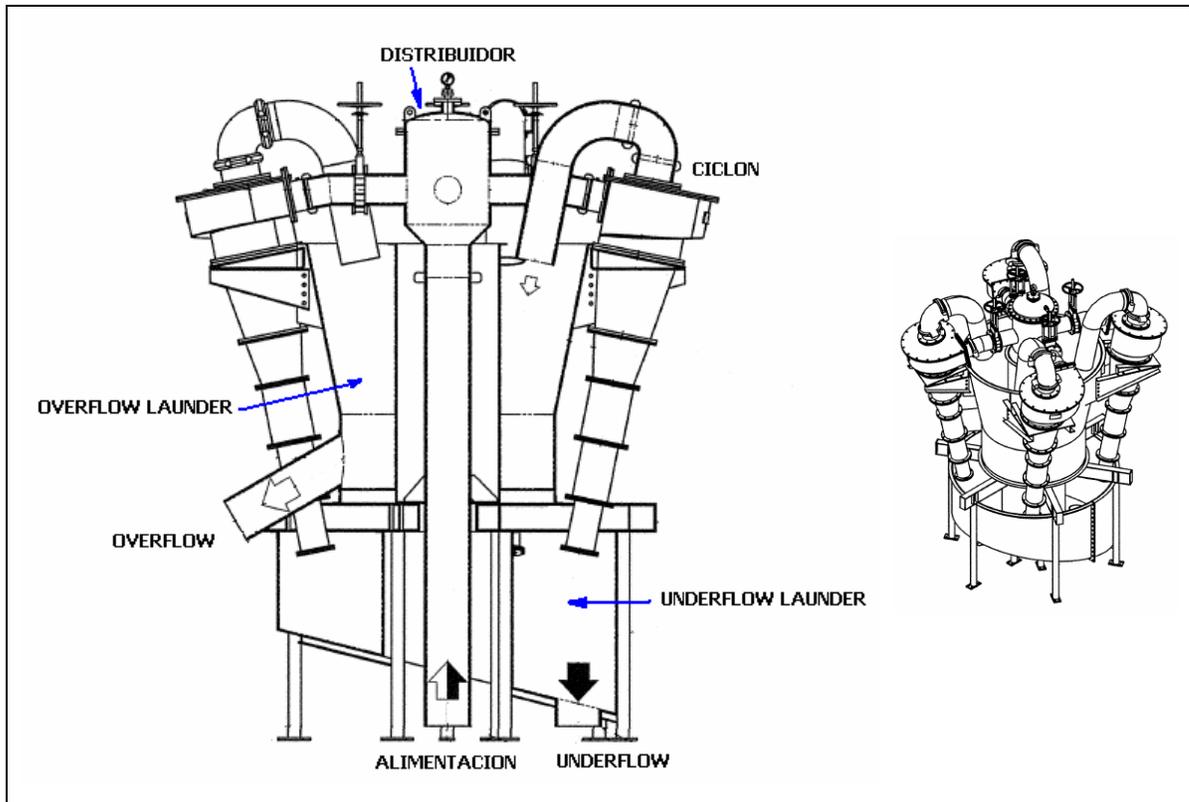
En la última etapa, los molinos de remolienda (de barras o bolas) disminuyen aun más el tamaño de las partículas para facilitar la flotación del mineral de interés (cobre). El producto de los molinos vuelve a la cuba para completar el ciclo. Ver figura 5.8 para el circuito completo.

Figura 5.8. Circuito de Remolienda



Las baterías de hidrociclones, por lo general, cuentan con la siguiente configuración, ver figura 5.9.

Figura 5.9. Configuración Batería de Hidrociclones



La alimentación llega a un distribuidor central el cual reparte equitativamente la pulpa a todos los hidrociclones. Luego en el hidrociclón separa la pulpa en función de la diferencia de densidades (peso específico), saliendo por la parte superior (overflow) la pulpa más fina, y por la parte inferior (underflow) la pulpa más gruesa.

Cada una de estas corrientes cae a un botadero o launder (en inglés) el cual recolecta cada una de las corrientes entregadas por cada hidrociclón para luego destinarlas a la etapa siguiente.

5.2.1. Estado

En la cuba la adición de agua es casi constante y sin medición, mientras que el nivel de pulpa es sumamente variable, por lo que la densidad de la pulpa varía enormemente. A la vez, la potencia de la bomba se fija manualmente, y no necesariamente responde o se ajusta a las variaciones de nivel ni de densidad de la cuba.

La batería originalmente contaba con 10 ciclones, ubicados de forma similar a la expuesta en la figura 5.9. En la actualidad solo existen 9 hidrociclones, de los cuales, generalmente, 5 operan mientras los otros están en stand-by (en espera), ver figura 5.10.

Figura 5.10. Batería de Hidrociclones



Debido a un problema de diseño en el launder del underflow la pulpa no escurre fácilmente hacia el cajón de alimentación de los molinos. Debido a que la inclinación o pendiente del launder no es la suficiente para que la pulpa se desplace naturalmente hacia el cajón de alimentación de los molinos. Además en la parte

posterior del launder la distancia entre la descarga del hidrociclón y el launder no es la suficiente para que el hidrociclón descargue libremente.

Esta pérdida de fluidez produce embancamientos (estancamientos) e incluso reboses de pulpa provocando el acordonamiento de los hidrociclones, ver figuras 5.11 y 5.12.

Figura 5.11. Embancamientos en el Launder del Underflow.



Figura 5.12. Acordonamiento de los Hidrociclones



Para evitar esta situación se agrega agua mediante una red auxiliar contra incendios, permitiendo que la pulpa fluya de mejor manera y así evacuar la pulpa del launder, ver figura 5.13.

Figura 5.13 Adición de Agua Launder del Underflow



Esta adición se realiza mediante tres mangueras de la red de incendio, pero esta adición no cuenta con ninguna medición de flujo con lo que además de hacer fluir la pulpa, se podría estar afectando directamente el proceso de molienda.

Es necesario tener en cuenta que un exceso de agua en la molienda produce:

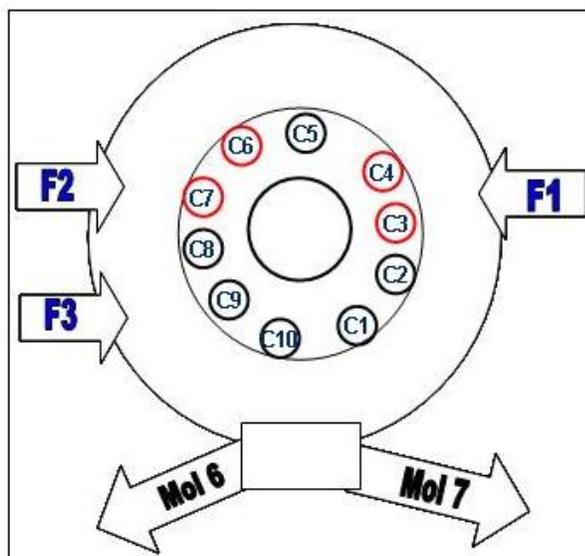
- Molienda gruesa.
- Aumento de costo de producción.
- Densidad baja.
- Menor eficiencia del molino.
- Bajo tonelaje del molino.
- Excesivo consumo de bolas y chaquetas o revestimientos.
- Costo de molienda alto.

Ahora por el contrario, una falta de agua podría producir:

- Molienda gruesa y mala.
- Paradas obligatorias del molino.
- Densidad elevada.
- Perdidas de tonelaje en el molino.

Otra situación no menor es el uso excesivo de ciertos ciclones, preferentemente los que se ubican en la zona más cercana al cajón de alimentación de los molinos (zona delantera), ver figura 5.14.

Figura 5.14. Cubicación Hidrociclones de Remolienda



Los flujos 1, 2 y 3 corresponden a los puntos de adición de agua, preferentemente se ubican en la zona posterior, para favorecer el desplazamiento de la pulpa hacia los molinos.

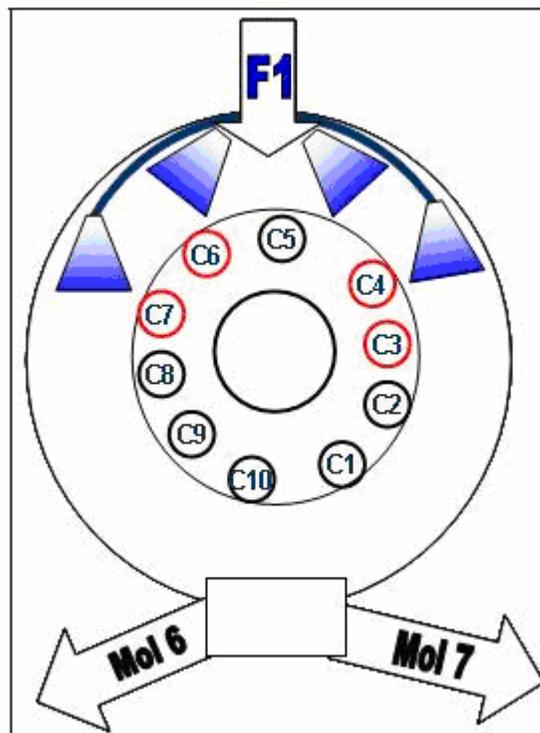
Los hidrociclones 3, 4, 6 y 7 son los que se ubican en la parte posterior, por lo que se utilizan con menos frecuencia, ya que son los que habitualmente se acordonan o producen embancamientos (El hidrociclón 5 no existe). Los hidrociclones 1, 2, 8, 9 y 10 son los que se utilizan con mayor frecuencia, pero a la vez son los que presentan mayores tasas de desgastes.

A raíz de esto, la clasificación no es la más adecuada, ya que se presentan partículas gruesas en el overflow del hidrociclón, dejando de manifiesto un problema operacional (Tamaño de partícula, P80 alto).

5.2.2. Soluciones

Es necesario controlar adición de agua, para ello, se sugiere agregar agua mediante 2 ó 4 aspersores tipo pico pato, con esto se obtiene un flujo regulado en la zona posterior, ver figura 5.15.

Figura 5.15. Esquema Sistema de Adición de Agua



De esta manera el transporte de pulpa se facilitará mediante un flujo a alta presión, pero de menor caudal, minimizando el consumo de agua. Los aspersores al ser de plástico no presentan, en teoría, problemas de obturación ya que la pulpa no se adhiere tan fácilmente, disminuyendo la posibilidad que se tapen.

Se pueden utilizar las mismas fuentes de agua existentes para realizar la nueva conexión. El diseño es relativamente sencillo (cañerías, fittings y válvula). Y el

costo de materiales y tiempo requerido son bajos. Se ve que con una mínima inversión se pueden obtener notables mejoras.

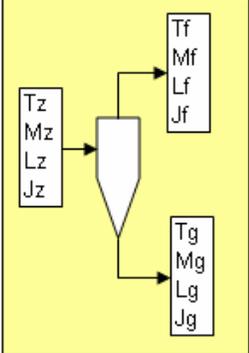
Como producto de la modelación de la flotación limpieza se determinó que uno de las variables que afectaban la recuperación era el tamaño de partícula, **P80**.

A raíz de este estudio, se observó que el valor del P80 era bastante alto (promedio 2006 63,5), en relación al valor teórico (promedio 48).

Es necesario identificar cual es el estado actual de la clasificación, y así determinar el real efecto de la adición de agua a los molinos. Para ello será necesario realizar un balance a los hidrociclones, identificando sus parámetros de reparto y eficiencias.

La base teórica para el cálculo de estos parámetros se halla en el *Anexo F*. Pero resumiendo los parámetros más relevantes se tiene la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros de Reparto y Eficiencias de Hidrociclones

<ul style="list-style-type: none"> • Nomenclatura Ti: Masa en T/h se sólido seco. Mi: Volumen en m³/h de pulpa. Li: Volumen en m³/h de líquido. Ji: Concentración de sólidos expresada en gramos de sólido seco por litro de pulpa. $J_i = T_i \times 1000 / M_i$ γ_s: Densidad del sólido Z: Alimentación F: Finos (Overflow) G: Gruesos (Underflow) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Reparto de Sólidos: Relación de masa de sólidos de la alimentación que es descargada por la corriente de gruesos. 	$\Theta = \frac{T_G}{T_Z} = \frac{J_Z - J_F}{J_G - J_F} \cdot \frac{J_G}{J_Z}$
<ul style="list-style-type: none"> • Factor de Espesado: Relación de la concentración de sólidos entre la corriente de gruesos y la alimentación. Para que ocurra separación el factor debe ser mayor a 1. 	$\varepsilon = \frac{J_G}{J_Z}$
<ul style="list-style-type: none"> • Reparto de Pulpa: Relación de volumen de pulpa de alimentación que es evacuado por la corriente de finos. 	$\alpha = \frac{M_F}{M_Z} = \frac{J_G - J_Z}{J_G - J_F}$
<ul style="list-style-type: none"> • Reparto de Líquido: Relación de volumen de líquido de alimentación que es evacuado por la corriente de finos. 	$\tau = \frac{L_F}{L_Z} = \alpha \cdot \frac{\gamma_s - J_F}{\gamma_s - J_Z}$
<ul style="list-style-type: none"> • Bypass: Líquido de la alimentación que se va por la descarga. 	$B_p = (1 - \tau)$

<ul style="list-style-type: none"> • Flujo Muerto: Representa las partículas finas descargadas indebidamente en la corriente de gruesos. 	$T_O = B_p \cdot \frac{(1 - \Theta)}{\tau}$
<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de finos en gruesos: Relación entre la masa de partículas finas en la corriente de gruesos. 	$f_C = \frac{T_O}{\Theta}$
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia Reducida: Considera el reparto de sólidos. 	$\chi = \Theta - (1 - \alpha)$
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia Rietema: Considera el reparto de líquido τ, en vez del reparto de pulpa α. 	$\mu = \Theta - (1 - \tau)$
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia Kelsall: Derivación de la eficiencia de Rietema afectado por el valor de reparto de líquido τ. 	$\eta = \frac{\mu}{\tau}$
<ul style="list-style-type: none"> • Eficacia: Combinación entre la eficacia de recuperar sólidos en la corriente de descarga y de recuperar líquido en la corriente de rebose. 	$\psi = \Theta \cdot \tau$
<ul style="list-style-type: none"> • Carga Circulante: Razón entre el flujo de material que se recircula y la alimentación fresca. 	$CC = \frac{\Theta}{1 - \Theta}$

El procedimiento se basa en tomar muestras de la alimentación, overflow y underflow, para así determinar cada uno de los parámetros establecidos anteriormente. Mediante el uso de la balanza Marcy, ver figura 5.17, se determina el porcentaje de sólidos de cada corriente, y a través de la siguiente expresión se determina el término J_i :

$$J_i = \%_{\text{sólidos}} \cdot \text{Densidad de Pulpa}$$

$$J_i = \%_{\text{sólidos}} \cdot \frac{\rho_{\text{sólidos}} \cdot \rho_{\text{Agua}}}{\%_{\text{sólidos}} \cdot (\rho_{\text{sólidos}} - \rho_{\text{Agua}}) + \rho_{\text{sólidos}}}$$

Figura 5.16. Balanza Marcy



Realizando las diligencias correspondientes para la toma de muestras, se descubrió que no se podía muestrear la alimentación, ya que no se podía tomar una muestra directamente en la succión de la bomba de la cuba, ni en la línea desde la cuba hasta el manifold de la batería de los hidrociclones ya que es un circuito cerrado.

La solución se encontró instalando una válvula manual en el manifold de la batería de hidrociclones, aprovechando el espacio disponible que hay puesto que el hidrociclón #5 no existe, ver figura 5.18.

Figura 5.17. Instalación Válvula Manifold Hidrociclones



La válvula se instaló con un control manual (local), para que se pueda utilizar cada vez que se estime conveniente.

Con la válvula instalada y en funcionamiento se tomaron las muestras de cada corriente, en variadas ocasiones, ha cada hidrociclón en funcionamiento y al sistema completo. Se utilizó un peso específico para el sólido de 2.9 y los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Análisis Muestra Hidrociclones de Remolienda

Fecha	Presión	Ciclón	%Z	%F	%G	J _Z	J _F	J _G	ε	α	θ	τ	B _p	To	fc	χ	μ	η	Ψ	CC		
18-Jun 14:00	28,5	Global	35,6	19,2	52,9	464	220	809	1,74	0,59	0,72	0,64	0,36	0,43	0,59	0,31	0,37	0,57	0,47	2,61		
19-Jun 14:25	31,20	1			51,9			786	2,41	0,73	0,64	0,78	0,22	0,46	0,71	0,38	0,42	0,54	0,50	1,80		
		3	26,9	14,4	75,6			1498	4,59	0,87	0,57	0,93	0,07	0,46	0,80	0,45	0,51	0,54	0,53	1,35		
		7			75,9		327	159	1510	4,62	0,88	0,57	0,93	0,07	0,46	0,80	0,45	0,51	0,54	0,54	1,35	
		8			75,0				1475	4,52	0,87	0,58	0,93	0,07	0,46	0,79	0,45	0,50	0,54	0,53	1,35	
		9			29,8				370	1,13	0,21	0,90	0,22	0,78	0,46	0,51	0,11	0,12	0,54	0,20	8,91	
					77,4			1570	4,81	0,88	0,57	0,94	0,06	0,46	0,80	0,45	0,51	0,54	0,54	1,33		
20-Jun 09:30	31,60	Global			21,1			245	775	1,46	0,46	0,79	0,52	0,48	0,41	0,52	0,25	0,30	0,59	0,41	3,72	
		1			22,1				258	1399	2,63	0,76	0,63	0,85	0,15	0,44	0,69	0,39	0,48	0,56	0,53	1,70
		2	39,4		22,1				258	1570	2,96	0,79	0,61	0,88	0,12	0,44	0,71	0,41	0,50	0,56	0,54	1,60
		3			19,7		531	226	1444	2,72	0,75	0,68	0,85	0,15	0,38	0,55	0,43	0,53	0,62	0,58	2,13	
		7			23,1				272	1436	2,70	0,78	0,60	0,86	0,14	0,46	0,77	0,38	0,46	0,54	0,52	1,51
					24,0			285	431	0,81	-0,69	1,37	-0,76	1,76	0,49	0,35	-0,32	-0,39	0,51	-1,04	-3,71	
					33,6			233	1436	2,70	0,75	0,67	0,85	0,15	0,39	0,58	0,42	0,52	0,61	0,57	2,03	
					74,0			233	1436	2,70	0,75	0,67	0,85	0,15	0,39	0,58	0,42	0,52	0,61	0,57	2,03	
21-Jun 09:30	28,3	Global			20,2			233	831	1,51	0,47	0,80	0,53	0,47	0,37	0,47	0,27	0,33	0,63	0,43	4,01	
		1			21,1				245	1459	2,66	0,75	0,67	0,85	0,15	0,39	0,59	0,42	0,51	0,61	0,56	2,00
		2	40,4		25,0				299	1418	2,58	0,78	0,58	0,86	0,14	0,49	0,85	0,35	0,44	0,51	0,50	1,37
		3			18,3		549	208	1436	2,61	0,72	0,73	0,83	0,17	0,33	0,45	0,45	0,55	0,67	0,60	2,66	
		7			18,3				208	1444	2,63	0,72	0,73	0,83	0,17	0,33	0,45	0,45	0,56	0,67	0,60	2,65
					74,2			258	447	0,81	-0,54	1,25	-0,61	1,61	0,42	0,33	-0,29	-0,35	0,58	-0,76	-4,94	
					34,6			258	447	0,81	-0,54	1,25	-0,61	1,61	0,42	0,33	-0,29	-0,35	0,58	-0,76	-4,94	
21-Jun 14:30	28,4	Global			24,0			285	928	1,81	0,65	0,64	0,71	0,29	0,51	0,79	0,29	0,35	0,49	0,45	1,79	
		1			22,6				265	1482	2,89	0,80	0,59	0,88	0,12	0,47	0,80	0,38	0,47	0,53	0,52	1,43
		2	38,4		23,1				272	1456	2,84	0,80	0,58	0,88	0,12	0,48	0,83	0,37	0,45	0,52	0,51	1,37
		3			22,1		513	258	1490	2,90	0,79	0,60	0,88	0,12	0,46	0,76	0,39	0,48	0,54	0,53	1,50	
		7			22,1				258	1467	2,86	0,79	0,60	0,87	0,13	0,46	0,76	0,39	0,48	0,54	0,53	1,52
					38,4			285	513	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	---	---	---	---	---	---		
					74,5			195	1456	2,84	0,75	0,72	0,85	0,15	0,34	0,47	0,46	0,56	0,66	0,61	2,52	
					74,5			195	1456	2,84	0,75	0,72	0,85	0,15	0,34	0,47	0,46	0,56	0,66	0,61	2,52	
22-Jun 09:30	25,1	Global			28,8			355	928	1,93	0,78	0,42	0,82	0,18	0,70	1,67	0,20	0,24	0,30	0,35	0,73	
		1			28,8				355	1607	3,35	0,90	0,33	0,95	0,05	0,70	2,11	0,23	0,28	0,30	0,32	0,50
		2	36,5		31,7		480	400	1712	3,57	0,94	0,22	0,97	0,03	0,81	3,73	0,16	0,19	0,19	0,21	0,28	
		3			27,9				341	1650	3,44	0,89	0,36	0,95	0,05	0,67	1,86	0,26	0,31	0,33	0,34	0,57
		7			23,1				272	1570	3,27	0,84	0,52	0,91	0,09	0,52	1,00	0,36	0,44	0,48	0,48	1,10
					30,8			386	531	1,11	-0,35	0,71	0,37	0,63	0,77	1,08	0,07	0,08	0,23	0,26	2,50	
					39,4			386	531	1,11	-0,35	0,71	0,37	0,63	0,77	1,08	0,07	0,08	0,23	0,26	2,50	
22-Jun 14:00	27,8	Global			26,9			327	1085	2,04	0,73	0,55	0,79	0,21	0,57	1,03	0,28	0,34	0,43	0,44	1,23	
		1			23,1				272	1587	2,99	0,80	0,59	0,89	0,11	0,46	0,78	0,39	0,48	0,54	0,52	1,43
		2	39,4		27,9				341	1758	3,31	0,87	0,44	0,94	0,06	0,60	1,34	0,31	0,38	0,40	0,41	0,80
		3			25,9		531	312	1629	3,07	0,83	0,51	0,91	0,09	0,54	1,05	0,34	0,42	0,46	0,46	1,04	
		6			20,2				233	1510	2,84	0,77	0,66	0,86	0,14	0,39	0,59	0,43	0,53	0,61	0,57	1,98
					76,4			233	1530	2,88	0,77	0,66	0,87	0,13	0,39	0,59	0,43	0,53	0,61	0,57	1,96	
					37,5			258	497	0,94	-0,14	1,07	-0,16	1,16	0,44	0,41	-0,07	-0,09	0,56	-0,17	-15,50	
					77,5			258	497	0,94	-0,14	1,07	-0,16	1,16	0,44	0,41	-0,07	-0,09	0,56	-0,17	-15,50	
25-Jun 09:00	29,3	Global			12,0			130	855	2,05	0,61	0,81	0,67	0,33	0,28	0,35	0,42	0,49	0,72	0,55	4,28	
		2			19,2				220	1475	3,54	0,84	0,56	0,91	0,09	0,49	0,88	0,40	0,47	0,51	0,51	1,25
		3	32,7		18,3				208	1436	3,45	0,83	0,59	0,90	0,10	0,46	0,79	0,42	0,49	0,54	0,53	1,41
		4			15,4		416	171	1436	3,45	0,81	0,67	0,89	0,11	0,37	0,56	0,47	0,55	0,63	0,59	2,01	
		7			19,2				220	1475	3,54	0,84	0,56	0,91	0,09	0,49	0,88	0,40	0,47	0,51	0,51	1,25
					36,5			285	480	1,15	0,33	0,78	0,34	0,66	0,65	0,84	0,10	0,12	0,35	0,27	3,49	
					75,0			233	1475	3,54	0,85	0,52	0,92	0,08	0,52	1,00	0,38	0,44	0,48	0,48	1,10	

Se destaca el hidrociclón #8, ya que es el que presenta el porcentaje de sólidos más bajo en comparación al resto. Debido a esto, la mayoría de los parámetros calculados a partir de este valor presentan un comportamiento anormal, ejemplo de lo anterior, son los elevados valores de reparto de sólidos θ y Bypass Bp, los cuales indican que existe un arrastre de partículas finas hacia la descarga, produciendo una mala clasificación, y con ello afectando la recuperación.

Esta mala clasificación se puede confirmar mediante un análisis granulométrico, la figura 5.20 señala el análisis realizado a la muestra del 25 de junio.

Tabla 5.4. Análisis granulométrico hidrociclones.

μm	Mallas	Alim	Global		Ciclón 2		Ciclón 3		Ciclón 4		Ciclón 7		Ciclón 8		Ciclón 9	
			Over	Under												
212	65	95,9	100,0	87,9	100,0	87,8	100,0	92,8	100,0	93,5	100,0	94,5	100,0	97,3	99,9	96,0
150	100	88,9	100,0	73,7	100,0	70,5	100,0	81,0	100,0	81,6	100,0	84,6	99,9	91,9	99,9	87,1
106	150	76,1	99,8	52,6	99,6	46,2	99,9	58,9	99,9	61,1	99,7	58,6	99,1	76,4	99,5	64,1
75	200	59,5	98,5	31,0	95,0	26,8	99,1	34,3	99,4	34,3	94,0	34,3	97,3	55,7	94,9	34,7
53	270	45,4	89,8	19,3	79,5	15,9	89,2	19,3	93,5	19,9	80,2	18,9	92,3	42,7	83,2	20,9
38	400	36,3	78,1	12,7	67,2	9,6	76,8	12,1	81,6	12,2	68,8	11,8	84,4	32,4	72,3	13,0
	-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P80	119	40	178	54	184	42	148	36	142	54	142	30	116	50	136

La mala clasificación se advierte ya que el P80^[*] del hidrociclón #8 en la corriente de gruesos (underflow) es más bajo que el resto de los hidrociclones. En otras palabras, el tamaño de partículas que aporta este hidrociclón es más bajo que el promedio.

Junto con disminuir el tamaño de partícula, el flujo de agua en la descarga aumenta, aumentando la carga circulante, disminuyendo la eficiencia de la molienda.

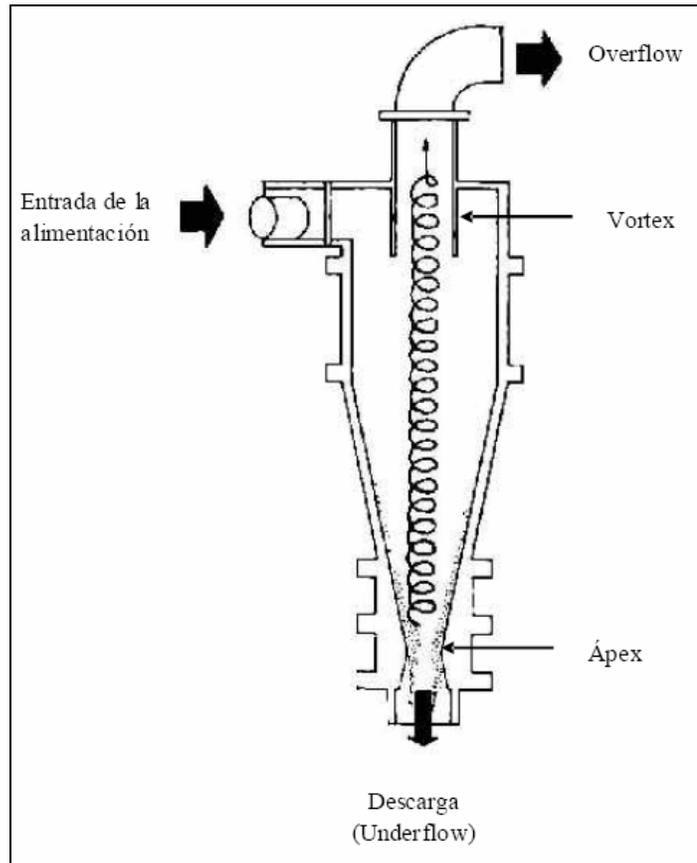
Un aumento del flujo de agua en la descarga se asocia a un desgaste del **ápex** (boquilla de descarga).

Si por el contrario, el porcentaje de gruesos aumenta en el overflow se asocia a un desgaste del **vórtex**, ya que en la práctica esto significaría que la alimentación pasa directamente al overflow.

La figura 5.21 señala las zonas mencionadas anteriormente, **ápex** y **vórtex**, las cuales condicionan el funcionamiento del hidrociclón, y por ende, la clasificación de material particulado en la pulpa, la cual finalmente afecta la recuperación.

[*] Los resultados representan el porcentaje de la muestra que pasa por la malla (pasante) y por lo tanto el valor P80 quiere decir que el 80% de la muestra tiene un tamaño menor al indicado, en micrones.

Figura 5.18. Zonas de trabajo de un hidrociclón.



En vista de los resultados obtenidos, el hidrociclón #8 se dejó fuera de operación hasta que se le haga mantenimiento, principalmente un cambio de ápex o del recubrimiento de éste, que es el causante de la baja eficiencia antes indicada (figura 5.19).

Al revisar el programa de mantenimiento de la batería de hidrociclones, para estimar el desgaste del ápex y vórtex, se encontró con que la mantención se realiza aleatoriamente según los comentarios y/o sugerencias de los operadores.

Estos comentarios y/o sugerencias por lo general corresponden a observaciones que se realizan en terreno del comportamiento del hidrociclón, y si es que presenta problemas (acordonamientos o descarga muy líquida) se informa y se repara.

Claramente este método no es el más adecuado, puesto que el hidrociclón #8 a simple vista operaba de buena manera, pero los análisis acusaron su mal funcionamiento y que requería una reparación urgente.

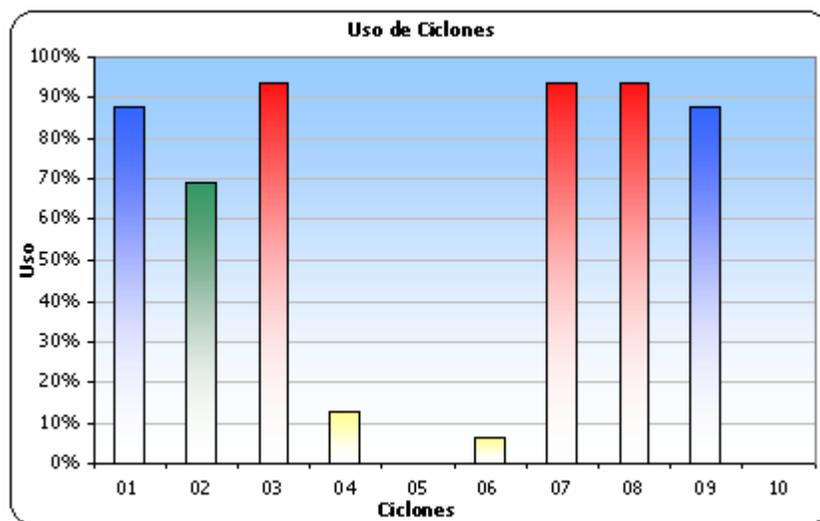
Una práctica más adecuada considera realizar mantenencias programadas o preventivas de los equipos, con ello se maximiza el recurso humano y se reducen las horas de detención.

Para esta mantención programada será necesario identificar cual o cuales son los hidrociclones con un mayor desgaste, mediante el método propuesto (análisis de pulpa en alimentación, overflow y underflow), de esta manera reparar exclusivamente los hidrociclones que presenten bajas eficiencias.

Otro dato importante que es necesario conocer, es el uso que se les da cada hidrociclón, para ello bastará con llevar un registro de los hidrociclones utilizados en cada turno.

Un breve seguimiento se llevo a cabo para conocer cuales eran los hidrociclones más utilizados, obteniéndose los siguientes resultados, ver gráfico 5.1.

Gráfico 5.1. Seguimiento uso de ciclones.



Se observa que uno de los hidrociclones más utilizados es el hidrociclón #8, ratificando que la mala clasificación se debe al desgaste provocado principalmente por el frecuente uso.

Además se observa que preferentemente los hidrociclones ubicados en la parte anterior del launder del underflow (hidrociclones #1, 2, 3, 8, 9 y 10), son los más utilizados. Esto por que se ubican más cerca del cajón de alimentación a los molinos para así facilitar la evacuación de la pulpa.

Puesto que no todos los hidrociclones operan simultáneamente, es preciso, considerar una rotación de los hidrociclones, ya sea operacionalmente o intercambiando su posición en la batería.

Operacionalmente, se debe alternar el uso de cada hidrociclón para así otorgarle una tasa de desgaste pareja a cada hidrociclón. Lamentablemente mientras no se solucione el problema de evacuación de pulpa del launder del underflow, esta solución es poco viable, porque los hidrociclones ubicados en la parte posterior tendrán una mayor probabilidad de producir embancamientos y por ende, se utilizarán en menor medida.

En cambio, intercambiando los hidrociclones de posición en la batería la tasa de desgaste se hace más común para todos los hidrociclones, pero se tendrá un mayor consumo de recursos (mano de obra – HH), ya que se elevarán las mantenciones y tiempos de detención.

5.2.3. Recomendaciones

Modificar el actual sistema de evacuación de pulpa del launder del underflow por un sistema controlado de adición de agua a presión, que permita desplazar la pulpa mediante presión positiva (empujando la pulpa), en vez de desplazar por dilución (agregando agua para disminuir la viscosidad).

Incluir en la pauta de mantención de la batería, un estudio previo para identificar los hidrociclones que realmente requieren mantención para así disminuir los tiempos de detención y maximizar los recursos del Taller de Mantención (HH de los mecánicos y personal especializado).

5.2.4. Conclusiones

La adición de agua en el launder del underflow es necesario regularizarla, fundamentalmente por el impacto que pueda tener sobre la eficiencia de remolienda al disminuir el porcentaje de sólidos.

Aunque el problema de transporte de pulpa es evidente, y la acción correctiva que se lleva a cabo es la más apropiada (adherir agua), ésta se realiza sin control, pudiéndose realizar un arrastre más efectivo con otro sistema como se sugirió, mediante un flujo controlado a alta presión (aspersores tipo pato).

La clasificación de los hidrociclones es bastante aceptable, ya que el P80 requerido y el medido son relativamente similares, pero la descarga de los hidrociclones presenta un alto porcentaje de líquido, y con ello, un arrastre de partículas finas en la corriente de gruesos.

Este mal funcionamiento depende directamente de la tasa de desgaste que presenten el ápex y el vórtex del hidrociclón, es por ello que una revisión al sistema de mantención es necesaria, al igual que incluir un sistema de evaluación de eficiencia en los hidrociclones.

Este sistema de evaluación no requiere mayor inversión, ya que para la toma de muestras solo se requiere de mínimas herramientas (Balanza Marcy, cortador, etc.) y las medidas de seguridad básicas para desplazarse en planta.

Sin duda, que el personal idóneo para la toma de muestras se encuentra a cargo del Laboratorio Metalúrgico, los cuales se encuentran preparados para manejar este tipo de muestras, analizarlas e informar al Taller de Mantenimiento del estado de los hidrociclones, para su posterior mantenimiento.

Se aconseja mejorar el actual sistema, antes de reemplazarlo, ya que con simples mejoras se podrá maximizar el rendimiento de la unidad, disminuyendo los consumos de agua, mejorando la clasificación y aumentando, a la vez, la recuperación.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

El análisis multivariable realizado en El Soldado señaló una fuerte dependencia de las características del mineral alimentado en la recuperación. Ante esta situación, la labor del ingeniero se debe adecuar día a día a las cambiantes condiciones que presenta el proceso. Siendo una herramienta sumamente útil los métodos desarrollados.

En una primera instancia se actualizó el modelo existente para la planta. Para el 2006 el modelo es:

$$\text{Recuperación} = 97.80 - 0.06 \cdot D80 + 4.15 \cdot \text{LeyCuT} - 0.51 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.18 \cdot \text{Colector} + 0.10 \cdot \text{Espumante}$$

Y para el primer semestre del 2007 el modelo generado es:

$$\text{Recuperación} = 79.74 + 3.12 \cdot \text{LeyCuT} - 0.52 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.08 \cdot \text{Colector} + 0.17 \cdot \text{Espumante}$$

Estos modelos tienen como principal uso la determinación del comportamiento de la planta, para así realizar estimaciones de producción anuales (Budget).

El desarrollo del modelo flotación primaria no logró diferenciarse mayormente del modelo planta. Principalmente por que cuenta con casi las mismas variables y la estrecha relación existente entre la recuperación primaria y la recuperación global. Como se indicó, en esta etapa se recupera gran parte del cobre presente en la alimentación a la planta.

Para el 2006 se tiene el siguiente modelo:

$$\text{Recuperación} = 83 - 0.05 \cdot D80 + 4.96 \cdot \text{LeyCuT} - 0.46 \cdot \text{CuOxCuT} \dots$$

$$\dots - 0.23 \cdot \text{Colector} + 0.03 \cdot \text{Espumante} + 0.28 \cdot \text{Nivel Celda Prerougher2}$$

Y para el primer semestre del 2007 el modelo es:

$$\text{Recuperación} = 81.23 + 2.63 \cdot \text{LeyCuT} - 0.63 \cdot \text{CuOxCuT} - 0.08 \cdot \text{Colector} + 0.16 \cdot \text{Espumante}$$

En vista de lo anterior, el objetivo de actualizar los modelos planta y flotación primaria se lograron cabalmente.

Para el modelo flotación limpieza, fue necesario identificar las principales variables que afectan el proceso, las cuales son: el tonelaje de alimentación, la ley de alimentación al circuito, el tamaño de partícula del producto de la remolienda (P80) y algunos niveles de pulpa de las celdas columnares y scavenger.

Este modelo no se vincula mayormente a la recuperación global de la planta, por lo que el modelo más que una herramienta predictiva toma relevancia como una herramienta de control.

El modelo para la flotación limpieza 2006 es:

$$\text{Recuperación} = 52.30 + 0.01 \cdot \text{Tonelaje Limpieza} + 0.73 \cdot \text{LeyCuTLimp} - 0.03 \cdot \text{P80} \dots \\ \dots + 0.11 \cdot \text{NivelColumna1} + 0.66 \cdot \text{AireColumna2} + 0.09 \cdot \text{NivelScavenger4}$$

Y para el primer semestre del 2007 es:

$$\text{Recuperación} = 64.99 + 0.01 \cdot \text{Tonelaje Limpieza} + 0.75 \cdot \text{LeyCuTLimp}$$

En vista de los modelos generados, los objetivos trazados para esta etapa, identificación de las principales variables y creación de un modelo para la flotación limpieza, se lograron íntegramente.

Por ultimo, la identificación de las oportunidades de mejora en la planta se alcanzó mediante una revisión en terreno de las condiciones con que se controla el proceso. Es así, como se identificaron dos etapas que requerían mejorarse, flotación columnar y remolienda.

En la flotación columnar se supervisó la mantención del sistema de lavado de las columnas. Este sistema cuenta con una parrilla de barras perforadas, las cuales por una mala calidad del agua permanecían obstruidas permanentemente. Es así, que durante la mantención se lavaron las barras y se aumentó el tamaño de los orificios. Con el objeto de prevenir o dificultar las incrustaciones. Adicionalmente, se instaló un filtro en la red de alimentación y el control del flujo cambió de manual a automático.

De esta manera se logró mejorar notablemente el sistema, sin la necesidad de invertir en uno nuevo. Ya que al poseer un lavado más parejo de la espuma se obtiene un concentrado de mayor ley, y por lo tanto, una mayor recuperación.

En la remolienda la atención cayó sobre la clasificación. Fue de especial interés determinar de qué manera trabajaban los ciclones (eficiencia). Para ello, fue necesario instalar un sistema de toma de muestras, el cual se ubicó en el manifold de la batería. Una vez instalado el sistema de muestreo, se determinaron los parámetros de reparto y eficiencias para cada hidrociclón y para el conjunto de ciclones. El estudio reveló la presencia de un hidrociclón con una mala operación, el cual se dejó

de operar hasta su próxima reparación. El método utilizado es sumamente sencillo y viable de realizar, por lo que se recomendó incluirlo en el programa de mantención como herramienta para la identificación de los equipos que realmente requieren mantención.

Otro problema que existe en la batería de hidrociclones, es el pésimo transporte hidráulico de pulpa que existe en el launder del underflow. Esto se debe a un problema de diseño, el cual provoca constantes embancamientos en la línea e incluso acordonamientos en los hidrociclones. Para evitar estos problemas, se agrega agua para diluir la pulpa y acelerar su salida del launder. Esta adición se realiza sin control por lo que puede estar afectando directamente a la molienda posterior (molinos de remolienda). Se sugirió cambiar el sistema de adición existente, el de mangueras, por uno a presión mediante el uso de aspersores. Así, con un menor flujo se obtendrían los mismos resultados. Un problema que se infiere del problema anterior, es el aumento de la carga circulante. Por lo que se hace primordial revelar los efectos que esta adición desmedida en el proceso completo, mediante un análisis al proceso de molienda.

Como se aprecia las mejoras de la planta no pasa por la realización de grandes cambios operacionales y/o estratégicos, sino por el aprovechamiento de los recursos existentes y la coordinación de las distintas ramas que componen el proceso. Esto queda de manifiesto, en los dos puntos que se revisaron en terreno, ya que para ambos casos la opción de cambiar el sistema presente está latente, pero al realizar mínimas inversiones (investigación) se logran mejorar los resultados.

Es así como todos los objetivos trazados para la presente memoria se lograron enteramente sin presentar mayores contratiempos. Se hace notar que el seguimiento de las principales variables asociadas a un proceso no solo se hace necesario para controlar, además se pueden establecer vinculaciones que permitan predecir el comportamiento del proceso ante cambios y/o alteraciones. Así mismo, se podrá establecer claramente cual de todas las variables que afectan al proceso requieren una mayor supervisión.

BIBLIOGRAFÍA

- Davenport, W.G., King, M., Schlesinger, M. and Biswas, A.K. 2002. Fourth Edition. *Extractive Metallurgy of Copper*. Peragon. Chapter 3: Concentrating Copper Ores.
- Montgomery, Douglas C. and Runger, George C. 2003. *Applied Statics and Probability for Engineers*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. Chapter 12: Multiple Linear Regression.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriot, P. 1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Cuarta Edición. McGraw Hill. Sección 5: Operaciones en las que intervienen partículas de sólidos.
- *Guía de Ingeniería en Operaciones Mineras*. Tecnología y Procesos Productivos. Chile 2005/2006. Portal Minero.
- Magne O., L.1998. *Procesamiento de Minerales*. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile.
- Bouso, J.L. Abril 1995. *Eficiencia en Hidrociclones*. Rocas y Minerales. Páginas: 62-69.
- Bouso, J.L. Mayo 1998. *El Hidrociclón - Primera Parte*. Americas Mining. Páginas: 20-25.
- Bouso, J.L. Junio 1998. *El Hidrociclón - Segunda Parte*. Americas Mining. Páginas: 6-12.
- Castro, S. y García, J. *Flotación – Fundamentos y Aplicaciones*. Departamento de Ingeniería Metalurgia, Universidad de Concepción.

GLOSARIO

- **Acordonamiento:** Este término corresponde al mal funcionamiento de un hidrociclón, se suscita cuando la presión en el hidrociclón cae abruptamente provocando que no se produzca una separación selectiva, y el hidrociclón actúa simplemente como un divisor. Cuando esto ocurre la mayor parte del flujo es evacuado por el overflow y por el underflow se ve un pequeño flujo que cae recto (cordón) y no el típico paraguas.
- **Aspersor:** Mecanismo destinado a esparcir un líquido o fluido a presión.
- **Balanza Marcy:** Balanza que se utiliza para determinar densidades pulpas y pesos específicos.
- **Densidad:** Magnitud física que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Densidad de sólidos alimentación planta.
- **Embancamiento:** Atascamiento de una línea, generalmente producido por la sedimentación de la pulpa.
- **Flotación:** Proceso fisicoquímico de separación utilizado para concentrar y separar sólidos de granulometría fina que presentan distintas propiedades superficiales, generalmente mezclas de minerales y gangas. Se hace por medio de espumas que retienen los materiales no mojados por el agua.
- **Launder:** Botadero. Cajón receptor de flujos.
- **Ley:** Cantidad de metal contenida en una mena, se expresa como el porcentaje en peso del metal en la mezcla de sólidos.
- **Manifold:** Cámara que cuenta con varias salidas o entradas para distribuir fluidos.
- **Overflow:** Flujo superior (sobre flujo) de un equipo de separación, generalmente contiene la fracción liviana o de interés.
- **PI System:** Es un sistema de arquitectura Cliente-Servidor, diseñado para automatizar completamente la recolección, almacenamiento, distribución y presentación de los datos de planta. Un Sistema PI está diseñado para acomodar grandes cantidades de datos históricos y de tiempo real.

- **Recuperación:** Relación entre las salidas útiles y la alimentación. Se utiliza como índice de rendimiento en la planta concentradora.
- **SQL: Structured Query Language,** Lenguaje de Consulta Estructurado es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo lanzar consultas con el fin de recuperar información de interés de una base de datos, de una forma sencilla.
- **Stand-by:** Quedarse sin hacer nada. Estado en que permanecen algunos equipos mientras otros trabajan, en espera.
- **Underflow:** Flujo inferior de un equipo se separación, generalmente contiene la fracción pesada o de poco interés.

ANEXOS

Anexo A: División El Soldado – Descripción de Procesos

Anexo B: Balance Celda Flotación

Anexo C: Manual de Operación Planta Concentradora

Anexo D: Diagramas de Instrumentación

Anexo E: Uso Microsoft Excel – Análisis de Datos

Anexo F: Eficiencia en Hidrociclones

Anexo A: División El Soldado – Descripción de Procesos

Anglo American comenzó sus operaciones en Chile en 1980 a través de la Empresa Minera de Mantos Blancos. Posteriormente, compró el 44% de la propiedad de la compañía minera Doña Inés de Collahuasi. En 2002 adquirió la Compañía Minera Disputada de Las Condes, hoy Minera Sur Andes.

Está dedicada a la exploración, explotación, procesamiento y comercialización de cobre, como concentrado, ánodo/blíster y cátodos. También comercializa subproductos, como el molibdeno y el ácido sulfúrico.

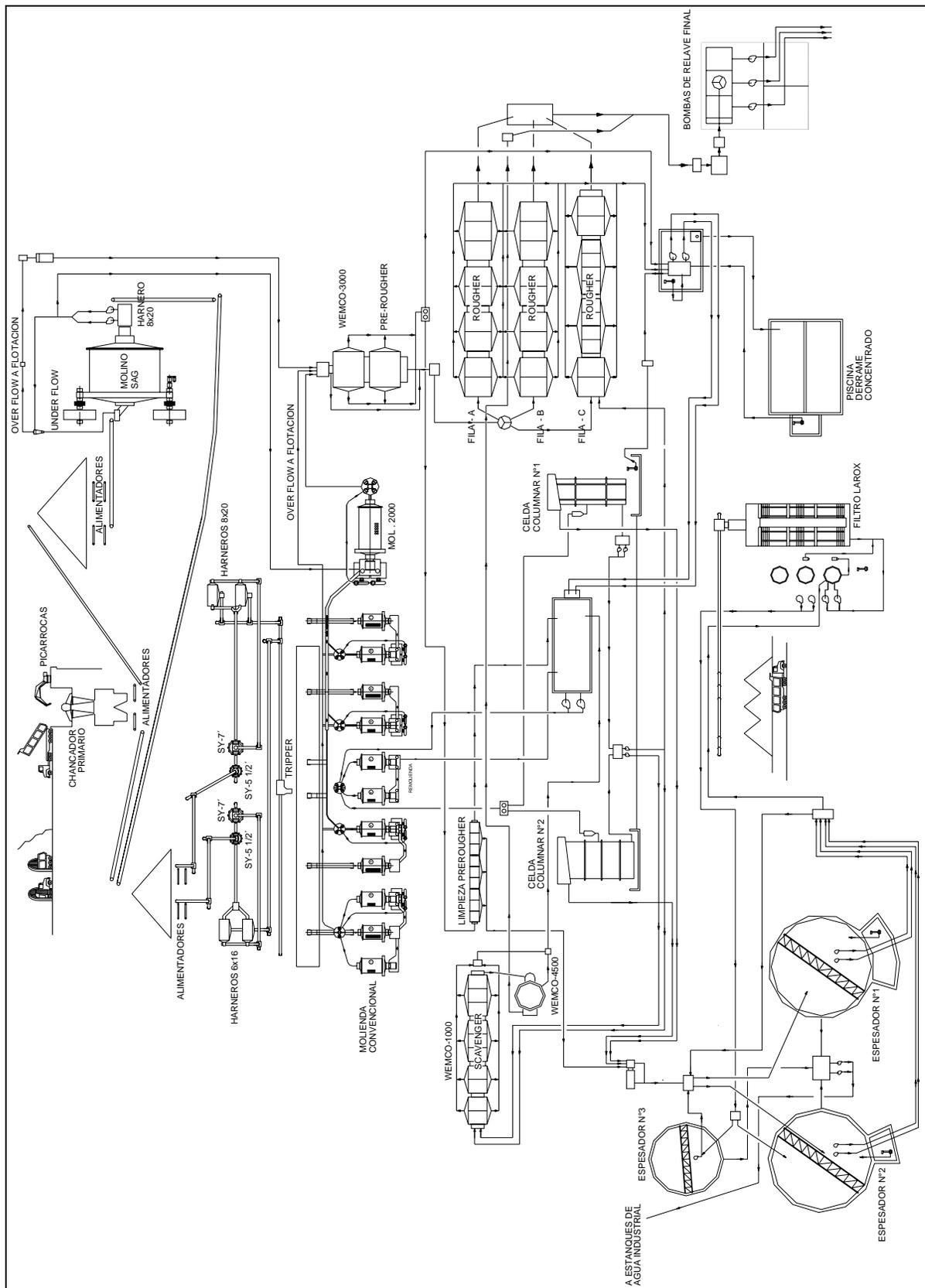
Anglo American Chile cuenta con cinco divisiones operacionales: Los Bronces, Mantos Blancos, El Soldado, Mantoverde y Fundición Chagres.

1. Información General División El Soldado

La división El Soldado se ubica en Nogales, posee una mina subterránea y otra a rajo abierto, con una vida útil estimada en 20 años. Además, cuenta con plantas de tratamiento de minerales oxidados y sulfurados. Siendo ésta última, la de mayor relevancia.

Principales Ejecutivos	
Gerente General División El Soldado	Giancarlo Bruno
Gerente Mina	Marcelo Maccioni
Gerente Plantas	Bernardo Soto
Gerente Recursos Humanos	Nelson Rickernberg
Gerente de Desarrollo y Proyectos	Alejandro Marchant
Gerente de Seguridad y Desarrollo Sustentable	Víctor Olivares
Gerente de Finanzas y Administración	Miguel Espinoza

2. Diagrama de Flujos Flotación



3. Mina Rajo Abierto

➤ Perforación

Descripción del proceso

El plan de perforación está relacionado con un programa de asigna trabajos semanales, a partir de los movimientos de material identificados. La perforación que se ejecuta es del tipo rotatoria, la cual consta de un sistema de alta velocidad. La relación entre la presión de tricono, volumen de aire y velocidad de rotación, determinan la eficiencia de la perforación rotativa.

Insumos principales

- Aceros de profanación (bits).
- Adaptadores.
- Triconos.
- Petróleo.
- Energía Eléctrica.

Equipos principales Mina a Rajo Abierto

- 5 perforadoras IR DMM2.

➤ Tronadura

Descripción del proceso

Esta operación corresponde a la fragmentación de la roca mediante el uso de explosivos. Previamente, se analiza el tipo de explosivos en los pozos dependiendo de la zona de explotación. La secuencia de salida de detonación, toma en cuenta la orientación de los planos de fractura principales detectada en terreno.

Insumos principales

- Accesorios de tronadura.
- Detonadores.
- Conectores de superficie.
- Cordón detonante.
- Nitrato de amonio.
- Petróleo.
- Emulsión.

Equipos principales

- Camión fábrica.
- Equipos de apoyo

➤ Carguío y Transporte

Descripción del proceso

Esta área es responsable de transferir el producto obtenido de la tronadura a los respectivos destinos, dependiendo de las características de la roca.

Insumos principales

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| ▪ Tolvas. | ▪ Neumáticos. |
| ▪ Baldes. | ▪ Cadena para neumáticos. |
| ▪ Dientes para baldes. | |

Equipos principales

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| ▪ 4 cargadores frontales 994 D. | ▪ 7 camiones Caterpillar CAT 785 |
|---------------------------------|----------------------------------|

Equipos de apoyo

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| ▪ Motoniveladoras CAT 16-G. | ▪ Excavadoras. |
| ▪ Motoniveladoras CAT 16-H. | ▪ Camionetas de servicio. |
| ▪ Bulldozer. | ▪ Equipos de levante. |
| ▪ Wheeldozers. | ▪ Camión lubricador. |

4. Mina Subterránea

La Mina subterránea se explota mediante el método de Sublevel Stoping (Hundimiento por subniveles), esto es por las características del cuerpo mineralizado.

➤ Perforación

Descripción del proceso

La perforación que se realiza es del tipo roto-percusión, la que sigue un programa de ingeniería que define el tipo de malla de perforación, según la configuración del recurso minero.

Insumos principales

- | | |
|---|----------------------|
| ▪ Aceros de perforación
(Martillos, barras). | ▪ Petróleo. |
| | ▪ Energía eléctrica. |

Equipos principales

- | | |
|----------------------|---------------------|
| ▪ Jumbo tipo Boomer. | ▪ DTH Drilling LBH. |
|----------------------|---------------------|

-
- Simba Radial Drilling.

➤ **Tronadura**

Descripción del proceso

El proceso de tronadura considera básicamente lo que es la medida de tiros (Etapa se lleva a cabo una vez perforada la malla), primado y carguío de pozos.

Insumos principales

-
- | | |
|----------------------|---------------------|
| ▪ Nitrato de amonio. | ▪ Cordón detonante. |
| ▪ Petróleo. | ▪ Retardos. |
| ▪ Detonadores. | |

➤ **Carguío y Transporte**

Descripción del proceso

El mineral de la Mina es transportado al exterior de las Minas a través de camiones, previamente a esta etapa, el mineral proveniente del resultado de tronadura en los cuerpos mineralizados es extraído, transportado y depositado en los sistemas de traspaso de la Mina mediante equipos del tipo Scooptram.

Insumos principales

-
- | | |
|---------------------|----------------------------|
| ▪ Tolvas. | ▪ Neumáticos. |
| ▪ Baldes. | ▪ Cadenas para neumáticos. |
| ▪ Dientes de balde. | |

Equipos principales

-
- 3 Scooptram Wagner LHD 13 yd³.
 - 4 Scooptram Wagner LHD 8 yd³.
 - Camiones extracción 60 ton.

Equipos de apoyo

-
- Equipos de levante.
 - Camioneta de servicio

La Planta en El Soldado recibe el material proveniente de la Mina y los trata en dos líneas de producción: sulfuros y óxidos.

5. Planta Sulfuros

➤ Chancado

Descripción del proceso

Todo el mineral proveniente de la mina, con una granulometría de 100% bajo 1 m, es alimentado al chancador primario. El producto es descargado un stock pile que alimenta al molino SAG.

Insumos principales

- | | |
|--|----------------------|
| ▪ Revestimiento de acero de chancadores. | ▪ Motores. |
| ▪ Repuestos. | ▪ Energía eléctrica. |

Equipos principales

Primario

- 1 chancador Allis Chalmers (tamaño 42x65"). Granulometría de descarga: 100% bajo 10". Capacidad de tratamiento: 1300-1400 tph.
- Stock pile molienda SAG: 20-30 kton.
- Stock pile molienda convencional: 10-20 kton.
- Correas transportadoras.

Secundario/terciario

- 2 chancadores secundarios Symons de 5 ½', standard.
- 2 chancadores terciarios Symons de 7', cabeza corta.
- 2 harneros vibratorios de 6x16'.
- 2 harneros vibratorios de 8x20'.
Granulometría de descarga 7500 micrones. Capacidad de tratamiento 320 tph. Capacidad de tolva de finos 2000 ton.
- Correas transportadoras.

➤ Molienda

Descripción del proceso

El mineral proveniente del circuito de chancado primario pasa a la molienda SAG, el overflow va a flotación, el pebble generado por el molino SAG alimenta el circuito de chancado secundario-terciario. El producto del chancado alimenta a la molienda convencional, este proceso opera en paralelo con el molino 2000, entregando un producto a flotación. La remolienda procesa el concentrado rougher, relave limpieza prerougher y concentrado scavenger alimentando a las celdas columnares, obteniéndose un concentrado final.

Insumos principales

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| ▪ Energía eléctrica. | ▪ Repuestos. |
| ▪ Revestimientos. | ▪ Motores. |
| ▪ Aceros molienda. | ▪ Molino SAG: bolas de 4.5". |
| ▪ Agua. | nivel de bolas 14% (volumen). |

Equipos principales

Molino SAG

- Molino MPSI Semi autógeno de 35' diámetro x 17' longitud.
Granulometría a flotación: 150-160 micrones.
Potencia instalada: 11380 Kw.
- Batería de ciclones (5): Cavex.
Rendimiento a flotación: 500-600 tph.

Molienda convencional

- Molinos Allis Chalmers.
- Molinos bolas (5): 9.5x12'/737 Hp.
- Molinos barras (4): 8x12'/470 Hp.
- Molino 2000 Hp: 12.5x27'.
- 1 batería de ciclones por sección: Recyclones (doble etapa)
Granulometría a flotación: 150-160 micrones.

Potencia instalada: 6000 Kw.

Rendimiento horario a flotación: 300-310 tph.

Remolienda

- 1 molinos Allis Chalmers 9.5x12'/737 Hp.
- 1 molinos Allis Chalmers 8x12'/470 Hp.
- 1 batería de ciclones (10) Krebs D-15"

➤ **Flotación**

Descripción del proceso

La pulpa proveniente de la etapa de molienda, ingresa al circuito primario de flotación para generar concentrado final. El circuito prerougher alimenta a la etapa de limpieza prerougher para generar concentrado final. El circuito rougher alimenta a la etapa de remolienda y ésta alimenta a las columnas las cuales también generan concentrado final.

El concentrado final, pasa a los espesadores y luego a la etapa de filtrado para generar un producto con un 10% de humedad app.

Insumos principales

-
- | | |
|--|--------------|
| ▪ Energía eléctrica. | ▪ Repuestos. |
| ▪ Reactivos (colectores, espumante y cal). | ▪ Motores. |

Equipos principales

Circuito Prerougher 6000 pie³

- 2 celdas Wemco 3000 pie³.

Circuito Rougher 41000 pie³

- 20 celdas Wemco 1500 pie³.
- 8 celdas Wemco 1000 pie³.
- 2 celdas O.K 1350 pie³.

Limpieza Prerougher 18 m³

- 18 celdas Minimet 1 m³

Circuito Scavenger 14500 pie³

- 10 celdas Wemco 1000 pie³.
- 1 celda Wemco 4500 pie³.

Flotación Columnar

- 1 celda 6.8 m².
- 1 celda 16 m².

Espesamiento

- 2 espesadores 65 pies.
- 1 espesador 45 pies.

Capacidad espesadores 500 ton.

Capacidad cancha concentrado 8000 ton.

Filtrado

- 1 filtro de prensa vertical Larox CF 125/150.

Capacidad horaria 36-42 tph. Capacidad por ciclo 6-8 ton/ciclo.

Número de placas: 50 (ampliable a 60).

Área total de filtrado: 125 m² (ampliable a 150 m²).

Dimensiones: 12x3x4.5 m.

Adicionalmente se tratan escorias provenientes desde Fundición Chagres, en un proceso similar (chancado-flotación-espesado-filtrado). Este tratamiento no se considera mayormente en la parte operación, si es considerado el aporte en cobre fino. Este tratamiento no funciona continuamente, por lo que los parámetros de operación y equipos no están contemplados en este proyecto de título.

6. Planta Óxidos

➤ Chancado

Descripción del proceso

El mineral proveniente de la mina 100% bajo 20" es descargado a través de camiones, a una parrilla de clasificación. El sobre tamaño pasa al chancador primario, mientras que el bajo tamaño pasa directo al stock intermedio junto con el producto de chancador primario.

El stock intermedio, alimenta al circuito cerrado de chancado secundario-terciario, el que entrega un producto final de 100% bajo 8 mm, que es almacenado en una tolva de finos para posteriormente alimentar la siguiente etapa del proceso (aglomerado)

Insumos principales

- Revestimientos de acero de chancadores.
- Repuestos.
- Motores.
- Energía eléctrica.
- Correas transportadoras.

Equipos principales

Primario

- 1 chancador de mandíbula Norberg.
Granulometría de descarga 5".
Capacidad de tratamiento 150 tph.

Secundario/terciario

- 1 chancador secundario Symons de 5 1/2', standard.
- 1 chancador terciario Symons de 5 1/2', cabeza corta.
- 1 harnero vibratorio 8x20'.
Granulometría de descarga: 8000 micrones.
Capacidad de tratamiento: 130 tph.
Capacidad de tolva de finos: 70 ton.

➤ **Aglomeración**

Descripción del proceso

El mineral proveniente de chancado, con granulometría 100% bajo 8 mm, pasa a través de correas transportadoras, al tambor aglomerador donde se contacta con ácido y agua para producir el glómero y curado del mineral.

Insumos principales

- Energía eléctrica.
- Motos.
- Ácido sulfúrico.
- Agua.
- Repuestos.

Equipos principales

- 1 tambor aglomerador Inamar, tipo rotatorio
Dimensiones: 1,8 m diámetro x 5,3 m de largo.
Velocidad de rotación: 8 rpm.
Inclinación: 3°-4°-6°.
Revestimiento interior: goma neopreno.
Capacidad de tratamiento: 125 tph.

➤ **Lixiviación**

Descripción del proceso

Esta el mineral proveniente del aglomerado es apilado, por medio de cargador frontal; el mineral permanece en curado por 24 hr. El sistema de riego está formado por 2 ciclos de riego en contra corriente; las pilas nuevas son regadas con solución intermedia acidulada (ILS) generando solución rica (PLS); las pilas en agotamiento son regadas con solución de refino (SX), generando solución intermedia (ILS).

Insumos principales

- Energía eléctrica.
- Repuestos de lixiviación
- Ácido sulfúrico.
- (aspersores, líneas de pvc).
- Tubería drenaflex.
- Motos.

Equipos principales

- 2 bombas refino Goulds Pump, centrífuga vertical de 75 Hp.
- 2 bombas ILS La Tour, centrífuga horizontal de 75 Hp.
- 1 piscina de PLS 2700 m³ de capacidad, revestida de HDPE.
- 1 piscina de ILS 1700 m³ de capacidad, revestida de HDPE.
- 1 piscina de refino 700 m³ de capacidad, revestida de HDPE.
- 1 piscina de emergencia 3500 m³ de capacidad, revestida en HDPE.

➤ **Extracción por Solventes (SX)**

Descripción del proceso

La solución rica (PLS) proveniente de la lixiviación es contactada con un flujo de orgánico en contracorriente. La configuración del circuito es de 2E y 2S. El flujo de orgánico pasa a través del lavador (tipo Chuquicamata) antes de ingresar al estanque de orgánico cargado para evitar arrastres de impurezas a la siguiente etapa. El flujo de electrolito es filtrado a través de filtros de arena y mallas (Di Sep y Chuquicamata) para evitar el arrastre de orgánico a la siguiente etapa. El flujo de refino pasa a través de un post decantador para evitar el arrastre de orgánico a la siguiente etapa.

Insumos principales

- | | |
|--|--------------|
| ▪ Energía eléctrica. | ▪ Repuestos. |
| ▪ Aditivos SX (extractante, solvente y ácido sulfúrico). | ▪ Motores. |

Equipos principales

- 4 mezcladores/decantadores 61 m³, revestidos en FRP.
- 4 agitadores tipo bombas mezcladores Lightnin, 4-7 rpm.
- 4 agitadores tipo turbina Lightnin 100 rpm yd³ Hp.
- 12 bombas de electrolito Goulds pump, 38 m³/h de capacidad.
- 3 estanques de electrolito FRP de 55 m³ de capacidad.
- 1 estanque de orgánico cargado: 60 m³, revestido en FRP.
- 2 bombas para orgánico: Goulds pump 7.5 Hp, centrifugas horizontales.

-
- 1 filtro de electrolito (arena): Di Sep, 32 m³/h.
 - 1 filtro de electrolito (malla): Chuquicamata de 40 m³ de capacidad.
 - 2 lavadores de orgánico: 44 y 40 m³ de capacidad, de FRP.
 - 1 estanque de diluyente: 21 m³ de capacidad, acero al carbono.

➤ **Electro-Obtención (EW)**

Descripción del proceso

El electrolito generado en la etapa de SX ingresa a las celdas electrolíticas, mediante la aplicación de una diferencia de potencial se produce la descomposición de la solución electrolítica, generando cobre metálico adherido a las placas de acero inoxidable. El tiempo de formación de una placa de cobre de 45 Kg. es de 7 días app.

Insumos principales

-
- | | |
|---|--------------|
| ▪ Energía eléctrica. | ▪ Repuestos. |
| ▪ Aditivos del proceso (guartec EW y sulfato de cobalto). | ▪ Motores. |

Equipos principales

-
- 55 celdas electrolíticas Ancor.
Capacidad 6 a 7 m³, hormigón polimérico.
 - 1 puente grúa P & H de 4 toneladas de capacidad.
 - 1 rectificador Merlin Gerin, de 19200 A y 70 v.
 - 2 rectificadores Temuco 8 KA/66 v.
 - 1 transformador Stem Trento, 1200 KVA.
 - 1 transformador Rhona, 750 KVA.

7. Parámetros Operacionales Planta Sulfuros

Parámetros operacionales		
Setting cerrado de Chancadores	Chancado Primario	4" - 6"
	Chancado Secundario	15 - 20 mm
	Chancado Terciario	5 - 6 mm
Stock Pile Producto Chancado fino	Capacidad Total	30,000
	Tonelaje de Carga Viva	6,000
Densidad específica mineral	(ton/m3)	2.7
Humedad Mineral Primario	%	2.5
Carga Circulante Molienda-Clasificación (rango)	Molino de Bolas (Convencional)	200- 300
	Molino de Bolas (SAG)	200- 300
Granul. Alimentación, F80 (micrones) (rango)	Molienda SAG	4" - 6"
	Molienda Convencional	7500 micrones
Granul. Alimentación, Molienda SAG (%) (rango)	+ 6 pulgadas	10 - 20%
	2 a 6 pulgadas	25 - 35%
	- 2 pulgadas	50 - 55%
Generación de Pebbles Molienda SAG (rango)	%	30 - 32
Granulometría alimentación Flotación	P80 (micrones)	170- 180
	+65 # (%)	14
	-200 # (%)	57
Cp Concentración de sólidos de Alimentación (% en peso)	Flotación Primaria	33 a 34 %
	Flotación Limpieza	15 a 17 %
	Flotación Arenas	12-14 %
	Esp. Concentrado	60%

Tiempo de Flotación Colectiva (min) Valor Nominal	Flotación Primaria	36
	Flotación Scavenger	30
pH	Flotación Rougher	9.0 - 9.5
	Flotación Limpieza	8.0 - 8.5
Razón flotación Primaria / Scavenger	Volumen Primaria / Scavenger	3.2
Humedad descarga Filtrado de Concentrado	%	9.0 - 10.0 %
Flotación Limpieza	Área unitaria	6.8 / 16 m ²
	Inyección de Aire (m ³ /m ² /minuto)	1.34
	Altura de espuma Celda Columnar	80 - 100 cm
Punto(s) de aplicación de reactivos	Colector	Molienda, Flotación Primaria
	Espumante	Molienda, Flotación Primaria
Punto(s) de aplicación de cal		Molienda
Tamaño del producto remolido (rango)	%+325#	65 - 70% (-400#)
Razón potencia instalada Molienda / Remolienda		19

8. Suministros

➤ Energía Eléctrica

- Potencia contratada: 40 MW.
- Empresas abastecedoras: OYD^[*].
- Puntos donde se conectan a la red:
 - El Soldado: S/E Calera en nivel 110 kV.
- Características de las líneas y otros: Línea 110 kV circuito simple S/E La Calera – S/E El Cobre de 19 Km.

9. Producción Total Cobre Fino 2006 (ton)

Planta Sulfuros	Mineral	55894
	Escoria	6306
Planta Óxidos	Cátodos	6497
TOTAL		68697

[*] Obras y Desarrollo, empresa perteneciente al Complejo Hidroeléctrico Aconcagua (HASA).

Anexo B: Balance Celda de Flotación

La celda se alimenta de una pulpa compuesta por agua y sólidos. A su vez, los sólidos contienen diferentes tipos de minerales, dependiendo de la composición. Nos centraremos en el mineral de interés, es decir, en los minerales que tengan cobre.

$$\text{Pulpa} = \text{Sólidos} + \text{Agua}$$

$$\text{Sólidos} = \text{Minerales de Cobre} + \text{Otros Minerales}$$

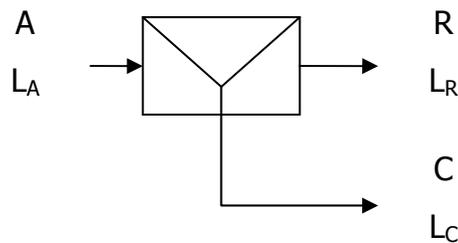
De acuerdo a lo anterior se tiene

$$\% \text{Sólidos} = \frac{\text{Masa Sólidos}}{\text{Masa Sólidos} + \text{Masa Agua}} = \frac{\text{Masa Sólidos}}{\text{Masa Pulpa}} \cdot 100^{[*]}$$

$$\text{Ley de Cu} = \frac{\text{Masa Cobre}}{\text{Masa Sólidos}} \cdot 100^{[**]}$$

Generalmente, en planta se conoce el flujo de sólidos tratados, el porcentaje de sólidos y la ley de una o más especies. Por ejemplo, en El Soldado, se cuenta con el tonelaje de sólidos, el porcentaje de sólidos, la ley de cobre y fierro.

El siguiente diagrama representa una celda tipo.



Donde:

A: Alimentación L_A: Ley de Alimentación

R: Relave L_R: Ley de Relave

C: Concentrado L_C: Ley de Concentrado

[*] El porcentaje de sólidos puede ser expresado en porcentaje o en fracción, por lo que se deberá tener presente al momento de realizar cálculos esta diferencia.

[**] La ley de cobre no es más que un porcentaje en peso del cobre presente en los sólidos, debe tenerse en cuenta si esta medida se toma como porcentaje o fracción.

Por lo general, se conoce el flujo de entrada y las leyes de cada flujo. Del balance general a los sólidos y al cobre se tiene:

$$A = C + R \quad (1)$$

$$L_A \cdot A = L_C \cdot C + L_R \cdot R \quad (2)$$

Despejando R de la ecuación (1) y reemplazado en la ecuación (2) se tiene:

$$R = A - C$$

$$L_A \cdot A = L_C \cdot C + L_R \cdot (A - C)$$

Despejando C y luego R se tienen los flujos de sólidos:

$$C = A \cdot \frac{(L_A - L_R)}{(L_C - L_R)} \quad (3)$$

$$R = A \cdot \frac{(L_C - L_A)}{(L_C - L_R)} \quad (4)$$

Es necesario definir un término muy utilizado para referirse al rendimiento o eficiencia del proceso, nos referimos a la **recuperación**.

Se entenderá como recuperación al cociente entre las salidas útiles o de interés y las entradas útiles. Así tendremos una **recuperación en peso** y una **recuperación metalúrgica**.

$$\text{Rec}_{\text{Peso}} = \frac{\text{Concentrado}}{\text{Alimentación}} = \frac{C}{A} \quad (5)$$

$$\text{Rec}_{\text{Metalurgica}} = \frac{\text{Cobre en Concentrado}}{\text{Cobre en Alimentación}} = \frac{L_C \cdot C}{L_A \cdot A} \quad (6)$$

Aquí la salida útil corresponde al concentrado en un caso y al cobre en el otro.

Rescribiendo las ecuaciones (5) y (6) en términos de las leyes, se tiene:

$$\text{Rec}_{\text{Peso}} = \frac{(L_A - L_R)}{(L_C - L_R)} \quad (7)$$

$$\text{Rec}_{\text{Metalurgica}} = \frac{(L_A - L_R)}{(L_C - L_R)} \cdot \frac{L_C}{L_A} \quad (8)$$

Con la ecuación (7) podemos generalizar:

$$C = A \cdot \text{REC} \quad (9)$$

$$R = A \cdot (1 - \text{REC}) \quad (10)$$

Las recuperaciones, al igual que las leyes y los porcentajes en peso, se pueden trabajar como fracción o como porcentaje, teniendo el cuidado pertinente.

Una vez conocidos los flujos de sólidos para calcular las pulpas solo basta conocer el porcentaje en peso del flujo.

$$\text{Pulpa} = \frac{\text{Sólidos}}{\% \text{Sólidos}}$$

En este caso %Sólidos corresponde a la fracción.

Si se conocen los 3 porcentajes de sólidos, también se puede realizar el balance anterior, utilizando los porcentajes como leyes. Este procedimiento es muy poco utilizado debido a que muchas veces en las celdas se agrega agua para mejorar el transporte de pulpa, por lo que las densidades varían, provocando un cambio en la concentración de sólidos y por ende, al realizar el balance con las ecuaciones anteriores se obtendrían errores.

Otro balance común es el llamado balance de finos, o balance al cobre, con el cual se determina el movimiento de cobre desde la alimentación hacia el concentrado y relave.

Ejemplo:

Flujo de alimentación: 500 tph

Flujo	Leyes	% Sólido
Alimentación	2	25
Concentrado	25	33
Relave	0.2	24.5

Primero:

$$\text{REC} = \frac{(L_A - L_R)}{(L_C - L_R)} = \frac{(2 - 0.2)}{(25 - 0.2)} = \frac{1.8}{24.8} = 0.0726$$

$$\text{REC} = 7.26\%$$

Luego calculamos los flujos de sólido:

$$C = A \cdot \text{REC} = 500 \cdot 0.0726 = 36.3$$

$$R = A \cdot (1 - \text{REC}) = 500 \cdot (1 - 0.0726) = 500 \cdot 0.9274 = 463.7$$

Las pulpas y el cobre fino continuación:

$$\text{Pulpa A} = \frac{500}{0.25} = 2000$$

$$\text{Cu A} = 500 \cdot 0.02 = 10$$

$$\text{Pulpa C} = \frac{36.3}{0.33} = 110$$

$$\text{Cu C} = 36.3 \cdot 0.25 = 9.1$$

$$\text{Pulpa R} = \frac{463.7}{0.245} = 1892$$

$$\text{Cu R} = 463.7 \cdot 0.002 = 0.9$$

En general:

Corriente	Leyes	%Sólido	Sólido (tph)	Pulpa (tph)	Agua (tph)	Cu Fino (tph)
<i>Alimentación</i>	2	25	500	2000	1500	10
<i>Concentrado</i>	25	33	36.3	110	73.7	9.1
<i>Relave</i>	0.2	24.5	463.7	1892	1428.3	0.9
		Total	500	2002	1502	10

Como se mencionó anteriormente, generalmente las pulpas no se pueden balancear, debido a que aparecen flujos no determinados de agua, en este caso se agregan 2 tph (o m³/h).

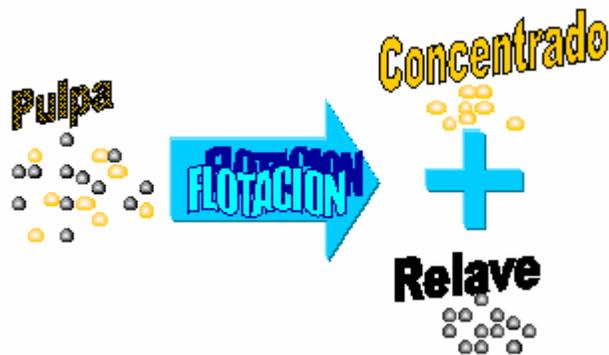
Una manera bastante sencilla de comprobar el balance es realizando los cálculos por simples diferencias.

Para el caso de las celdas columnares (Flotación Columnar), es necesario considerar que por la parte superior se agrega agua (Agua de lavado), por lo que al momento de realizar los balances este flujo debe considerarse y tenerse como conocido.

Anexo C: Manual de Operación Planta Concentradora

1. Descripción de Flotación

La flotación es un método de concentración de minerales que tiene por objeto obtener, a partir de una pulpa mineral, una porción enriquecida (concentrado) que contiene la mayor parte del metal y una cola (relave) compuesta principalmente por material estéril.

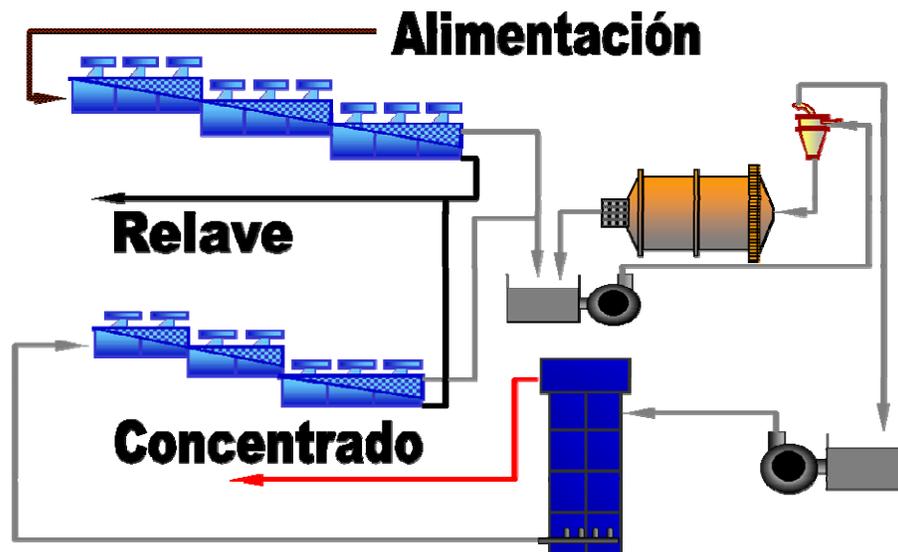


El proceso consiste en adicionar reactivos (colectores, espumantes) a una pulpa mineral, a fin de crear condiciones favorables para que las partículas de interés se adhieran a burbujas de aire. Éstas llevan consigo los minerales a la superficie de la pulpa, desde donde son removidas para obtener el concentrado. Las otras especies mineralógicas permanecen en la pulpa, formando el relave.

2. Descripción General

Una planta de Flotación *típica* está constituida por un circuito que consta de las siguientes etapas:

- **Flotación Rougher:** Esta etapa recibe la pulpa procedente de los Bronces, su relave es conducido al tranque y el concentrado es enviado a la etapa de remolienda.
- **Remolienda:** Es alimentada por los concentrados Rougher y Scavenger. El producto alimenta a la flotación columnar.
- **Flotación Columnar:** En esta etapa se obtiene el concentrado final de Cu. El relave generado es enviado a la etapa Scavenger.
- **Flotación Scavenger:** El concentrado Scavenger alimenta a la remolienda mientras que el relave es conducido al tranque.



3. Operación Flotación

Se entenderá por operación normal a la condición en la cual están disponibles todos los equipos de la planta y no existe ninguna restricción externa. Bajo tales condiciones, la operación de la planta de cobre está orientada a obtener el mejor rendimiento del mineral procesado, maximizando la recuperación, la calidad del concentrado y minimizando los gastos. Lo anterior, en un régimen de estabilidad de flujos y optimización de parámetros operacionales. A continuación se revisará la operación de cada etapa del proceso.

➤ Flotación Rougher

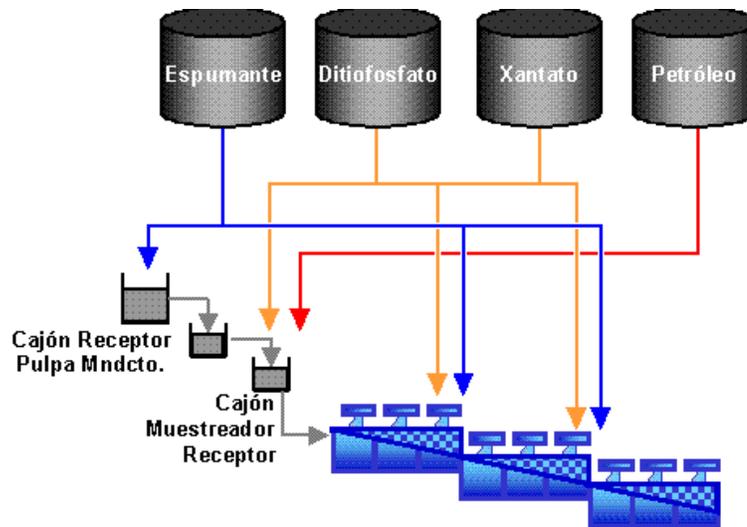
El objetivo de esta etapa es obtener la máxima recuperación de cobre de la pulpa alimentada, a través de un concentrado con volumen y calidad manejable en las etapas siguientes. Las variables manipuladas en la flotación rougher son:

- **Nivel de Pulpa:** Esta variable corresponde a la distancia entre el labio de la celda y la superficie de la pulpa. Permite controlar la evacuación de concentrados desde las celdas. Con bajos niveles de pulpa se restringe la evacuación, aumentando la selectividad del concentrado, pero perjudicando la recuperación, con altos niveles se obtiene el efecto inverso. Cabe señalar que niveles muy bajos desestabilizan la espuma, impidiendo su normal evacuación y niveles muy altos pueden producir rebalses de pulpa. Este último caso es especialmente grave, dado que al rebalsar pulpa, no se produce ningún tipo de separación entre el mineral de interés y las partículas estériles, además perjudica notablemente las etapas siguientes, por el ingreso de material indeseable que no posee ningún valor económico. Todo lo anterior se traduce en pérdidas de recuperación.
- **Dosis de Reactivos:** Los reactivos empleados son Colectores (Ditiofosfato de Sodio y Xantato Isobutílico de Sodio), Espumantes (Metil Isobutil Carbinol, Sasfroth, Dow Froth 6:2:1) y Petróleo Diesel. La dosificación de colector debe realizarse de modo tal, que todas las partículas que contienen sulfuros de cobre adsorban éste reactivo para ser recuperadas. Dosificaciones mayores significarán un

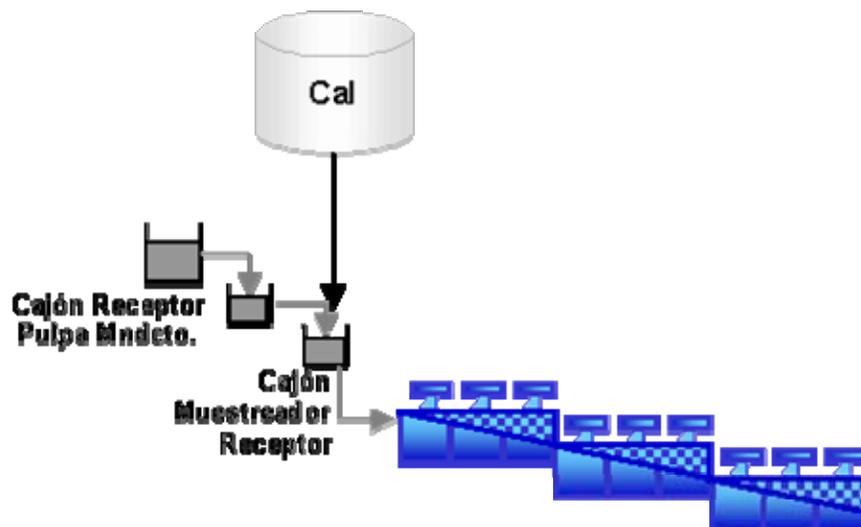
mayor costo, sin mejora en los resultados y dosificaciones menores se traducirán en una pérdida de recuperación. Una dosis de colector sobre lo necesario, no producen un impacto en el proceso, sólo provocan un mayor gasto.

Mediante la dosificación de espumante, se espera obtener un flujo de burbujas suficiente para transportar todos los sulfuros de cobre hacia la superficie de la pulpa, desde donde serán recuperados. Dosis menores perjudicarán la recuperación, por falta de burbujas que transporten los sulfuros de cobre a la superficie. Dosificaciones mayores aumentarán los costos sin mejoras de recuperación, provocando una sobreespumación innecesaria, la cual en casos extremos genera problemas de capacidad en el bombeo, por la entrada de aire a las bombas. Esta pérdida de capacidad puede obligar a restringir la evacuación de concentrados rougher y scavenger, provocando una pérdida importante de recuperación. Los puntos de adición de reactivos son los siguientes:

Cabeza	Cajón Receptor de Pulpa	Adición de espumante (10-15 gr/ton)
	Cajón Muestreador-Receptor	Adición de colectores (7-8 gr/ton de cada colector) y petróleo (11 gr/ton)
Trasposos	Primer Traspaso	Xantato (3-4 gr/ton), ditiofosfato (3-4 gr/ton) espumante (8-12 gr/ton)
	Segundo Traspaso	Xantato (3-4 gr/ton)



- **pH:** El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de la pulpa. De esta variable depende la efectividad de los reactivos y el comportamiento de algunos minerales (depresión de la pirita). Su ajuste se realiza con la adición controlada de lechada de cal. Existe un rango en el cual, los aumentos del pH aumentan la efectividad de los reactivos, mejorando la recuperación. Valores por sobre este rango, sólo significarán un mayor costo para el proceso. Valores muy altos, aparte de aumentar los costos, pueden provocar pérdida de fluidez de la espuma ("espuma apretada"). La medición de pH se realiza en las celdas rougher y el punto de adición de lechada de cal para su ajuste, es el cajón muestreador-receptor de pulpa.



- **Porcentaje de Sólidos:** El porcentaje de sólidos indica la proporción de sólidos presente en la pulpa. Esta variable se maneja con la adición controlada de agua a la pulpa. El porcentaje de sólidos tiene una relación directa con el tiempo en que la pulpa permanece en el circuito de flotación, a mayores porcentajes se obtiene un mayor tiempo de residencia. $\% \text{ Sólidos} = 100 \times (\text{TPH Seco}) / (\text{TPH Pulpa})$
Existe un rango en el cual la recuperación puede ser mejorada al disminuir el porcentaje de sólidos, pese al menor tiempo de residencia. Sin embargo, con diluciones extremas, el impacto del menor tiempo de residencia pasa a ser más significativo, provocando pérdidas en la recuperación.

La siguiente tabla presenta el efecto en la recuperación, ley del concentrado y gastos de la flotación rougher, ante aumentos en las variables manipuladas

↑	Recuperación	Ley de Concentrado	Gastos
Nivel de Pulpa	↑	↓	—
Colector	↑	—	↑
Espumante	↑	↓	↑
pH	↑	—	↑
% Sólidos	↓	—	↓

➤ Remolienda

El objetivo de la Remolienda es reducir de tamaño las partículas para la liberación de los sulfuros. Las variables manipuladas en la remolienda son:

- **Potencia de los Molinos:** La potencia instalada en la Remolienda depende del nivel de bolas en el molino.
- **Presión de los Hidrociclones:** La Presión a hidrociclones se controla abriendo y cerrando ciclones. En cada línea de remolienda existen dos ciclones que pueden ser manipulados desde la sala de control, el resto se opera desde terreno. Con aumentos en la presión se logra reducir el tamaño del Overflow, a costa de una mayor carga circulante. Dada la mayor capacidad de bombeo, esta es una flexibilidad importante que se incorpora con las nuevas instalaciones.
- **Porcentaje de Sólidos a Hidrociclones:** El porcentaje de sólidos se controla adicionando agua a la cuba de descarga de cada molino de remolienda. Bajando el porcentaje de sólidos, se logra mejoras en la clasificación y se consigue reducir el tamaño del overflow, pero a costa de una mayor carga circulante. Dada la mayor capacidad de bombeo, esta es una flexibilidad importante que se incorpora con las nuevas instalaciones. Cabe recordar, que diluciones extremas pueden perjudicar la operación de la molienda.

La siguiente tabla presenta el efecto en el tamaño del producto de la remolienda y en los gastos, ante aumentos en las variables manipuladas.

↑	Tamaño	Gastos
Potencia	↓	↑
Presión Ciclones	↓	—
% Sólidos	↑	—

➤ Flotación Columnar

El objetivo de esta etapa es aumentar la concentración de cobre del mineral obtenido en la flotación rougher a valores comerciales, manteniendo la máxima recuperación posible. Las variables manipuladas en la flotación columnar son:

- **Flujo de Aire:** El flujo de aire permite transportar los sólidos flotables hasta el nivel de superficie de la columna y controlar su evacuación. La recuperación puede ser mejorada con aumentos en el flujo de aire, sin embargo, valores extremos pueden perjudicar la calidad del concentrado, que es el principal objetivo de la flotación columnar. Por lo tanto al manejar esta variable, se debe observar un compromiso entre ley del concentrado y recuperación.
- **Nivel de Pulpa:** Esta variable corresponde a la distancia (medida en porcentaje) entre un punto de referencia y el nivel de pulpa. Con bajos niveles de pulpa aumenta la capa de espuma, favoreciendo la selectividad y por tanto la ley del concentrado. Sin embargo niveles demasiado bajos pueden desestabilizar la espuma e inhibir la evacuación de concentrados desde la columna. Por el contrario, niveles muy altos pueden producir rebales de pulpa. La siguiente tabla muestra el efecto en la recuperación, ley del concentrado y gastos, ante aumentos del nivel de pulpa.
- **Flujo de Agua de Lavado:** La función del agua de lavado es limpiar las burbujas de la espuma, para remover las partículas estériles atrapadas en ellas. Con el agua de lavado, se obtendrá efectos positivos en la calidad del concentrado, sólo cuando la causa de la baja ley sea originada por el arrastre de material en la espuma. La siguiente tabla muestra el efecto en la recuperación, ley del concentrado y costos, ante aumentos del flujo de agua de lavado.
- **pH:** El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de la pulpa. De esta variable depende la efectividad de los reactivos y el comportamiento de algunos minerales (pirita). Con la adición controlada de lechada de cal puede modificarse el pH y debe ajustarse a un valor tal que mejore la efectividad de los reactivos y deprima la pirita presente en la pulpa. Valores muy altos, aumentan los gastos y provocan pérdida

de fluidez de la espuma ("espuma apretada"). Se debe tener en cuenta que la calidad del concentrado puede mejorarse con aumentos de pH, sólo si la pérdida de calidad es causada por la presencia de pirita liberada.

La siguiente tabla presenta el efecto en la recuperación, ley del concentrado y gastos de la flotación columnar, ante aumentos en las variables manipuladas.

↑	Recuperación	Ley de Concentrado	Gastos
Flujo de Aire	↑	↓	—
Nivel de Pulpa	↑	↓	—
Agua de Lavado	—	↑	—
pH	↑	↑	↑

➤ Flotación Scavenger

El Objetivo de la Flotación Scavenger es obtener la mayor recuperación posible del flujo de relaves de columnas, que alimenta a este circuito. La única variable manipulada en la flotación scavenger es el nivel de pulpa.

- **Nivel de Pulpa:** Esta variable corresponde a la distancia (medida en pulgadas) entre el labio de la celda y la superficie de la pulpa. Permite controlar la evacuación de concentrados desde las celdas. Con bajos niveles de pulpa se restringe la evacuación, aumentando la selectividad del concentrado, pero perjudicando la recuperación, con altos niveles se obtiene el efecto inverso. Cabe señalar que niveles muy bajos desestabilizan la espuma, impidiendo su normal evacuación y niveles muy altos pueden producir rebalses de pulpa. Este último caso es especialmente grave, dado que al rebalsar pulpa, no se produce ningún tipo de separación entre el mineral de interés y las partículas estériles, además perjudica notablemente las etapas siguientes, por el ingreso de material indeseable que no posee ningún valor económico. Todo lo anterior se traduce en pérdidas de recuperación.

4. Condiciones Especiales de Flotación

Ciertos tipos de minerales que son tratados en forma ocasional, afectan significativamente la operación de la planta. A continuación se describe cada uno de estos casos, junto con las medidas de control para aminorar su efecto en los resultados del Proceso.

➤ **Mineral con Alta ley de Cu**

En esta situación la flotación puede verse saturada ante el ingreso de una mayor cantidad de cobre al circuito. Es característico, la saturación de la espuma de los tres bancos rougher, ocasionándose pérdidas en la recuperación.

Ante esta situación se sugiere:

- Aumentar la evacuación de las celdas, ajustando la dosificación de espumante en la cabeza y los traspasos
- Considerar un aumento en la dosis de colector, evaluando el efecto en la ley de cola.
- Aumentar la extracción de concentrado desde las columnas, ajustando el flujo de aire, para controlar el aumento de carga circulante (concentrado scavenger) en la limpieza.

➤ **Mineral con Alta ley de Fe**

En esta situación la flotación de minerales de Cu y Mo se ve afectada por la presencia de Pirita (FeS_2), la cual posee una mayor flotabilidad. Por lo anterior, la pirita ocupa espacio en las burbujas, impidiendo la flotación de los minerales de Cu y Mo, con la consiguiente pérdida de recuperación y baja ley del concentrado. Además debido al mayor tamaño de las partículas piritosas, el concentrado obtenido en la etapa rougher será de una granulometría más gruesa, lo que ocasionará trastornos en la Remolienda (aumento de granulometría del Overflow y aumento de carga circulante) que se traducirá en una baja calidad del concentrado final.

Ante esta situación se sugiere:

- Aumentar el pH en los circuitos de flotación, para inhibir la flotación de la pirita.
- Evaluar un aumento en la potencia de los molinos de remolienda, aumentando el nivel de bolas.
- Con esto se logrará aumentar la recuperación y mejorar la calidad del concentrado.

➤ **Mineral Oxidado/Arsenioso**

En general, los minerales con alto contenido de oxido y/o Arsénico se caracterizan por la presencia de arcillas y lamas en la pulpa. Estas ocupan área de burbujas, impidiendo la normal adherencia del mineral de Cu a las burbujas. El resultado es una pérdida de recuperación y un alto consumo de reactivos. La flotación rougher se caracteriza por una espuma liviana, especialmente en el primer banco donde se produce una gran flotación de lamas en lugar de partículas sulfuros.

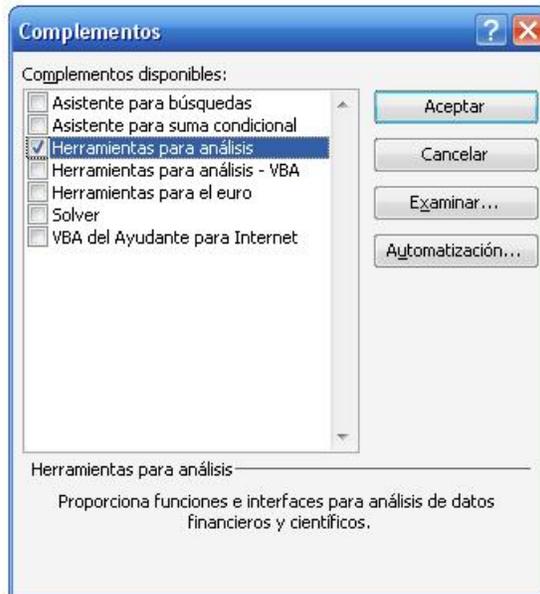
Ante esta situación se sugiere tomar las siguientes acciones: Aumentar al máximo permisible la dilución de la pulpa en el circuito Rougher, para dar espacio a la flotación de los sulfuros de cobre y molibdeno (de todas maneras habrá pérdida de recuperación en el primer banco Rougher). Aumentar la extracción de concentrado en el segundo y tercer banco para compensar la pérdida de recuperación del primer banco Rougher. Evaluar un aumento de espumante para privilegiar la extracción de mayor volumen de concentrado en el segundo y tercer banco Rougher.

Anexo D: Diagramas de Instrumentación

- DQ2010-PI-201: Celdas Prerougher y Dosificación de Reactivos
- DQ2010-PI-202: Celdas Rougher
- DQ2010-PI-203: Remolienda
- DQ2010-PI-204: Flotación Scavenger y Columnar

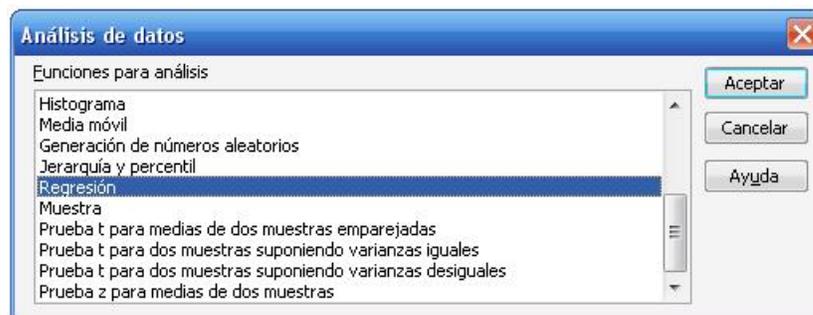
Anexo E: Uso Microsoft Excel – Análisis de Datos

Para utilizar esta herramienta es necesario activar el complemento Herramientas para Análisis, en la barra **Herramientas** seleccionamos **Complementos**.

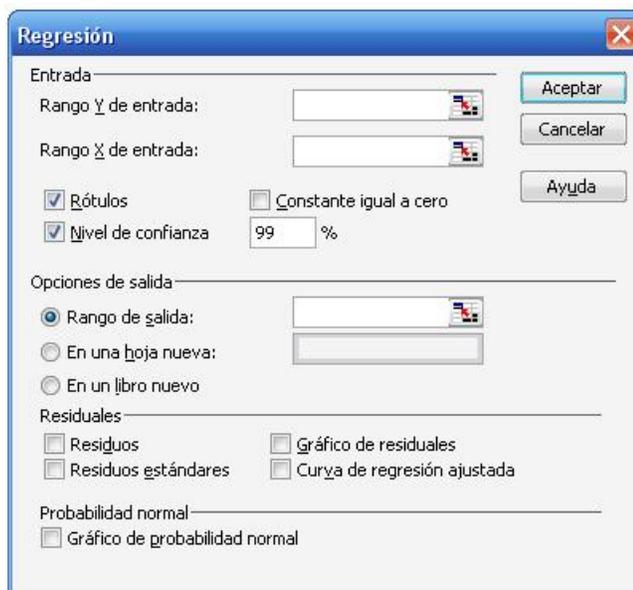


Una vez activado este complemento debemos tener en nuestro sistema ha analizar. El sistema debe puede contar hasta con 15 variables independientes, X_1 , X_2 ... X_N , y por supuesto una variable dependiente, Y , por ejemplo.

En la barra **Herramientas** seleccionamos **Análisis de datos** y ahí **Regresión**.



Ahí seleccionamos el rango donde se encuentra la variable Y, y el rango donde están las variables X. Si en la primera fila están los nombres de las variables activaremos la casilla Rótulos. Seleccionaremos un nivel de confianza del 99%, por defecto trae los niveles a un 95%. Y posteriormente, seleccionamos donde queremos que entregue los resultados.



En este caso ubicaremos los resultados en una celda de la hoja activa. Obteniéndose los siguientes resultados.

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,567
Coefficiente de determinación R ²	0,321
R ² ajustado	0,314
Error típico	3,429
Observaciones	480

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5	2639,9	528,0	44,9	6,2E-38
Residuos	474	5572,4	11,8		
Total	479	8212,4			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 99,0%</i>	<i>Superior 99,0%</i>
Intercepción	79,94	2,11	37,94	9,5E-146	75,80	84,08	74,49	85,39
Variable X 1	0,00	0,01	-0,12	9,0E-01	-0,02	0,02	-0,02	0,02
Variable X 2	3,11	0,71	4,39	1,4E-05	1,72	4,51	1,28	4,95
Variable X 3	-0,52	0,06	-8,62	1,0E-16	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Variable X 4	-0,08	0,02	-3,65	2,9E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Variable X 5	0,17	0,03	6,64	8,5E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

Como se aprecia la información que entrega es bastante completa. Se puede ver los coeficientes de regresión, errores típicos, límites de confianza, etc.

Para nuestro análisis es fundamental tomar atención a los límites de confianza, en especial al del 95%, ya que de existir una diferencia de signo entre el límite superior e inferior, la variable se descarta. De igual manera si el valor del coeficiente no corresponde al valor esperado (positivo o negativo).

Un ejemplo de lo anterior, ocurre con la Variable X_1 , sus límites al 95% difieren (-0.02, 0.02) por lo que habría que descartar esta variable.

Para este estudio, solo importarán los límites al 95%, aunque se revisen los límites al 99%.

Cabe mencionar que la presentación de algunos resultados de estos análisis se realizará mediante una tabla similar a la anterior, pero en *inglés*, y con algunas modificaciones, las cuales se señalan a continuación.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,567							
R Square	0,321							
Adjusted R Square	0,314							
SE	3,429							
Observations	480							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Signif. F</i>			
Regression	5	2639,9	528,0	44,9	6,2E-38			
Residual	474	5572,4	11,8					
Total	479	8212,4						
	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercept	79,94	2,11	37,94	9,5E-146	75,80	84,08	74,49	85,39
Variable X 1	0,00	0,01	-0,12	9,0E-01	-0,02	0,02	-0,02	0,02
Variable X 2	3,11	0,71	4,39	1,4E-05	1,72	4,51	1,28	4,95
Variable X 3	-0,52	0,06	-8,62	1,0E-16	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Variable X 4	-0,08	0,02	-3,65	2,9E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Variable X 5	0,17	0,03	6,64	8,5E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

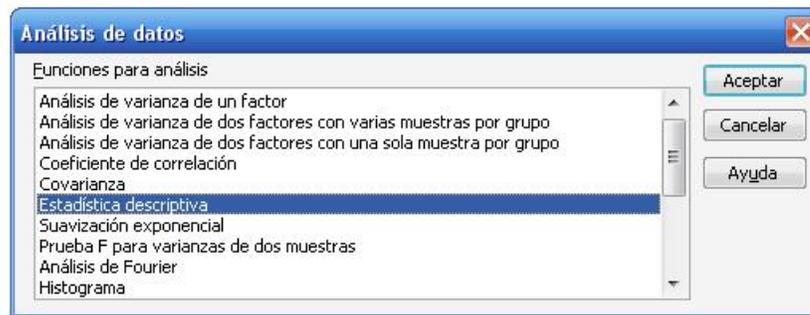
A continuación se presenta una breve descripción de cada indicador del análisis de regresión múltiple.

Indicadores Regresión Lineal Múltiple.

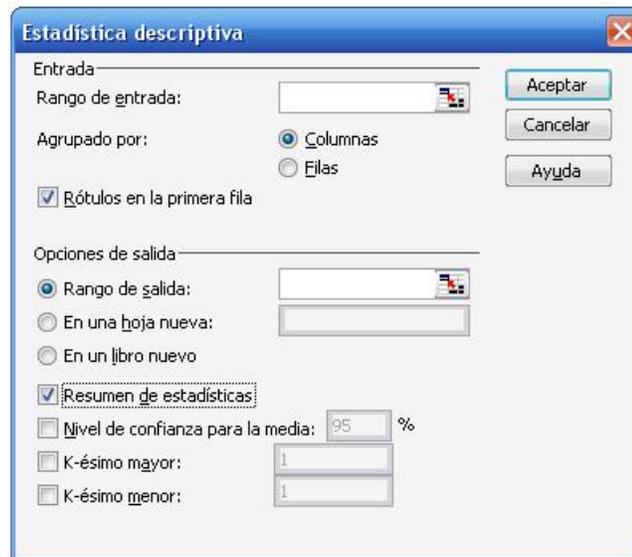
Indicador	Descripción
<i>Coefficiente de Correlación Múltiple</i>	Establece una medida del grado de asociación lineal entre la variable respuesta y la variable predictora, concretamente entre la variable respuesta y la recta de regresión estimada.
<i>Coefficiente de Determinación R^2</i>	Puede interpretarse como el porcentaje de variabilidad de Y explicada o debida a la recta de regresión.
<i>R^2 Ajustado</i>	Este coeficiente de determinación se ajusta por los grados de libertad asociados a la suma de los cuadrados, tiene como principal importancia determinar la variabilidad que es explicada por las variables explicativas, con respecto a la variable respuesta cuando se introduce una variable adicional al modelo.
<i>Error Típico</i>	Devuelve el error típico del valor de y previsto para cada x de la regresión. El error típico es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor de y para un valor individual de x.
<i>Observaciones</i>	Número de elementos que contiene la muestra en estudio
<i>Grados de Libertad</i>	Es un estimador del número de categorías independientes en un test particular o experimento estadístico.
<i>Suma de Cuadrados</i>	Corresponde al valor de la suma de los cuadrados de la diferencia de cada dato con su media, y representa la define la totalidad de los individuos o datos.
<i>Promedio de los Cuadrados</i>	Este valor se calcula a partir de de la suma de los cuadrados, y corresponde a la suma de los cuadrados dividido por el número total de individuos o datos que contiene la muestra.
<i>F</i>	Valor de una prueba F, devuelve la probabilidad de que las varianzas de 2 variables no presenten diferencias significativas. Esta función puede usarse para determinar si dos conjuntos de datos tienen diferentes grados de diversidad.
<i>Valor Crítico de F</i>	Mínimo valor de la prueba F para que el análisis sea validado.
<i>Coefficientes</i>	Indican el número de unidades en que se modifica la variable dependiente por efecto del cambio de la o las variables independientes.
<i>Error Típico</i>	El error típico es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor de Y para un valor individual de X.

<i>Estadístico t</i>	Corresponde al valor de la prueba T, y se utiliza para la determinación de las diferencias entre dos medias muestrales y para la construcción del intervalo de confianza.
<i>Probabilidad</i>	Este indicador corresponde al p-valor , el cual está definido como la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido.
<i>Inferior %</i>	Se llama intervalo de confianza a este par de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido con una determinada probabilidad de acierto. Esta probabilidad generalmente es 95% y/o 99%.
<i>Superior %</i>	

Para el cálculo de los valores estadísticos típicos, existen otra herramienta que entrega esta información, **Estadística descriptiva**, también presente en cuadro de dialogo del **Herramientas para análisis**.



Al igual que para el análisis de regresión se selecciona el rango donde se ubican los datos, se activa la casilla Resumen de estadísticas y se determina el lugar de salida de los datos.



Los resultados se entregan de la siguiente manera.

<i>Variable X 1</i>	<i>Variable X 2</i>	<i>Variable X 3</i>	<i>Variable X 4</i>
Media	200,50	Media	1,18
Error típico	4,42	Error típico	0,04
Mediana	204,29	Mediana	1,13
Moda	#N/A	Moda	1,10
Desviación estándar	21,67	Desviación estándar	0,22
Varianza de la muestra	469,46	Varianza de la muestra	0,05
Curtosis	-1,35	Curtosis	3,98
Coefficiente de asimetría	0,03	Coefficiente de asimetría	1,83
Rango	67,88	Rango	0,97
Mínimo	169,17	Mínimo	0,91
Máximo	237,05	Máximo	1,88
Suma	4811,96	Suma	28,26
Cuenta	24	Cuenta	24

Los indicadores de la figura anterior se detallan a continuación.

Indicadores Estadística Descriptiva.

Indicador	Descripción
<i>Media</i>	Es una medida de centralización (media aritmética). Corresponde al resultado de sumar todos los elementos del conjunto y dividir por el número de ellos.
<i>Error Típico</i>	Corresponde a la desviación típica de la media.
<i>Mediana</i>	Es una medida de centralización. Colocando todos los valores en orden creciente, la mediana es aquél que ocupa la posición central.
<i>Moda</i>	Es una medida de centralización. Corresponde al valor que mas se repite.

<i>Desviación Estándar</i>	Es una medida de dispersión. Representa el alejamiento de una serie de números de su valor medio.
<i>Varianza</i>	Es una medida de dispersión. Corresponde a la media de las desviaciones cuadráticas de una variable aleatoria, referidas al valor medio de esta.
<i>Curtosis</i>	La curtosis caracteriza la elevación o el achatamiento relativo de una distribución, comparada con la distribución normal. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente elevada, mientras que una curtosis negativa indica una distribución relativamente plana.
<i>Coefficiente de Simetría</i>	Esta función caracteriza el grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. La asimetría positiva indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más positivos. La asimetría negativa indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más negativos.
<i>Rango</i>	Corresponde a la referencia de datos que se analizan.
<i>Mínimo</i>	Corresponde al valor más bajo de los datos que se analizan.
<i>Máximo</i>	Corresponde al valor más alto de los datos que se analizan.
<i>Suma</i>	Corresponde a la suma de todos los valores del rango de datos.
<i>Cuenta</i>	Corresponde a la cuenta de los datos del rango de datos.

Anexo F: Análisis de Regresiones 2006 -2007

A continuación se presentan los análisis realizados mensuales, trimestrales y anuales. Los resultados se obtuvieron de una versión en inglés de *MS Excel*.

Análisis Anual 2006

SUMMARY OUTPUT		ENE-DIC 06						
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,546							
R Square	0,298							
Adjusted R Square	0,295							
SE	3,890							
Observations	1000							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>			
Regression	5	6399,6	1279,9	84,6	4,3E-74			
Residual	994	15044,4	15,1					
Total	999	21444,0						
	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	97,80	1,628	60,055	0,0E+00	94,60	100,99	93,59	102,00
D80	-0,06	0,007	-8,807	5,6E-18	-0,07	-0,05	-0,08	-0,04
LeyCuT	4,15	0,709	5,854	6,5E-09	2,76	5,54	2,32	5,98
CuOxCuT	-0,51	0,044	-11,565	4,1E-29	-0,60	-0,42	-0,62	-0,40
Colector	-0,18	0,018	-10,007	1,6E-22	-0,22	-0,15	-0,23	-0,14
Espumante	0,10	0,019	5,171	2,8E-07	0,06	0,14	0,05	0,15

Análisis Mensuales 2006

SUMMARY OUTPUT		ENE 06						
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,624							
R Square	0,390							
Adjusted R Square	0,346							
SE	3,893							
Observations	76							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>			
Regression	5	677,6	135,5	8,9	1,3E-06			
Residual	70	1060,9	15,2					
Total	75	1738,4						
	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	107,818	7,828	13,773	1,3E-21	92,21	123,43	87,09	128,55
D80	-0,059	0,026	-2,294	2,5E-02	-0,11	-0,01	-0,13	0,01
LeyCuT	-1,129	2,676	-0,422	6,7E-01	-6,47	4,21	-8,22	5,96
CuOxCuT	-0,785	0,156	-5,019	3,8E-06	-1,10	-0,47	-1,20	-0,37
Colector	-0,265	0,071	-3,725	3,9E-04	-0,41	-0,12	-0,45	-0,08
Espumante	0,041	0,088	0,463	6,4E-01	-0,13	0,22	-0,19	0,27

SUMMARY OUTPUT ENE 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,620
R Square	0,385
Adjusted R Square	0,359
SE	3,854
Observations	76

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	669,1	223,0	15,0	1,1E-07
Residual	72	1069,3	14,9		
Total	75	1738,4			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	108,407	5,539	19,570	1,5E-30	97,36	119,45	93,75	123,06
D80	-0,060	0,025	-2,345	2,2E-02	-0,11	-0,01	-0,13	0,01
CuOxCuT	-0,770	0,136	-5,656	2,9E-07	-1,04	-0,50	-1,13	-0,41
Colector	-0,279	0,068	-4,110	1,0E-04	-0,41	-0,14	-0,46	-0,10

SUMMARY OUTPUT FEB 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,582
R Square	0,339
Adjusted R Square	0,294
SE	2,040
Observations	79

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	155,9	31,2	7,5	1,0E-05
Residual	73	303,8	4,2		
Total	78	459,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	85,027	3,704	22,955	4,0E-35	77,64	92,41	75,23	94,82
D80	-0,010	0,019	-0,534	5,9E-01	-0,05	0,03	-0,06	0,04
LeyCuT	8,034	1,679	4,784	8,7E-06	4,69	11,38	3,59	12,48
CuOxCuT	-0,194	0,084	-2,314	2,3E-02	-0,36	-0,03	-0,42	0,03
Colector	-0,064	0,080	-0,806	4,2E-01	-0,22	0,09	-0,28	0,15
Espumante	-0,025	0,055	-0,460	6,5E-01	-0,13	0,08	-0,17	0,12

SUMMARY OUTPUT FEB 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,566
R Square	0,320
Adjusted R Square	0,302
SE	2,028
Observations	79

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	147,2	73,6	17,9	4,3E-07
Residual	76	312,5	4,1		
Total	78	459,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	81,130	1,733	46,819	8,4E-58	77,68	84,58	76,55	85,71
LeyCuT	7,169	1,539	4,657	1,3E-05	4,10	10,23	3,10	11,24
CuOxCuT	-0,183	0,082	-2,221	2,9E-02	-0,35	-0,02	-0,40	0,03

SUMMARY OUTPUT MAR 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,786
R Square	0,617
Adjusted R Square	0,595
SE	1,953
Observations	92

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	528,8	105,8	27,7	1,3E-16
Residual	86	328,1	3,8		
Total	91	857,0			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	91,815	3,965	23,158	1,0E-38	83,93	99,70	81,37	102,26
D80	-0,032	0,017	-1,866	6,5E-02	-0,07	0,00	-0,08	0,01
LeyCuT	9,650	1,253	7,704	2,1E-11	7,16	12,14	6,35	12,95
CuOxCuT	-0,352	0,086	-4,105	9,2E-05	-0,52	-0,18	-0,58	-0,13
Colector	-0,291	0,068	-4,274	4,9E-05	-0,43	-0,16	-0,47	-0,11
Espumante	0,096	0,056	1,704	9,2E-02	-0,02	0,21	-0,05	0,24

SUMMARY OUTPUT MAR 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,770
R Square	0,592
Adjusted R Square	0,578
SE	1,993
Observations	92

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	507,5	169,2	42,6	4,2E-17
Residual	88	349,5	4,0		
Total	91	857,0			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	87,110	1,725	50,494	9,1E-67	83,68	90,54	82,57	91,65
LeyCuT	10,183	1,254	8,120	2,6E-12	7,69	12,67	6,88	13,48
CuOxCuT	-0,365	0,086	-4,259	5,1E-05	-0,54	-0,19	-0,59	-0,14
Colector	-0,243	0,066	-3,677	4,0E-04	-0,38	-0,11	-0,42	-0,07

SUMMARY OUTPUT **ABR 06**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,577
R Square	0,333
Adjusted R Square	0,291
SE	3,800
Observations	85

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	570,3	114,1	7,9	4,5E-06
Residual	79	1140,6	14,4		
Total	84	1710,9			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	109,712	9,770	11,229	4,9E-18	90,27	129,16	83,92	135,50
D80	-0,085	0,031	-2,752	7,3E-03	-0,15	-0,02	-0,17	0,00
LeyCuT	-2,629	2,760	-0,953	3,4E-01	-8,12	2,86	-9,91	4,65
CuOxCuT	-0,739	0,151	-4,900	5,0E-06	-1,04	-0,44	-1,14	-0,34
Colector	-0,217	0,153	-1,417	1,6E-01	-0,52	0,09	-0,62	0,19
Espumante	0,201	0,100	2,006	4,8E-02	0,00	0,40	-0,06	0,46

SUMMARY OUTPUT **ABR 06**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,548
R Square	0,300
Adjusted R Square	0,274
SE	3,845
Observations	85

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	513,4	171,1	11,6	2,2E-06
Residual	81	1197,5	14,8		
Total	84	1710,9			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	95,807	6,650	14,407	4,7E-24	82,58	109,04	78,26	113,35
D80	-0,067	0,030	-2,240	2,8E-02	-0,13	-0,01	-0,15	0,01
CuOxCuT	-0,718	0,152	-4,717	9,8E-06	-1,02	-0,42	-1,12	-0,32
Espumante	0,234	0,099	2,367	2,0E-02	0,04	0,43	-0,03	0,50

SUMMARY OUTPUT MAY 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,721
R Square	0,520
Adjusted R Square	0,491
SE	2,304
Observations	87

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	466,1	93,2	17,6	9,6E-12
Residual	81	430,0	5,3		
Total	86	896,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	86,273	4,274	20,183	2,4E-33	77,77	94,78	75,00	97,55
D80	-0,025	0,015	-1,693	9,4E-02	-0,06	0,00	-0,06	0,01
LeyCuT	6,027	1,284	4,695	1,1E-05	3,47	8,58	2,64	9,41
CuOxCuT	-0,506	0,120	-4,200	6,8E-05	-0,75	-0,27	-0,82	-0,19
Colector	-0,056	0,070	-0,802	4,2E-01	-0,19	0,08	-0,24	0,13
Espumante	0,118	0,065	1,802	7,5E-02	-0,01	0,25	-0,05	0,29

SUMMARY OUTPUT MAY 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,584
R Square	0,341
Adjusted R Square	0,326
SE	2,651
Observations	87

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	306,0	153,0	21,8	2,4E-08
Residual	84	590,1	7,0		
Total	86	896,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	81,464	2,179	37,384	4,0E-54	77,13	85,80	75,72	87,21
LeyCuT	-0,641	0,133	-4,838	5,9E-06	-0,90	-0,38	-0,99	-0,29
CuOxCuT	0,301	0,063	4,805	6,7E-06	0,18	0,43	0,14	0,47

SUMMARY OUTPUT MAY 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,401
R Square	0,160
Adjusted R Square	0,151
SE	2,975
Observations	87

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	1	143,8	143,8	16,2	1,2E-04
Residual	85	752,3	8,9		
Total	86	896,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	90,273	1,322	68,265	5,0E-76	87,64	92,90	86,79	93,76
CuOxCuT	-0,598	0,148	-4,031	1,2E-04	-0,89	-0,30	-0,99	-0,21

SUMMARY OUTPUT JUN 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,338
R Square	0,114
Adjusted R Square	0,057
SE	3,234
Observations	83

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	104,1	20,8	2,0	8,9E-02
Residual	77	805,3	10,5		
Total	82	909,4			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	90,269	5,902	15,295	4,8E-25	78,52	102,02	74,68	105,86
D80	-0,040	0,022	-1,854	6,8E-02	-0,08	0,00	-0,10	0,02
LeyCuT	5,065	2,890	1,753	8,4E-02	-0,69	10,82	-2,57	12,70
CuOxCuT	-0,279	0,215	-1,295	2,0E-01	-0,71	0,15	-0,85	0,29
Colector	-0,143	0,097	-1,476	1,4E-01	-0,34	0,05	-0,40	0,11
Espumante	0,033	0,058	0,571	5,7E-01	-0,08	0,15	-0,12	0,19

SUMMARY OUTPUT JUL 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,483
R Square	0,234
Adjusted R Square	0,184
SE	3,637
Observations	83

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	310,2	62,0	4,7	8,6E-04
Residual	77	1018,4	13,2		
Total	82	1328,6			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	100,512	6,241	16,104	2,3E-26	88,08	112,94	84,03	117,00
D80	-0,092	0,024	-3,868	2,3E-04	-0,14	-0,04	-0,15	-0,03
LeyCuT	0,053	2,896	0,018	9,9E-01	-5,71	5,82	-7,60	7,70
CuOxCuT	-0,328	0,157	-2,090	4,0E-02	-0,64	-0,02	-0,74	0,09
Colector	-0,061	0,113	-0,542	5,9E-01	-0,29	0,16	-0,36	0,24
Espumante	0,071	0,072	0,982	3,3E-01	-0,07	0,22	-0,12	0,26

SUMMARY OUTPUT JUL 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,429
R Square	0,184
Adjusted R Square	0,174
SE	3,658
Observations	83

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	1	245,0	245,0	18,3	5,1E-05
Residual	81	1083,6	13,4		
Total	82	1328,6			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	98,932	4,801	20,606	5,9E-34	89,38	108,48	86,27	111,60
D80	-0,100	0,023	-4,279	5,1E-05	-0,15	-0,05	-0,16	-0,04

SUMMARY OUTPUT AGO 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,664
R Square	0,441
Adjusted R Square	0,403
SE	3,458
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	706,4	141,3	11,8	1,9E-08
Residual	75	896,9	12,0		
Total	80	1603,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	104,007	5,468	19,021	2,0E-30	93,11	114,90	89,56	118,46
D80	-0,093	0,020	-4,642	1,4E-05	-0,13	-0,05	-0,15	-0,04
LeyCuT	-1,508	3,009	-0,501	6,2E-01	-7,50	4,49	-9,46	6,44
CuOxCuT	-0,819	0,165	-4,969	4,1E-06	-1,15	-0,49	-1,25	-0,38
Colector	-0,108	0,104	-1,032	3,1E-01	-0,32	0,10	-0,38	0,17
Espumante	0,189	0,060	3,127	2,5E-03	0,07	0,31	0,03	0,35

SUMMARY OUTPUT AGO 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,638
R Square	0,407
Adjusted R Square	0,384
SE	3,514
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	652,4	217,5	17,6	8,5E-09
Residual	77	950,9	12,3		
Total	80	1603,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	97,674	4,643	21,036	1,2E-33	88,43	106,92	85,41	109,94
D80	-0,088	0,020	-4,393	3,5E-05	-0,13	-0,05	-0,14	-0,04
CuOxCuT	-0,750	0,162	-4,633	1,4E-05	-1,07	-0,43	-1,18	-0,32
Espumante	0,171	0,059	2,886	5,1E-03	0,05	0,29	0,01	0,33

SUMMARY OUTPUT

SEP 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,437
R Square	0,191
Adjusted R Square	0,138
SE	4,203
Observations	83

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	320,3	64,1	3,6	5,3E-03
Residual	77	1360,1	17,7		
Total	82	1680,5			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	89,655	9,461	9,476	1,5E-14	70,82	108,49	64,67	114,64
D80	-0,069	0,028	-2,462	1,6E-02	-0,13	-0,01	-0,14	0,01
LeyCuT	1,699	2,572	0,660	5,1E-01	-3,42	6,82	-5,09	8,49
CuOxCuT	-0,375	0,175	-2,140	3,6E-02	-0,72	-0,03	-0,84	0,09
Colector	-0,061	0,131	-0,464	6,4E-01	-0,32	0,20	-0,41	0,28
Espumante	0,177	0,101	1,746	8,5E-02	-0,02	0,38	-0,09	0,44

SUMMARY OUTPUT

SEP 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,385
R Square	0,148
Adjusted R Square	0,127
SE	4,230
Observations	83

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	248,8	124,4	7,0	1,6E-03
Residual	80	1431,7	17,9		
Total	82	1680,5			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	99,095	5,793	17,106	1,9E-28	87,57	110,62	83,81	114,38
D80	-0,089	0,026	-3,461	8,7E-04	-0,14	-0,04	-0,16	-0,02
CuOxCuT	-0,346	0,156	-2,221	2,9E-02	-0,66	-0,04	-0,76	0,07

SUMMARY OUTPUT

OCT 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,533
R Square	0,284
Adjusted R Square	0,241
SE	2,823
Observations	90

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	265,3	53,1	6,7	2,9E-05
Residual	84	669,5	8,0		
Total	89	934,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	68,979	5,900	11,692	2,6E-19	57,25	80,71	53,43	84,53
D80	0,042	0,019	2,184	3,2E-02	0,00	0,08	-0,01	0,09
LeyCuT	6,824	1,797	3,798	2,7E-04	3,25	10,40	2,09	11,56
CuOxCuT	-0,284	0,138	-2,064	4,2E-02	-0,56	-0,01	-0,65	0,08
Colector	-0,129	0,067	-1,937	5,6E-02	-0,26	0,00	-0,30	0,05
Espumante	0,113	0,060	1,886	6,3E-02	-0,01	0,23	-0,04	0,27

SUMMARY OUTPUT OCT 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,423
R Square	0,179
Adjusted R Square	0,160
SE	2,970
Observations	90

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	167,3	83,7	9,5	1,9E-04
Residual	87	767,5	8,8		
Total	89	934,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	76,352	2,810	27,174	2,8E-44	70,77	81,94	68,95	83,75
LeyCuT	5,742	1,722	3,334	1,3E-03	2,32	9,17	1,21	10,28
CuOxCuT	-0,205	0,143	-1,434	1,6E-01	-0,49	0,08	-0,58	0,17

SUMMARY OUTPUT OCT 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,400
R Square	0,160
Adjusted R Square	0,150
SE	2,988
Observations	90

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	1	149,2	149,2	16,7	9,6E-05
Residual	88	785,6	8,9		
Total	89	934,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	73,223	1,780	41,132	3,0E-59	69,68	76,76	68,54	77,91
LeyCuT	6,621	1,619	4,088	9,6E-05	3,40	9,84	2,36	10,88

SUMMARY OUTPUT NOV 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,434
R Square	0,188
Adjusted R Square	0,134
SE	2,991
Observations	80

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	153,8	30,8	3,4	7,6E-03
Residual	74	662,2	8,9		
Total	79	816,0			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	69,097	7,196	9,603	1,2E-14	54,76	83,43	50,07	88,12
D80	-0,015	0,017	-0,849	4,0E-01	-0,05	0,02	-0,06	0,03
LeyCuT	5,180	2,611	1,984	5,1E-02	-0,02	10,38	-1,72	12,08
CuOxCuT	0,340	0,117	2,907	4,8E-03	0,11	0,57	0,03	0,65
Colector	0,006	0,123	0,051	9,6E-01	-0,24	0,25	-0,32	0,33
Espumante	0,099	0,068	1,457	1,5E-01	-0,04	0,23	-0,08	0,28

SUMMARY OUTPUT

DIC 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,358
R Square	0,128
Adjusted R Square	0,070
SE	3,015
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	100,2	20,0	2,2	6,3E-02
Residual	75	681,6	9,1		
Total	80	781,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	90,190	5,613	16,068	5,4E-26	79,01	101,37	75,35	105,03
D80	-0,033	0,019	-1,695	9,4E-02	-0,07	0,01	-0,08	0,02
LeyCuT	4,930	2,415	2,041	4,5E-02	0,12	9,74	-1,45	11,31
CuOxCuT	0,053	0,155	0,340	7,3E-01	-0,26	0,36	-0,36	0,46
Colector	-0,197	0,076	-2,577	1,2E-02	-0,35	-0,04	-0,40	0,01
Espumante	0,018	0,056	0,321	7,5E-01	-0,09	0,13	-0,13	0,17

SUMMARY OUTPUT

DIC 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,301
R Square	0,090
Adjusted R Square	0,067
SE	3,020
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	70,6	35,3	3,9	2,5E-02
Residual	78	711,2	9,1		
Total	80	781,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	86,141	3,230	26,667	6,0E-41	79,71	92,57	77,61	94,67
LeyCuT	4,058	2,194	1,849	6,8E-02	-0,31	8,43	-1,74	9,85
Colector	-0,202	0,074	-2,737	7,7E-03	-0,35	-0,06	-0,40	-0,01

SUMMARY OUTPUT

DIC 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,225
R Square	0,050
Adjusted R Square	0,038
SE	3,065
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	1	39,4	39,4	4,2	4,4E-02
Residual	79	742,4	9,4		
Total	80	781,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	86,866	3,255	26,686	2,8E-41	80,39	93,35	78,27	95,46
Colector	-0,131	0,064	-2,049	4,4E-02	-0,26	0,00	-0,30	0,04

Análisis Trimestral 2006

SUMMARY OUTPUT **ENE - MAR 06**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,658
R Square	0,432
Adjusted R Square	0,421
SE	3,268
Observations	247

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	1961,8	392,4	36,7	6,6E-28
Residual	241	2574,4	10,7		
Total	246	4536,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	88,058	3,421	25,743	4,1E-71	81,32	94,80	79,18	96,94
D80	-0,016	0,014	-1,161	2,5E-01	-0,04	0,01	-0,05	0,02
LeyCuT	4,889	1,203	4,064	6,5E-05	2,52	7,26	1,77	8,01
CuOxCuT	-0,670	0,068	-9,888	1,4E-19	-0,80	-0,54	-0,85	-0,49
Colector	-0,180	0,044	-4,099	5,7E-05	-0,27	-0,09	-0,29	-0,07
Espumante	0,193	0,043	4,491	1,1E-05	0,11	0,28	0,08	0,30

SUMMARY OUTPUT **ENE-MAR 06**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,655
R Square	0,429
Adjusted R Square	0,420
SE	3,271
Observations	247

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	1947,4	486,9	45,5	1,8E-28
Residual	242	2588,8	10,7		
Total	246	4536,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	85,025	2,210	38,481	4,0E-105	80,67	89,38	79,29	90,76
LeyCuT	5,020	1,199	4,189	3,9E-05	2,66	7,38	1,91	8,13
CuOxCuT	-0,663	0,068	-9,818	2,3E-19	-0,80	-0,53	-0,84	-0,49
Colector	-0,184	0,044	-4,219	3,5E-05	-0,27	-0,10	-0,30	-0,07
Espumante	0,191	0,043	4,439	1,4E-05	0,11	0,28	0,08	0,30

SUMMARY OUTPUT ABR-JUN 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,536
R Square	0,287
Adjusted R Square	0,273
SE	3,524
Observations	255

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	1245,4	249,1	20,1	8,5E-17
Residual	249	3092,4	12,4		
Total	254	4337,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	98,279	3,941	24,938	1,2E-69	90,52	106,04	88,05	108,51
D80	-0,046	0,014	-3,315	1,1E-03	-0,07	-0,02	-0,08	-0,01
LeyCuT	4,733	1,197	3,954	1,0E-04	2,38	7,09	1,63	7,84
CuOxCuT	-0,560	0,093	-6,039	5,6E-09	-0,74	-0,38	-0,80	-0,32
Colector	-0,259	0,063	-4,141	4,7E-05	-0,38	-0,14	-0,42	-0,10
Espumante	0,095	0,043	2,211	2,8E-02	0,01	0,18	-0,02	0,21

SUMMARY OUTPUT JUL-SEP 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,514
R Square	0,265
Adjusted R Square	0,249
SE	3,780
Observations	247

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	1239,1	247,8	17,3	1,2E-14
Residual	241	3443,2	14,3		
Total	246	4682,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	101,417	3,671	27,629	1,2E-76	94,19	108,65	91,89	110,95
D80	-0,088	0,013	-6,544	3,6E-10	-0,11	-0,06	-0,12	-0,05
LeyCuT	0,161	1,509	0,107	9,2E-01	-2,81	3,13	-3,76	4,08
CuOxCuT	-0,534	0,090	-5,946	9,6E-09	-0,71	-0,36	-0,77	-0,30
Colector	-0,123	0,062	-1,988	4,8E-02	-0,25	0,00	-0,28	0,04
Espumante	0,126	0,040	3,108	2,1E-03	0,05	0,21	0,02	0,23

SUMMARY OUTPUT JUL-SEP 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,514
R Square	0,265
Adjusted R Square	0,252
SE	3,772
Observations	247

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	1238,9	309,7	21,8	2,3E-15
Residual	242	3443,4	14,2		
Total	246	4682,3			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	101,506	3,568	28,450	3,8E-79	94,48	108,53	92,24	110,77
D80	-0,088	0,013	-6,771	9,6E-11	-0,11	-0,06	-0,12	-0,05
CuOxCuT	-0,535	0,089	-6,003	7,1E-09	-0,71	-0,36	-0,77	-0,30
Colector	-0,119	0,050	-2,375	1,8E-02	-0,22	-0,02	-0,25	0,01
Espumante	0,126	0,040	3,113	2,1E-03	0,05	0,21	0,02	0,23

SUMMARY OUTPUT

OCT - DIC 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,295
R Square	0,087
Adjusted R Square	0,068
SE	3,074
Observations	251

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	219,9	44,0	4,7	4,5E-04
Residual	245	2314,8	9,4		
Total	250	2534,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	80,460	3,321	24,230	5,4E-67	73,92	87,00	71,84	89,08
D80	-0,017	0,011	-1,559	1,2E-01	-0,04	0,00	-0,04	0,01
LeyCuT	5,302	1,280	4,141	4,8E-05	2,78	7,82	1,98	8,63
CuOxCuT	0,111	0,078	1,420	1,6E-01	-0,04	0,27	-0,09	0,31
Colector	-0,090	0,043	-2,096	3,7E-02	-0,18	-0,01	-0,20	0,02
Espumante	0,008	0,029	0,278	7,8E-01	-0,05	0,07	-0,07	0,08

SUMMARY OUTPUT

OCT - DIC 06

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,264
R Square	0,069
Adjusted R Square	0,062
SE	3,084
Observations	251

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	176,1	88,0	9,3	1,3E-04
Residual	248	2358,7	9,5		
Total	250	2534,8			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	79,139	1,784	44,363	6,1E-120	75,63	82,65	74,51	83,77
LeyCuT	4,818	1,150	4,188	3,9E-05	2,55	7,08	1,83	7,80
Colector	-0,089	0,038	-2,369	1,9E-02	-0,16	-0,02	-0,19	0,01

Análisis Anual 2007

SUMMARY OUTPUT ENE-JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,567
R Square	0,321
Adjusted R Square	0,314
SE	3,429
Observations	480

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	2639,9	528,0	44,9	6,2E-38
Residual	474	5572,4	11,8		
Total	479	8212,4			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	79,94	2,107	37,944	9,5E-146	75,80	84,08	74,49	85,39
D80	-0,001	0,008	-0,123	9,0E-01	-0,02	0,02	-0,02	0,02
LeyCuT	3,11	0,710	4,385	1,4E-05	1,72	4,51	1,28	4,95
CuOxCuT	-0,52	0,060	-8,620	1,0E-16	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Colector	-0,08	0,022	-3,651	2,9E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Espumante	0,17	0,025	6,642	8,5E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

SUMMARY OUTPUT ENE-JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,567
R Square	0,321
Adjusted R Square	0,316
SE	3,425
Observations	480

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	2639,8	659,9	56,3	7,8E-39
Residual	475	5572,6	11,7		
Total	479	8212,4			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	79,74	1,375	58,015	1,0E-217	77,04	82,45	76,19	83,30
LeyCuT	3,12	0,704	4,438	1,1E-05	1,74	4,51	1,30	4,94
CuOxCuT	-0,52	0,060	-8,632	9,2E-17	-0,63	-0,40	-0,67	-0,36
Colector	-0,08	0,022	-3,692	2,5E-04	-0,12	-0,04	-0,14	-0,02
Espumante	0,17	0,025	6,704	5,8E-11	0,12	0,22	0,10	0,23

Análisis Mensuales 2007

SUMMARY OUTPUT ENE 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,536
R Square	0,288
Adjusted R Square	0,242
SE	3,166
Observations	84

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	315,8	63,2	6,3	5,8E-05
Residual	78	781,7	10,0		
Total	83	1097,5			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	81,750	5,287	15,463	1,8E-25	71,22	92,28	67,79	95,71
D80	0,004	0,018	0,246	8,1E-01	-0,03	0,04	-0,04	0,05
LeyCuT	2,445	2,157	1,133	2,6E-01	-1,85	6,74	-3,25	8,14
CuOxCuT	-0,663	0,147	-4,512	2,2E-05	-0,96	-0,37	-1,05	-0,27
Colector	-0,093	0,052	-1,788	7,8E-02	-0,20	0,01	-0,23	0,04
Espumante	0,196	0,122	1,610	1,1E-01	-0,05	0,44	-0,13	0,52

SUMMARY OUTPUT ENE 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,488
R Square	0,238
Adjusted R Square	0,229
SE	3,193
Observations	84

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	1	261,5	261,5	25,7	2,5E-06
Residual	82	836,0	10,2		
Total	83	1097,5			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	85,285	1,451	58,759	8,6E-69	82,40	88,17	81,46	89,11
CuOxCuT	-0,688	0,136	-5,065	2,5E-06	-0,96	-0,42	-1,05	-0,33

SUMMARY OUTPUT FEB 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,840
R Square	0,706
Adjusted R Square	0,683
SE	2,930
Observations	71

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	1336,9	267,4	31,1	4,9E-16
Residual	65	558,0	8,6		
Total	70	1894,9			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	81,436	5,435	14,983	9,2E-23	70,58	92,29	67,01	95,86
D80	-0,034	0,019	-1,792	7,8E-02	-0,07	0,00	-0,08	0,02
LeyCuT	7,934	2,085	3,805	3,2E-04	3,77	12,10	2,40	13,47
CuOxCuT	-0,668	0,126	-5,282	1,6E-06	-0,92	-0,42	-1,00	-0,33
Colector	-0,131	0,080	-1,646	1,0E-01	-0,29	0,03	-0,34	0,08
Espumante	0,302	0,057	5,281	1,6E-06	0,19	0,42	0,15	0,45

SUMMARY OUTPUT FEB 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,826
R Square	0,682
Adjusted R Square	0,668
SE	2,998
Observations	71

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	1292,7	430,9	47,9	1,2E-16
Residual	67	602,2	9,0		
Total	70	1894,9			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	70,669	2,569	27,509	3,2E-38	65,54	75,80	63,86	77,48
LeyCuT	7,520	2,119	3,548	7,1E-04	3,29	11,75	1,90	13,14
CuOxCuT	-0,694	0,122	-5,678	3,2E-07	-0,94	-0,45	-1,02	-0,37
Espumante	0,275	0,057	4,836	8,1E-06	0,16	0,39	0,12	0,43

SUMMARY OUTPUT MAR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,518
R Square	0,268
Adjusted R Square	0,224
SE	3,340
Observations	90

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	342,9	68,6	6,1	6,7E-05
Residual	84	937,2	11,2		
Total	89	1280,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	78,316	5,240	14,946	2,2E-25	67,90	88,74	64,51	92,13
D80	-0,013	0,023	-0,556	5,8E-01	-0,06	0,03	-0,07	0,05
LeyCuT	5,548	1,842	3,011	3,4E-03	1,88	9,21	0,69	10,40
CuOxCuT	-0,413	0,130	-3,167	2,1E-03	-0,67	-0,15	-0,76	-0,07
Colector	-0,149	0,060	-2,463	1,6E-02	-0,27	-0,03	-0,31	0,01
Espumante	0,256	0,069	3,709	3,7E-04	0,12	0,39	0,07	0,44

SUMMARY OUTPUT MAR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,515
R Square	0,265
Adjusted R Square	0,231
SE	3,327
Observations	90

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	339,4	84,9	7,7	2,5E-05
Residual	85	940,7	11,1		
Total	89	1280,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	76,006	3,177	23,927	1,6E-39	69,69	82,32	67,64	84,38
LeyCuT	5,765	1,793	3,215	1,8E-03	2,20	9,33	1,04	10,49
CuOxCuT	-0,411	0,130	-3,165	2,2E-03	-0,67	-0,15	-0,75	-0,07
Colector	-0,154	0,060	-2,580	1,2E-02	-0,27	-0,04	-0,31	0,00
Espumante	0,246	0,066	3,702	3,8E-04	0,11	0,38	0,07	0,42

SUMMARY OUTPUT ABR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,589
R Square	0,347
Adjusted R Square	0,307
SE	3,497
Observations	87

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	526,9	105,4	8,6	1,4E-06
Residual	81	990,8	12,2		
Total	86	1517,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	76,749	6,291	12,200	5,0E-20	64,23	89,27	60,15	93,34
D80	0,020	0,021	0,937	3,5E-01	-0,02	0,06	-0,04	0,07
LeyCuT	5,433	1,821	2,983	3,8E-03	1,81	9,06	0,63	10,24
CuOxCuT	-0,456	0,165	-2,762	7,1E-03	-0,78	-0,13	-0,89	-0,02
Colector	-0,071	0,119	-0,595	5,5E-01	-0,31	0,17	-0,39	0,24
Espumante	0,067	0,070	0,954	3,4E-01	-0,07	0,21	-0,12	0,25

SUMMARY OUTPUT ABR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,570
R Square	0,325
Adjusted R Square	0,309
SE	3,492
Observations	87

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	493,7	246,8	20,2	6,7E-08
Residual	84	1024,0	12,2		
Total	86	1517,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	79,641	3,032	26,269	2,8E-42	73,61	85,67	71,65	87,63
LeyCuT	5,656	1,663	3,401	1,0E-03	2,35	8,96	1,27	10,04
CuOxCuT	-0,445	0,164	-2,714	8,1E-03	-0,77	-0,12	-0,88	-0,01

SUMMARY OUTPUT MAY 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,692
R Square	0,479
Adjusted R Square	0,444
SE	2,650
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	484,1	96,8	13,8	1,5E-09
Residual	75	526,6	7,0		
Total	80	1010,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	84,430	3,897	21,666	5,1E-34	76,67	92,19	74,13	94,73
D80	-0,014	0,015	-0,956	3,4E-01	-0,04	0,02	-0,05	0,03
LeyCuT	7,008	1,268	5,529	4,5E-07	4,48	9,53	3,66	10,36
CuOxCuT	-0,337	0,128	-2,639	1,0E-02	-0,59	-0,08	-0,67	0,00
Colector	-0,267	0,077	-3,495	8,0E-04	-0,42	-0,11	-0,47	-0,07
Espumante	0,088	0,053	1,667	1,0E-01	-0,02	0,19	-0,05	0,23

SUMMARY OUTPUT MAY 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,677
R Square	0,458
Adjusted R Square	0,437
SE	2,666
Observations	81

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	3	463,2	154,4	21,7	2,7E-10
Residual	77	547,5	7,1		
Total	80	1010,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	82,599	2,550	32,394	1,3E-46	77,52	87,68	75,86	89,33
LeyCuT	7,745	1,196	6,477	8,0E-09	5,36	10,13	4,59	10,90
CuOxCuT	-0,335	0,128	-2,612	1,1E-02	-0,59	-0,08	-0,67	0,004
Colector	-0,242	0,076	-3,209	1,9E-03	-0,39	-0,09	-0,44	-0,04

SUMMARY OUTPUT JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,543
R Square	0,295
Adjusted R Square	0,237
SE	3,258
Observations	67

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	5	270,7	54,1	5,1	5,7E-04
Residual	61	647,5	10,6		
Total	66	918,2			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	84,791	6,891	12,304	3,6E-18	71,01	98,57	66,47	103,11
D80	0,050	0,028	1,810	7,5E-02	-0,01	0,11	-0,02	0,12
LeyCuT	-3,637	2,194	-1,658	1,0E-01	-8,02	0,75	-9,47	2,20
CuOxCuT	-0,437	0,152	-2,872	5,6E-03	-0,74	-0,13	-0,84	-0,03
Colector	-0,238	0,110	-2,163	3,5E-02	-0,46	-0,02	-0,53	0,05
Espumante	0,055	0,070	0,794	4,3E-01	-0,08	0,20	-0,13	0,24

SUMMARY OUTPUT JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,419
R Square	0,175
Adjusted R Square	0,150
SE	3,439
Observations	67

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	2	161,1	80,6	6,8	2,1E-03
Residual	64	757,1	11,8		
Total	66	918,2			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	91,990	3,939	23,356	5,0E-33	84,12	99,86	81,53	102,45
CuOxCuT	-0,362	0,155	-2,336	2,3E-02	-0,67	-0,05	-0,77	0,05
Colector	-0,257	0,101	-2,551	1,3E-02	-0,46	-0,06	-0,52	0,01

Análisis Trimestral 2007

SUMMARY OUTPUT ENE-MAR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,650
R Square	0,423
Adjusted R Square	0,411
SE	3,259
Observations	245

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	1860,7	372,1	35,0	8,1E-27
Residual	239	2538,0	10,6		
Total	244	4398,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	79,191	2,951	26,834	4,6E-74	73,38	85,00	71,53	86,85
D80	-0,008	0,011	-0,742	4,6E-01	-0,03	0,01	-0,04	0,02
LeyCuT	4,184	1,093	3,829	1,6E-04	2,03	6,34	1,35	7,02
CuOxCuT	-0,589	0,076	-7,721	3,2E-13	-0,74	-0,44	-0,79	-0,39
Colector	-0,068	0,027	-2,516	1,3E-02	-0,12	-0,01	-0,14	0,00
Espumante	0,229	0,034	6,799	8,4E-11	0,16	0,30	0,14	0,32

SUMMARY OUTPUT ENE-MAR 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,649
R Square	0,422
Adjusted R Square	0,412
SE	3,256
Observations	245

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	1854,8	463,7	43,7	1,5E-27
Residual	240	2543,9	10,6		
Total	244	4398,7			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	77,474	1,832	42,297	3,1E-113	73,87	81,08	72,72	82,23
LeyCuT	4,268	1,086	3,931	1,1E-04	2,13	6,41	1,45	7,09
CuOxCuT	-0,585	0,076	-7,695	3,7E-13	-0,74	-0,44	-0,78	-0,39
Colector	-0,070	0,027	-2,574	1,1E-02	-0,12	-0,02	-0,14	0,001
Espumante	0,227	0,034	6,767	1,0E-10	0,16	0,29	0,14	0,31

SUMMARY OUTPUT ABR-JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,478
R Square	0,228
Adjusted R Square	0,211
SE	3,505
Observations	235

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	5	832,1	166,4	13,5	1,4E-11
Residual	229	2814,0	12,3		
Total	234	3646,1			

	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	82,708	3,218	25,705	2,0E-69	76,37	89,05	74,35	91,07
D80	0,006	0,012	0,519	6,0E-01	-0,02	0,03	-0,03	0,04
LeyCuT	3,537	1,037	3,410	7,7E-04	1,49	5,58	0,84	6,23
CuOxCuT	-0,190	0,058	-3,290	1,2E-03	-0,30	-0,08	-0,34	-0,04
Colector	-0,420	0,094	-4,461	1,3E-05	-0,61	-0,23	-0,66	-0,18
Espumante	0,103	0,038	2,678	7,9E-03	0,03	0,18	0,00	0,20

SUMMARY OUTPUT

ABR-JUN 07

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,477
R Square	0,227
Adjusted R Square	0,214
SE	3,500
Observations	235

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>SF</i>
Regression	4	828,8	207,2	16,9	3,6E-12
Residual	230	2817,3	12,2		
Total	234	3646,1			

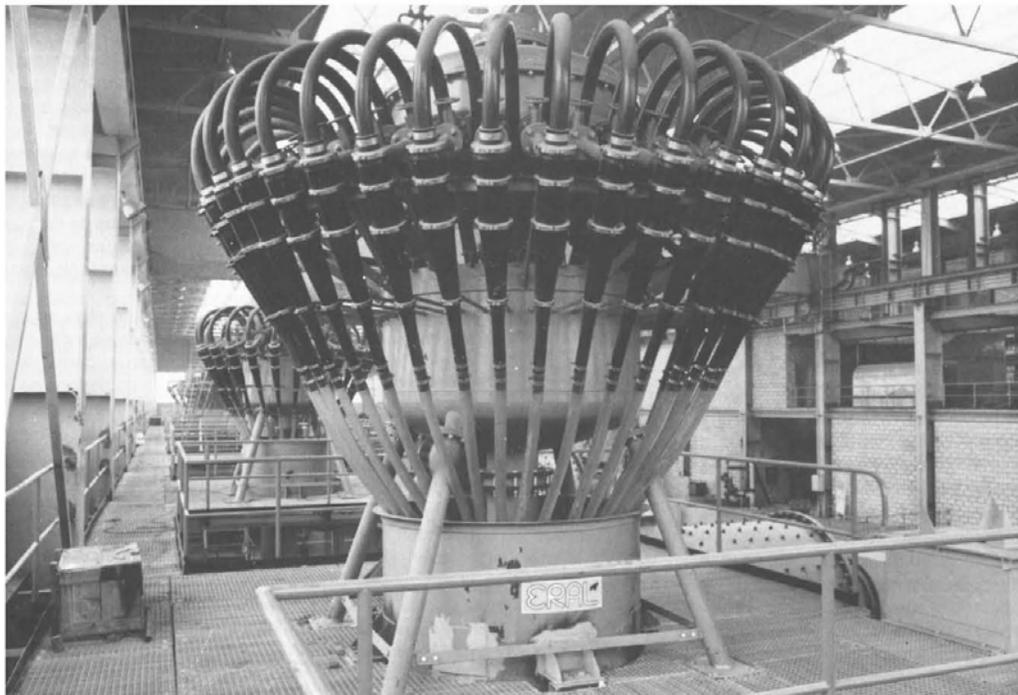
	<i>Coef</i>	<i>SE</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 99.0%</i>	<i>Upper 99.0%</i>
Intercepto	83,911	2,227	37,682	2,2E-100	79,52	88,30	78,13	89,69
LeyCuT	3,513	1,034	3,396	8,1E-04	1,47	5,55	0,83	6,20
CuOxCuT	-0,191	0,058	-3,308	1,1E-03	-0,30	-0,08	-0,34	-0,04
Colector	-0,421	0,094	-4,489	1,1E-05	-0,61	-0,24	-0,67	-0,18
Espumante	0,107	0,037	2,862	4,6E-03	0,03	0,18	0,01	0,20

Anexo G: Eficiencia en Hidrociclones

EQUIPOS DE PROCESOS

EFICIENCIA EN HIDROCICLONES

JUAN LUIS BOUSO ARAGONES
PRESIDENTE DE ERAL, EQUIPOS Y PROCESOS, S.A.



INDICE

1.- Nomenclatura

2.- Parámetros de Reparto

- 2.1 Reparto de sólido
- 2.2 Reparto de pulpa
- 2.3 Reparto de líquido

3.- Flujo Muerto, Cortocircuito o By-Pass.

4.- Contenido de Finos en Gruesos

5.- Eficiencias

1. NOMENCLATURA

Para mejor conocer la operación de un hidrociclón, los técnicos hemos establecido una serie de parámetros que nos permiten definir su comportamiento.

Es de todos conocido que en una operación normal la mayor parte del sólido es descargada por el vértice inferior, mientras que la mayor parte del líquido es evacuada por el conducto de rebose superior.

En la literatura de habla inglesa, las corrientes de alimentación, descarga y rebose se denominan feed (F), under-

flow (U) y overflow (O) y en la literatura alemana zulauf, unterlauf y uberlauf (Z, Un, Ub) respectivamente. Al mismo tiempo la corriente de descarga underflow debería llevar las partículas gruesas (G) y la corriente de rebose/overflow las partículas finas (F).

Para evitar confusiones entre alimentación (Feed en Inglés) y la corriente de finos (Fine en Inglés) el autor prefiere emplear los sufijos Z, G y F para determinar cualquier parámetro relativo a las corrientes de alimentación, gruesos y finos respectivamente.

En cualquier operación de un hidrociclón podríamos establecer el

EQUIPOS DE PROCESOS

esquema mostrado en la Figura 1.

Siendo:
 γ_s : Densidad específica del sólido.
 T_i : Masa en t/h de sólido seco.
 M_i : Volumen en m³/h de pulpa.
 l_i : Volumen en m³/h líquido.
 J_i : Concentración de sólidos expresada como gramos de sólido seco por litro de pulpa, es decir $J_i = T_i \cdot 106 / M_i \cdot 103$.

2. PARAMETROS DE REPARTO

Definiremos los siguientes parámetros:

a) Reparto de sólidos (THETA)

$$\Theta = \frac{T_G}{T_Z}$$

Relación de masa de sólidos de alimentación que es descargada por la corriente de gruesos.

b) Reparto de pulpa (ALFA)

$$\alpha = \frac{M_F}{M_Z}$$

Relación de volumen de pulpa de alimentación que es evacuado por la corriente de finos.

c) Reparto de líquido (TAU)

$$\tau = \frac{L_F}{L_Z}$$

Relación de volumen de líquido de alimentación que es evacuado por la corriente de finos.

Como quiera que en una operación normal resulta prácticamente imposible cuantificar las masas de sólido o volúmenes de pulpa, en las diferentes corrientes de hidrociclón, resulta interesante desarrollar un método de cálculo de los parámetros anteriormente definidos, en base a las concentraciones de sólidos, las cuales pueden ser determinadas fácilmente mediante toma de muestras.

2.1 Reparto de sólido (THETA)

En cualquier separación pueden

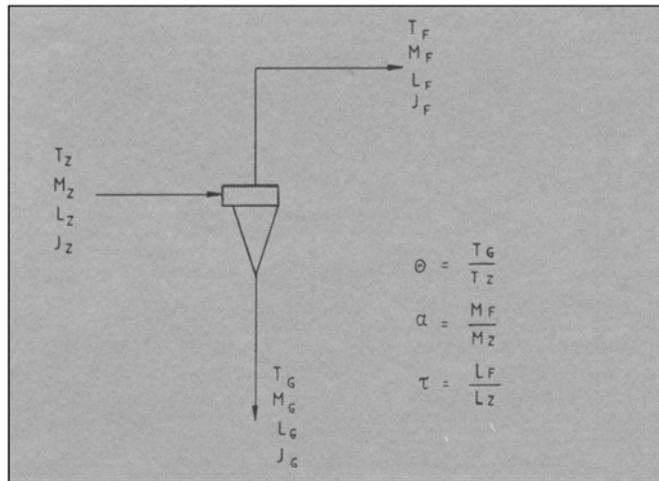


FIGURA 1.- Balance de hidrociclón.

establecerse las siguientes ecuaciones:

$$T_Z = T_G + T_F \quad (1)$$

$$M_Z = M_G + M_F \quad (2)$$

Como quiera que

$$M_i = \frac{T_i \cdot 10^3}{J_i} \quad (3),$$

reemplazado en la ecuación (2)

$$\frac{T_Z \cdot 10^3}{J_Z} = \frac{T_G \cdot 10^3}{J_G} + \frac{T_F \cdot 10^3}{J_F} \quad (4)$$

de la ecuación (1) podemos despejar $T_F = T_Z - T_G$ y reemplazando en (4)

$$\frac{T_Z}{J_Z} = \frac{T_G}{J_G} + \frac{T_Z - T_G}{J_F} - \frac{T_G}{J_F}$$

$$T_G \left(\frac{1}{J_F} - \frac{1}{J_G} \right) = T_Z \left(\frac{1}{J_F} - \frac{1}{J_Z} \right)$$

$$T_G \left(\frac{J_G - J_F}{J_G \cdot J_F} \right) = T_Z \left(\frac{J_Z - J_F}{J_F \cdot J_Z} \right)$$

$$\frac{T_G}{T_Z} = \Theta = \frac{J_Z - J_F}{J_G - J_F} \cdot \frac{J_G \cdot J_F}{J_F \cdot J_Z}$$

$$\Theta = \frac{J_Z - J_F}{J_G - J_F} \cdot \frac{J_G}{J_Z} \quad (5)$$

Si denominamos a

$$\frac{J_G}{J_Z}$$

como factor de espesado E podríamos establecer también:

$$\Theta = \frac{J_Z - J_F}{J_G - J_F} \cdot \epsilon \quad (6); \quad \epsilon = \frac{J_G}{J_Z} \quad (7)$$

2.2 Reparto de pulpa (ALFA)

Volvemos a la ecuación (1)

$$T_Z = T_G + T_F \quad (1)$$

teniendo en cuenta la ecuación (3)

$$T_i = \frac{M_i \cdot J_i}{10^3} \quad (8)$$

EQUIPOS DE PROCESOS

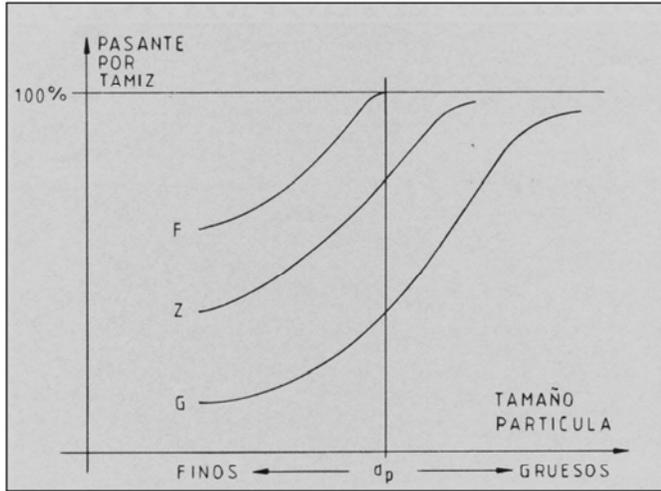


FIGURA 2.- Curvas R-R-B.

podemos reemplazar en la ecuación (1)

$$\frac{M_z \cdot J_z}{10^3} = \frac{M_o \cdot J_o}{10^3} + \frac{M_f \cdot J_f}{10^3} \quad (9)$$

De la ecuación (2) podemos despejar $M_o = M_z - M_f$ y reemplazar en (9)

$$M_z \cdot J_z = M_z \cdot J_o - M_f \cdot J_o + M_f \cdot J_f$$

$$M_f (J_o - J_f) = M_z (J_o - J_z)$$

$$\frac{M_f}{M_z} = \frac{J_o - J_z}{J_o - J_f} = \alpha$$

$$\alpha = \frac{J_o - J_z}{J_o - J_f} \quad (10)$$

2.3 Reparto de líquido (TAU)

En cualquier corriente puede establecerse

$$L_i = M_i - \frac{T_i}{\gamma_s}$$

reemplazando con la ecuación (8)

$$L_i = M_i - \frac{M_i \cdot J_i}{\gamma_s} = M_i \cdot \left(1 - \frac{J_i}{\gamma_s} \right)$$

$$L_i = M_i \left(\frac{\gamma_s - J_i}{\gamma_s} \right)$$

Como establecimos antes

$$\tau = \frac{L_F}{L_Z} = \frac{\left(\frac{M_F \left(\frac{\gamma_s - J_F}{\gamma_s} \right)}{\right)}{\left(\frac{M_Z \left(\frac{\gamma_s - J_Z}{\gamma_s} \right)}{\right)} =$$

$$= \frac{M_F \left(\frac{\gamma_s - J_F}{\gamma_s} \right)}{M_Z \left(\frac{\gamma_s - J_Z}{\gamma_s} \right)}$$

$$\tau = \alpha \cdot \frac{(\gamma_s - J_F)}{(\gamma_s - J_Z)} \quad (11)$$

$$\tau = \frac{J_G - J_Z}{J_G - J_F} \cdot \frac{(\gamma_s - J_F)}{(\gamma_s - J_Z)} \quad (12)$$

Del estudio de estas ecuaciones (5),
(1 0) y (1 1)

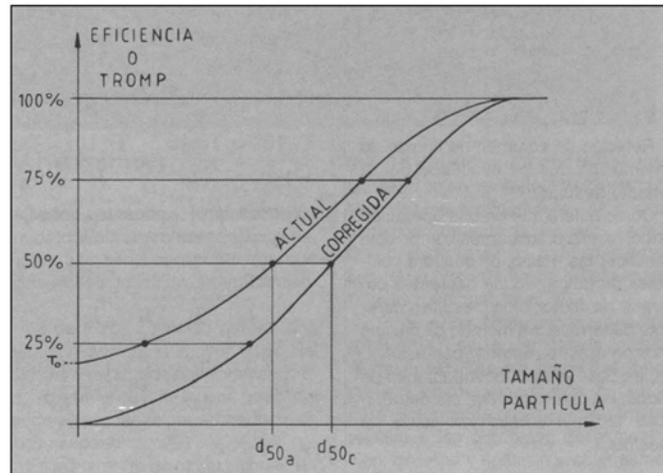


FIGURA 3.- Curva de Eficiencia.

EQUIPOS DE PROCESOS

$$\Theta = \frac{J_z - J_f}{J_G - J_f} \cdot \frac{J_G}{J_z} \quad (5) \quad (1 - \Theta) = \frac{J_G - J_z}{J_G - J_f} \cdot \frac{J_f}{J_z} \quad (5.1) \quad (1 - \Theta) = \alpha \cdot \frac{J_f}{J_z} \quad (5.2)$$

$$\alpha = \frac{J_G - J_z}{J_G - J_f} \quad (10) \quad (1 - \alpha) = \frac{J_z - J_f}{J_G - J_f} \quad (10.1)$$

$$\tau = \alpha \cdot \frac{(\gamma_s - J_f)}{(\gamma_s - J_z)} \quad (11) \quad (1 - \tau) = (1 - \alpha) \cdot \frac{(\gamma_s - J_G)}{(\gamma_s - J_z)} \quad (11.1)$$

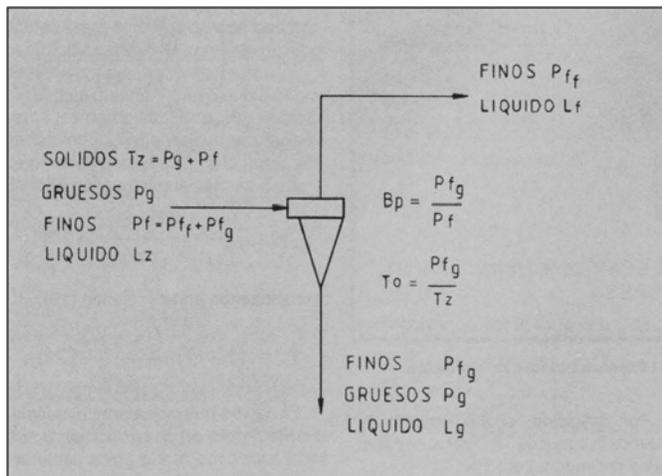


FIGURA 4.- Balance de finos.

puede verse claramente que conociendo las concentraciones de sólidos en las tres corrientes del hidrociclón puede establecerse los balances de masa y volumen sin precisarse medida alguna de dichos valores, y esto resulta sumamente valioso cuando evaluamos operaciones de gran volumen, por ejemplo circuitos de molienda, donde resulta de todo modo imposible tomar una muestra total de cualquiera de las corrientes.

Siguiendo más adelante con el conocimiento de la operación de un hidrociclón o cualquier otro equipo de separación; los parámetros estudiados

nos permitirían conocer algún otro parámetro mucho más "etéreo".

3. FLUJO MUERTO, CORTOCIRCUITO O BY-PASS

El proceso de separación en un hidrociclón puede representarse gráficamente mediante el trazado de las distribuciones granulométricas de los tres productos: alimentación, finos y gruesos según un gráfico R.R.B. (Rossin, Rammler, Bennet) y con el trazado de

las eficiencias diferenciales o curva de Tromp, recogidos en las figuras 2 y 3.

Según el gráfico R.R.B. de la figura 2 hay un tamaño de partícula d tal que las partículas superiores a dicho tamaño estarán todas en la corriente de gruesos. Llamamos P_G a la masa de partículas superiores a ese tamaño que hay en la corriente de alimentación (gruesos) y P_F a la masa de partículas menores al tamaño d_p que hay en la alimentación (finos), pudiendo establecer la siguiente ecuación:

$$T_z = P_G + P_F \quad (14)$$

Como acabamos de mencionar la masa de partículas gruesas representadas por el valor P_G estará íntegramente en la corriente de gruesos, mientras que la masa de partículas finas P_F estará dividida entre la corriente de finos P_{FF} , y la corriente de gruesos P_{FG} , pudiendo entonces establecer las siguientes ecuaciones:

$$P_F = P_{FF} + P_{FG} \quad (15)$$

$$T_f = P_{FF} \quad (16)$$

$$T_G = P_G + P_{FG} \quad (17)$$

Un gran número de estudiosos, y sin citar nombres que estarán en la mente de casi todos los técnicos, mantiene la hipótesis de que el inevitable by-pass de finos a la descarga, con respecto a la alimentación, también llamado cortocircuito tendría el mismo valor que

EQUIPOS DE PROCESOS

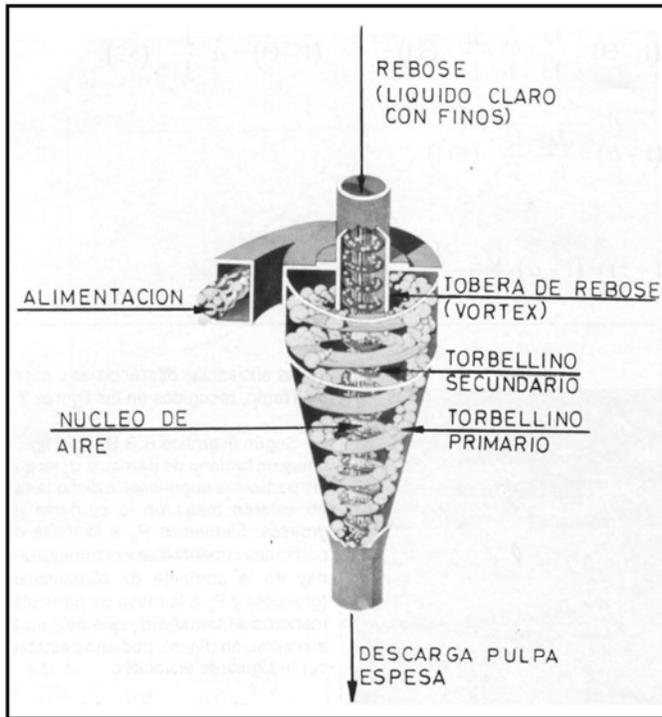


FIGURA 5.- Representación esquemática del funcionamiento de un ciclón.

el reparto de líquido a la descarga, es decir:

$$B_p = \frac{L_G}{L_Z} = \frac{L_Z - L_F}{L_Z} = 1 - \frac{L_F}{L_Z} = 1 - \tau$$

$$B_p = (1 - \tau)$$

Según esta hipótesis el reparto de las partículas finas menores al tamaño d_p será proporcional al reparto de líquido, es decir, según se muestra en la figura 4:

$$\frac{P_{FG}}{P_F} = \frac{L_G}{L_Z} = \frac{L_Z - L_F}{L_Z} = (1 - \tau)$$

de donde

$$P_{FG} = P_F (1 - \tau) \quad (18)$$

Por definición, el flujo muerto T_o (valor de la curva de TROM P al cortar al eje de ordenadas) es:

$$T_o = \frac{P_{FG}}{T_Z} = \frac{P_F}{T_Z} \cdot (1 - \tau) \quad (19)$$

Desarrollando la expresión del reparto de peso

$$\Theta = \frac{T_G}{T_Z}$$

reemplazando con las ecuaciones (17) y (14)

$$\Theta = \frac{P_G + P_{FG}}{P_G + P_F}$$

nuevamente reemplazando el término de la ecuación (18)

$$\Theta = \frac{P_G + P_F (1 - \tau)}{P_G + P_F}$$

$$\Theta \cdot P_G + \Theta \cdot P_F = P_G + P_F (1 - \tau)$$

$$P_F (\Theta - 1 + \tau) = P_G (1 - \Theta)$$

$$P_G = P_F \cdot \frac{(\Theta - 1 + \tau)}{(1 - \Theta)}$$

reemplazando en la ecuación (14)

$$T_Z = P_F + P_F \left(\frac{\Theta - 1 + \tau}{(1 - \Theta)} \right)$$

$$T_Z = P_F \left(\frac{1 - \Theta + \Theta - 1 + \tau}{(1 - \Theta)} \right)$$

$$T_Z = P_F \cdot \frac{\tau}{(1 - \Theta)}$$

$$o \quad \frac{P_F}{T_Z} = \frac{(1 - \Theta)}{\tau} \quad (20)$$

reemplazando en la ecuación (19)

$$T_o = (1 - \Theta) \cdot \frac{(1 - \tau)}{\tau} \quad (21)$$

Ecuación que nos permite calcular el cortocircuito en un hidrociclón u otro separador conociendo únicamente las concentraciones de sólido.

Merece la pena insistir en la diferencia enorme entre el concepto de By-Pass o cortocircuito B_p y el flujo muerto T_o :

La hipótesis supuesta establece que el by-pass tiene el valor del reparto del líquido, pues se basa en que las partículas "ultrafinas", P_F , van "disueltas" en el líquido portante de las partículas sólidas, por lo cual se reparten proporcionalmente al reparto del líquido, es decir:

$$B_p = \frac{P_{FG}}{P_F} = (1 - \tau)$$

En nuestra opinión, esto resulta coherente con el fenómeno que acontece en el interior del hidrociclón, figura 5.

EQUIPOS DE PROCESOS

Es en el vértice del ciclón donde justamente se produce la descarga de la corriente de gruesos a través de la boquilla (apex). Aquí se inicia la principal corriente de separación conocida como torbellino primario que ascendiendo alrededor del núcleo de aire central, arrastra las partículas finas que finalmente son evacuadas por la tobera de rebose superior (vortex finder).

En este punto concreto coinciden las dos corrientes creadas en el hidrociclón, el torbellino exterior secundario descendente y el torbellino interior primario ascendente.

El líquido, por tanto partículas "ultrafinas", que lamentablemente "se escapa" con la corriente de gruesos no es líquido claro sino líquido con una concentración similar a la corriente de rebose.

El flujo muerto T_o , en cambio, representa las partículas finas, P_{FG} , descargadas indebidamente con la corriente de gruesos con relación a la masa sólida total de la alimentación, es decir:

$$T_o = \frac{P_{FG}}{T_z} = (1 - \tau) \cdot \frac{(1 - \Theta)}{\tau}$$

$$T_o = B_p \cdot \frac{(1 - \Theta)}{\tau}$$

4. CONTENIDO DE FINOS EN GRUESOS

Llamamos contenido de finos en la fracción gruesa, o desclasificado fino en gruesos a la relación entre la masa de partículas más finas que el tamaño d_p con respecto a la masa total de partículas de la corriente de gruesos; es decir:

$$fc = \frac{P_{FG}}{T_G} \quad (22)$$

reemplazando el numerador por la ecuación (18)

$$fc = \frac{P_F(1 - \tau)}{T_G}$$

pero por otro lado $T_G = \Theta \cdot T_z$, luego

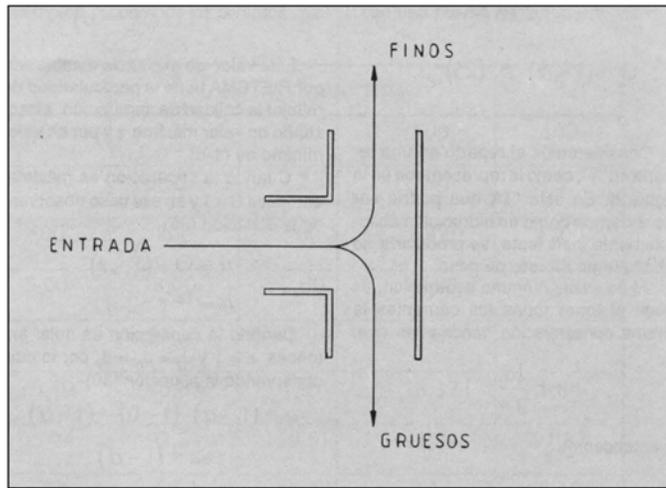


FIGURA 6.- Reparto en "T".

$$fc = \frac{P_F(1 - \tau)}{T_z \cdot \Theta}$$

reemplazando por la ecuación (20)

$$fc = \frac{(1 - \Theta)}{\tau} \cdot \frac{(1 - \tau)}{\Theta}$$

$$fc = \frac{(1 - \Theta)}{\Theta} \cdot \frac{(1 - \tau)}{\tau} \quad (23)$$

o bien

$$fc = \frac{T_o}{\Theta} \quad (24)$$

Ecuación que nos permite establecer el desclasificado de finos en la corriente de gruesos, conociendo tan solo las concentraciones de sólidos en las diferentes corrientes del hidrociclón.

Si nos damos cuenta, estos supuestos asemejan el hidrociclón a una criba donde el tamaño d_p sería la luz de malla, lo que imposibilitaría la existencia de partículas mayores a dicha luz en la corriente de finos, no considerando la presencia de partículas de forma no cúbica o esférica.

5. EFICIENCIAS

No siempre el trabajo de un hidrociclón es realizar una separación de partículas sólidas en gruesos y finos. En numerosas ocasiones el hidrociclón es empleado principal o únicamente como un separador sólido-líquido al igual que podría hacerse como un separador, filtro o centrífuga.

En estos casos medir la eficiencia del hidrociclón según la curva de Tromp o eficiencia de clasificación no sería apropiado, además de ser una evaluación complicada en relación al objetivo a medir.

En un caso de separación sólido-líquido, por ejemplo espesamiento o clarificación, una buena medida sería el valor del reparto de peso Θ , expresado anteriormente en las ecuaciones (5 y 6).

$$\Theta = \frac{J_z - J_f}{J_g - J_f} \cdot \frac{J_g}{J_z} \quad (5)$$

$$\Theta = \frac{J_z - J_f}{J_g - J_f} \cdot \epsilon \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (10.1) del reparto de pulpa $(1 - \alpha)$ en la ecuación (6)

EQUIPOS DE PROCESOS

$$(1 - \alpha) = \frac{J_z - J_F}{J_G - J_F} \quad (10.1)$$

$$\Theta = (1 - \alpha) \cdot \varepsilon \quad (25)$$

Consideremos el reparto en una tubería en "T", como la representada en la figura 6. En esta "T", que podría ser considerada como un hidrociclón absolutamente ineficiente, se produciría no obstante un reparto de peso.

Al no existir ninguna separación, es decir al tener todas las corrientes la misma concentración, tendríamos que:

$$\varepsilon = \frac{J_G}{J_z} = 1$$

y entonces

$$\Theta_0 = (1 - \alpha) \quad (26)$$

Podríamos establecer que en cualquier proceso de separación, aún en el caso de que el separador se comportase como una simple "T", siempre habría un reparto de peso mínimo que coincidiría con el valor de Θ_0 .

Llamamos Eficiencia Reducida χ , al término de reparto de peso Θ , reducido en su valor por el reparto de peso mínimo Θ_0 , es decir

$$\chi = \Theta - \Theta_0 \quad (27)$$

$$\chi = \Theta - (1 - \alpha) \quad (28)$$

Siguiendo criterios similares RIETEMA definió un valor de Eficiencia μ , considerando el reparto de líquido τ en vez del reparto de pulpa α

$$\mu = \Theta - (1 - \tau) \quad (29)$$

Reemplazando con las ecuaciones (25) de reparto de peso, y (11.1) de reparto de líquido (1 - τ)

$$(1 - \tau) = (1 - \alpha) \cdot \frac{(\gamma_s - J_0)}{(\gamma_s - J_z)} \quad (11.1)$$

$$\mu = (1 - \alpha) \cdot \varepsilon - (1 - \alpha) \cdot \frac{(\gamma_s - J_0)}{(\gamma_s - J_z)}$$

$$\mu = (1 - \alpha) \cdot \left[\varepsilon - \frac{(\gamma_s - J_0)}{(\gamma_s - J_z)} \right] \quad (30)$$

Este valor de eficiencia establecido por RIETEMA tiene la particularidad de reflejar la calidad de separación, alcanzando un valor máximo τ y por un valor mínimo de (1 - α).

Cuando la separación es máxima, entonces $\Theta = 1$ y en ese caso observando la ecuación (25)

$$\mu = \Theta - (1 - \tau)$$

$$\mu_{\max} = \tau$$

Cuando la separación es nula, entonces $\varepsilon = 1$ y $J_z = J_G = J_F$ por lo cual observando la ecuación (30)

$$\mu = (1 - \alpha) \cdot (1 - 0) = (1 - \alpha)$$

$$\mu_{\min} = (1 - \alpha)$$

Otro medio de expresar la eficiencia es según la definición de KELSALL, vs BRADLEY

$$\eta = \frac{\Theta - (1 - \tau)}{\tau} \quad (31)$$

$$\eta = \frac{\mu}{\tau} \quad (32)$$

es decir una derivación de la eficiencia de RIETEMA afectándolo del valor del reparto de líquido τ .

La eficiencia así definida tiene la gran ventaja de reflejar muy adecuadamente la calidad de la separación al alcanzar un valor máximo 1 ó 100 para la separación perfecta y un valor de 0 para la ausencia de separación.

Cuando la separación es total, entonces $\Theta = 1$ y aplicando la ecuación (31)

$$\eta = \frac{\Theta - (1 - \tau)}{\tau} = 1$$

$$\eta_{\max} = 1$$

Desarrollando la ecuación (31)

$$\eta = \frac{\Theta - (1 - \tau)}{\tau} = \frac{\tau - (1 - \Theta)}{\tau} = 1 - \frac{(1 - \Theta)}{\tau}$$

reemplazando con las ecuaciones (5.2) y (11)

$$\eta = 1 - \frac{\alpha \cdot \frac{J_F}{J_z}}{\alpha \cdot \frac{\gamma_s - J_F}{\gamma_s - J_z}}$$

$$\eta = 1 - \frac{(\gamma_s - J_z)}{(\gamma_s - J_F)} \cdot \frac{J_F}{J_z} \quad (33)$$

Cuando la separación es nula se cumple que $J_z = J_F = J_G$ y entonces

$$\eta = 1 - 1 = 0 \quad \eta_{\min} = 0$$

Otro modo de medir la eficiencia sería combinando la eficacia de recuperar sólidos en la corriente de descarga con la eficacia de recuperar líquido en la corriente de reboso:

$$\Psi = \Theta \cdot \tau \quad (34)$$

Cuando la separación es máxima, entonces $\Theta = 1$ y la eficiencia es

$$\Psi_{\max} = \tau$$

Reemplazando la ecuación (34) con las ecuaciones (25) y (11)

$$\Psi = (1 - \alpha) \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \frac{(\gamma_s - J_F)}{(\gamma_s - J_z)} \quad (35)$$

Cuando la separación es nula entonces $J_z = J_F = J_G$ y $\varepsilon = 1$ con lo cual

$$\Psi_{\min} = (1 - \alpha) \cdot \alpha$$

De todos los métodos planteados nos parece de sumo interés la expresión de KELSALL por la "claridad" de sus valores al oscilar entre 1 y 0 para máximo y mínimo.

Es importante hacer notar la diferencia clara entre "Eficacia" y "Eficiencia". Sin deseos de entrar en discusiones semánticas podríamos definir la eficacia como la capacidad para alcanzar un objetivo y eficiencia el mejor aprovechamiento de los medios en alcanzarlo.

No sólo es necesario conocer si un determinado hidrociclón es eficaz, es

EQUIPOS DE PROCESOS

decir alcanza el objetivo deseado, sino cómo o alcanza, con qué aprovechamiento.

Para mayor claridad la tabla resumen de la Figura 7, presenta varios ejemplos, recogiendo los diversos valores de

eficiencia de una separación en distintas condiciones de operación, pero con una misma alimentación.

EJEMPLO	1	2	3	4	5	6
J_Z	100	100	100	100	100	100
J_F	98	80	50	2	20	2
J_G	105	500	800	200	1000	1200
ϵ	1,05	5,00	8,00	2,00	10,00	12,00
Θ	30,00	23,81	53,33	98,99	81,63	98,16
$(1-\Theta)$	70,00	76,19	46,67	1,01	18,37	1,84
α	71,43	95,24	93,33	50,51	91,84	91,82
$(1-\alpha)=\Theta_0$	28,57	4,76	6,67	49,49	8,16	8,18
τ	71,49	96,00	95,18	52,49	94,78	95,42
$(1-\tau)$	28,51	4,00	4,82	47,51	5,22	4,58
χ	1,43	19,05	46,66	49,50	73,47	89,98
μ	1,49	19,81	48,53	51,48	76,41	93,58
η	2,08	20,64	50,97	98,08	80,62	98,07
Ψ	21,45	22,86	50,76	51,96	77,37	93,66
T_0	27,92	3,18	2,36	0,915	1,01	0,09
f_c	93,05	13,33	4,42	0,923	1,24	0,09

FIGURA 7.- Tabla de ejemplos.