

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINERA Y METALÚRGICA**



**“APLICACIÓN DE MODELOS CINÉTICOS DE LIXIVIACIÓN
DE MINERALES DE COBRE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL
PRETRATAMIENTO CURADO - AGLOMERADO DE LA
PLANTA DE ÓXIDOS DE COBRE DE LA COMPAÑÍA
MINERA CONDESTABLE S.A.”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO METALURGISTA

Presentado por:

Mery Cecilia, Gómez Marroquín

Promoción 95 - 1

Lima – Perú

2001

DEDICATORIA

- A Dios, Nuestro Señor, por la oportunidad de vivir, con salud y una familia**
- A mi Madre, por su infinito amor y comprensión.**
- A mi Padre y hermanos, por su invaluable apoyo en todas las etapas de mi vida**

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento especial, a la Cía minera Condestable, por la oportunidad de permitirme desarrollar un trabajo de investigación en planta de Lixiviación de Oxidos, en las personas de: Ing. Justo Arellano Rojas (Gerente de Operaciones) e Ing. Rodolfo Badillo Gonzalo (Asistente Jefatura Planta de Oxidos).

Asimismo, a mis asesores y excelentes profesores, Ing. Oscar Silva Campos y el Ing. Ivan Quiroz Nuñez, por su apoyo incondicional en la culminación de este trabajo, finalmente al Director de la Escuela de Metalurgia: Ing. Julio Uza Teruya y el Decano de la FIGMM, Ing. Isaac Ríos Quinteros, por su orientación y constante estímulo de superación.

A todo el personal docente y administrativo, colegas y amigos, que en todo momento estuvieron alentándome, para felizmente concluir con una de las tantas metas que deseo alcanzar en mi vida profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

	<u>PAGINA</u>
PROLOGO	9
CAPITULO I: INTRODUCCION	
1.1 Planteamiento del Problema	11
1.2 Resumen del Trabajo Experimental	12
CAPITULO II: ASPECTOS GENERALES	13
2.1 Generalidades	13
2.2 Ubicación y Accesibilidad de la Planta	14
2.3 Descripción General de la Planta	14
2.3.1 Descripción detallada por Secciones	15
2.3.2 Reactivos usados y Productos obtenidos	18
CAPITULO III: FUNDAMENTO TEORICO	
3.1 Modelación Cinética en la Lixiviación de Minerales de Cobre	19
3.1.1 Modelo Lineal	22
3.1.2 Modelo de Reacción Topoquímica	23
3.1.3 Modelo de Reacción a Difusión Controlada.	25
3.1.4 Modelo Poblacional	28
3.2 Curado – Aglomerado	29
3.2.1 Funciones del Acido Sulfúrico y Cloruro de Sodio	30
3.2.2 Reacciones Químicas en el Curado	33
3.2.3 Termodinámica en el Curado	36
3.2.4 Cinética en el Curado	45
3.3 Lixiviación	45
3.3.1 Reacciones Químicas de la Lixiviación	45
3.3.2 Cinética de la Lixiviación	46

3.4	Cementación	47
3.4.1	Reacciones Químicas en la Cementación	47
3.4.2	Termodinámica en la Cementación	48
3.4.3	Cinética en la Cementación	49

CAPITULO IV: TECNOLOGIA

4.1	Caracterización del mineral	51
4.1.1	Mineral y Reservas	51
4.1.2	Aspectos Químicos Mineralógicos	51
4.2	Tecnología del Curado y Aglomerado	53
4.3	Tecnología de la Lixiviación	59
4.4	Tecnología de la Cementación	68
4.5	Tecnología del Secado	72

CAPITULO V: TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1	Características de la muestras utilizadas	75
5.1.1	Procedencia del mineral	75
5.1.2	Características Físicas	75
5.1.2.1	Gravedad Específica y Densidad aparente	75
5.1.2.2	Determinación de la Humedad	75
5.1.2.3	Análisis granulométrico	76
5.1.3	Características Químicas y Mineralógicas	78
5.2	Plan General de Pruebas	80
5.3	Pruebas Metalúrgicas	81
5.3.1	Pruebas a Nivel Laboratorio	81
5.3.1.1	Determinación de las condiciones optimas para el Curado	81

	<u>PAGINA</u>
5.3.1.1.1 Pruebas para determinar el tiempo óptimo de reposo en el Curado	81
5.3.1.1.2 Pruebas para determinar las concentraciones óptimas ácido sulfúrico y cloruro de sodio en el Curado	82
5.3.1.1.3 Pruebas de Lixiviación en columnas para determinar el flujo de riego óptimo	83
5.3.1.1.4 Pruebas de Lixiviación en columnas para determinar el tamaño de partícula óptimo	84
5.3.1.2 Pruebas de Lixiviación por Agitación	85
5.3.1.2.1 En Botellas	85
5.3.1.2.2 En Agitadores Mecánicos	91
5.3.1.3 Pruebas de Lixiviación en Columnas	96
5.3.1.3.1 Serie A: Efecto de la variación del Tiempo de Reposo	96
5.3.1.3.2 Serie B: Efecto del tamaño de partícula y el tiempo de reposo	103
5.3.1.3.3 Serie C: Efecto de la Dosificación de Acido Sulfúrico y Cloruro de sodio en el Curado	111
5.3.1.3.4 Serie D: Efecto de la Dosificación del Acido Sulfúrico en el Curado	122
5.3.1.3.5 Serie E: Efecto de la variación del Flujo de Riego	129
5.3.2 Prueba a Nivel Piloto	140

5.3.3	Aplicación de Modelación Cinética a la Lixiviación de óxidos de cobre en Columnas	142
5.3.3.1	Observaciones	163
CAPITULO VI: ASPECTOS AMBIENTALES		
6.1	Estado de Desarrollo del Estudio del Impacto Ambiental	168
6.1.1	Descripción de las Actividades a realizar	168
6.1.2	Efectos Previsibles de la Actividad	170
6.1.2.1	En la Salud Humana	170
6.1.2.2	En la Flora y Fauna	171
6.1.2.3	En los Ecosistemas presentes en el área de la Actividad	171
6.1.2.4	En los Recursos Socio – Económicos	171
6.1.3	Control y Mitigación de los efectos de la Actividad	172
6.2	Resumen de la Aplicación del Estudio del Impacto Ambiental	174
CAPITULO VII: ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO		
7.1	Evaluación Económica de condiciones antes de Optimización	176
7.1.1	Valor del mineral antes de la Optimización	176
7.1.2	Costos Operativos antes de la Optimización	177
7.1.3	Utilidad Operativa antes de la Optimización	178
7.2	Evaluación Económica de condiciones después de la Optimización	178
7.2.1	Valor del mineral después de la Optimización	179
7.2.2	Costos Operativos después de la Optimización	179
7.2.3	Utilidad Operativa después de la Optimización	180
7.3	Evaluación Económica del Proyecto	181
	CONCLUSIONES	182
	RECOMENDACIONES	184

BIBLIOGRAFIA	186
ANEXOS	
ANEXO N° 1	
Pruebas Experimentales en Columnas	189
ANEXO N° 2	
Ajustes de Modelos Cinéticos de las Pruebas Experimentales en Columnas	210
ANEXO N° 3	
Minerales de Cobre	231
Diagrama de Flujo de la Planta de Oxidos	232

PROLOGO

La **Cía. Minera Condestable S.A.** tiene en operación dos plantas de tratamiento de minerales: Planta Concentradora para minerales sulfurosos de cobre y la Planta de Oxidos para minerales oxidados de cobre, principalmente: malaquita, crisocola y cuprita.

La Planta de Oxidos, tiene como producto final cemento de cobre, empleando el clásico proceso de precipitación de cobre con chatarra de hierro, siendo sus etapas principales: chancado, curado - aglomerado, lixiviación, cementación , filtrado y secado.

En el presente trabajo de investigación, estudiaremos con mayor detenimiento el curado - aglomerado, por ser el que da problemas en las operaciones y cuyo estudio teórico - práctico ayudará a solucionar los efectos producidos en las demás secciones, por lo cual la optimización del proceso partió de las condiciones de trabajo en las operaciones de chancado, curado aglomerado y lixiviación principalmente. A continuación presento una breve descripción de los capítulos que forman parte del desarrollo de la tesis.

Capítulo I, describe el planteamiento del problema y el resumen del trabajo experimental realizado para su respectiva solución.

Capítulo II, menciona de manera general la ubicación geográfica, reseña histórica, secciones o procesos , reactivos usados, condiciones de operación y producto final obtenido.

Capítulo III, presenta en forma detallada el fundamento teórico de todos los procesos de la planta, poniendo marcado énfasis en la modelación cinética de los procesos curado – aglomerado y lixiviación, porque permitirán explicar matemáticamente los resultados obtenidos de la optimización a partir de las pruebas metalúrgicas. Además de la cinética de los procesos hidrometalúrgicos, también se describe la termodinámica, las reacciones químicas que involucran y la construcción e interpretación

del diagrama de Pourbaix del sistema: S - O - Cu - H₂O

Capítulo IV, describe la caracterización mineralógica y las reservas del mineral. Asimismo describe minuciosamente la tecnología de extracción de los procesos de curado - aglomerado, lixiviación, cementación y secado.

Capítulo V, describe de manera detallada el trabajo experimental, que constituye el cuerpo de la tesis y explica las pruebas metalúrgicas realizadas: agitación y lixiviación estática en columnas, manejando las variables de estudio: dosificación de ácido sulfúrico y cloruro de sodio en el curado, humedad, tiempo de reposo, tamaño de partícula y flujo de riego, así como su modelación cinética para determinar el mecanismo de control que gobierna la cinética de lixiviación.

Capítulo VI, describe de manera breve el estado de desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Oxidos, describiendo las actividades a realizarse, sus efectos previsibles seguido del control y su respectiva mitigación.

Capítulo VII, describe el Análisis Económico del proyecto puesto a escala industrial, donde se calcularon las evaluaciones económicas antes y después de la optimización, logrando un resultado positivo para la operación.

Seguidamente tenemos las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

En el **Anexo 1**, se adjuntan las 20 tablas completas de Pruebas Experimentales en Columnas, estudiadas serie por serie en el Capítulo V. En el **Anexos 2**, se adjuntan las 20 tablas completas de Ajustes de Modelos Cinéticos en Columnas, estudiadas serie por serie en el Capítulo V.

El Anexo 3, muestra el cuadro general de los minerales de cobre y el diagrama de flujo de la Planta de Oxidos.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1 GENERALIDADES

La Cía. Minera Condestable, trata en su planta concentradora minerales sulfurados de cobre de baja ley (1,60% cobre total 0,15% de cobre óxido) compuesto por chalcopirita, pirita principalmente acompañado de covelita, pirrotita, malaquita, actinolita, magnetita y calcita . Se ha establecido que la ley mínima de procesamiento es de 1,15% para que sea rentable esta operación, la empresa posee mineral oxidado producto de operaciones mineras antiguas, con una ley adecuada para ser beneficiada, motivo por lo cual se pone en marcha la instalación de la planta de óxidos previo estudio técnico - económico.

La planta concentradora produce concentrado de cobre con ley promedio de 26% Cu y la planta de óxidos produce cemento de cobre de 78.5% Cu, aunque las capacidades de tratamiento están diseñadas para 42,000 TM/mes en planta concentradora y 15,000 TM/mes en planta de óxidos los que significan una producción de cobre puro en planta concentradora de 273 TM (1050 TM de concentrado de 26%) y en la planta de óxidos de 168 TM (214 TM de cemento de cobre 78.5%).

Se observa que la participación económica de la planta de óxidos, es importante en la economía de Condestable, por tener en general bajos costos operativos, pese a estar poco tiempo en operación ; sobretodo tener una ley de cobre casi estable, comparada con la planta concentradora, que tiene problemas en alcanzar diariamente la ley de cobre proyectada y el tratamiento mínimo de mineral requerido, para una eficiente operación.

1.2 RESUMEN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo la aplicación de modelos cinéticos de lixiviación de minerales de cobre, en los resultados de la optimización del pre - tratamiento curado - aglomerado en la Planta de Oxidos de la Compañía Minera Condestable, en el cual , se introduce el uso del cloruro de sodio, para así reducir el consumo del ácido sulfúrico, cuyo exceso provoca contaminaciones con el hierro y eleva significativamente los costos operativos.

Las pruebas metalúrgicas se realizaron, partiendo de pruebas a nivel de laboratorio: pruebas de agitación (usando botellas y vasos agitadores) y pruebas estáticas (usando columnas de lixiviación). En las columnas se estudiaron las variables: humedad, tiempo de reposo, granulometría, flujo de riego, dosificación de ácido sulfúrico y cloruro de sodio en el curado, para determinar su influencia en la extracción de cobre y el consumo de ácido. Finalmente su aplicación a nivel piloto en una pila de 200 TM. con las condiciones óptimas determinadas a nivel laboratorio, logrando obtener eficientes extracciones de cobre con bajos consumos de ácido sulfúrico. No se aplicó a escala industrial porque, el mineral a aglomerar, producto final del chancado no puede reducirse a 100% $-1/4''$, por los continuos problemas mecánicos que tiene la chancadora cónica de 3', lo que se recomienda como conclusión del estudio.

En los valores obtenidos de extracciones de cobre a partir de la optimización, se aplicaron los modelos cinéticos que gobiernan la lixiviación de minerales de cobre , con el objetivo de explicar el comportamiento de las variables de estudio en la determinación de el mecanismo de control cinético gobernante en todo el tiempo de lixiviación, para cada una de las columnas ensayadas a nivel de laboratorio, logrando demostrar lo que se fundamentará teóricamente, que en el curado - aglomerado y lixiviación, predomina la cinética mixta: Modelo de Reacción a Difusión Controlada.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Planta de Oxidos tiene como principal problema, el alto consumo de ácido sulfúrico en todo el proceso de producción; las causas son: producto final de chancado grueso, largos tiempos de reposo del mineral aglomerado, falta de dosificadores automáticos de ácido sulfúrico y agua en el tambor aglomerador , deficiente estabilidad del mineral aglomerado y la falta de conservación de la energía generada por la reacción exotérmica entre el ácido y el mineral en el proceso curado - aglomerado, lo que origina bajas recuperaciones, por no tener la suficiente porosidad para favorecer la oxigenación de los minerales aglomerados una vez apilados; a esto se suma la falta de control de la acidez residual con altos contenidos de hierro (procedentes de la precipitación de la goethita y jarositas en el filtrado - secado) presentes en la solución raff, que retorna como solución lixivante a regar nuevamente los pads de lixiviación.

Por lo expuesto, se justifica la realización de un estudio de optimización del pre - tratamiento en el curado aglomerado a fin, de introducir la adición de el cloruro de sodio como un reactivo que mejorará la acción química y física del mineral aglomerado, e incrementar extracciones de cobre, con menores consumos de ácido sulfúrico y determinando las variables óptimas a partir de los resultados de operación. Los otros inconvenientes de los demás procesos productivos, serán descritos brevemente y no son materia de este estudio.

2.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD A LA PLANTA

La Cía. Minera Condestable S.A. está ubicado en el Departamento de Lima, Provincia de Cañete, Distrito de Mala en el paraje Bujama Alta a 4 km. de la Antigua Panamericana Sur km. 89.5, su altitud oscila entre 100 y 400 m.s.n.m., tiene como coordenadas geográficas de 76° 35' longitud Oeste y 12° 45' latitud Sur.

La Planta de Oxidos se encuentra ubicada en el lado Este en la ladera del cerro Vincho y en la superficie del yacimiento "J", y está ubicado entre 300 y 400 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas 76° 35' longitud Oeste y 12° 15' latitud Sur. También su ubicación es estratégica, en la parte alta de la planta concentradora, al pie del botadero del mineral oxidado con distribución de conos, pilas y tanques (ácido sulfúrico concentrado y solución lixivante) , de tal forma que se aprovecha la diferencia de alturas para poder hacer menor uso de energía en el movimiento de los sólidos (mineral y cemento) y de las soluciones preparadas y producidas.

2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

La Cía. Minera Condestable, es operada desde 1960, inicialmente explotando los minerales oxidados de cobre en forma manual , en el año 1961 se inicia un estudio de exploración por la Nippon Mining Co. Para luego iniciar su explotación procesando los sulfuros de cobre y producir concentrado de Cobre en 1964 a razón de 300TM/día, en 1976 es donado al estado peruano, en el año de 1991 es privatizado procesando 1350TM/día de sulfuros.

Al iniciarse las operaciones del tajo abierto "RESURRECCION" en el año 1988 se empezó a colocar mineral oxidado de cobre del desbroce en el botadero de óxidos, hasta Febrero de 1994, habiéndose acumulado 850,000 TM. de mineral con un contenido de 1,61% de cobre total, de los cuales 1,13% es cobre oxidado y 0,48% es cobre en sulfuros. Debido a problemas sociales de la empresa , se cerró por aproximadamente un año, reiniciando sus operaciones en julio de 1,998 con mineral arrendado de Compañía Minera

Pativilca , U.P. “Mina Raúl” que abastecía inicialmente a la Planta de Sulfuros hasta el año 1999 y finalmente quedando abasteciendo sólo a la Planta de Oxidos, desde octubre de 1,998 con una reserva preparada de 720,000 toneladas.

Se partió con la idea de su tratamiento desde el mismo inicio del acopio de los minerales oxidados, habiéndose realizado pruebas de recuperación del cobre de estos minerales por lixiviación sin tratamiento previo obteniendo resultados poco satisfactorios. Se decidió efectuar pruebas, en pequeña escala a nivel de laboratorio y piloto haciendo uso de la infraestructura de la planta ya instalada, laboratorio de investigación y de los instrumentos de los laboratorios químico y metalúrgico contando con el apoyo de las demás secciones. Luego de obtener resultados positivos se hace el proyecto de diseño e instalación de la planta entrando en funcionamiento en el año de 1994 tratando inicialmente 4,000 TM/mes y desde entonces se viene realizando estudios de optimización continuo de su proceso hidrometalúrgico de lixiviación ácida; tratamiento actual 12,000 TM/mes.

En el contexto minero Condestable está dentro de la pequeña minería.

2.3.1 DESCRIPCIÓN DETALLADA POR SECCIONES

Chancado

El proceso comienza con el traslado del mineral de la zona del almacenamiento de óxidos a la sección de chancado ubicado al pie del botadero. La operación consiste en el desplazamiento del mineral hacia una tolva de gruesos, primero por acción de un cargador frontal operando en tres plataformas escalonadas en niveles progresivos sobre el talud natural que ha formado el botadero y luego es arrastrado con una wincha hacia la tolva de alimentación controlado por una parrilla de 12” de abertura. En la descarga de la tolva de gruesos se ha instalado un tolván de alimentación que opera con una faja alimentadora de 30” por 2,30 m. que conduce el mineral a la chancadora de quijadas de 15” x 24” que

reduce el mineral a 2", el producto de esta chancadora pasa a la faja transportadora # 1 de 24" x 36 m. la cual descarga sobre la zaranda vibratoria de 15' x 12' que opera con malla de un piso con 1/ 2" de abertura. El producto mayor de 1/4" ingresa a la chancadora cónica de 3' ; el producto de esta chancadora mas la fracción de -1/2" de la zaranda vibratoria, pasan a la tolva de finos de 60TM de capacidad mediante la faja transportadora # 2 de 24"x 9m.

La descarga de mineral de la tolva de finos es transportada en volquete a la sección de aglomerado.

Aglomerado

El mineral chancado a -1/2" es recepcionado en una tolva de concreto de 60 TM del cual se alimenta al tambor aglomerador de 6° de inclinación, 8 RPM revestido con jebe. El mineral pasa a través del tambor donde se humedece hasta 6% con agua al ingreso del tambor luego en la tercera parte de esta se riega en forma de "spray" con ácido sulfúrico de 98,5% de pureza (industrial) haciendo un consumo de ácido sulfúrico en curado de 30 Kg/TM; con lo que se consigue la formación del aglomerado además de una acción química por el ataque directo del ácido, descargándose el mineral aglomerado por una faja transportadora a la cancha de almacenamiento para un reposo de 48 horas.

Lixiviación

Se carga el mineral aglomerado con volquetes de 18TM de capacidad hacia las 4 pilas de lixiviación de unos 10,000 a 12,000 TMH y de unos 2 m. de altura las cuales son divididas en 4 a 5 módulos para el mejor control de riego, apilamiento y descarte; se inicia el riego de las pilas de lixiviación con aspersores de un flujo unitario de riego de 0.15 lt/min.m² y solución lixivante diluída de ácido sulfúrico a razón de 38gr/lt, desde un tanque de 150m³ usando para ello un tanque regulador de presión, la solución rica en cobre, producto de la lixiviación sale hacia los canales colectores desde donde se conducen al tanque y poza de solución cosecha (rica en

cobre). El periodo de lixiviación óptimo es aproximadamente de 30 días, alcanzando una extracción de cobre de 84.65%.

Los desechos sólidos están situados cerca a las pilas y están constituidos por los ripios de la etapa de lixiviación cuyas características son las siguientes dependiendo de la ley del mineral:

Humedad Residual = 10.1%

Tonelaje de Descarte = 11,870 T.M.S./mes

Ley de Cobre Total = 0.35%.

Cementación

La solución rica en cobre, denominada solución cosecha, almacenada en los tanques y la poza se alimenta a los conos para la precipitación del cobre con chatarra de hierro en un proceso de recirculación tipo Batch usando bombas centrífugas para obtener de esa forma cobre a través de una reacción de oxidación del hierro y reducción del cobre en solución precipitando el cobre, como cemento de cobre. La carga a los conos con la solución cosecha se efectúa en forma intermitente mientras que la carga de chatarra es continua de acuerdo al consumo observado, la eficiencia de la cementación es 98,0%.

Terminado la cementación se descargan los conos y tanques conteniendo el cemento y solución residual hacia las pozas de sedimentación (tanques de concreto) que por efecto de gravedad se separa el cemento (alto peso específico) y queda una solución residual (bajo contenido de cobre) conocida como solución raff, que es conducida generalmente a la cancha de relaves ubicada en la cota de 130 m.s.n.m. con capacidad de 7500 m³, muchas veces cuando la solución contiene altos contenidos de ácido sulfúrico y cobre se retorna al tanque de solución lixivante.

Secado

Separando la solución raff del cemento de cobre, este es trasladado a la cancha de secado para ser secado por el filtro prensa de diez placas y reducir la humedad hasta un total de 8 a 10 % H₂O,

luego del cual se despacha hacia los almacenes de CORMIN S.A. en Lima. que comparado con el secado a medio ambiente da mejores leyes de cemento. También se está secando a medio ambiente el cemento recuperado de tanques de rebose y el cemento procedente de la limpieza de los conos. Ver en el Anexo N° 3: Diagrama de Flujo de la Planta de Oxidos.

2.3.2 REACTIVOS USADOS Y PRODUCTOS OBTENIDOS

Tanto en el curado como en la lixiviación se usan ácido sulfúrico industrial de 98,5% de pureza procedente de la Sociedad de Refinería de Cajamarquilla y de la **DOE RUN PERU**, produciéndose un consumo total de ácido sulfúrico durante todo el proceso de 86 kg./TM; con una humedad de 6% en el curado.

En la lixiviación la concentración de ácido es de 38 gr/lit.

Para la cementación se emplea una cantidad adicional de ácido (solución de 20 gr/lit) que sirve para alcanzar un pH =1,8 con un consumo de chatarra de hierro que asciende a 10.7 kg/TM , la cual es procedente de Arequipa, Lima o Trujillo de acuerdo a la calidad y costo. En la en la sedimentación del cemento se usa floculantes floc 224 o floc 440.

La calidad del cemento de cobre producido es promedio 78.50% Cu.

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 MODELACION CINETICA DE LIXIVIACION DE MINERALES DE COBRE

Para explicar la modelación cinética en lixiviación de minerales de cobre, debemos tener en cuenta que todos los procesos hidrometalúrgicos son heterogéneos porque intervienen dos fases sólido y líquido; la cinética en general se lleva a cabo en siete etapas que son:

1. Difusión del reactivo desde el seno de la solución a la interfase de la reacción.
2. Adsorción del reactivo en la interfase.
3. Reacción química.
4. Desorción de las partículas.
5. Difusión de los productos desde la interfase hacia el seno de la solución.

En caso se forma una capa porosa del producto sólido se produce.

6. Difusión del reactivo a través del producto sólido formado.
7. Difusión de las especies solubles producidas a través del producto sólido formado.

Para explicar la difusión de los líquidos y sólidos en solución, presentamos la siguiente ecuación:

LEY DE FICK:

$$J = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right) \quad \text{o} \quad (1/S) \left(\frac{dn}{dt}\right) \quad (1)$$

se tiene

$$\left(\frac{dn}{dt}\right) = -D \cdot S \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)$$

donde: J = flujo de materia/unidad de tiempo (mol/seg.cm²)

C = concentración (mol/cm³)

D = coeficiente de difusión (cm²/seg)

S = área.

En la hidrometalurgia generalmente se considera D constante e independiente de la concentración y para soluciones acuosas se considera en el rango

$$D = 0,3 \text{ --- } 3,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

Pero D depende netamente de la temperatura, según la ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{(-\Delta E/RT)}, \quad \ln k = (-\Delta E)/RT + \ln A \quad \text{ó}$$

$$\log k = \log A - \Delta E/(2,3 RT)$$

Donde:

K = constante de velocidad específica

A = factor de frecuencia

ΔE = energía de activación, Kcal/mol

definimos también:

n = número de moles en la esfera residual.

t = tamaño de partícula.

V.R. = velocidad de reacción

r₀ = radio de la esfera residual

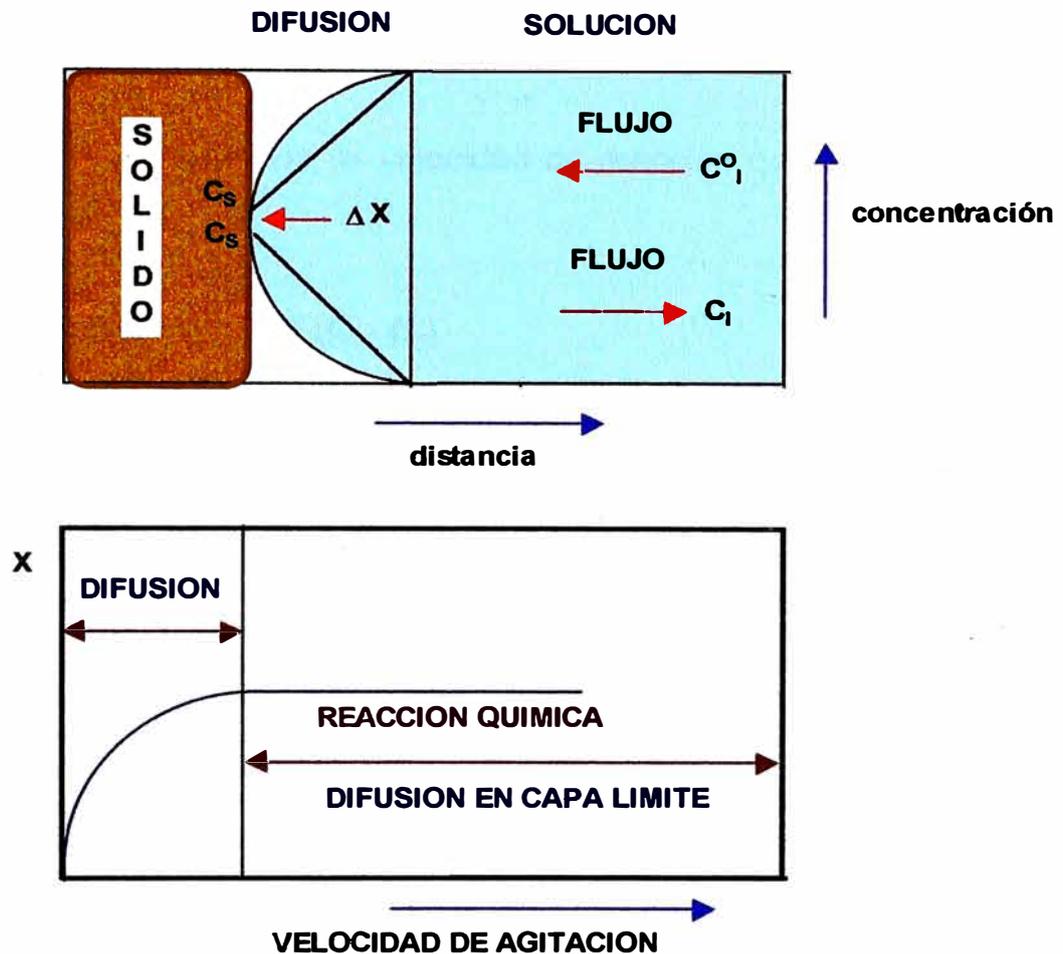
El mecanismo controlante de reacción y/o difusión varía de acuerdo a la temperatura, el flujo de agitación y el tamaño de partícula, así como se muestra en el **Cuadro Nº III-1**.

CUADRO Nº III – 1

MECANISMO CONTROLANTE	DIFUSIONAL	DIFUSIONAL EN EL PRODUCTO	REACCION QUIMICA
TEMPERATURA	$\Delta E < 3$	$3 < \Delta E < 6$	$10 < \Delta E < 25$
FLUJO AGITACION	V.R. ALTERADO	V.R. INALTERADO	V.R. INALTERADO
TAMAÑO PARTICULA	$t \propto r_0^n \quad (1 < n < 2)$	$t \propto r_0^n \quad (n = 2)$	$t \propto r_0^n \quad (n = 1)$

El gráfico N° III -1, nos muestra los efectos del ataque químico (curado) en el mineral.

GRAFICO N° III - 1



ΔX es el espesor de la capa de difusión que tiene diferentes medidas, si la lixiviación se da con agitación o sin ella:

$$\Delta X = 5 \times 10^{-2} \text{ cm} \quad \text{sin agitación (curado)}$$

$$\Delta X = 10^{-3} \text{ cm} \quad \text{con agitación (lixiviación)}$$

Si la velocidad de reacción aumenta cuando se aumenta la agitación, entonces el control de la reacción es por difusión. Pero si ΔX es mínimo puede darse el control cinético por difusión a pesar de que no tiene influencia la agitación en las velocidades.

Para explicar la cinética de los procesos hidrometalúrgicos; tenemos que citar cuatro modelos que se aplican con una buena aproximación para corregir las curvas de extracción cinética en lixiviación de minerales de cobre, las cuales son según detalle:

3.1.1. MODELO LINEAL

De (1) tenemos, la velocidad de reacción que está dada por la ecuación:

$$(-dc/dt) \equiv \frac{D S (C_l - C_s)}{U \cdot \delta}$$

Donde: U = volumen total de la solución

δ = espesor de la capa límite

Haciendo: $(-dc/dt) = kc$

siendo la constante de reacción $k = D S / U \cdot \delta$

de la ecuación anterior , derivando se tiene: $\ln (C_0/C) = k \cdot t$,
con $t = 0$ se tiene la concentración inicial C_0 , por lo cual
tenemos:

a = concentración inicial

x = disminución de la concentración después del tiempo t

$a - x$ = concentración en el tiempo t

Luego, integrando tenemos: $\ln a/(a - x) = k.t$; donde, hacemos el siguiente despeje: $\ln(1 - x/a) = -K t$, haciendo : $x/a = \alpha$, y α , es la extracción de cobre en tanto por uno o fracción lixiviada; entonces tenemos el **MODELO LINEAL**, para reacciones de primer orden:

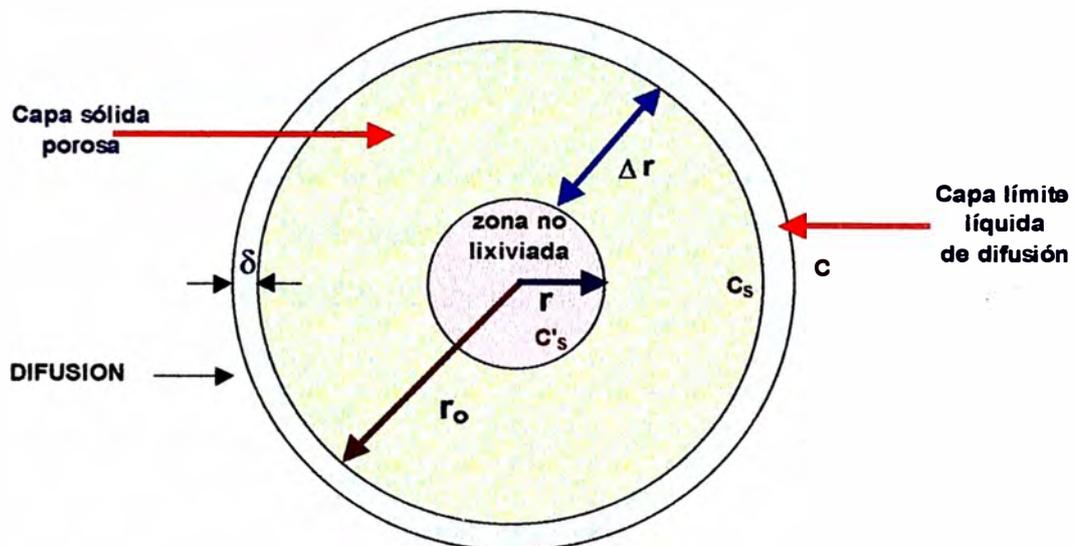
$$\ln(1 - \alpha) = -K t \quad (1)$$

si graficamos t vs $\ln(1 - \alpha)$ se tiene una recta de pendiente igual a K .

3.1.2. MODELO DE REACCION TOPOQUIMICA

Por otro lado analizando la geometría de la interfase, se debe tener presente, que en reacciones heterogéneas, como la lixiviación de sólidos, donde la velocidad de reacción está en función de la superficie total y del número de sitios reactivos por unidad de área, como se muestra en el **Gráfico N° III - 2**

GRAFICO N° III - 2



En general se tiene:

$$dn/dt = -k'_0 \cdot A \cdot \pi_i C^{y_i}$$

donde: A = área superficial de reacción

k'_0 = constante de velocidad específica

Incluyendo la concentración total de sitios superficiales potencialmente reactivos, se debe tener presente que el control de la cinética es por la reacción química y que ninguna capa de producto se forma (esto se cumple teniendo un riego suficientemente alto para arrastrar o difundir la solución cargada de cobre desde el sólido hasta el seno de la solución).

El valor verdadero de A se encuentra multiplicando el área geométrica por el factor de rugosidad, el área de reacción durante la

lixiviación tiene una variación mínima, si la forma geométrica es un disco y máxima, si es una esfera. Si la forma geométrica consideramos como una esfera para explicar la cinética de primer orden, la velocidad de reacción se expresa por la siguiente ecuación:

$$dn/dt = -4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot k'_0 \cdot C \quad (2)$$

con: n = número de moles en la esfera residual

r = radio de la esfera

C = concentración de la solución

a su vez n calculamos como sigue:

$$n = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 / v \quad v = \text{volumen molar}$$

reemplazando la última ecuación en (2), tenemos:

$$dr/dt = -v \cdot k'_0 \cdot C$$

Si r_0 = radio inicial de la esfera

α = fracción lixiviada

α = 1 - (fracción no lixiviada)

$$\alpha = 1 - r^3/r_0^3$$

reemplazando se tiene

$$d\alpha/dt = - (3r^2/r_0^3) \times dr/dt$$

de las tres últimas ecuaciones. Se tiene la ecuación cinética:

$$d\alpha/dt = (3 \cdot v \cdot k'_0 \cdot C / r_0) \cdot (1 - \alpha)^{2/3}$$

y con $t = 0$, $\alpha = 0$, integrando, se tendrá deducido el **MODELO DE REACCION TOPOQUIMICA**, representado por las condiciones en que la superficie de reacción es controlada por la velocidad y los productos de reacción no forman capas protectoras (sin capa pasivante).

$$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}] = K t \quad (II)$$

donde: $K = v \cdot k'_0 \cdot C/r_0$, es la constante cinética del modelo en mención.

Si plotamos $[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]$ vs. t , obtendremos una recta cuya pendiente es K .

3.1.3. **MODELO DE REACCION A DIFUSION CONTROLADA:**

Por otro lado si los productos de reacción, se levantan en la superficie del mineral durante su disolución y la velocidad controlante del proceso puede ser la difusión a través de los productos de reacción. Los ejemplos clásicos, son la difusión a través de los sulfuros y óxidos formados sobre la superficie de la chalcopirita, durante la lixiviación y el ingreso de soluciones de baja ley procedentes de menas, donde los minerales sulfurados estén diseminados. En estos ejemplos los pasos difusionales pueden ser generados por el medio disolvente durante el desarrollo de la reacción, asumiéndose que los productos de reacción ocupan esencialmente el volumen original de las partículas, esto es, que la porosidad es generada dentro de la partícula como un resultado de la reacción y el límite móvil hacia el centro de ésta, manteniendo aproximadamente la forma original de la partícula en forma topoquímica.

Por tanto en la lixiviación ácida del cobre, el modelo de reacción supone que los fragmentos de mena contienen partículas de minerales diseminados y que desarrollan cierta porosidad como resultado del pre-tratamiento del mineral y la posterior lixiviación de ciertos componentes de la ganga, el área de las partículas dentro de la zona de reacción se supone constante e independiente de la distribución del tamaño, ya que las nuevas partículas de cada fracción de tamaño, comenzarán a lixiviarse en el borde de la zona de reacción al mismo tiempo que otras partículas similares están terminando de lixiviarse en el otro borde dentro de la zona de reacción, según la cinética mixta siguiente:

$$dn/dt = - 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \delta \cdot n_p \cdot A_p \cdot C_s \cdot k_s / \emptyset$$

donde:

n = moles del mineral lixiviable

t = tiempo

n_p = número de partículas por unidad de volumen de mena.

A_p = área por partícula en la zona de reacción

k_s = constante de la velocidad de reacción

C_s = concentración media en la zona de reacción

δ = espesor de la zona de reacción

\emptyset = factor geométrico de esfericidad

Para la difusión a través de los poros hacia la zona de reacción:

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot D' \cdot k_s \cdot dC}{\emptyset \cdot \sigma \cdot dr}$$

con σ = factor de ésta estequiometría (número de moles de especies que se difunden por mol de metal lixiviado); relacionando las dos últimas expresiones se tiene:

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{4 \cdot \pi \cdot r_i^2}{\emptyset_{0i}} \left[\frac{1}{G \cdot \beta} + \left(\frac{\sigma}{D'}\right) (r_i / r_{i0}) (r_{i0} - r_i) \right]^{-1}$$

$$\text{donde: } G = \frac{\delta \cdot A_p \cdot r_p \cdot e_p}{3 e_r} \qquad \beta = \frac{3 \cdot e_r \cdot \delta \cdot k_s}{r_p \cdot e_r}$$

con r_p = radio medio de la partícula del mineral

e_p = densidad del mineral, e_r = densidad de la roca

Integrando se tiene:

$$1 - \frac{2}{3} \alpha_i - (1 - \alpha_i)^{2/3} + (\beta' / G \cdot r_{i0}) [1 - (1 - \alpha_i)^{1/3}] = \frac{\check{S} \cdot t}{G \cdot r_{i0}^2}$$

Con $\beta' = 2D' / (\sigma\beta)$, $\check{S} = 2 M D' C / (e_r \sigma \emptyset_{i0})$, α_i = fracción lixiviada

M = peso molecular del mineral

Una solución especial de este modelo cinético, resulta cuando los productos de reacción ocupan aproximadamente el mismo volumen que fue disuelto durante el proceso de lixiviación, considerando las

partículas de mena como esferas, el flujo total debe ser representado por la ecuación:

$$dn/dt = - (4. \pi . r^2 \cdot D) dc/dr$$

la cual puede ser integrada bajo las condiciones de estado estacionario en el que el flujo es constante:

$$dn/dt = - \frac{4. \pi . r r_0 D C}{(r_0 - r)} \quad n = 4/3 \pi r^3 /v$$

donde la concentración en la interfase es pequeña comparada con C, combinando estas últimas ecuaciones, tenemos la expresión general de los límites de reacción en términos del radio promedio del núcleo no reaccionado:

$$dr/dt = - \frac{V r_0 D C}{r(r_0 - r)}, \quad d\alpha/dt = (3 . v . k / s . r_0) (1 - \alpha)^{2/3}, \quad \alpha = 1 - (r / r_0)^3$$

Luego, combinando estas ecuaciones, resulta una expresión general para la velocidad en términos de la fracción reaccionada.

$$d\alpha/dt = (3 . v . D C / r_0^2) (1 - \alpha)^{1/3} / [1 - (1 - \alpha)^{1/3}]$$

que cuando $t = 0$, la expresión se reduce a:

$$1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = (2 v D C / r_0^2) . t \quad \text{y sabemos } K = 2v D C / r_0^2$$

luego, tenemos el modelo cinético topoquímico de difusión, con productos de reacción que forman capa protectora (con capa pasivante), denominado **MODELO DE REACCION A DIFUSION CONTROLADA**, que se define así:

$$1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = K t \quad (III)$$

donde plotamos, $1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}$ vs. t , obtenemos una recta cuya pendiente es K.

Las experiencias han demostrado que la crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), lixiviana topoquímicamente, por lo cual el modelo cinético difusional solamente (a través de una capa de sílice amorfa) no describe el proceso totalmente; al principio, el cobre es lixiviado por la reacción en la interfase, entonces el modelo más conveniente es de tipo mixto: reacción topoquímica y difusión controlada.

3.1.4 MODELO POBLACIONAL

Para finalizar con esta parte vamos a estudiar también un método empírico denominado, modelo de crecimiento logístico o **MODELO POBLACIONAL**, que se estableció inicialmente; para explicar el crecimiento poblacional de los microbios; y actualmente se viene aplicando a las curvas de extracción cinética en la modelación de la lixiviación de minerales de cobre, así como en otras ramas de la ingeniería, porque simulan un crecimiento inicial lento, seguido de un período de crecimiento rápido y finalmente un crecimiento limitado hasta llegar a una extracción muy alta, donde se mantiene casi constante.

El modelo poblacional, se define como el cambio de la extracción (α) que es proporcional a la extracción existente en un tiempo t :

$$d\alpha/dt = k\alpha$$

Pero si la extracción crece demasiado con el tiempo, estos factores retardan la tasa de crecimiento de la extracción y la detienen completamente, cuando éstas alcanzan un valor máximo. En este caso la ecuación será modificada de esta manera:

$$d\alpha/dt = k (\alpha_{t=\infty} - \alpha),$$

luego integrando, tenemos:

$$\alpha = \alpha_{t=0} / [1 + (\alpha_{t=\infty} / \alpha_{t=0} - 1) e^{-Kt}]$$

Luego despejando Kt , tenemos:

$$\ln [(\alpha_{t=\infty} / \alpha_{t=0} - 1) / (\alpha_{t=0} / \alpha - 1)] = K t \quad (IV)$$

donde:

K = constante de disociación cinética.

α = extracción de cobre en cualquier tiempo t , en tanto por uno.

$\alpha_{t=0}$ = mínimo valor de extracción de cobre en tanto por uno.

$\alpha_{t=\infty}$ = máximo valor de extracción de cobre en tanto por uno

De la misma forma que en los anteriores modelos, planteamos:

$\ln [(\alpha_{t=\infty} / \alpha_{t=0} - 1) / (\alpha_{t=\infty} / \alpha - 1)]$ vs. t , obtenemos una recta cuya pendiente es K .

Para nuestro caso, el modelo poblacional nos servirá para explicar los cambios de curvatura de la curva de extracción experimental, cuando haya finalizado la cinética de primer orden (modelo de reacción topoquímica o el modelo lineal) y de paso a la difusión de los reactivos a través de las capas protectoras hacia el centro reactivo del mineral (Modelo de Reacción a Difusión Controlada).

3.2 CURADO - AGLOMERADO

Generalmente el mineral oxidado de cobre con un porcentaje de cobre sulfurado (entre 15 a 20 por ciento) presenta gran cantidad de finos lo que definitivamente no es conveniente para el proceso de lixiviación por que disminuirá la aireación de la pila durante la lixiviación por lo que se retardará la reacción y además los sulfuros no podrán ser oxidados en medio ácido por la presencia del hierro como ion férrico, ni se desarrollará la actividad bacteriana, en caso hubiese, además que el contacto de la solución lixivante con el mineral no será del todo óptimo ya que ésta se reducirá ampliamente, produciendo canalizaciones innecesarias de la solución lixivante esto debido a que los finos impermeabilizarán las pilas por zonas, rápidamente, formando capas de finos, por todo esto se hace difícil aplicar la lixiviación estática más aún la lixiviación en película delgada radicando acá la importancia del proceso del curado. Entonces para optimizar la lixiviación se requiere de un proceso

llamado **CURADO - AGLOMERADO** que se viene usando, como un paso previo a la lixiviación en pilas.

3.2.1 FUNCIONES DEL ACIDO SULFURICO Y EL CLORURO DE SODIO

Es una operación combinada que involucra un aspecto químico, como es el ataque del mineral por ácido sulfúrico concentrado y un aspecto físico que corresponde a la aglomeración de las partículas por medio de puentes líquidos y fuerzas capilares, la lixiviación por su parte consiste en regar el mineral previamente curado con una solución ácida y se lleva a cabo por el método conocido como lixiviación en película delgada o trickle leaching. La función química del ácido sulfúrico industrial es hacer un ataque directo sobre el cobre presente en el mineral creando de esa forma zonas reactivas que hacen disolver este metal y en parte disolver también la ganga, en la parte física, el ácido aglomera las partículas finas con las mas grandes unidos por medio de puentes líquidos y fuerzas capilares, formando el aglomerado que presenta gran espacio libre entre los granos y que además se consigue crear espacios capilares minúsculos sobre la superficie e interior del mineral para que pueda realizarse la reacción del cobre con el ácido de manera focalizada (difusión del ácido a través de la porosidad formada en el aglomerado)

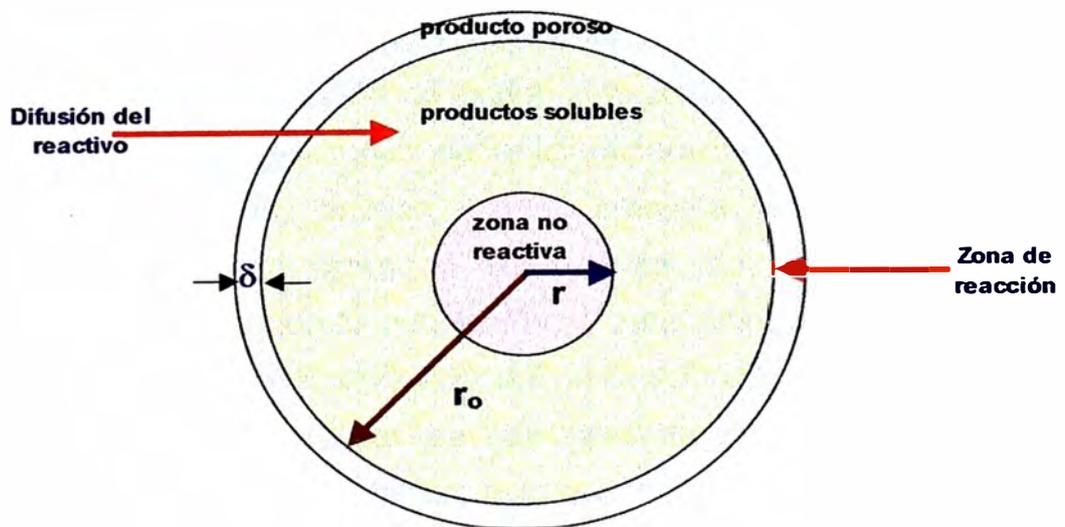
El cloruro de sodio actúa ayudando a la formación de puentes líquidos de grandes fuerzas capilares y como oxidante actúa sobre los minerales oxidados y sobre parte de los sulfuros, a la vez que actúa como limitante del ácido sulfúrico evitando de esa forma la disolución del fierro principalmente; (formando cloruro férrico) en cantidades tales que no permitan que haya exceso de ácido sulfúrico como se verá en las reacciones siguientes donde actúa sobre los carbonatos. La ventaja de producir cloruro férrico con respecto al sulfato férrico es su alta solubilidad 1000 gr/lit contra

aproximadamente 100 gr/lit del sulfato férrico, en general los cloruros presentan mayor solubilidad, el cloruro férrico tiene menor tendencia a formar jarositas que el sulfato férrico, sin usar el ácido clorhídrico por su alto costo.

El proceso de curado tiene una forma idéntica a la lixiviación pero sin solución de arrastre es decir que la cinética que ya se explicó, genera el ataque químico directo usando solo cierto porcentaje de agua para mejorar la difusión de ácido hacia el centro reactivo del mineral, como es ataque directo se produce gran desprendimiento de calor propio de la reacción alcanzando temperaturas puntuales de hasta 230°C. En la etapa del curado, todo el cobre presente en las superficies internas y externas de las partículas es solubilizado con ácido sulfúrico concentrado, en una reacción extremadamente rápida. Este cobre y todos los otros cationes solubilizados son posteriormente recuperados por transferencia de masas en las primeras etapas de la lixiviación.

El gráfico N° III – 3, siguiente trata de explicar como se da el proceso del curado y sus implicancias donde r_o y r son los radios de acción química observándose zonas reactivas y no reactivas.

GRAFICO N° III - 3



Aquí la solución es esparcida en la superficie del lecho a un flujo suficientemente bajo como para que la solución drene libremente por acción de la gravedad y la fuerza centrífuga que le imprime el tambor aglomerador sin que llene completamente los intersticios formados por las partículas del mineral, la lixiviación en película delgada (LPD) se realiza en presencia de una fase gaseosa, principalmente aire, que forma parte del sistema. Esta fase gaseosa ocupa el espacio vacío que dejan las partículas del mineral y el líquido que los rodean, dado que este espacio es interconectado formando un continuo, existe una gran facilidad para que se produzca transferencias difusionales o conectivas entre esta fase gaseosa y el líquido que rodea las partículas lo que trae dos consecuencias positivas.

En primer lugar en presencia de reacciones que desprenden gases tal como la lixiviación de carbonatos, el continuo gaseoso provee un medio de escape natural para ellos de tal manera que no se hace necesaria la formación de burbujas en el seno del lecho, otro factor importante es que la fase gaseosa permite llevar aire hacia la reacción durante el ataque de minerales sulfurados donde se puede usar como medio oxidante además de otros reactivos, otra ventaja de la LPD se refiere a la capacidad de mantener la estructura original del lecho debido a que el arrastre de finos es mínimo por el bajo flujo de riego por ello la permeabilidad original del lecho no se altera o se altera muy poco y ya no se produce bloqueos y canalizaciones, los cuales conducirán a una menor recuperación de cobre y mayores consumo de ácido por ataque preferencial de éste sobre las impurezas. Por otra parte desde el punto de vista cinético la LPD presenta la ventaja de que la concentración del cobre en solución es muy baja respecto a la lixiviación sumergida lo que facilita la transferencia de cobre hacia la solución, es una etapa principal del mecanismo de reacción, su cinética será favorecida en cuanto sea más baja su concentración en la solución como sucede en la lixiviación, esto trae como consecuencia el uso de soluciones con menor concentración de ácido haciéndose el consumo de ácido por la ganga, menor.

En la lixiviación en película delgada, considerada como proceso unitario, el uso de concentraciones bajas de ácido representa una desventaja sobre todo al inicio de la lixiviación donde la etapa controlante de la cinética es la reacción química en la superficie de las partículas y no la difusión en el sólido, ésta última comienza a tener mayor importancia a medida que la reacción avanza momento en que la concentración de ácido tiene un efecto menos marcado en la cinética, esta desventaja se elimina con la operación preliminar del curado.

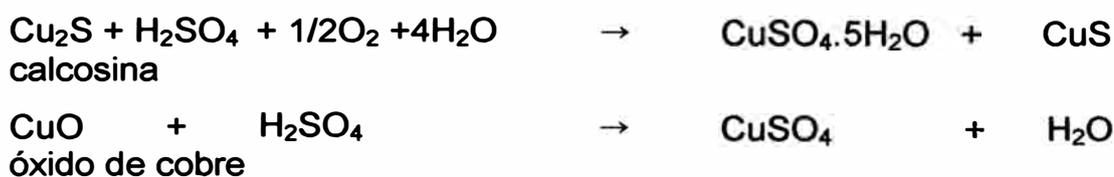
El rendimiento óptimo de la lixiviación depende de las dos etapas principales que son curado y lixiviación propiamente; controlados bien estos se logran con variables de operación adecuadas. Las condiciones óptimas de operación se encuentran a través de pruebas experimentales a nivel de laboratorio, piloto e industrial y éstos pueden ser analizados recurriendo a los principios de los fenómenos de transportes y transferencias de masa que interpretan el comportamiento físico del lecho de la lixiviación. De acuerdo a esto, se puede desarrollar un modelo matemático basado en dichos principios el cual permite predecir la aptitud de un mineral dado frente al proceso curado - aglomerado previo a la lixiviación.

3.2.2 REACCIONES QUÍMICAS EN EL CURADO

El curado presenta las reacciones químicas con alto desarrollo de energía calorífica (la temperatura en la reacción alcanza 200 – 230°C) debido al ataque con ácido de alta concentración. La adición de cloruro de sodio comercial en solución es importante al igual que en la lixiviación, ya que además ayuda a la formación de aglomerado más estable, dándole mejores características físicas y químicas.

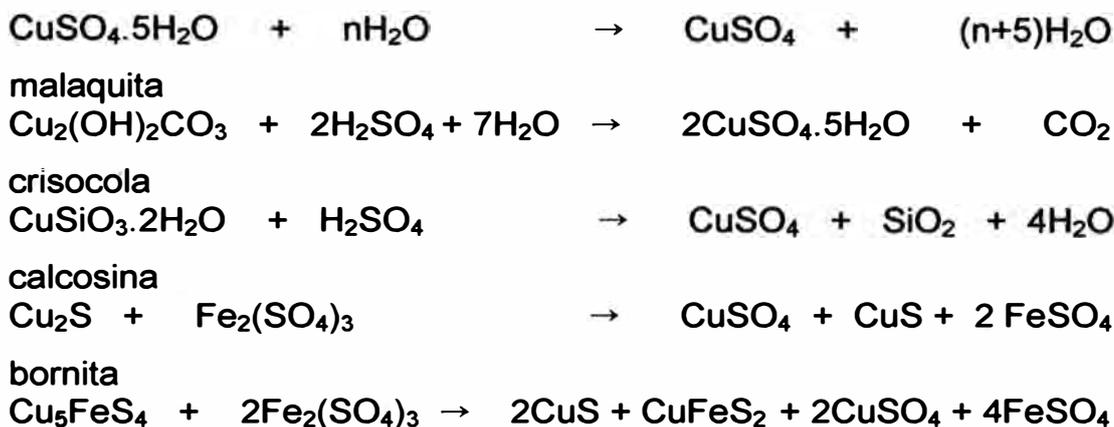
Minerales oxidados:





Las reacciones en película delgada y en tiempos cortos son:

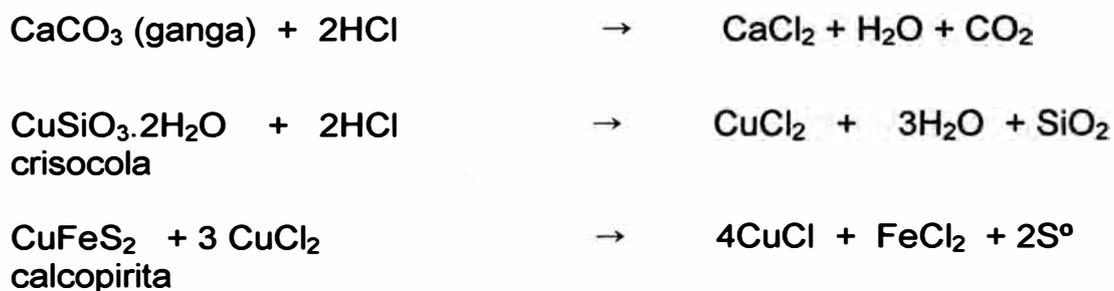
sulfato de cobre producido en el curado



Usando cloruro de sodio comercial en solución, a concentraciones tales que no se produzcan cloruros estables, se producen las reacciones siguientes:



El HCl formado ataca la ganga formando FeCl_3 y a los óxidos de cobre como:



Con un oxidante se produce:



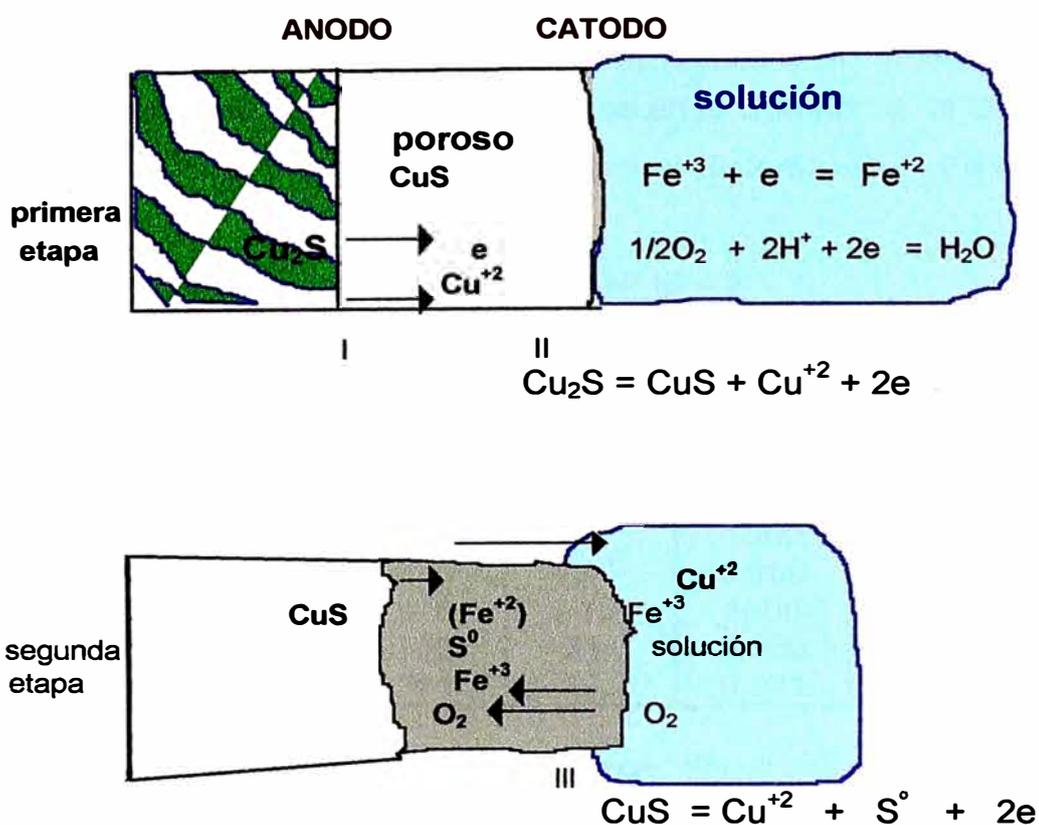
Estas dos últimas reacciones se ven favorecidas con temperaturas cercanas a 110°C que se alcanza por la reacción exotérmica del curado.

Un aspecto muy importante en la lixiviación es la presencia del Fe^{+3} , de preferencia como FeCl_3 en lugar de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ por tener mayor solubilidad, lo que produce un incremento en la velocidad de lixiviación del cobre desde el Cu_2S y además que tiene menor tendencia a formar jarositas en concentraciones bajas ya que al tener alta concentración precipita formando capas impermeables en las pilas lo que dificulta la lixiviación por zonas. Desde el punto de vista operativo se prefiere usar ácido sulfúrico por el bajo costo, gran disponibilidad y generar menos pérdidas por riego.

A continuación se muestra un pequeño esquema de lixiviación del Cu_2S con el ión férrico.

GRAFICO N° III - 4

ESQUEMA DE LIXIVIACIÓN DE SULFUROS CON HIERRO TRIVALENTE



3.2.3. TERMODINAMICA EN EL CURADO

Como bien sabemos la termodinámica, sirve para predecir la espontaneidad de una reacción, para lo cual mostraremos resumidamente la primera, segunda y tercera ley para construir e interpretar el diagrama de Pourbaix del sistema: S-O-Cu-H₂O (25°C).

Influencia de la temperatura

$$\Delta G^{\circ}_T = - \Delta H^{\circ}_T + T \Delta S^{\circ}_T$$

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta S^{\circ}_T = \Delta S^{\circ}_{298} + \int_{298}^T (\Delta C_p^{\circ} / T) \cdot dT$$

$$\Delta C_p^{\circ} = \Delta a + \Delta b \cdot T + \Delta c \cdot T^2 \quad (\alpha)$$

De la ecuación (α) el valor de ΔC_p° se calcula sólo para las especies no iónicas, para las especies iónicas se emplea el principio de correspondencia de Criss y Coble la que es dado por la ecuación siguiente:

$$\Delta S^{\circ}_T = a_T + b_T S^{\circ}_{298}$$

Donde a_T y b_T son parámetros empíricos dependientes de la temperatura y del tipo del ión. A continuación presentamos el **Cuadro N° III - 2** : Valores Empíricos en el Curado; y el **Cuadro N° III - 3**: Valores Termodinámicos para el Sistema Cu - Fe - S - O - H₂O .

CUADRO N° III - 2

VALORES EMPÍRICOS PARA EL CURADO

T(°C)	CATIONES SIMPLES		ANIONES SIMPLES		OXIANIONES	
	a	b	a	b	a	b
25	0	1000	0	1000	0	1000
60	3,9	0,955	-5,1	0,969	-14	1,217
100	10,3	0,876	-13	1000	-31	1,476
150	16,2	0,792	-21,3	0,989	-46,4	1,687
200	23,3	0,711	-30,2	0,981	-67	2,02

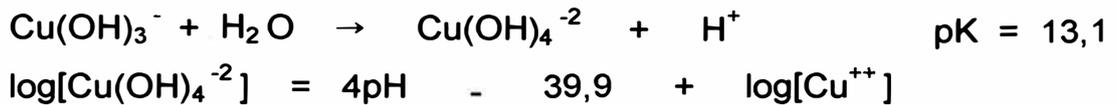
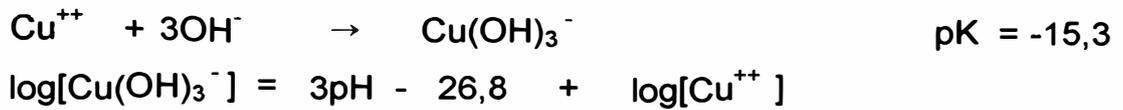
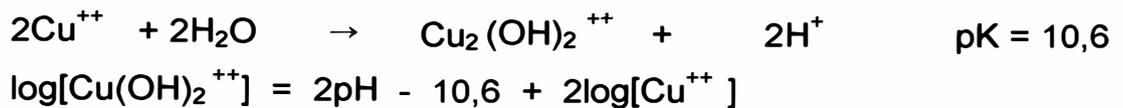
Se considera la relación convencional: $S^{\circ}_T = S^{\circ}_{298} - 5 \cdot \delta$ donde δ es el número de especies iónicas presentes en la molécula.

CUADRO N° III – 3**VALORES TERMODINAMICOS DEL SISTEMA****Cu - Fe - S - O - H₂O**

	ΔG°_{298} (kcal/mol)	S°_{298} (cal/mol/grado)	C°_P (298 - 373 ^o K) (cal/mol/grado)
H ⁺	0,00	0,00	31,00
H ₂ O	-56,69	16,71	18,03
H ₂	0,00	31,21	6,90
O ₂	0,00	49,00	8,30
HSO ₄ ⁻	-179,94	30,32	-10,00
SO ₄ ⁼	-179,94	4,10	-108,00
H ₂ S	-6,54	29,20	64,00
HS ⁻	3,01	14,60	-58,00
S ⁻²	22,10	-6,40	-58,00
S	0,00	7,62	5,91
Cu	0,00	7,96	5,91
Cu ⁺	12,00	-6,30	52,00
Cu ⁺²	15,53	-23,60	64,00
CuO	-30,40	10,40	10,87
Cu ₂ O	-34,98	24,10	16,81
CuO ₂ ⁻	-63,50	-23,00	-167,12
HCuO ₂ ⁻	-61,42	10,00	-126,80
Cu ₂ S	-20,60	28,90	19,50
CuS	-11,70	15,90	11,49
Fe ⁺²	-20,30	-27,10	66,00
Fe ⁺³	-2,53	-70,10	93,00
FeS ₂	-39,84	12,70	15,20
FeS	-23,32	16,10	15,20
Fe ₂ O ₃	-177,10	21,50	26,50
Fe ₃ O ₄	-242,40	35,00	38,10

Solubilidad de los minerales de cobre en el agua (25^oC)

$$\log[\text{Cu}(\text{OH})^+] = \text{pH} - 3 + \log[\text{Cu}^+]$$



con aire puro $\log P_{(\text{CO}_2)} = -3,52$

$$\log[\text{HCO}_3^-] = \text{pH} + 11,42$$



$$\log[\text{CO}_3^{-2}] = 2\text{pH} - 21,72$$



$$\log[\text{CuCO}_3] = 2\text{pH} - 14,95 + \log[\text{Cu}^{+2}]$$



$$\log[\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{-2}] = 4\text{pH} - 33,44 + \log[\text{Cu}^{+2}]$$



$$\log[\text{Cu}^{+2}] = 7,5 - 2\text{pH}$$

La variación de la solubilidad de la crisocola en partes por millón, en medio ácido sulfúrico, con respecto al tiempo se muestra en el siguiente cuadro N° III - 4

CUADRO N° III - 4

SOLUBILIDAD DE LOS ÓXIDOS DE COBRE EN ÁCIDO SULFÚRICO COMERCIAL

pH minutos	2	4	5,9	9	10
5	130	2,3	2,0	0,8	0,7
15	330	1,0	2,0	1,7	1,0
30	430	1,1	1,2	2,1	1,0

Cálculo de la Energía Libre de Gibbs:

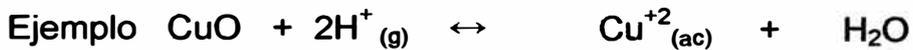
Partimos de la reacción sin oxidación ni reducción:



Donde: A y B son especies solubles o insolubles.

$$\begin{aligned} \Delta G_T^\circ (\text{cal}) &= b\mu_B^\circ + c\mu_{H_2O}^\circ - (a\mu_A^\circ + m\mu_{H^+}^\circ) = \\ &- RT \ln K_T = - [1,987(\text{cal}/^\circ\text{K}) \times 2,303] \cdot T \cdot \log K_T \\ &= - 4,576 T \log[(a^b_B \cdot 1)/(a^a_A \cdot a^m_{H^+})] \\ &= -4,576 T [\log(a^b_B/a^a_A) + (m \cdot \text{pH})] \end{aligned}$$

Si se conoce las actividades a entonces el pH se mantiene constante.



$$\begin{aligned} \Delta G_T^\circ (\text{cal}) &= 15\,530 - 56\,630 + 30\,400 = -10\,760 \text{ cal} \\ &= -4,765 T [\log a_{Cu^{+2}} + 2 \text{ pH}] \end{aligned}$$

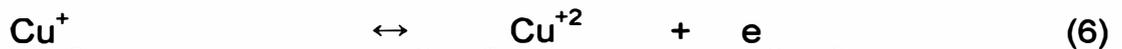
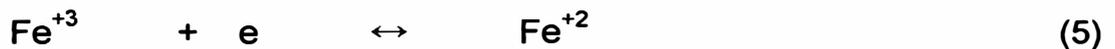
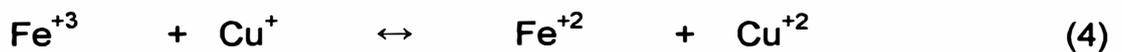
$$\begin{aligned} \text{Si } T = 298^\circ \text{ K entonces } -10\,760 &= -1364[\log a_{Cu^{+2}} + 2 \text{ pH}] \\ -2\text{pH} &= -7889 + \log a_{Cu^{+2}} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\text{Si } T = 373^\circ \text{ K entonces } -2\text{pH} = -5589 + \log a_{Cu^{+2}} \quad (2)$$

$$\text{Si } T = 423^\circ \text{ K entonces } -2\text{pH} = -4530 + \log a_{Cu^{+2}} \quad (3)$$

En la ecuación (1) se puede encontrar las actividades del cobre reemplazando valores de temperatura encontrándose que la actividad disminuye cuando aumenta la temperatura.

La interacción química entre el hierro y el cobre durante la lixiviación se da de acuerdo a la siguiente reacción:



$$\Delta G^\circ (5) = \Delta G^\circ_{Fe^{+2}} - \Delta G^\circ_{Fe^{+3}}$$

$$\Delta G^\circ (6) = \Delta G^\circ_{Cu^+} - \Delta G^\circ_{Cu^{+2}}$$

$$\Delta G^\circ (4) = \Delta G^\circ (5) + \Delta G^\circ (6)$$

Las reacciones (5) y (6) son de semi-celda.

La variación de la energía libre de Gibbs se da por la siguiente ecuación:

$$-\Delta G^{\circ} = z \cdot E^{\circ} \cdot F$$

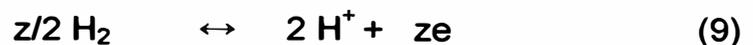
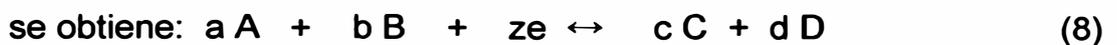
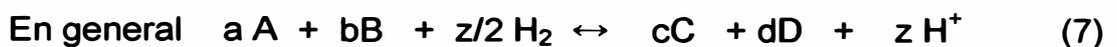
Donde: z = Números de electrones que intervienen.

F = Faraday (23,06 kcal/volt equiv-gr)

E° = Potencial del electrodo standard (actividad = 1)

Se tiene que : $E^{\circ} = -\Delta G^{\circ}/(z \cdot F) = -R \cdot T \ln K/(z \cdot F)$

Se considera para un electrodo standard $E^{\circ} = 0$ ya que $a_{H^+} = 1$ y $P_{H_2} = 1$ atm



$$\Delta G^{\circ} (8) = c\Delta G^{\circ}_C + d\Delta G^{\circ}_D - a\Delta G^{\circ}_A - b\Delta G^{\circ}_B - z\Delta G^{\circ}_e$$

$$\Delta G^{\circ} (9) = z\Delta G^{\circ}_{H^+} + z\Delta G^{\circ}_e - z/2\Delta G^{\circ}_{H_2}$$

$$\Delta G^{\circ} (7) = \Delta G^{\circ} (8) + \Delta G^{\circ} (9)$$

Por convención se tiene que en esta última ecuación $\Delta G^{\circ} (9) = 0$

$-E^{\circ}_{(7)} F = -z E^{\circ}_{(8)} F$, se tiene finalmente $E^{\circ}_{(7)} = z E^{\circ}_{(8)}$

$$\Delta G (7) = \Delta G^{\circ} (7) + \ln [a^c_C \cdot a^d_D \cdot a^z_{H^+} / (a^a_A \cdot a^b_B \cdot a^{z/2}_{H_2})]$$

$$\Delta G (8) = \Delta G^{\circ} (8) + \ln [a^c_C \cdot a^d_D / (a^a_A \cdot a^b_B)]$$

$$\Delta G (9) = \Delta G^{\circ} (9) + \ln [a^z_{H^+} / a^{z/2}_{H_2}]$$

$$\Delta G = -z F \cdot E$$

$$E (7) = E^{\circ} (7) - R \cdot T / (z \cdot F) \ln [a^c_C \cdot a^d_D \cdot a^z_{H^+} / (a^a_A \cdot a^b_B \cdot a^{z/2}_{H_2})]$$

La ecuación (8) referida a los potenciales de oxidación reducción hacemos referente al electrodo standard de hidrógeno al de oxidación reducción se tiene:

$$E_h = E^{\circ} - R \cdot T / (z \cdot F) \ln [a^c_C \cdot a^d_D / (a^a_A \cdot a^b_B)]$$

Para esta última ecuación reemplazamos $T = 298K^{\circ}$ se tendrá:

$$E_h = E^\circ - [1,987e^{-3} \times 298 \times 2,303 / (z \times 23,06)] \times \log(\prod_{a \text{ reducido}} / \prod_{a \text{ oxidado}})$$

Donde \prod_a es el producto de las actividades de los estados oxidados y reducidos con :

$$E^\circ = - \Delta G^\circ / (z \cdot F)$$

En todos los casos consideramos las actividades de las especies en solución para construir los diagramas de POURBAIX (E_h , pH), en lixiviación se especifica las actividades que son mayores a 10^{-3} M (molal).

Interpretación del Diagrama de Pourbaix para el cobre

Como bien sabemos los Diagramas de Pourbaix o Diagramas de Equilibrio Eh vs. Ph, sirven para explicar la estabilidad y zonas de predominancia de las especies formadas en un sistema acuoso (equilibrios definidos en función de la estabilidad del agua líquida).

Las especies participantes en los diversos equilibrios químicos y electroquímicos son los sólidos Cu, Cu₂O y CuO y los iones Cu⁺ , Cu⁺² , HCuO₂⁻ y CuO₂⁻² y sus isothermas graficadas con sus respectivas energías libres estándar, las que presentan las siguientes características:

Reacciones sin oxidación ni reducción son líneas verticales.

Reacciones con transferencia de electrones:

Si no intervienen los iones H⁺ o OH⁻ son líneas horizontales

Si intervienen los iones H⁺ o OH⁻ son líneas diagonales

Cabe resaltar que todas las líneas denotadas por la ecuaciones electroquímicas del Diagrama de Pourbaix, son regiones de metaestabilidad o coexistencia de las especies involucradas y los sectores comprendidos entre ellas , se les denomina área de predominancia o estabilidad de las especies nominadas.

SISTEMA : S - O - Cu - H₂O

Este diagrama se hace considerando T = 298⁰K, actividades 10⁻³ M y 10⁻⁶ M.

Valores de ΔG° en kcal:

$$\text{Cu}^+ = 12,00$$

$$\text{Cu}^{+2} = 15,53$$

$$\text{CuO} = -15,53$$

$$\text{HCuO}_2^- = -61,42$$

$$\text{CuO}_2^- = -43,5$$

$$\text{Cu}_2\text{O} = -43,98$$

Reacciones:

$$(1) \text{Cu}^{++} + \text{H}_2\text{O} = \text{CuO} + 2\text{H}^+ , \quad -2\text{pH} = \log a_{\text{Cu}^{+2}} - 7,889$$

$$(2) \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CuO}_2^{-2} + 2\text{H}^+ , \quad \log a_{\text{CuO}^{-2}} - \text{pH} = -31,94$$

$$(3) \text{CuO}_2^{-2} + \text{H}^+ = \text{HCuO}_2^- , \quad \log a_{\text{HCuO}_2^-} - \log a_{\text{CuO}_2^{-2}} + \text{pH} = 13,135$$

$$(4) \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{HCuO}_2^- , \quad -\text{pH} + \log a_{\text{HCuO}_2^-} = 18,80$$

$$(5) \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} , \quad E_h = 0,471 - 0,059 \text{pH}$$

$$(6) 2\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} , \quad E_h = 0,67 - 0,059 \text{pH}$$

$$(7) \text{Cu}^{+2} + 2e = \text{Cu} , \quad E_h = 0,337 + 0,0259 \log a_{\text{Cu}^{+2}}$$

$$(8) \text{Cu}^+ + e = \text{Cu} , \quad E_h = 0,521 + 0,059 \log a_{\text{Cu}^+}$$

$$(9) \text{Cu}^{+2} + e = \text{Cu}^+ , \quad E_h = 0,153 - 0,059 \log a_{\text{Cu}^+} + 0,059 \log a_{\text{Cu}^{+2}}$$

$$(10) 2\text{Cu}^{+2} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ , \quad E_h = 0,203 + 0,059\text{pH} + 0,059\log a_{\text{Cu}^{+2}}$$

$$(11) 2\text{Cu}^{+2} + \text{HSO}_4^- + 7\text{H}^+ + 10e = \text{Cu}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$$

$$E_h = 0,427 + 0,0118\log a_{\text{Cu}^{+2}} + 0,0059 \log a_{\text{SO}_4^{-2}} - 0,0414\text{pH}$$

$$(12) 2\text{Cu}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + 8\text{H}^+ + 10e = \text{Cu}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$$

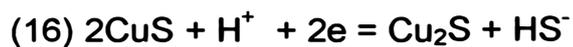
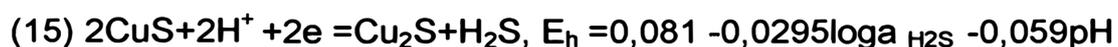
$$E_h = 0,438 + 0,0118 \log a_{\text{Cu}^{+2}} + 0,0059\log a_{\text{SO}_4^{-2}} - 0,0473\text{pH}$$

$$(13) 2\text{Cu}^{+2} + \text{H}_2\text{S} + 2e = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{H}^+$$

$$E_h = 0,978 + 0,059 \log a_{\text{Cu}^{+2}} + 0,0295 \log a_{\text{H}_2\text{S}} + 0,059\text{pH}$$

$$(14) 2\text{Cu}^{+2} + \text{HS}^- + 2e = \text{Cu}_2\text{S} + \text{H}^+$$

$$E_h = 1,187 + 0,059 \log a_{\text{Cu}^{+2}} + 0,0295 \log a_{\text{HS}^-} + 0,0295\text{pH}$$



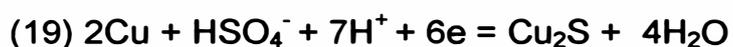
$E_h = 1,127 - 0,0295 \log a_{\text{HS}^-} - 0,059\text{pH}$



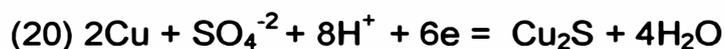
$E_h = 0,377 + 0,00985 \log a_{\text{SO}_4^{-2}} - 0,0788 \text{pH}$



$E_h = 0,358 + 0,00985 \log a_{\text{SO}_4^-} - 0,0689 \text{pH}$



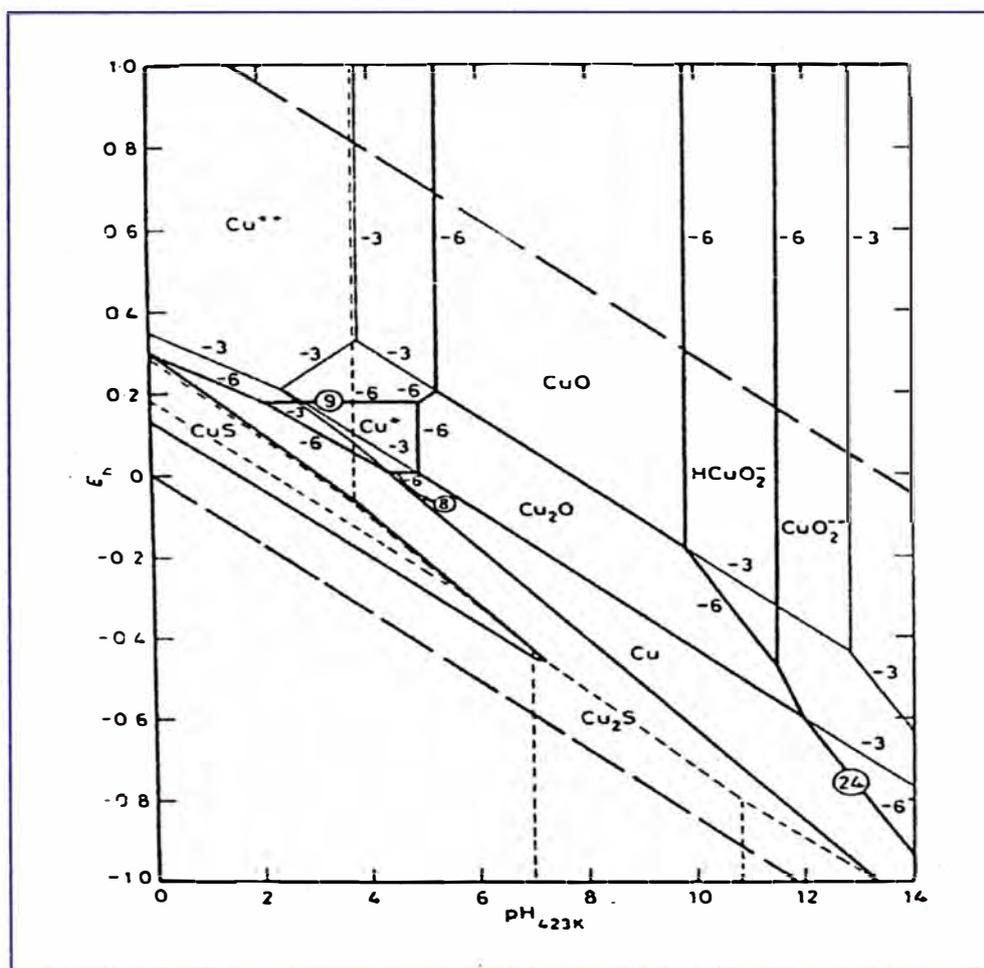
$E_h = 0,488 + 0,00985 \log a_{\text{SO}_4^-} - 0,0689 \text{pH}$



$E_h = 0,506 + 0,00985 \log a_{\text{SO}_4^{-2}} - 0,0788 \text{pH}$

GRAFICO N° III - 5

DIAGRAMA DEL SISTEMA S - O - Cu - H₂O (25°C)



El diagrama de equilibrio en cuestión , podemos interpretarlo de esta manera:

El Cu^{+2} en presencia de un fuerte oxidante, que es el O_2 y en medio acuoso (zona de estabilidad del H_2O) , forma el CuO (pH de 0 a 6) , los iones HCuO_2^- (pH de 6 a 13) y CuO_2^{2-} , (pH mayores a 13); ocurriendo los equilibrios metaestables en los pH dados:

$$\text{pH} [\text{CuO} / \text{CuO}_2^{2-}] = 12.97 , \text{ en (2)}$$

$$\text{pH} [\text{CuO} / \text{HCuO}_2^-] = 13.14 , \text{ en (3) y}$$

$$\text{pH} [\text{CuO} / \text{HCuO}_2^-] = 12.80, \text{ en (4)}$$

para una actividad o concentración de 10^{-6} M , estos valores tienden a disminuir cuando se incrementa la concentración a 10^{-3} M.

El Cu^{+2} en presencia de un fuerte agente reductor , que es el H^+ y en medio acuoso, forma el Cu^{+1} y el Cu elemental, según las reacciones (7) y (9), que suelen despreciarse por la metaestabilidad del ión Cu^{+1} , sin embargo deja de serlo cuando la temperatura es incrementada a mas de los 373 ° K (punto de ebullición del agua).

El Cu^{+2} en contacto con el S elemental, en medio acuoso, forma los sulfuros secundarios de cobre: calcosita (Cu_2S) y covelita (CuS), a medida que se disminuye el Eh desde 0.4 V. en un rango de Ph de 0 a 6, luego las áreas de predominancia para ambos sulfuros, indican que las películas de azufre no se encontrarán en forma adyacente al Cu_2S , ya que la reacción: $\text{Cu}_2\text{S} + \text{S} = 2 \text{CuS}$, es termodinámicamente favorable. La secuencia de las capas superficiales formadas en la superficie del Cu_2S es la siguiente: $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CuS} / \text{S}$, se encuentran en una solución acuosa de alto potencial de oxidación que reaccionará, bajando el potencial debido a la superficie agotada del oxidante, resultando en un sobrepotencial de polarización y en la formación de CuS ; si el oxidante es el O_2 , la reacción catódica consumirá iones H^+ y O_2 en la superficie.

3.2.4 CINETICA DEL CURADO

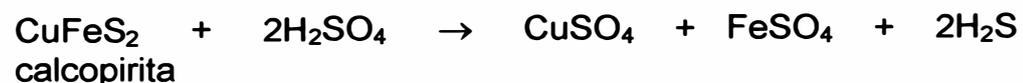
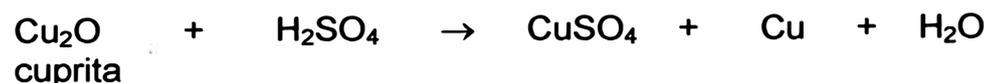
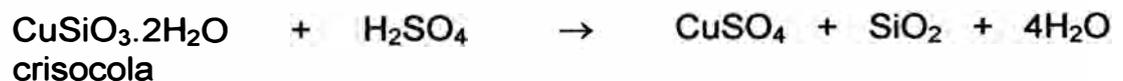
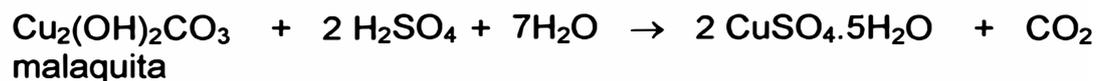
El modelo cinético que mas se ajusta al pre-tratamiento del curado-aglomerado de los minerales oxidados de cobre, es la cinética mixta o modelo de reacción a difusión controlada, debido a que como ya se explicó , es en este proceso donde entra en contacto el ácido sulfúrico (ataque químico) con el mineral de cobre, formando en la ganga silícea un producto de reacción (poroso) , que actúa como capa protectora o pasivante de la reacción, dando paso a la difusión del mismo hacia el centro reactivo del mineral.

3.3 LIXIVIACION

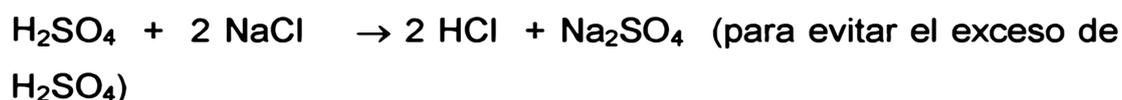
En la lixiviación se producen reacciones específicas, debido a la distribución del cobre óxido en partículas finas y en baja ley, por lo que no es recomendable una concentración física.

La lixiviación ácida (débil), produce las reacciones donde intervienen usualmente el sulfato férrico como medio oxidante.

3.3.1 REACCIONES QUÍMICAS EN LA LIXIVIACIÓN



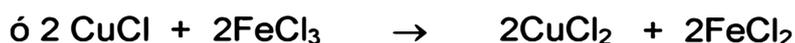
Usando NaCl:



El HCl formado, ataca la ganga formando FeCl_3 y a los óxidos de cobre como:



Con un oxidante se produce:



Consumo teórico de ácido sulfúrico para estas reacciones = 1,54 kg /kg Cobre

El consumo en la práctica es de 3,20 kg/ kg Cu, con consumo de las gangas calcáreas y dolomíticas que es de:

1,75 kg H_2SO_4 por cada kg de CaO ; 2,45 kg H_2SO_4 por cada kg de MgO

3.3.2 CINÉTICA DE LA LIXIVIACION

La cinética de lixiviación, se produce en tres etapas:

1. Difusión de la solución a través de la película delgada.
2. Difusión a través de los productos sólidos de la reacción.
3. Reacción en la interfase.

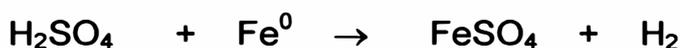
En este proceso también se aprecia que está gobernado por un modelo difusional mixto, porque en el ataque químico el cobre es lixiviado por reacción topoquímica y luego comienza la difusión a través de la capa porosa (modelo de reacción a difusión controlada).

3.4 CEMENTACION

Es el proceso por el cual se produce la oxidación por contacto, en la solución preñada de cobre y la chatarra de hierro, llamada así porque el cobre metálico reducido está pegado a manera de cemento sobre la superficie del hierro de la chatarra, según se explica seguidamente.

3.4.1 REACCIONES QUÍMICAS EN LA CEMENTACION

Usando como precipitante el hierro se tiene las siguientes reacciones principales:

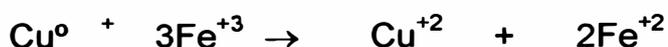


Esta primera reacción es la principal en cementación cuyo consumo estequiométrico es 0,88 kg. de hierro / kg. de Cu producido, en la práctica el consumo está entre 1,5 - 2,6 kg. de hierro / kg. de Cu producido. El exceso del consumo se debe a las dos últimas reacciones, siendo esta última la más lenta. Otras causas pueden ser:

1. Acidez excesiva en base a la reacción:



2. Presencia de hierro (III), buen oxidante, que lixivia el cobre:



3. Efecto contrario, disminuye eficiencia cementación, redisuelve el cobre:



4. Presencia de oxígeno, cuando no se usa atmósfera inerte:



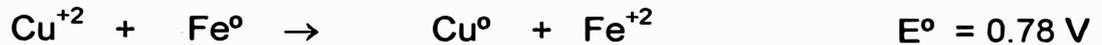
5. Incremento de la temperatura:



3.4.2 TERMODINAMICA DE LA CEMENTACION

Se produce la celda: $\text{Fe}^{\circ}(\text{chatarra})/\text{Fe}^{+2}, \text{H}_2\text{SO}_4//\text{H}_2\text{SO}_4, \text{Cu}/\text{Cu}^{\circ}$

De la siguiente ecuación global:



Esta es una clásica reacción de oxi-reducción, donde el ΔG° es de -36,000 cal. Lo cual predice que la reacción es espontánea.

Aplicando la energía de Nerst, para ambas semi - reacciones se tiene que:

$$E_1 = -0.44 + 0.03 \log (\text{Fe}^{+2})$$

$$E_2 = 0.34 + 0.03 \log (\text{Cu}^{+2})$$

En condiciones de equilibrio, es decir, cuando ambos potenciales sean iguales, es posible deducir:

$$\text{Fe}^{+2} / \text{Cu}^{+2} = 10^{26}$$

Tan alto valor de la constante de reacción, señala la improbabilidad de que se produzca la reacción inversa, es decir no cabría la posibilidad de la redisolución del cobre cementado por acción de iones ferrosos.

Por otro lado, aplicando la ecuación de Nerst en función de las concentraciones molares, en la reacción global de cementación, tenemos:

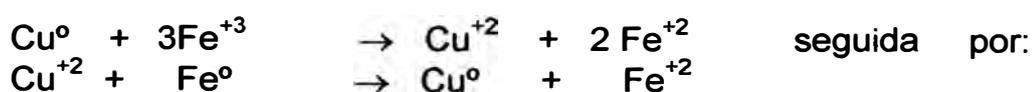
$$\Delta E = 0.78 + 0.03 \log [\text{Fe}^{+2} / \text{Cu}^{+2}]$$

Al término de la cementación, la concentración de iones ferrosos puede suponerse equivalente a los de los iones cúprico iniciales, y

ésta a su vez insignificante, en tal caso se obtendrá; un $\Delta E = 0.66 \text{ V}$, por tanto la reacción entre el hierro metálico y los iones Cu^{+2} procederá hasta la precipitación completa del cobre.

3.4.3 CINÉTICA DE LA CEMENTACION

Los estudios cinéticos demostraron que el orden de la reacción depende de la agitación, a alta velocidad la reacción es de primer orden. Hacia el final del proceso la reacción es más lenta debido a las reacciones siguientes:

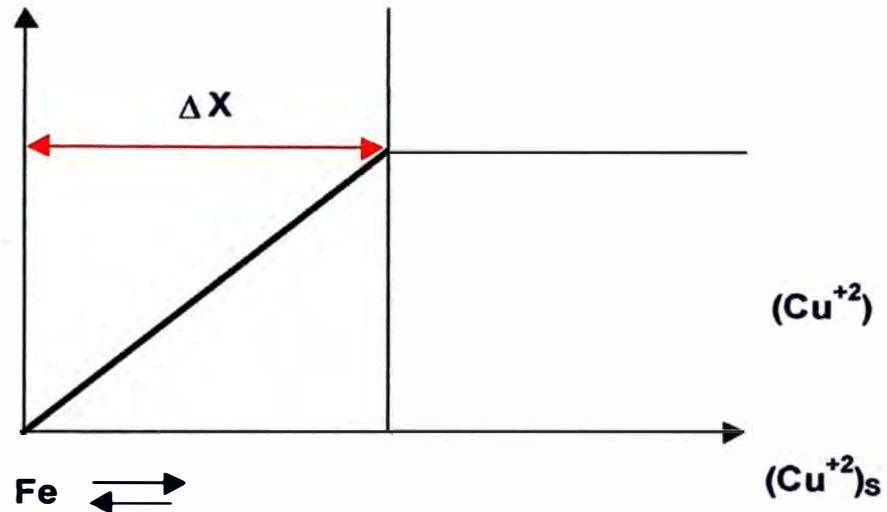


Se encontró que la presencia del Fe^{+3} reduce la velocidad de reacción del Cu aunque depende del pH de cementación y para valores mayores de 2,5 el consumo excesivo de chatarra baja usando precipitadores de Kennecott. A mayor temperatura de cementación mayor es el consumo de chatarra, la cinética de la cementación, tiene la relación siguiente.

$$\frac{d(\text{Cu}^{+2})}{dt} = -A \cdot (\text{Cu}^{+2}) \cdot k_0$$

donde: $A =$ área superficial del hierro en cm^2
 $k_0 =$ constante de la cinética $\text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

El mecanismo de cementación del cobre se explica mejor por la difusión del cobre a través del límite de difusión del cobre o límite de Nernst lo que explica, que el mecanismo controlador es la superficie del hierro, los iones de cobre difusan a través de los límites de difusión a lo largo de una distancia ΔX siendo la concentración del cobre en la superficie del hierro: $(\text{Cu}^{+2})_s$ y en la solución en general es Cu^{+2} se representa esquemáticamente por el **Gráfico N° III - 6**:

GRAFICO N° III – 6**MECANISMO DE CEMENTACIÓN DEL COBRE.**

Según la primera ley de Fick la velocidad de transporte a través del límite de difusión se expresa por:

$$R = \frac{dn}{dt} = \frac{-D \cdot S \cdot [(Cu^{+2}) - (Cu^{+2})_s]}{\Delta X}$$

donde:

R = Velocidad de reacción en mol/cm²

D = Coeficiente de difusión en cm²/seg.

S = Area libre de reacción de la superficie del hierro en cm²

(Cu⁺²) = Concentración de los iones de cobre en la sol. mol/cm³

(Cu⁺²)_s = Concentración de los iones de cobre en la zona cercana al hierro (mol/cm³)

La velocidad en la superficie es: $\frac{dn}{dt} = -S \cdot k_0 \cdot (Cu^{+2})_s$

Combinando la reacción química con la difusión se tiene:

$$\frac{dn}{dt} = -A \cdot (Cu^{+2}) \left[\frac{1}{k_0} - \frac{\Delta X}{D} \right]$$

Si la reacción química cerca a la superficie es mucho mas rápida que la difusión tendremos: $\frac{1}{k_0} \ll \frac{\Delta X}{D}$. La última ecuación se transforma en:

$$\frac{dn}{dt} = -A \cdot D \cdot (Cu^{+2}) / \Delta X$$

CAPITULO IV

TECNOLOGÍA

4.1 CARACTERIZACION DEL MINERAL

En la zona de oxidación existen la diseminación de minerales superficialmente, como es característica de estos minerales oxidados, tales como: malaquita, crisocola, atacamita, azurita, hematita y limonita, estas zonas alteradas tienen una profundización de 15 a 20 metros, la hematita se encuentra diseminada en las rocas volcánicas de la superficie, junto a la clorita, actinolita y epidota; luego vienen los sulfuros en las zonas mas profundas, donde se distinguen: chalcopirita, pirita, magnetita, calcosita, covelita, calcita y otros de menor grado.

4.1.1 MINERAL Y RESERVAS

Con respecto al mineral a beneficiarse por la planta de óxidos inicialmente se estudió una reserva de 850,000 TM que fueron tratados a razón de 12,000 TM/mes a partir del mes de agosto de 1995 hasta la actualidad, en que se tiene una reserva de 290,000 TM. En el mes de setiembre de 1997 se inicia un plan agresivo de exploración para ubicar mineral oxidado habiéndose probado a la actualidad un millón doscientos toneladas con leyes 1,42 % de Cu Total, 1,17 % de Cu Oxido y 3 % de Fe, este mineral ya está preparándose en el botadero superior a la reserva preparada anteriormente, por ello se piensa ampliar la planta para producir cobre electrolítico, instalando una pequeña planta de electrodeposición para lo cual ya se desarrolló un proyecto.

4.1.2 ASPECTOS QUIMICOS- MINERALOGICOS

Luego de la diseminación de los minerales oxidados, vienen los sulfuros en zonas profundas, para beneficiar el mineral oxidado se

movieron grandes cantidades de desmonte aproximadamente unos 200,000 TM. Teniendo 850,000 TM de mineral oxidado valioso que se beneficiará inicialmente, llevándose a cabo un muestreo minucioso para determinar la presencia de minerales económicos y minerales ganga.

Macroscópicamente se pudo diferenciar la presencia de:

a.-Minerales Económicos:

<u>Nombre</u>	<u>Fórmula Química</u>
Malaquita	$\text{Cu}_2\text{CO}_3 \cdot (\text{OH})_2$
Crisocola	$\text{Cu}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Cuprita	Cu_2O
Antlerita	$\text{Cu}_3\text{SO}_4 \cdot (\text{OH})_4$
Calcantita	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

b.- Minerales Ganga:

Calcita, magnetita, pirita, sílice, hematita, actinolita, tremolita y otros.

Del análisis químico del mineral de óxidos se tuvieron los siguientes resultados en promedio:

Elemento	Concentración
Cobre total	1,98%
Cobre óxido	1,07%
Cobre sulfuro	0,91%
Hierro	8,08%
Cobalto	2,00%
Azufre	1,60%
Insoluble	8,20%
Oro	0,25 gr /TM
Plata	10,00 gr /TM
Plomo	265 p.p.m.
Zinc	580 p.p.m

Manganeso	750 p.p.m.
Antimonio	45 p.p.m.

De los resultados antes mencionados se observa que son altos respecto a los registros históricos o ley acumulada, con los que se hicieron los cálculos para diseñar la planta y cuyos valores son:

Cobre total	1,67%
Cobre óxido	1,18%
Cobre sulfuro	0,49%

De las reservas actualmente en preparación se encontró que tiene una composición mineralógica parecida a la que se está tratando con la presencia adicional de la covelita y calcosita como minerales secundarios y la calcopirita como principal mineral primario.

4.2 TECNOLOGIA DEL CURADO AGLOMERADO

Generalmente el mineral oxidado de cobre con un porcentaje de cobre sulfurado (entre 15 y 20 por ciento) presenta gran cantidad de finos lo que definitivamente no es conveniente para el proceso de lixiviación, por que disminuirá la aireación de la pila durante el proceso y retardará la reacción; además los sulfuros no podrán ser oxidados en medio ácido por la presencia del hierro como ion férrico ni que se desarrolle la actividad bacterial en caso se presentara. En la lixiviación el contacto de la solución lixivante con el mineral no será del todo óptimo ya que éste se reducirá ampliamente, produciendo canalizaciones innecesarias de la solución lixivante esto debido a que los finos impermeabilizarán las pilas rápidamente formando capas, por todo esto, se hace difícil aplicar la lixiviación estática; mas aún la lixiviación en película delgada.

El tratamiento preliminar del curado es ventajoso ya que permite usar baja concentración de ácido durante la lixiviación inicial del mineral,

como un lavado lo que no podría hacerse en el mineral que no es tratado previamente.

En la etapa del curado, todo el cobre presente en las superficies internas y externas de las partículas es solubilizado con ácido sulfúrico concentrado, en una reacción extremadamente rápida y exotérmica. El cobre y todos los otros cationes solubilizados son posteriormente extraídos por transferencia de masa en las primeras etapas de la lixiviación.

Paralelamente a este efecto puramente químico, en la etapa de curado se produce una aglomeración (efecto físico) de las partículas mediante puentes líquidos debido a la adición de agua formándose una estructura muy porosa y altamente permeable. Esta estructura granulada permite mantener un flujo muy parejo a través del lecho de tal manera que la solución lixivante actúe en una forma mucho más homogénea que como lo hace en un material sin aglomerar.

Debido a las particulares propiedades de los lechos de lixiviación en película delgada el análisis fenomenológico del proceso debe iniciarse en los aspectos hidrodinámicos de estos sistemas. Las conclusiones obtenidas a partir de allí, permiten obtener relaciones de transferencias de masas para los fenómenos de disolución de las especies valiosas a partir de los minerales.

En seguida se presentan las características más importantes de la hidrodinámica de los lechos de lixiviación en película delgada en comparación con aquellos de lixiviación sumergida.

Estructura del Lecho de Lixiviación Trickle Leaching

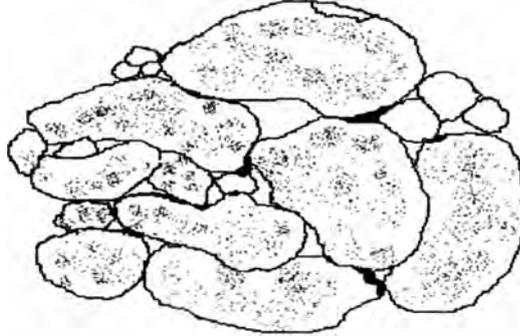
Para los efectos hidrodinámicos, un lecho de lixiviación T.L. se caracteriza por que las partículas del mineral forman una cierta estructura granulada, la cual queda definida físicamente en la operación preliminar de curado. Físicamente, en la etapa de curado el mineral chancado a un tamaño fino, se pone en contacto con agua, (en

comparación con aquellos de lixiviación sumergida) en un equipo mezclador tradicional denominado propiamente tambor aglomerador , donde se produce la unión entre las partículas del mineral a través de enlaces con la fase líquida. En este proceso físico las partículas pequeñas tienden a unirse a las partículas más grandes, esta cohesión de aglomerado se debe a varios mecanismos principalmente a las fuerzas interfaciales y las presiones capilares, claro que sin descartar que actúan otros mecanismos.

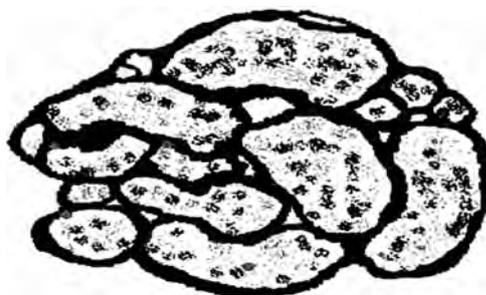
Este mecanismo de enlace, incluye dos casos extremos, la formación de puentes líquidos puros y la unión de un aglomerado a través de la presión capilar en la superficie cuando éste está lleno de líquido. Los tipos de enlace obtenidos entre éstas dos condiciones extremas que fueron descritas por Newitt y Conway – Jones y pueden ser divididos en tres categorías que dependen de la superficie específica de las partículas, su distribución granulométrica y el contenido de humedad de la mezcla.

Para una cantidad de mineral y un conjunto específico de partículas se distinguen las siguientes categorías.

1. Si el espacio vacío entre las partículas del mineral está solo parcialmente lleno de líquido el estado se denomina pendular; aquí las partículas están unidas gracias a que son mojadas por el líquido y los siguientes enlaces se deberán a las fuerzas interfaciales en las superficies líquido - gas según se ilustra en el **gráfico N° IV -1**.

GRAFICO N° IV – 1**Partículas en estado pendular****Estado pendular**

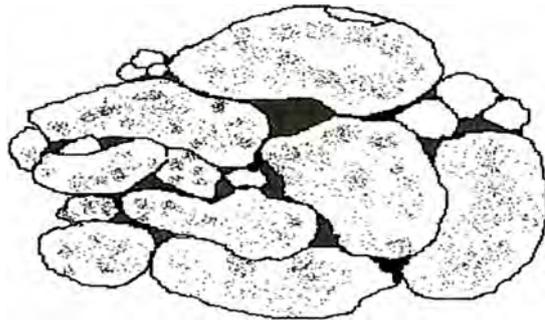
2. Si el espacio vacío entre las partículas del mineral está lleno de líquido, formando un aglomerado, las fuerzas interfaciales existen sólo en las superficies de los gránulos y el estado se denomina capilar (ver gráfico N° IV – 2). Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas dentro de un aglomerado son las presiones negativas que se desarrollan a través de las superficies cóncavas formadas por el líquido que rodea a las partículas.

GRAFICO N° IV-2**Partículas en estado capilar****Estado capilar**

3. El estado de transición entre los dos casos anteriores se denomina estado funicular (ver **gráfico N° IV – 3**), en el cual existen huecos dentro de un aglomerado que no está lleno de líquido. Sin embargo, aún en este caso la fase líquida tiene una forma continua dentro del aglomerado, como se observa en la siguiente ilustración:

GRAFICO N° IV-3

Partículas en estado funicular

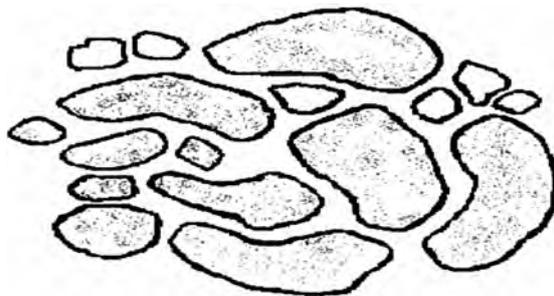


Estado funicular

Finalmente si la cantidad de humedad excede un valor crítico las superficies cóncavas del estado capilar se transforman en convexas la expresión negativa de este último caso se hace positiva y desaparecen las fuerzas de unión entre las partículas. El aglomerado se destruye y se forma una suspensión sólida – líquida, como se observa en el **gráfico N° IV - 4**.

GRAFICO N° IV- 4

Partículas en estado de suspensión



Estado en suspension

La cantidad de agua adicionada en la etapa de curado de la lixiviación T.L. es un parámetro crítico debido a las razones mencionadas anteriormente. El mecanismo de adhesión apropiado para este caso será función de las características del mineral y debe ser determinado experimentalmente en conjunto con el efecto químico del aglomerante y del medio acuoso para alcanzar un mejor estado capilar.

En adición, al efecto químico producido en el curado, que es, la disolución de una gran parte del cobre superficial contenido en las partículas, la etapa de curado provee un material particulado homogéneo, cohesionado y con una permeabilidad que permite un flujo parejo a través del mineral aglomerado en la etapa posterior de la lixiviación propiamente.

Debido a que los flujos en la lixiviación T.L son relativamente bajos comparados con los de la lixiviación sumergida, la estructura particular formada en la operación de curado aglomerado se conserva prácticamente intacta es decir los puentes líquidos formados no se rompen por el flujo manteniéndose unidos los aglomerados.

Por lo descrito hasta ahora el concepto hidrodinámico de la lixiviación T.L. se visualiza de la siguiente manera: Durante el regado el flujo alimentado sobre el lecho desciende formando una delgada película de líquido que pasa a rodear las superficies de los aglomerados sin destruirlos. Entre un aglomerado y otro existe un espacio que no es ocupado por la fase o por las partículas sólidas, sino por una fase gaseosa que forma una fase continua. De acuerdo con éste concepto, se pueden distinguir dos tipos de fluidos dentro del lecho de lixiviación. Un primer fluido que se desliza a través de los aglomerados a una cierta velocidad y un segundo fluido que formando parte de ellos no participa del movimiento descendente; esta imagen da lugar a la denominación de "modelo de dos fluidos" (two fluid model).

Los dos líquidos están relacionados entre sí a través de los mecanismos normales de transferencia de masa entre los cationes y

aniones contenidos en ellos y el modelo desarrollado debe ser capaz de describir esta interrelación.

Hidrodinámica de los lechos porosos

La mayor parte de los trabajos publicados en la literatura sobre lechos porosos, se refieren a sistemas en los que coexisten sólo dos fases, esto es, sólido-líquido o sólido-gas y por lo tanto, no son directamente aplicables al sistema considerado aquí. Las relaciones obtenidas para la Lixiviación T.L. son necesariamente diferentes. Como en cualquier otro sistema hidrodinámico en los lechos porosos se debe satisfacer la ecuación general que expresa la conservación de la cantidad de movimiento del fluido.

Lamentablemente, debido a la complejidad del sistema, ésta ecuación no es integrable para estos casos salvo modelamientos cercanos al estado ideal. Por lo que se ha visto, la lixiviación en película delgada presenta una serie de ventajas sobre la lixiviación en lechos inundados derivándose estas ventajas en las propiedades obtenidas en los lechos de partículas aglomeradas, donde se observa un mineral homogéneo, poroso, resistente y permeable; para esto se tiene que tener sumo cuidado en el control de las variables del proceso principalmente la cantidad de agua agregada para alcanzar una humedad adecuada.

Para una óptima lixiviación las propiedades deben permanecer intactas debiendo emplearse flujos relativamente bajos en el riego y por ello la cantidad de fluido retenido dentro del lecho es pequeña.

4.3 TECNOLOGIA DE LA LIXIVIACIÓN

Este método se aplica en la lixiviación de minerales de cobre, uranio y oro de baja ley que no presentan problemas especiales de extracción. El mineral es extraído, especialmente de la mina a tajo abierto, para el carguío de las pilas, con leyes mayores que aquellas que son transportadas a botaderos.

El tiempo de lixiviación está dado en días o meses dependiendo del tratamiento previo que se le dé y de la altura de la pila y no en años como los casos de botadero o in situ.

Las pilas se depositan en áreas que se han preparado, especialmente cubiertas con capas de concreto o asfalto o bien con capas alternas de arena fina (relave) y una manta de material sintético, plástico PVC o polietileno sobre las cuales se colocan tuberías perforadas que recolectan las soluciones de drenaje de la pila.

Debido a la mayor ley de los minerales de las pilas y las soluciones lixiviantes más concentradas, las soluciones ricas obtenidas en pilas son más concentradas que aquellas procedentes de botaderos.

La granulometría varía entre 1/2" y 1/4" dependiendo de la facilidad de lixiviación, tamaño de la pila y tiempo de lixiviación.

Parámetros que controlan el proceso

Los parámetros controlados en la extracción de metales en el proceso heap leaching son:

- Aspectos geológicos y mineralógicos.
- Pre-tratamiento del mineral a lixiviarse.
- Elementos de la fase de lixiviación.
- Solubilidad de metales en varios reactivos de lixiviación.
- Efectos de la fragmentación y tamaño del mineral.
- Aplicación y regeneración de soluciones.
- Recuperación de metales a partir de las soluciones de lixiviación.

Aspectos constructivos de un sistema de lixiviación en pilas

Los elementos prácticos que deben considerarse para el éxito de una faena son los aspectos constructivos que presentan un alto

grado de importancia dado que definen los detalles de implementación de las instalaciones en las cuales se llevan a cabo. Siendo la lixiviación en pilas una tecnología con características muy positivas para la recuperación de especies solubles también hay otras técnicas alternativas que no deben pasarse por alto ya que lo único que puede afirmarse con certeza es que aventaja a la lixiviación en percoladores por razones de menor inversión en instalaciones y equipos de manejo de materiales. Se elige la lixiviación en pilas basado en el comportamiento metalúrgico de la mena, determinado exhaustivamente en pruebas de laboratorio, que deberá clarificar el proceso metalúrgico completo necesario para obtener el máximo de recuperación y determinar cuales son los costos asociados a las diversas etapas, para lo cual se resaltará la evaluación de:

1. Relación: grado de reducción chancado versus recuperación, cinética y percolabilidad.
2. Relación: consumo de reactivos versus recuperación y concentración de soluciones.
3. Influencia y condiciones de curado y aglomerado sobre cinética y recuperación.
4. Curvas de la cinética de recuperación.
5. Influencia de la altura de la pila.
6. Posibilidad de ajuste de las concentraciones de la especie recuperada con el proceso de recuperación final.
7. Influencia de la recirculación a la pila de soluciones tratadas en la planta de recuperación.
8. pH de operación.
9. Control de impurezas y manejo de los descartes y ripios.

Tipo de Pila

Se clasifican en dos tipos básicos de sistemas de lixiviación:

1.-Pila permanente (piso desechable): En la cual la mena es depositada en una pila desde la cual no se retirará el ripio una vez completada la lixiviación.

2.- Pila renovable (piso reutilizable): En la cual se retira el ripio luego de la lixiviación para reemplazarlo por la mena fresca.

La decisión acerca del tipo a emplear en un caso particular tiene un fundamento económico en función del comportamiento del mineral y de los costos de manipulación. Ver a continuación el **cuadro N° IV-1**.

CUADRO IV-1

COMPARACION ENTRE TIPOS DE PILAS

	PERMANENTE	RENOVABLE
APLICACIÓN	Minerales de muy baja ley. Minerales de baja recuperación. Lenta cinética de lixiviación. Lixiviación secundaria de ripios. Amplio espacio disponible.	Mineral de baja ley. Mineral de alta recuperación. Rápida cinética de lixiviación. Lixiviación primaria de menas.
CARACTERÍSTICAS	Pilas altas para lograr una alta densidad de carga del mineral/m ² de pila. Generalmente 5mt. ó más. Granulometría elevada. Comúnmente diseñadas para capas sucesivas de mineral. La altura queda limitada por las necesidades de oxígeno en el interior de la pila.	Pilas relativamente bajas para permitir rápida carga y descarga de mineral. Generalmente de 2 mt. Granulometría baja. La altura se mide en el sistema de cargas y la concentración de las soluciones a obtener.

Configuración de la Pila

Las pilas renovables o permanentes pueden adoptar la configuración de:

Pilas Unitarias: Todo el material depositado pasa simultáneamente por las diversas etapas del ciclo de tratamiento.

Pilas Dinámicas: En una misma pila coexisten materiales que están en diversas etapas del ciclo de tratamiento. Ver el cuadro comparativo N° IV – 2.

CUADRO N° IV-2

COMPARACION DE PILAS POR EL TIPO DE CARGADO

UNITARIA	DINAMICA
Carga de una vez de la totalidad de la pila y la descarga de una vez al término del ciclo de tratamiento.	En cada período , que puede ser diario o múltiplos de la alimentación diaria, descarga un módulo y se carga otro módulo, los cuales van directamente adosados a sus respectivos sectores de la pila, con la condición que no haya contacto entre la mena fresca y el ripio agotado. De ésta forma la cámara queda formado por sub-pilas internas.
Ventajosa para plantas de baja capacidad.	Menor inversión unitaria para mejor aprovechamiento del piso impermeable.
Operación mas simple y flexible.	Ciclos de operación muy regulares. Concentraciones muy estables y regulares en las soluciones del proceso.

El dimensionamiento de la pila está en función de las toneladas a tratar. Se considerarán como factores de importancia:

- Peso específico aparente de la mena bajo las condiciones de carga a la pila.
- Altura de la pila, determinado en laboratorio y a nivel piloto con los equipos disponibles para su carga y descarga.
- Angulo de reposo del material, bajo las condiciones de carga a la pila.

- Area disponible de acuerdo a la topografía del terreno.

El volumen del mineral se calcula en base a la capacidad de tratamiento periódico multiplicado por la duración del ciclo en período más dos períodos. El dimensionamiento debe permitir la existencia de un coronamiento de la franja por lixiviar para evitar la interferencia con el personal y equipo que realiza la carga y descarga.

El ancho de la franja lixiviable (sector) debe ser un múltiplo de la trocha del equipo de carga/descarga del material, es decir espacio para el movimiento libre de los equipos a emplearse.

Descripción de los componentes de una pila y de sus propiedades

Son los siguientes:

a.- Substrato.- Corresponde , en general a un terreno con pendiente del orden de 3 a 4 por ciento en una dirección hacia la canaleta. Su grado de compactación corresponde a un índice Proctor Modificado de 92 a 95 % y estar libre de piedras angulosas como sea posible.

b.- Finos de Protección.- Capas de áridos finos (relaves generalmente) totalmente exento de elementos perforantes dado que se debe acomodar suavemente la capa impermeable y defenderla de la agresión mecánica que pueda provenir de cualquiera de sus caras. Sus espesores típicos varían de 10 a 20 cm por encima y debajo de la capa impermeable.

c.- Base impermeable.- Generalmente consiste en un material plástico inerte a la acción de los agentes químicos que mojarán su superficie, su resistencia mecánica será suficiente para resistir los esfuerzos a los que será sometido, tracción y torque en la carga/descarga y compresión por la depositación de mineral; sus

propiedades físicas y químicas les permiten resistir las condiciones ambientales de temperatura y radiación solar existente.

d.- Tuberías de drenaje.- Tuberías corrugadas y perforadas colocadas longitudinalmente, destinadas a permitir una rápida evacuación de la solución una vez que ésta alcanza el fondo de la pila (y las consecuentes capas freáticas) permitiendo también la inoculación de aire por las zonas inferiores. Su espaciamiento se calcula asumiendo que la tubería es una canaleta que a la salida de la pila está llena hasta 2/3 de su diámetro con el líquido recogido en su área de influencia por lo que no es recomendable espaciamientos mayores a 2 metros.

e.- Ripio de protección.- Constituye la última base de protección del revestimiento; es una capa de 20 cm de material de apariencia diferente de la mena que marca el límite inferior en la descarga del ripio y que además reparte las presiones sobre la tubería de drenaje. Si presenta buenas propiedades de escurrimiento puede llegar a sustituir las tuberías de drenaje, aunque con peligro de embancamiento en el largo plazo y sin el beneficio de aireación inferior, su banda granulométrica debe ir entre 100% -3" y 100% +1 1/2".

Disposición de una Pila de Lixiviación

1. **Mineral.**- Capa de mineral a lixiviar depositado en forma razonablemente suave, es deseable por medios que no produzcan un efecto de compactación ni disgregación mecánica hasta alcanzar la altura determinada.
2. **Sacos de relleno.**- Colocados al borde de la pila y antes de la canaleta. Proporcionan una barrera de contención de los finos arrastrados por la solución y dan lugar para el paso del personal sin peligro de daños a la base impermeable. Su disposición tipo

ladrillo debe permitir la salida de la tubería de drenaje, se instalan sobre la carpeta plástica y alcanzan a una altura tal que sirven de contención a todas las capas de áridos protectores bajo el mineral.

3. **Canaleta de recolección.-** Lugar de recuperación de las soluciones; está integrada al revestimiento impermeable. En el caso de pilas unitarias es común para toda la pila y presenta una pendiente del orden del 1% hacia el punto de recolección. En las pilas dinámicas están niveladas y sectorizadas con salidas para cada sector en ambos casos están conectados a tanques desarenadores para eliminar sólidos en suspensión.
4. **Anclajes.-** Fijan la base impermeable al terreno dejando un espacio entre el punto de anclaje y el pie del talud permitiendo escurrir la solución por dicho espacio sin tener pérdidas de soluciones ricas, este espacio puede ser entre 0,3 a 0,5 metros.

Sistema de Riego: Formas y Condiciones

El sistema de riego debe mojar la pila en función de la cantidad determinada de litros/hora.metro² que se ha definido previamente en laboratorio de acuerdo a la capacidad de drenaje del material, teniendo como consideración secundaria la concentración de las soluciones a obtener, las condiciones básicas son:

- Permitir un riego tan uniforme como sea posible.
- Un tamaño de gota que no provoca la presencia de finos, por desaglomeración y que lleve consigo oxígeno para ayudar a lixiviar los sulfuros por oxidación o por acción bacterial, que no sea afectado por las condiciones ambientales; esto es arrastre por viento o pérdidas por evaporación.
- Estar construido con materiales resistentes a los agentes químicos y condiciones de operación. Se requiere por lo tanto:

- Diseñar las tuberías matrices de forma que establezcan la presión de la línea, que puede ser aumentando su diámetro o conformando anillos de presión constante.
- Seleccionar cuidadosamente los dispositivos de riego de acuerdo con los criterios ya señalados. Calcular su distribución conciliando su área de influencia y su capacidad de riego con la tasa de riego deseada.
- Existen una gran variedad de dispositivos de riego, tales como: goteros, aspersores, boquillas, mangueras quirúrgicas (wigglers). El uso de algunos de estos dispositivos se hacen de acuerdo al criterio técnico y las condiciones del medio donde se está usando el sistema de riego, a veces es preferible usar dos tipos de riego en una pila; aspersores para la parte plana de las pilas y en las partes inclinadas (taludes) de las pilas se usa goteros (mangueras) especiales preparadas de acuerdo a como se requiera el riego, tamaño de gota y tasa de riego. Ver cuadro comparativo N° IV – 3 de los riegos por goteo y por aspersión.

CUADRO N° IV –3

TIPOS DE RIEGO

RIEGO POR GOTEO	RIEGO POR ASPERSION
Si el agua es escasa	Recurso de agua no es factor limitante
Si el pH de trabajo no permite precipitación de las impurezas.	Aguas muy duras y peligro de precipitación de carbonatos.
Peligro de congelamiento de la alta cordillera.	Condiciones climáticas favorables, temperatura mínima cero grados celsius.
Régimen de viento fuerte y permanente	Régimen de viento moderado o intermitente a ciertas horas del día. Necesidad de O ₂ en la solución, sin posibilidad de agregarlo en alguna instalación anterior.

Tasa de Riego

De acuerdo al concepto de la lixiviación T.L. el descenso del líquido debe ser en forma de película delgada para poder rodear la superficie total del aglomerado sin destruirlo; entonces es importante la tasa de riego o flujo de la solución lixivante por determinada área para que se evite el arrastre de finos hacia abajo, donde pueda encontrar resistencia y forme con el ión férrico presente capas impermeabilizantes. Es importante también que haya un gran espacio entre el mineral y la película delgada para poder tener la presencia de oxígeno como medio oxidante natural.

El tipo y tamaño de gota de riego debe ser aquella que no se vea afectada por las condiciones ambientales: que pueden producir arrastres por viento o pérdidas por evaporación.

4.4 TECNOLOGIA DE LA CEMENTACIÓN

La técnica que se emplea en Condestable es la de cementación del cobre con chatarra de hierro. Los controles que se realizan en este proceso son: concentración de acidez libre en la solución rica: 3.5 a 5.0 gr/lit , que asegura un pH de 1.8 a 2.

Una ventaja de la cementación del cobre es la aplicación de los conos de tipo Kennecott; los que fueron diseñados para reemplazar a las bateas o celdas comunes por ser mas eficiente y barato ya que sólo emplea una bomba centrífuga, madera para los conos, sujetadores circulares, malla metálica de acero inoxidable y es armado en una base de concreto.

Efectos de las variables del proceso:

Efecto de la agitación: El porcentaje de cementación es incrementado por la agitación , si es que no se forma una capa fuerte de cobre , en la base o criba de metal de los conos, fenómeno muy frecuente cuando se tiene soluciones muy cargadas de cobre. Cuando se alcanza el límite de la velocidad, un incremento de la misma no favorece significativamente el aumento de la velocidad de

reacción, pero si el consumo de hierro, este resultado está de acuerdo con el diseño del precipitador tal es así que en el caso del cono de Kennecott, la turbulencia elevada produce menos consumo de hierro en exceso que los sistemas de tanques y canales. El cobre producido por una reacción electroquímica queda adherido a la superficie del hierro (generalmente chatarra) a manera de un "cemento". Este cobre se desprende de la superficie del hierro debido a la agitación existente.

Efecto de la concentración de la solución: Para un pH, velocidad de agitación y temperaturas constantes, la velocidad de cementación decrece con un incremento de la concentración de cobre, porque la formación de capas, endurecidas y compactas retarda fuertemente la cementación de iones Cu en la solución.

Efecto de la concentración de ácido: Experiencias realizadas demuestran que la acidez acelera el proceso de cementación haciéndose ver que su influencia puede repercutir en un mayor consumo de hierro. Resulta que la cementación puede ser mejorada incrementando su pH de 2,5 a 4,5 pero que luego disminuye a altas concentraciones de ácido, el pH ideal está entre 1,8 a 3. Se ha demostrado que el consumo excesivo de hierro es menos pronunciado con valores de pH por encima de 2, lo que probablemente es debido a la formación inicial de los hidróxidos de hierro.

Tipos de equipos de cementación

Actualmente, existen los siguientes equipos para la cementación de cobre a nivel industrial:

1. **Precipitadores de tanque y cono:** Desarrollados por la Kennecott Copper, son unos de los precipitadores más recientes y eficientes de la industria; dan una ley de 90 a 95% de cobre en el producto, y se recuperan el 99% de cobre contenido en las

soluciones, el cual es del orden de 0.4 a 4.0 gr / lt, en un sistema de alta capacidad provisto de controles automáticos y manejo de materiales mecanizados.

El precipitador consiste en un tanque de madera de 4.27 m ϕ y 7.23 m de altura, que tiene en el fondo un cono invertido de acero inoxidable de 3.5 m de altura y malla de una pulgada de abertura, la cual continúa al cono cilíndrico de acero hasta alcanzar la pared del tanque de madera, aproximadamente a dos tercios de la altura de dicho tanque.

En el cono se carga con chatarra de hierro cortada en tiras (desprovistas de cubiertas de estaño y barniz), la solución rica se bombea por el fondo a través de un sistema de 3 o 4 "quenas" con orificios orientados en la misma dirección para un sólo sentido de agitación, esta turbulencia generada por el movimiento de alta velocidad de la solución en el cono acumulándose el cemento producido en el fondo del tanque de madera, para ser separado después, por gravedad y lavado. La solución parcialmente agotada, rebosa por la parte superior del tanque y se bombea el fondo de un segundo precipitador, en donde se repite la operación. El licor agotado de este segundo precipitador se retorna como solución lixiviante, o se elimina como solución raff. Un cono procesa alrededor de 11.250 lt/min de solución rica en cobre, dependiendo de la ley de cabeza de la solución.

- 2. Celdas y Tanques** : Se utilizan en serie de 6 a 10 unidades, situadas en desnivel para lograr el flujo por gravedad de la solución de una u otra celda. Estas son de madera o concreto protegidas contra ácido de 2.44 m x 1.52 m x 3.66 m (las dimensiones, pueden variar de acuerdo a las necesidades), con una rejilla que detiene la chatarra de hierro para que no se vaya al fondo de la celda del circuito y separando por lavado el cobre adherido a la chatarra de hierro con mangueras de alta presión, para que pase a través de la criba inferior y salga por una válvula

hacia un tanque de sedimentación o un filtro de vacío. Periódicamente el cobre sedimentado en el tanque, se extrae y se seca sobre el piso de concreto .

Las primeras celdas del circuito reciben siempre la solución rica en cobre con mas alto contenido de valores y en ellas se precipita alrededor del 60 % de cobre total. En el siguiente par de celdas se separa otro 25 % y en las últimas el resto. Las celdas mas antiguas deben lavarse con mayor frecuencia y agregarles chatarra de hierro a cortos intervalos.

3. Canales en cascada: Compuestos por una serie de compartimientos individuales llenados con chatarra , la que es cargada con grúas puente, la entrada y salida de la solución rica en cobre, es por la parte superior y es en zig-zag. Cada compartimiento o celda , son hechas de concreto armado, las paredes son forradas con madera para protegerla contra la acción corrosiva del ácido y la solución rica en cobre. Bombas y mecanismos de by-pass, facilitan el desaguado de los compartimientos individuales y el reciclaje de la solución. El cobre precipitado es llevado hacia un plano inclinado, por donde discorra a la poza de sedimentación. Debe mantener este sistema de cementación una alta velocidad de flujo de la solución en la celda para elevar la turbulencia.

4. Tambores giratorios: Son otro tipo de precipitador hecho de hierro fundido revestido con ladrillos , resistentes a la acción corrosiva de los ácidos. El volumen de precipitación es 5 a 60 m³ . La rotación es de aproximadamente 0.5 RPM. La operación en estos precipitadores no es continua. Se llena con la solución rica en cobre mas la chatarra y se inicia la rotación. Posteriormente el cobre precipitado y la solución que pasa a través del tamiz es descargado en un tanque sedimentador. Entre estos precipitadores giratorios tenemos los siguientes: el Humbolt, el

Paya (que aparte del movimiento giratorio tiene unas pulsaciones constantes) y el Trommel.

5. Canalones abiertos simples: Son semi-industriales y no pueden controlarse ; se utiliza frecuentemente para la cementación del cobre de las aguas de mina.

La principal reacción del proceso de cementación, ocurre entre el sulfato de cobre y el hierro de la chatarra (ver reacciones químicas de la cementación Capítulo 3). Sin embargo cuando hay un exceso de ácido libre, sulfato férrico y oxigenación de la solución antes y durante la cementación ocurren reacciones secundarias cuyos efectos son además de consumir más chatarra; introducir sulfatos de hierro en la solución. Una forma simple de disminuir la menor formación de sulfato férrico, es la de eliminar el ingreso de solución residual a los tanques y conos , porque como veremos mas adelante (tecnología del secado), el cemento de cobre producido pierde ley de cobre con el paso de los días (pérdida de humedad).

4.4 TECNOLOGIA DEL SECADO

En las técnicas de secado para cemento de cobre se tiene que tener en cuenta un detalle que es muy perjudicial en la obtención de un producto final de la mejor calidad : la solución residual o solución raff, que no se debería recircular en el proceso de cementación y/o lixiviación, por lo cual se analizará estos dos tipos de técnicas comúnmente usadas.

Secado a medio ambiente

El cemento producido en el proceso de cementación, procedente de los tanques, conos y cochas, con una humedad de alrededor del 35%, son secados en una área designada, llamada generalmente loza de secado. En esta antigua técnica, además de demandar gran mano de obra, demora de tiempo de secado en temporada de

invierno, pérdidas por arrastre de finos (viento y manipuleo), el cemento contiene una solución residual o solución raff formada por sulfatos de hierro, calcio, y aluminio, que durante el proceso de secado, parte del sulfato ferroso pasa a férrico y al evaporarse dicha solución, precipitan como sulfatos hidratados. Asimismo el hierro metálico en condiciones de alta acidez y tiempo de exposición, se oxida dando lugar a la goethita (FeO.OH). Por tanto este método no es conveniente; si se utiliza recirculación de solución residual o solución raff; porque mientras el cemento pierde humedad en la loza de secado, también pierde ley de cobre, por la precipitación de las sales ferrosas, férricas, de aluminio y calcio hidratadas.

Secado en filtro

El cemento producido en el proceso de cementación, cosechados de los conos, tanques y cochas; que no deben ser almacenados en la cochas de recuperación para evitar el efecto anterior; pasan a un repulpador o agitador, a través de tuberías con malla o rejilla en la desembocadura (para evitar el paso de restos de chatarra y otros objetos extraños, que atorán la bomba) luego es bombeado por una bomba de doble diafragma (para pulpas de alta viscosidad y alto peso específico) hacia un filtro prensa que debe tener como características principales: ser de material no metálico o acero inoxidable así como todos los accesorios instalados para agua, aire y conducción de pulpa, por la alta corrosión de la solución residual, las lonas usadas deben ser de material especial, como el cemento es muy fino: 40%-m 360, tupe rápidamente las lonas y el lavado ácido (ácido sulfúrico mas agua), que se les proporciona también las debilita, provocando romper la tela. Finalmente el cemento es conducido a la loza de secado, donde está listo para ser comercializado.

El filtro prensa está compuesto casi en su mayoría por diez placas o cámaras de secado con una capacidad de secado de: 10 Kg de

cemento por placa, con una humedad de 5-8 % para material grueso y 10 a 12 % H₂O para lamas, haciendo un total aproximado de 100 Kg de cemento por ciclo. La eficiencia del secado es mejorada con una buena capacidad de cargado de la compresora de aire (80 a 100 lbs/ pulg²), lonas limpias , sin oquedades y manteniendo la acidez adecuada en la pulpa (evitando la retención del cemento en las cochas).

En la compresora de aire y el equipo de filtrado, se debe chequear diariamente antes de su encendido; el nivel de llenado del aceite de lubricación (SAE-40 o hidrolina, para el filtro y otro más viscoso para la compresora) y la limpieza de polvo fino en el filtro de aire o cambio del mismo y el purgado del agua de condensación (para el caso de la compresora)

Finalmente el uso de filtro con placas o cámaras, permiten mejorar la ley de cemento, porque elimina la solución residual casi completamente, mejorando más estos resultados con un lavado débilmente alcalino con solución de cal (pH = 8).

CAPITULO V

TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1 CARACTERISTICAS DE MUESTRAS

5.1.1 PROCEDENCIA DEL MINERAL

El mineral procesado en la planta de óxidos proviene de la zona de oxidación donde existe malaquita, crisocola, azurita, atacamita, hematita y limonita distribuidas en zonas alternas de entre 15 a 20 m. de profundidad en la explotación a cielo abierto. La distribución mineralógica del cobre no es uniforme, debiéndose hacer una buena mezcla para su procesamiento. En cuanto al presente estudio experimental se tomó una muestra de 2 toneladas del producto final de la sección de chancado, previo ajuste del set a ¼" (descarga de la chancadora cónica de 3' ϕ , en circuito abierto), obteniéndose muestras con granulometrías de 100%-5/8", 100% -1/2" y 100% -1/4".

5.1.2 CARACTERISTICAS FISICAS

5.1.2.1 Gravedad específica del mineral y densidad aparente

La **Tabla N° V-1**, nos muestra los valores de la gravedad específica (g.e.) y densidad aparente (D_{ap}) por mallas.

Tabla N° V - 1

Tamaño de Partícula	g.e (gr/cm³)	Dap(Kg/m³)
100% -5/8"	2,83	1,70
100% -1/2"	2,88	1,75
100% -1/4"	2,92	1,84

5.1.2.2 Determinación de la humedad

La **Tabla N° V - 2**, nos muestra los valores de humedad del mineral , usando el método del guante.

Tabla N° V - 2

Prueba	Tamaño de Partícula	%Humedad	Prueba Guante
1	100% -1/4"	5,0	NO MOJA
2	100% -1/4"	5,5	NO MOJA
3	100% -1/4"	6,0	NO MOJA
4	100% -1/4"	6,5	NO MOJA
5	100% -1/4"	7,0	MOJA
6	100% -1/4"	7,5	MOJA
7	100% -1/4"	8,0	MOJA
8	100% -1/4"	9,0	MOJA
9	100% -1/2"	7,0	MOJA
10	100% -1/2"	8,0	MOJA
11	100% -1/2"	9,0	MOJA
12	100% -5/8"	5,0	NO MOJA

De la tabla anterior se deduce que el rango de humedad óptima para estas experiencias está entre 7 y 9 % H₂O, para granulometrias de 100% -1/2" y 100% -1/4".

5.1.2.3 Análisis granulométrico

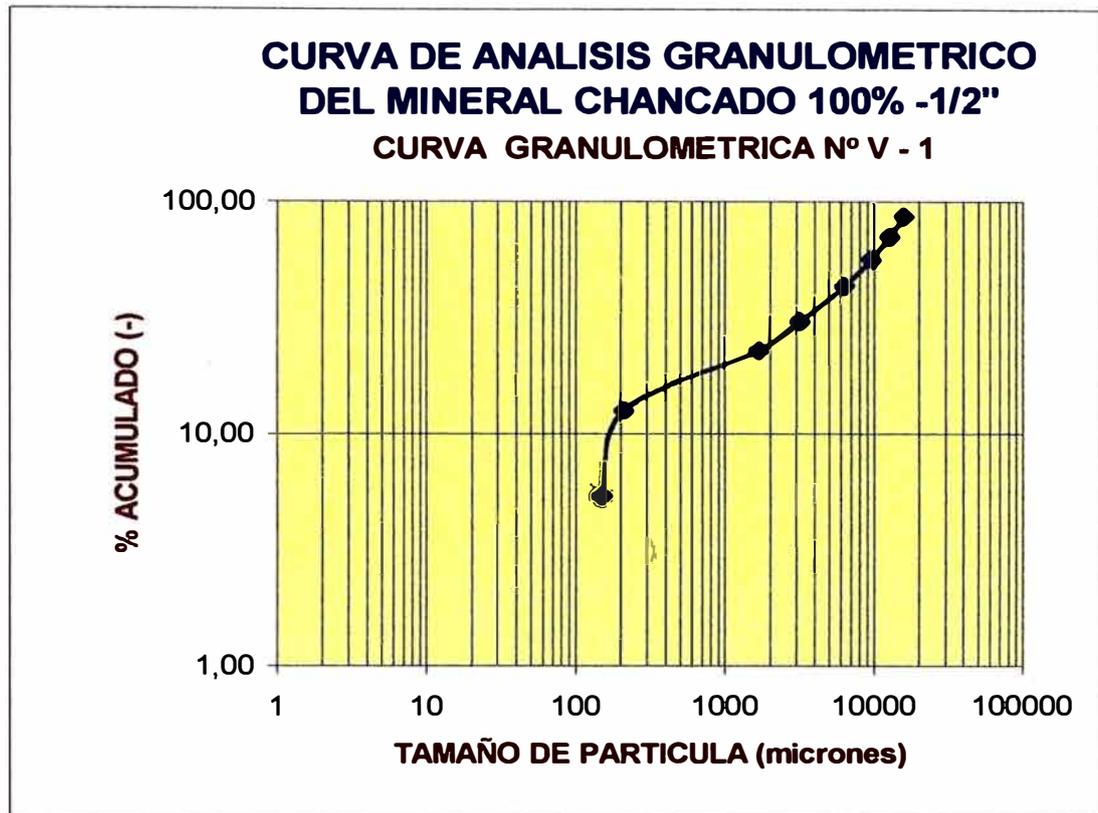
Se realizó el análisis granulométrico del mineral chancado a -1/2" y -1/4".

Mineral Chancado -1/2"

La Tabla N° V - 3 y Curva Granulométrica N° V - 1, nos muestra los resultados.

Tabla N° V - 3

Mallas	Abert. (um)	Distribución en Peso (%)			Ensayes (%)		Contenido (grs. Cu)		Distribución (%)	
		Peso	Ac (-)	Ac (+)	Cu Total	Cu Ox	Cu Total	Cu Ox	Cu Total	Cu Ox
+5/8"	15875	0,94	99,06	0,94	1,03	0,77	0,59	0,44	0,64	0,64
+1/2"	12700	12,52	86,54	13,46	1,35	1,07	10,18	8,07	11,14	11,72
+3/8"	9525	15,84	70,70	29,30	1,54	1,16	14,69	11,07	16,08	16,08
+1/4"	6350	14,19	56,51	43,49	1,19	0,79	10,17	6,75	11,13	9,81
+1/8"	3175	13,10	43,41	56,59	1,85	1,35	14,60	10,66	15,98	15,49
+m10	1700	12,71	30,70	69,30	1,88	1,51	14,39	11,56	15,75	16,80
+m65	210	7,75	22,95	77,05	1,34	1,09	6,26	5,09	6,85	7,40
+m100	150	10,40	12,55	87,45	1,46	1,14	9,14	7,14	10,01	10,38
+m270	53	7,12	5,43	94,57	1,37	1,09	5,88	4,68	6,43	6,79
-m270		5,43	0,00	100,0	1,67	1,03	5,46	3,37	5,98	4,90
TOTAL		100,0					91,37	68,82	100,0	100,0
Ley cabeza calculada					1,52	1,14				
Ley cabeza ensayada					1,81	1,30				

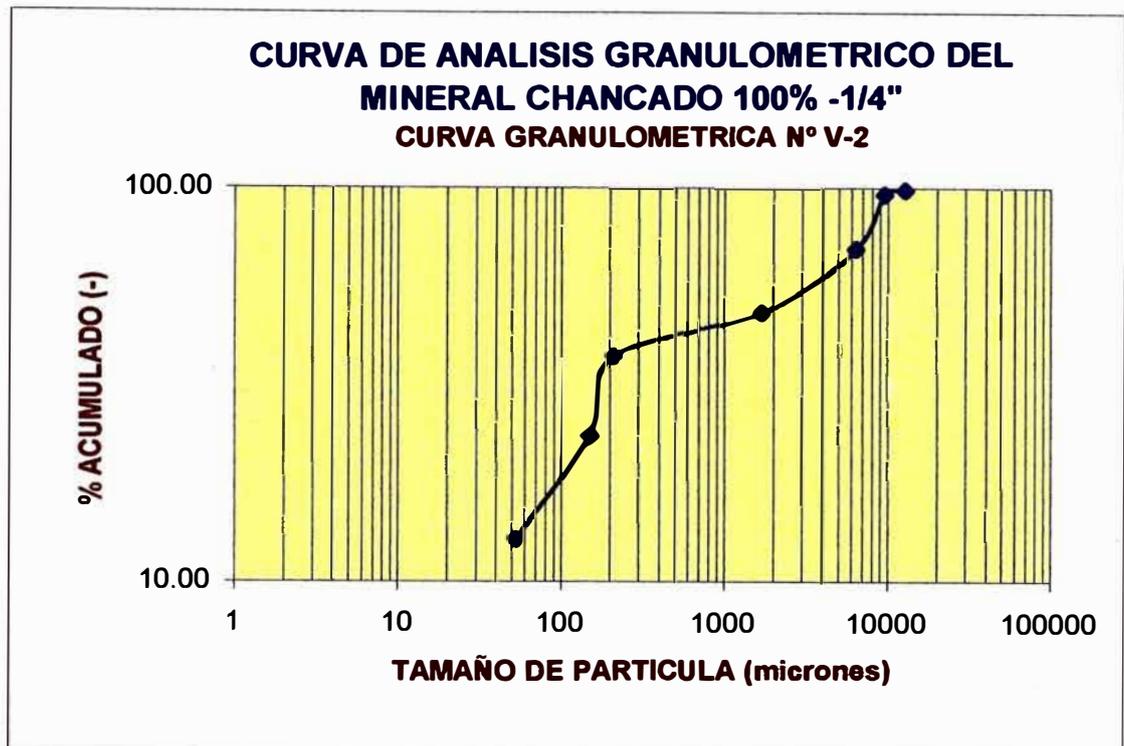


Mineral Chancado -1/4"

La Tabla N° V - 4 y Curva granulométrica N° 2, nos muestra los resultados.

Tabla N° V- 4

Mallas	Abert. (um)	Distribución en Peso (%)			Ensayes (%)		Contenido (grs. Cu)		Distribución (%)	
		Peso	Ac (-)	Ac (+)	Cu Total	Cu Ox	Cu Total	Cu Ox	Cu Total	Cu Ox
+1/2"	12700	1,24	98,76	1,24	1,22	0,69	0,68	0,38	0,74	0,65
+3/8"	9525	2,62	96,14	3,86	1,19	0,85	1,40	1,00	1,52	1,69
+1/4"	6350	26,19	69,95	30,05	1,87	1,03	21,94	12,08	23,80	20,45
+m10	1700	21,60	48,34	51,66	1,88	0,99	18,19	9,58	19,74	16,21
+m65	210	10,81	37,54	62,46	2,06	1,78	9,97	8,62	10,82	14,58
+m100	150	13,98	23,56	76,44	2,38	1,64	14,91	10,27	16,17	17,38
+m270	53	10,69	12,87	87,13	2,41	1,67	11,54	8,00	12,52	13,54
-m270	0	12,87	0,00	100,00	2,35	1,59	13,54	9,16	14,69	15,50
TOTAL		100,00					92,17	59,09	100,00	100,00
Ley cabeza calculada					2,06	1,32				
Ley cabeza ensayada					1,90	1,19				



5.1.3 CARACTERISTICAS QUIMICAS Y MINERALOGICAS

La diseminación de los minerales en el tajo “Resurrección” es superficial, como es la característica de la mayoría de los minerales oxidados, luego vienen los sulfuros en zonas mas profundas, para beneficiar el mineral oxidado se movieron grandes cantidades de desmonte, aproximadamente 200,000 TM. Teniendo 850,000 TM de mineral oxidado valioso que se beneficiará inicialmente, para ello se llevó a cabo un muestreo minucioso para determinar la presencia de minerales económicos y minerales gangas.

Macroscópicamente se pudo apreciar la presencia de:

Minerales Económicos (Ver % Cu en el Anexo N° 3: minerales de cobre)

<u>Nombre</u>	<u>Fórmula Química</u>
Malaquita	$\text{Cu}_2\text{CO}_3 \cdot (\text{OH})_2$
Crisocola	$\text{Cu}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Cuprita	Cu_2O
Antlerita	$\text{Cu}_3\text{SO}_4 \cdot (\text{OH})_4$
Calcantita	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

Minerales Ganga

Calcita, magnetita, pirita, sílice, hematita, actinolita, tremolita y otros.

Del análisis químico del mineral de óxidos se tuvieron los siguientes resultados en promedio:

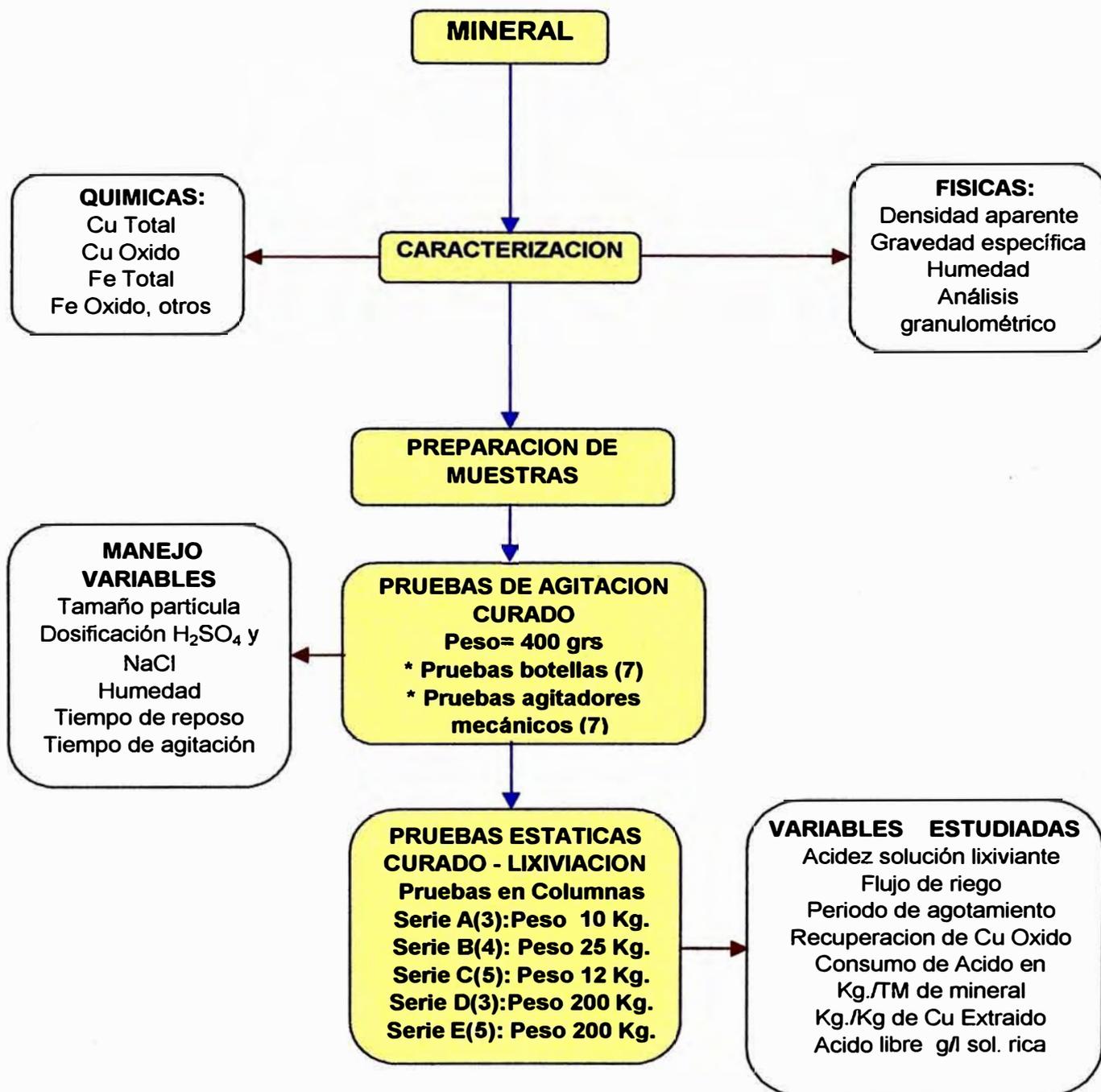
<u>Elemento</u>	<u>Concentración</u>
Cobre total	1,98 %
Cobre óxido	1,07 %
Cobre sulfuro	0,91 %
Hierro	8,08 %
Cobalto	2,00 %
Azufre	1,60 %
Insoluble	8,20 %
Oro	0,25 gr/TM
Plata	10,00 gr/TM
Plomo	265 p.p.m.
Zinc	580 p.p.m.
Manganeso	750 p.p.m.
Antimonio	45 p.p.m.

De los resultados encontrados se observa que son altos respecto a los registros históricos o ley acumulada histórica, con los que se hicieron los cálculos para diseñar la planta, ya que es representativa y cuyos valores son:

Cobre total	1,67%
Cobre óxido	1,18%
Cobre sulfuro	0,49%

De las reservas actualmente en preparación se encontró que tiene una composición mineralógica parecida a la que se está tratando con la presencia adicional de covelita y calcosita como minerales secundarios y la calcopirita como mineral primario principal.

5.2 PLAN GENERAL DE PRUEBAS



5.3. PRUEBAS METALURGICAS

5.3.1. PRUEBAS A NIVEL LABORATORIO

5.3.1.1. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES OPTIMAS PARA EL CURADO

5.3.1.1.1 Pruebas para determinar el tiempo óptimo de reposo en el Curado

Para determinar el tiempo de reposo óptimo en el curado se realizaron 10 pruebas, variando la granulometria y el tiempo de reposo. Después de cada prueba se tomó una muestra, la cual se agitó en botellas. El cuadro N° V-1, nos muestra los resultados obtenidos.

Las condiciones en que se realizaron las pruebas son las siguientes:

Peso mineral	:	0.40 kg.
Conc. Acido Sulfúrico libre	:	20 gr/lit
Acidez, pH	:	2
% humedad	:	7
Tiempo de agitación	:	24 horas
RPM	:	16

CUADRO N° V – 1

MUESTRA	TAMAÑO PARTICULA	DENSIDAD APARENTE, gr/cm ³	TIEMPO REPOSO , hrs.	EXTRAC. COBRE, %
1	100% -1/4"	1,84	0	80,11
2	100% -1/2"	1,75	0	78,24
3	100% -1/4"	1,83	6	80,65
4	100% -1/2"	1,75	6	78,83
5	100% -1/4"	1,85	9	82,56
6	100% -1/2"	1,73	9	82,32
7	100% -1/4"	1,88	12	84,89
8	100% -1/2"	1,77	12	84,45
9	100% -1/4"	1,86	16	86,45
10	100% -1/2"	1,74	16	86,25

De los resultados obtenidos se observan mejores extracciones de cobre cuando se emplean tiempos de reposo superiores a las 12 horas para granulometrías del mineral del 100% -1/4" y 100% - 1/2".

5.3.1.1.2 Pruebas para determinar las concentraciones óptimas de Acido sulfúrico y Cloruro de sodio en el Curado

Para determinar las concentraciones óptimas de ácido sulfúrico y cloruro de sodio en el curado, se realizaron 10 pruebas, variando las concentraciones de los mismos de 20 a 30 y de 4 a 8 kg/TM , respectivamente. Después de cada prueba se tomó una muestra, la cual se agitó en agitadores mecánicos. El cuadro N° V-2, nos muestra los resultados obtenidos.

Las condiciones en que se realizaron las pruebas son las siguientes:

Peso mineral	:	1 kg
Ley Cobre total	:	1.78%
Ley Cobre Oxido	:	1.41%
Granulometría	:	100% -1/4"
Tiempo de reposo	:	12 horas
% humedad	:	7
Tiempo de agitación	:	24 horas
RPM	:	16

CUADRO N° V – 2

PRUEBA	CURADO-H ₂ SO ₄ Kg H ₂ SO ₄ /TM	CURADO-NaCl Kg NaCl/TM	% Extracción Cu Ox	Fe Total. %
1	15	4	88,21	1,35
2	20	4	89,40	1,47
3	25	4	89,86	1,62
4	30	4	90,01	1,84
5	20	6	91,17	1,07
6	25	6	92,52	1,13
7	30	6	93,84	1,41
8	20	8	93,92	2,18
9	25	8	94,20	2,24
10	30	8	94,39	2,38

Del cuadro se deduce que las dosificaciones de ácido sulfúrico y cloruro de sodio óptimos, se encuentran en el rango de 20-30 y 6 kg/TM respectivamente, donde se obtiene mejores extracciones de cobre con menores % Fe total disuelto en las soluciones obtenidas.

5.3.1.1.3 Pruebas de lixiviación en columnas para determinar el flujo de riego óptimo

Para este propósito se realizaron 9 pruebas de lixiviación en columna con las muestras a 100% -1/4", 100% -1/2", 100% -5/8" a 25 kg H₂SO₄/TM y 6 kg NaCl/TM condiciones de curado, donde se varía el flujo de riego en 0.15, 0.16 y 0.18 lt/min*m². Las condiciones iniciales en las que se realizaron las pruebas son las siguientes:

Peso de mineral	:	2.25 kg
Cloruro de sodio, curado	:	6 kg/TM
Acido sulfúrico, curado	:	25 kg/TM
Acido sulfúrico, riego	:	30 gr/lt
Tiempo de reposo	:	12 horas

El cuadro N° V – 3, nos muestra los resultados obtenidos.

CUADRO N° V – 3

PRUEBA	TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	% EXTRACCION Cu Ox	Consumo H ₂ SO ₄	
				Kg/TM	Kg/kg Cu
1	100% -1/4"	0.15	80.27	63.21	7.42
2	100% -1/4"	0.16	85.32	63.91	7.70
3	100% -1/4"	0.18	94.62	63.28	7.48
4	100% -1/2"	0.15	77.65	79.75	7.55
5	100% -1/2"	0.16	79.23	80.56	7.27
6	100% -1/2"	0.18	80.94	83.11	7.65
7	100% -5/8"	0.15	73.74	80.35	7.05
8	100% -5/8"	0.16	75.88	80.94	7.15
9	100% -5/8"	0.18	79.68	81.53	7.12

De los resultados obtenidos concluimos que el flujo de riego óptimo es de 0.18 lt/min*m², pero la prueba 3; para 100% -1/4" da las mejores extracciones de cobre.

5.3.1.1.4 Pruebas de lixiviación en columnas para determinar el tamaño de partícula óptimo

Con el objetivo de determinar el tamaño óptimo de partícula, se realizaron 9 pruebas experimentales para granulometrías: 100% - 1/4", 100% -1/2", 100%-5/8", con ácido en el curado en rangos de 20,25 y 30 kg/TM. Las condiciones iniciales en las que se realizaron las pruebas son las siguientes:

Condiciones:

Peso mineral	:	2.25 kg
Flujo de riego	:	0.18 lt/min.m ²
Cloruro de sodio, curado	:	6 kg/TM
Acido sulfúrico, riego	:	30 gr/lt
Tiempo de reposo	:	12 horas

El cuadro N° V – 4, nos muestra los resultados obtenidos.

CUADRO N° V – 4

PRUEBA	TAMAÑO PARTICULA	CURADO	% EXTRACCION	CONSUMO H ₂ SO ₄	
		Kg H ₂ SO ₄ /TM	Cu Oxido	Kg/TM	Kg/Kg Cu
1	100% -1/4"	20	93,12	61,84	6,05
2	100% -1/4"	25	94,57	63,27	6,48
3	100% -1/4"	30	92,89	68,76	7,21
4	100% -1/2"	20	78,26	81,25	7,64
5	100% -1/2"	25	80,74	83,06	7,78
6	100% -1/2"	30	84,5	84,15	7,53
7	100% -5/8"	20	74,57	80,15	6,93
8	100% -5/8"	25	79,63	81,62	7,08
9	100% -5/8"	30	81,98	82,11	7,38

De las pruebas se concluye que la granulometría óptima es de 100% -1/4", donde se obtiene las mejores recuperaciones de cobre y menores consumos de ácido sulfúrico.

5.3.1.2. PRUEBAS DE LIXIVIACION POR AGITACION

5.3.1.2.1 EN BOTELLAS

Para realizar las 7 pruebas de lixiviación en botellas, se utilizó el método clásico de lixiviación, usando mesas con rodillos de 15 RPM y botellas de vidrio de 5 – 6 litros de capacidad, en las cuales, se quiere observar el comportamiento de la extracción de cobre y el consumo de ácido, para distintos tiempos de reposo, lixiviación y el efecto de la adición de NaCl en 6 kg/TM en el curado, para un mineral de 100% - 1/2".

Prueba N° 1

Condiciones:

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Tiempo de agitación	:	48 horas

El cuadro N° V – 5, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 5

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,15	0,23	4,51	0,90	57,18	21,25
COSECHA				3,37	3,34	42,82	78,75

Consumo de Acido en grs.: 21,67

Consumo Unitario de Acido: 6,49 Kg/Kg Cu extraído

54,18 Kg/TM

Prueba N° 2**Condiciones:**

Peso mineral	400 gr
Granulometria	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	20 gr/lit
Volumen solución	750 cc
PH	: 1.8
Tiempo de agitación	: 24 horas

El cuadro N° V – 6, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 6

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,11	0,21	4,35	0,82	55,19	19,41
COSECHA				3,53	3,42	44,81	80,59

Consumo de Acido en grs.: 20,59

Consumo Unitario de Acido: 6,03 Kg/Kg Cu extraído

51,48 Kg/TM

Prueba N° 3**Condiciones:**

Peso mineral	400 gr
Granulometria	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	20 gr/lit
Volumen solución	750 cc
PH	1.8
Curado	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	8 horas
Tiempo de agitación	24 horas

El cuadro N° V – 7, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 7

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,12	0,19	4,39	0,74	55,69	17,56
COSECHA				3,49	3,50	44,31	82,44

Consumo de Acido en grs.: 29,23

Consumo Unitario de Acido: 8,36 Kg/Kg Cu extraído

73,08 Kg/TM

Prueba N° 4

Condiciones:

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lit
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 29 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 8, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 8

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,97	0,17	3,80	0,67	48,23	15,71
COSECHA				4,08	3,57	51,77	84,29

Consumo de Acido en grs.: 29,68

Consumo Unitario de Acido: 8,30 Kg/Kg Cu extraído

74,20 Kg/TM

Prueba N° 5**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lit
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	:	16 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 9, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 9

PRODUCTO	PESO gr.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,02	0,16	4,00	0,63	50,72	14,78
COSECHA				3,88	3,61	49,28	85,22

Consumo de Acido en grs.: 29,32

Consumo Unitario de 8,11 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

73,30 Kg/TM

Prueba N° 6**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lit
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8

Curado : 10 gr H₂SO₄ y 28.8 gr H₂O, 2.4 gr NaCl
en solución

Tiempo de reposo : 12 horas

Tiempo de agitación : 24 horas

El cuadro N° V – 10, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 10

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,99	0,15	3,88	0,59	49,22	13,86
COSECHA				4,00	3,65	50,78	86,14

Consumo de Acido en grs.: 28,05
Consumo Unitario de 7,68 Kg/Kg Cu extraído
Acido:
70,13 Kg/TM

Prueba N° 7

Condiciones:

Peso mineral : 400 gr

Granulometria : 100% -1/2"

Conc. H₂SO₄, inicial : 20 gr/lit

Volumen solución : 750 cc

PH : 1.8

Curado : 10 gr H₂SO₄ y 28.8 gr H₂O, 2.4 gr NaCl
en solución

Tiempo de reposo : 16 horas

Tiempo de agitación : 24 horas

El cuadro N° V – 11, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 11

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,97	0,13	3,80	0,51	48,23	12,01
COSECHA				4,08	3,73	51,77	87,99

Consumo de Acido en grs.: 28,87

Consumo Unitario de 7,74 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

72,18 Kg/TM

CUADRO DE RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE AGITACION EN BOTELLAS

El cuadro N° V – 12, nos muestra el resumen de las pruebas de agitación en botellas.

CUADRO N° V – 12

PRUEBA	TIEMPO REPOSO	TIEMPO AGITACION	NaCl Kg./TM	Cons. H ₂ SO ₄ Kg./TM	EXTRACCION COBRE, %
1	0	48	0	54,18	78,75
2	0	24	0	51,48	80,59
3	8	24	0	73,08	82,44
4	12	24	0	74,20	84,29
5	16	24	0	73,30	85,22
6	12	24	6	70,13	86,14
7	16	24	6	72,18	87,99

Del cuadro N° V – 12 de resumen, se observa, que a medida que se incrementa el tiempo de reposo (P-3, P-4 y P-5) se incrementan las extracciones de cobre, y con la adición de 6 kg NaCl/TM (P-6 y P-7), se logra mejorar las extracciones de cobre y con menores consumos de ácido sulfúrico en la lixiviación.

5.3.1.2.2 EN AGITADORES MECANICOS

Para realizar las 7 pruebas de lixiviación en agitadores mecánicos, se utilizó vasos de 1000 cm³, con potenciómetro y agitador mecánico de 16 RPM, y usando el criterio anterior, evaluar el comportamiento de la extracción de cobre y el consumo de ácido, para distintos tiempos de reposo, lixiviación y el efecto de la adición de NaCl en 6 kg/TM en el curado, para un mineral de 100% -1/4".

Prueba N° 8

Condiciones:

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/4"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Tiempo de agitación	:	48 horas

El cuadro N° V – 13, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 13

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,00	0,15	3,92	0,59	49,72	13,86
COSECHA				3,96	3,65	50,28	86,14

Consumo de Acido en grs.: 22,05

Consumo Unitario de 6,04 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

55,13 Kg/TM

Prueba N° 9**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lit
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 14, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 14

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,01	0,17	3,96	0,67	50,22	15,71
COSECHA				3,92	3,57	49,78	84,29

Consumo de Acido en grs.: 21,63

Consumo Unitario de 6,05 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

54,08 Kg/TM

Prueba N° 10**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lit
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	:	8 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 15, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 15

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	1,00	0,12	3,92	0,47	49,72	11,09
COSECHA				3,96	3,77	50,28	88,91

Consumo de Acido en grs.: 30,25

Consumo Unitario de 8,02 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

75,63 Kg/TM

Prueba N° 11**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 29 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 16, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 16

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,94	0,11	3,68	0,43	46,74	10,16
COSECHA				4,20	3,81	53,26	89,84

Consumo de Acido en grs.: 30,08

Consumo Unitario de 7,90 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

75,20 Kg/TM

Prueba N° 12**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O
Tiempo de reposo	:	16 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 17, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 17

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,96	0,10	3,76	0,39	47,73	9,24
COSECHA				4,12	3,85	52,27	90,76

Consumo de Acido en grs.: 29,91

Consumo Unitario de Acido: 7,77 Kg/Kg Cu extraído

74,78 Kg/TM

Prueba N° 13**Condiciones:**

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O, 2.4 gr NaCl en solución
Tiempo de reposo	:	12 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 18, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 18

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,93	0,06	3,64	0,24	46,24	5,54
COSECHA				4,24	4,00	53,76	94,46

Consumo de Acido en grs.: 28,75

Consumo Unitario de 7,18 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

71,88 Kg/TM

Prueba N° 14

Condiciones:

Peso mineral	:	400 gr
Granulometria	:	100% -1/2"
Conc. H ₂ SO ₄ , inicial	:	20 gr/lt
Volumen solución	:	750 cc
PH	:	1.8
Curado	:	10 gr H ₂ SO ₄ y 28.8 gr H ₂ O, 2.4 gr NaCl en solución
Tiempo de reposo	:	16 horas
Tiempo de agitación	:	24 horas

El cuadro N° V – 19, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba.

CUADRO N° V – 19

PRODUCTO	PESO grs.	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	400,00	1,97	1,06	7,88	4,24	100,00	100,00
RESIDUO	391,80	0,91	0,05	3,57	0,20	45,25	5,10
COSECHA				4,31	4,04	54,75	94,90

Consumo de Acido en grs.: 29,45

Consumo Unitario de 7,35 Kg/Kg Cu extraído

Acido:

73,63 Kg/TM

Cuadro de Resumen de las pruebas de agitación en Agitadores mecánicos

El cuadro N° V – 20, nos muestra el resumen de las pruebas de agitación en Agitadores mecánicos.

CUADRO N° V – 20

PRUEBA	TIEMPO REPOSO	TIEMPO AGITACION	NaCl Kg/TM	Cons. H ₂ SO ₄ Kg/TM	EXTRACCION COBRE,%
8	0	48	0	55,13	86,14
9	0	24	0	54,08	84,29
10	8	24	0	75,63	88,91
11	12	24	0	75,20	89,84
12	16	24	0	74,78	90,76
13	12	24	6	71,88	94,46
14	16	24	6	73,63	94,90

Del cuadro N° V – 20, se confirma lo observado en las primeras 7 pruebas de lixiviación en botellas, que se mejoran las extracciones de cobre, con menores consumos de ácido sulfúrico, a medida que se incrementa el tiempo de reposo (P-10, P-11 y P-12) y con la adición de 6 kg NaCl/TM (P-13 y P-14), con la salvedad de que estos últimos resultados son notoriamente mejorados con respecto a los primeros (botellas), por haberse realizado a una granulometría menor (100% -1/4").

5.3.1.3 PRUEBAS DE LIXIVIACION EN COLUMNAS

De acuerdo al plan experimental se realizaron las pruebas de lixiviación estática o en columnas. Dividiéndose en 5 series de menor a mayor peso de muestra, para analizar los siguientes efectos, como se detalla a continuación.

5.3.1.3.1 SERIE A: EFECTO DE LA VARIACION DEL TIEMPO DE REPOSO

Para evaluar el efecto de la variación del tiempo de reposo en la extracción del cobre, se realizaron 3 pruebas de 10 kg en columnas de PVC de 4"φ x 1 m de altura, con mineral sin curado y curado como se detalla a continuación.

COLUMNA N° 1 – A**Condiciones**

Mineral	:	10 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.07%
Cu ox.	:	1.15%
Curado	:	No se realizó
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 21, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el **Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas**).

CUADRO N° V – 21

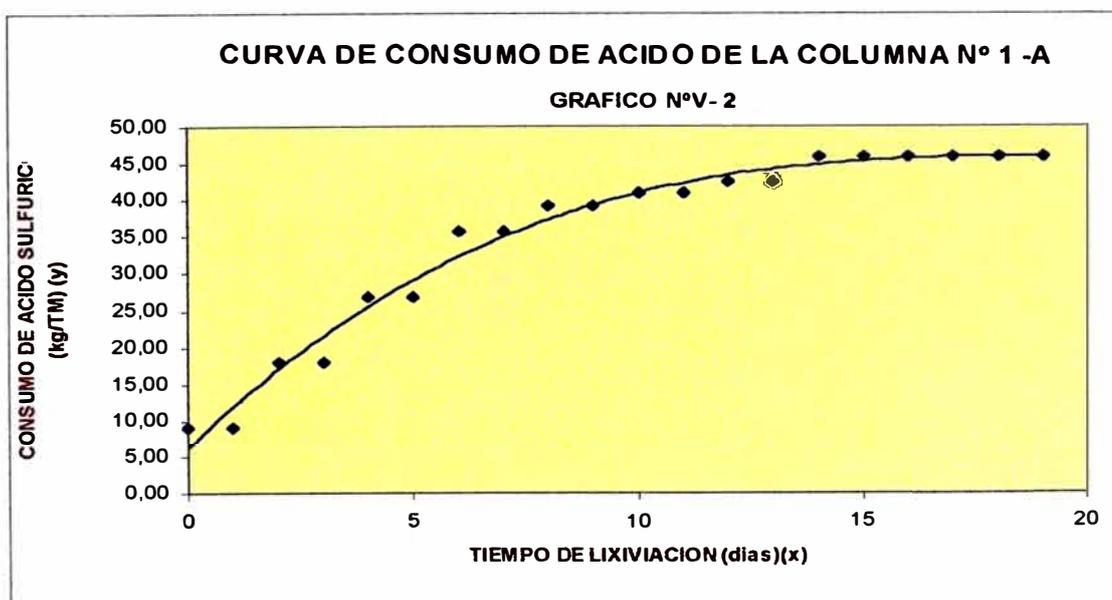
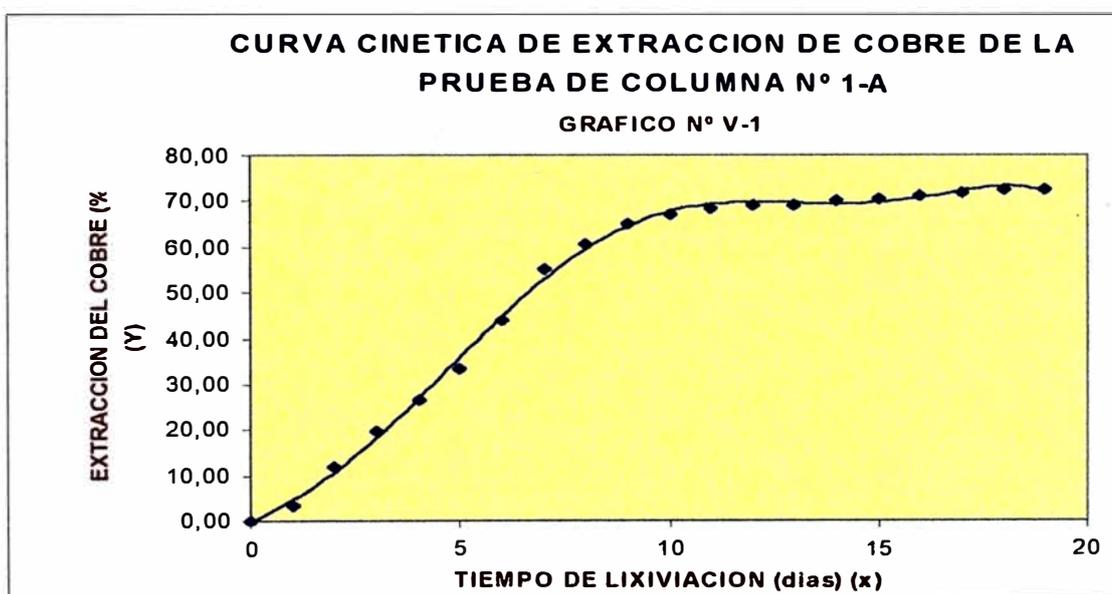
TIEMPO LIXIVIAC. días	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	9,00	0,00
1	3,40	3,40	9,00	22,99
2	8,45	11,85	18,00	13,21
3	7,90	19,75	18,00	7,93
4	6,68	26,43	26,91	8,85
5	6,89	33,32	26,91	7,02
6	10,50	43,82	35,71	7,09
7	11,31	55,13	35,71	5,63
8	5,50	60,63	39,18	5,62
9	4,46	65,10	39,18	5,23
10	1,92	67,02	40,81	5,30
11	1,43	68,45	40,81	5,18
12	0,76	69,22	42,45	5,33
13	0,00	69,22	42,45	5,33
14	0,89	70,11	45,91	5,69
15	0,50	70,60	45,91	5,65
16	0,44	71,04	45,91	5,62
17	0,84	71,88	45,91	5,55
18	0,69	72,56	45,91	5,50
19	0,07	72,63	45,91	5,50

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr. Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	10,00	2,07	1,15	0,21	0,12	100,00	100,00
RESIDUO	9,83	1,29	0,32	0,13	0,03	61,26	27,37
COSECHA				0,08	0,09	38,74	72,63

El gráfico N° V-1, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre.

El gráfico N° V-2, presenta la curva acumulada de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA Nº 2 – A**Condiciones**

Mineral	:	10 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.10%
Cu ox.	:	1.19%
Curado	:	20kg H₂SO₄/TM,6 kgNaCl/TM,7% H₂O
Tiempo de reposo	:	6 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro Nº V – 22, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo Nº 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

CUADRO Nº V – 22

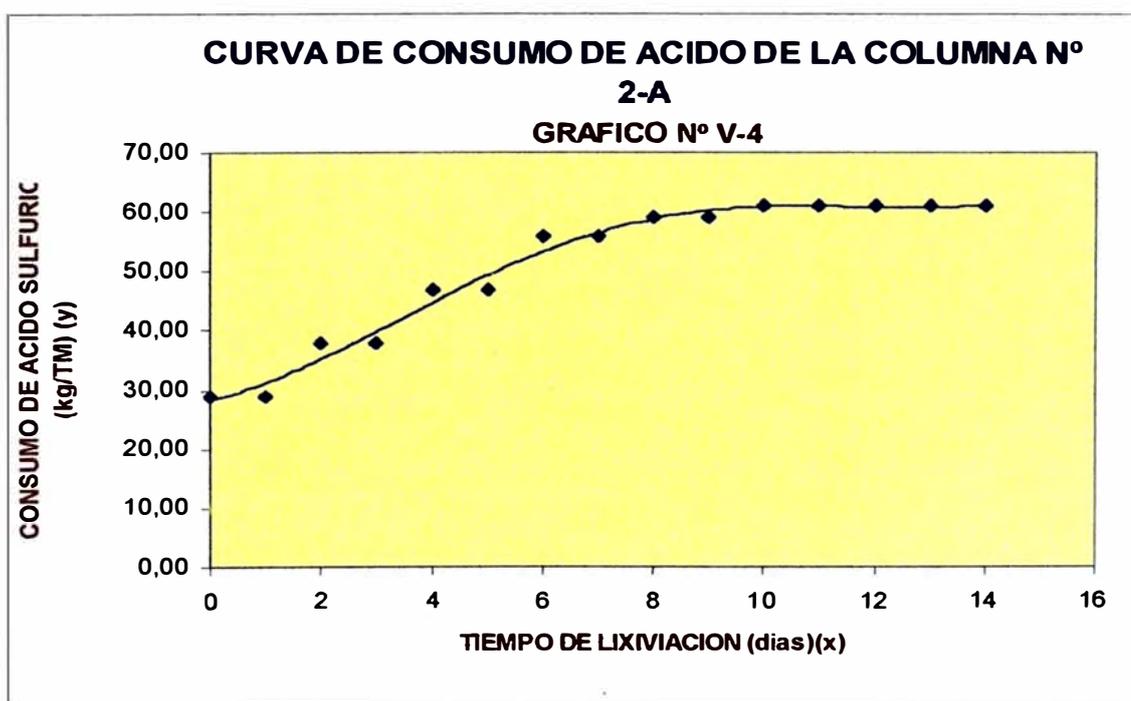
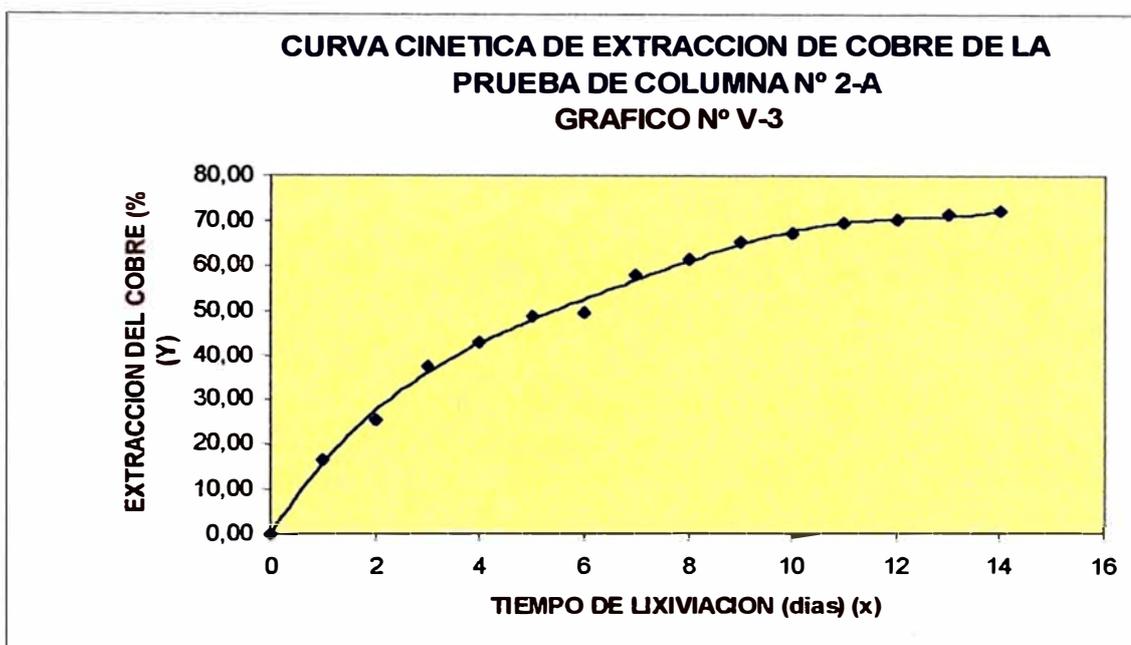
TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	29,00	0,00
1	16,71	16,71	29,00	14,58
2	8,71	25,43	37,85	12,51
3	12,02	37,45	37,85	8,49
4	5,41	42,86	46,73	9,16
5	5,99	48,85	46,73	8,04
6	0,59	49,44	55,72	9,47
7	8,40	57,84	55,72	8,09
8	3,78	61,62	59,23	8,08
9	3,61	65,23	59,23	7,63
10	1,89	67,12	60,94	7,63
11	2,26	69,37	60,94	7,38
12	0,96	70,33	60,94	7,28
13	1,02	71,35	60,94	7,18
14	0,81	72,16	60,94	7,10

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	10,00	2,10	1,19	0,21	0,12	100,00	100,00
RESIDUO	9,73	1,15	0,34	0,11	0,03	53,28	27,84
COSECHA				0,10	0,09	46,72	72,16

El gráfico N° V-3, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre.

El gráfico N° V-4, presenta la curva acumulada de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 3 – A**Condiciones**

Mineral	:	10 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.04%
Cu ox.	:	1.52%
Curado	:	20kg H ₂ SO ₄ /TM,6kg NaCl/TM,7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 23, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

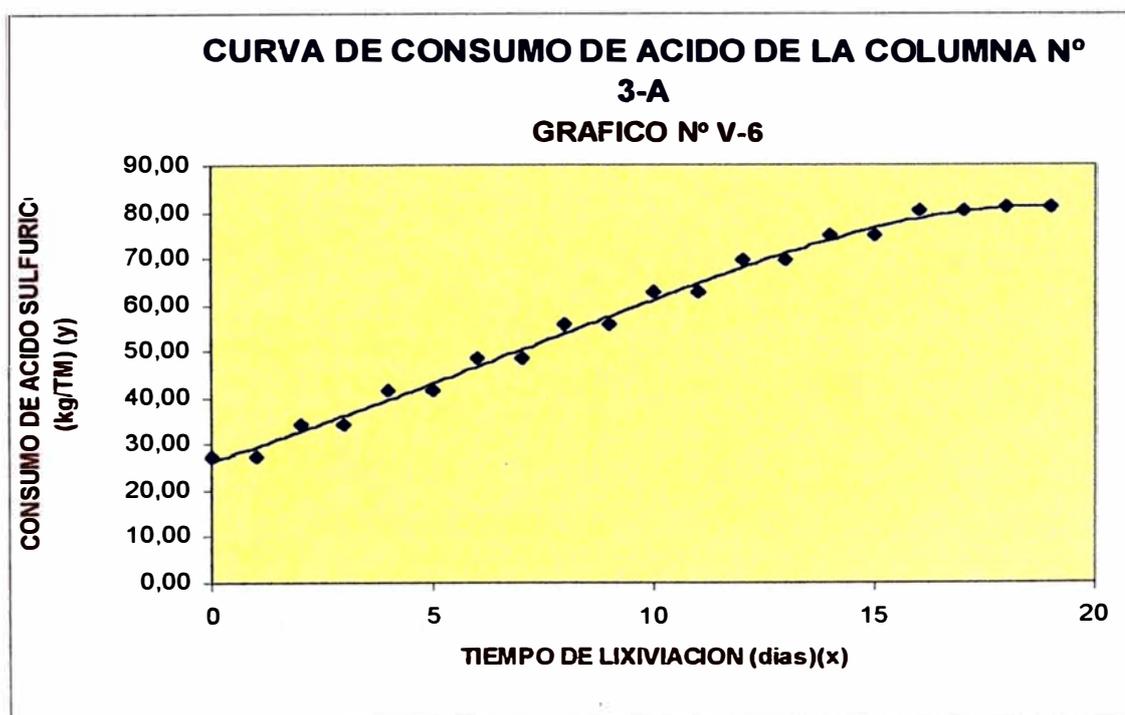
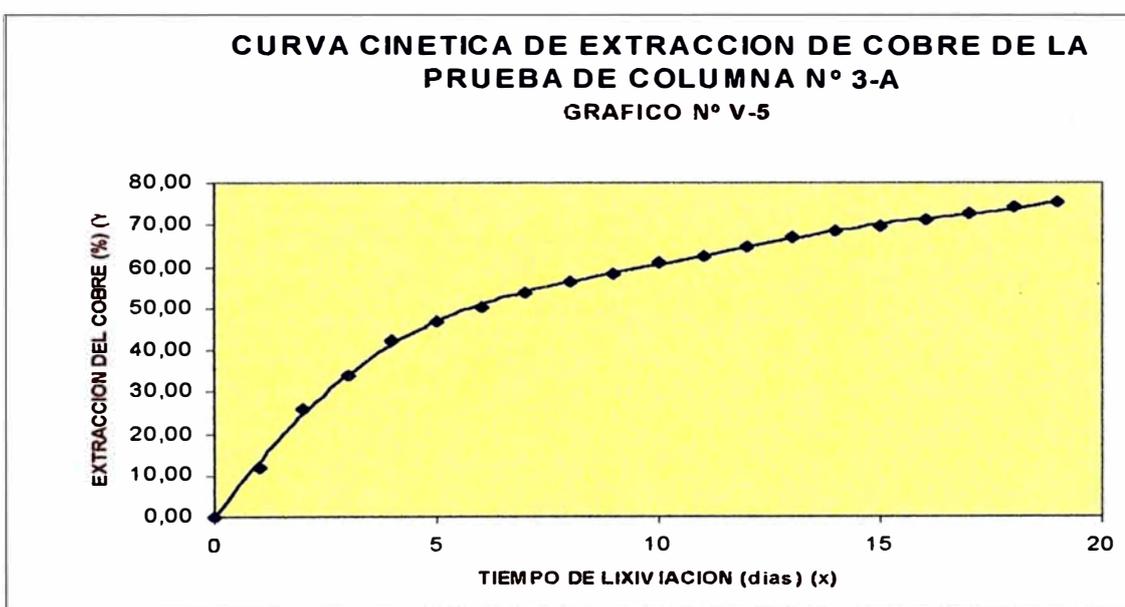
CUADRO N° V – 23

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	27,20	0,00
1	11,78	11,78	27,20	15,18
2	13,95	25,73	34,40	8,79
3	8,11	33,85	34,40	6,69
4	8,42	42,27	41,38	6,44
5	4,66	46,93	41,38	5,80
6	3,25	50,18	48,52	6,36
7	3,55	53,73	48,52	5,94
8	2,64	56,37	55,64	6,49
9	1,97	58,35	55,64	6,27
10	2,73	61,08	62,74	6,76
11	1,35	62,43	62,74	6,61
12	2,33	64,77	69,49	7,06
13	2,15	66,92	69,49	6,83
14	1,66	68,58	74,78	7,17
15	1,24	69,82	74,78	7,05
16	1,24	71,06	80,07	7,41
17	1,77	72,83	80,07	7,23
18	1,47	74,30	80,85	7,16
19	1,20	75,50	80,85	7,05

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	10,00	2,04	1,52	0,20	0,15	100,00	100,00
RESIDUO	9,81	1,20	0,38	0,12	0,04	57,71	24,50
COSECHA				0,09	0,11	42,29	75,50

Los gráficos N° V- 5 y N° V- 6, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



CUADRO DE RESUMEN DE LA SERIE A

El cuadro N° V – 24, nos muestra el resumen de la serie de pruebas A.

CUADRO N° V – 24

COLUMNA	CURADO (Kgr/TM, %)			Tamaño Partícula	Muestra Kgr.	Flujo Riego Lt/min.m ²	LEYES (%)	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				Cu Tot.	Cu Ox
1-A	0	0	0	-1/4"	10	0,18	2,07	1,15
2-A	20	6	7	-1/4"	10	0,18	2,10	1,19
3-A	20	6	7	-1/4"	10	0,18	2,04	1,52
COLUMNA	Tiempo Reposo, hr		Tiempo LIX., dias		Extracción COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄		
						Kg/TM	Kg/KgCu	
1-A	0		19		72,63	45,91	5,50	
2-A	6		14		72,16	60,94	7,10	
3-A	12		19		75,50	80,85	7,05	

Del cuadro anterior deducimos que ha medida que incrementamos el tiempo de reposo, se incrementan las extracciones de cobre (para las condiciones dadas).

5.3.1.3.2 SERIE B: EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTICULA Y EL TIEMPO DE REPOSO

Para evaluar el efecto de tamaño de partícula y el tiempo de reposo en la extracción de cobre se realizaron 4 pruebas de 25 kg, en columnas de PVC de 8"φ x 1.25 m de altura.

COLUMNA N° 1 – B

Condiciones

Mineral	:	25 kg
Granulometria	:	100% -1/2"
Cu total	:	1.70%
Cu ox.	:	1.03%
Curado	:	25 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	6 horas
Flujo de riego	:	0.15 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 25, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

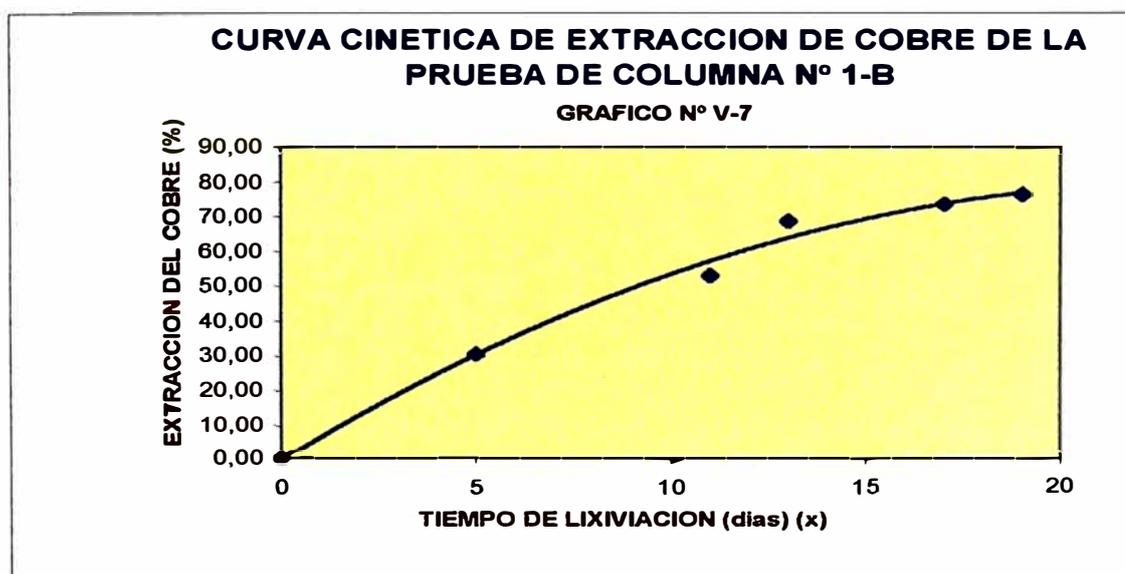
CUADRO N° V – 25

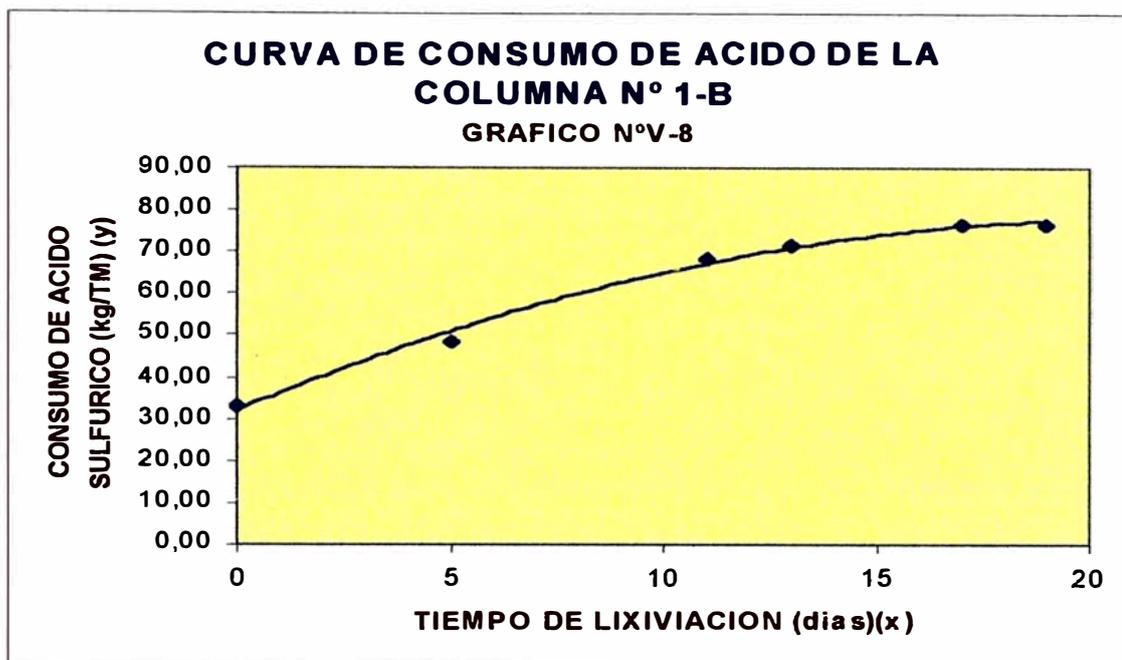
TIEMPO LIXIVIAC. días	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	33,00	0,00
5	30,49	30,49	48,59	17,23
11	22,50	52,99	68,46	13,55
13	15,50	68,49	71,44	10,91
17	4,76	73,25	76,62	10,89
19	2,78	76,03	76,51	10,47

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	25,00	1,70	1,03	0,43	0,26	100,00	100,00
RESIDUO	22,45	0,84	0,27	0,19	0,06	44,37	23,97
COSECHA				0,24	0,20	55,63	76,03

Los gráficos N° V-7 y N° V-8, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.





COLUMNA N° 2 - B

Condiciones

Mineral	:	25 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.67%
Cu ox.	:	1.07%
Curado	:	25 kgH ₂ SO ₄ /TM, kgNaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	6 horas
Flujo de riego	:	0.15 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 26, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

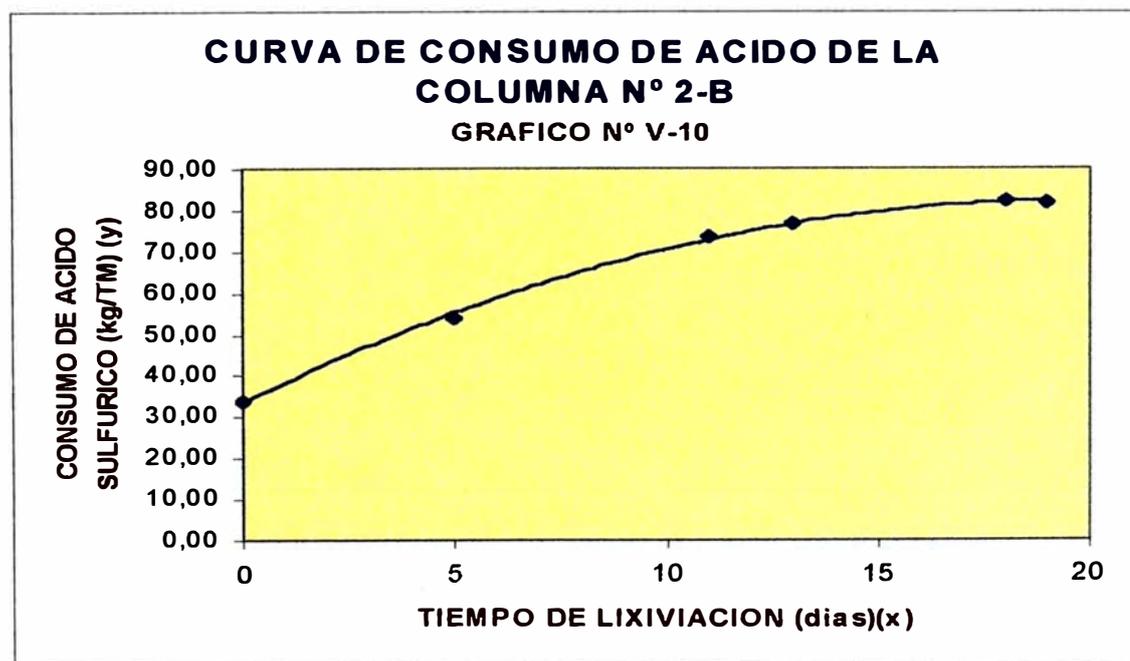
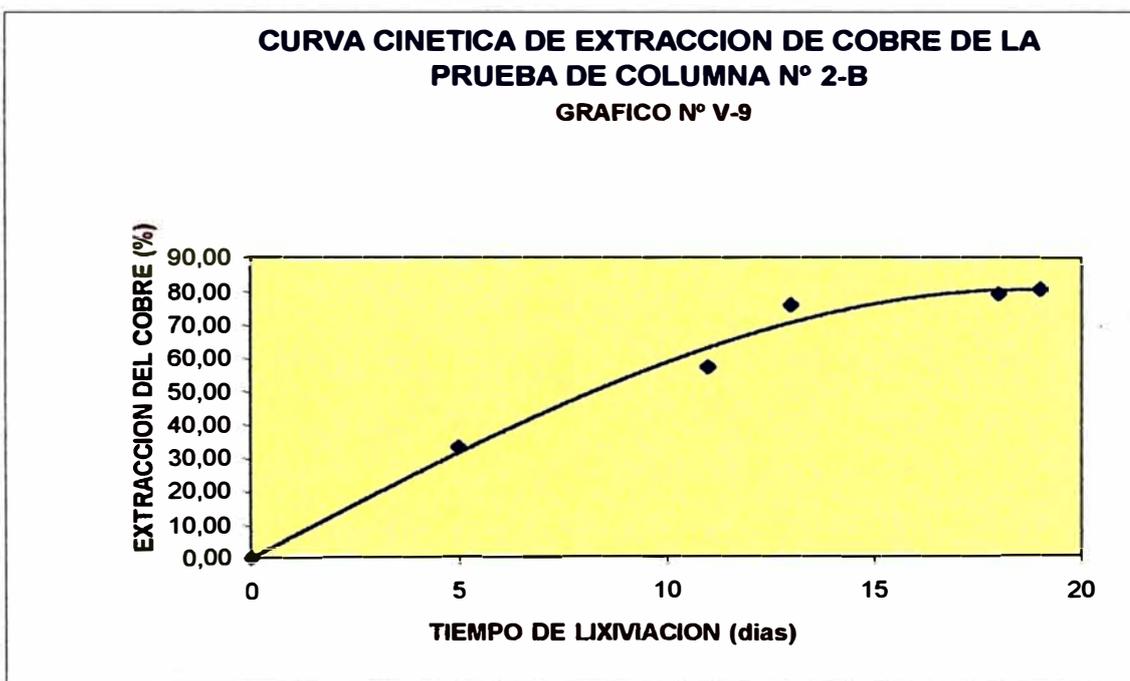
CUADRO N° V – 26

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	34,00	0,00
5	33,39	33,39	54,11	15,15
11	23,89	57,28	73,66	12,02
13	18,68	75,96	76,85	9,46
18	3,33	79,29	82,05	9,67
19	1,37	80,66	82,00	9,50

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	25,00	1,67	1,07	0,42	0,27	100,00	100,00
RESIDUO	22,48	0,74	0,23	0,17	0,05	39,84	19,34
COSECHA				0,25	0,22	60,16	80,66

Los gráficos N° V-9 y N° V-10, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 3 - B**Condiciones**

Mineral	:	25 kg
Granulometria	:	100% -1/2"
Cu total	:	1.69%
Cu ox.	:	1.09%
Curado	:	25 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.15 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 27, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

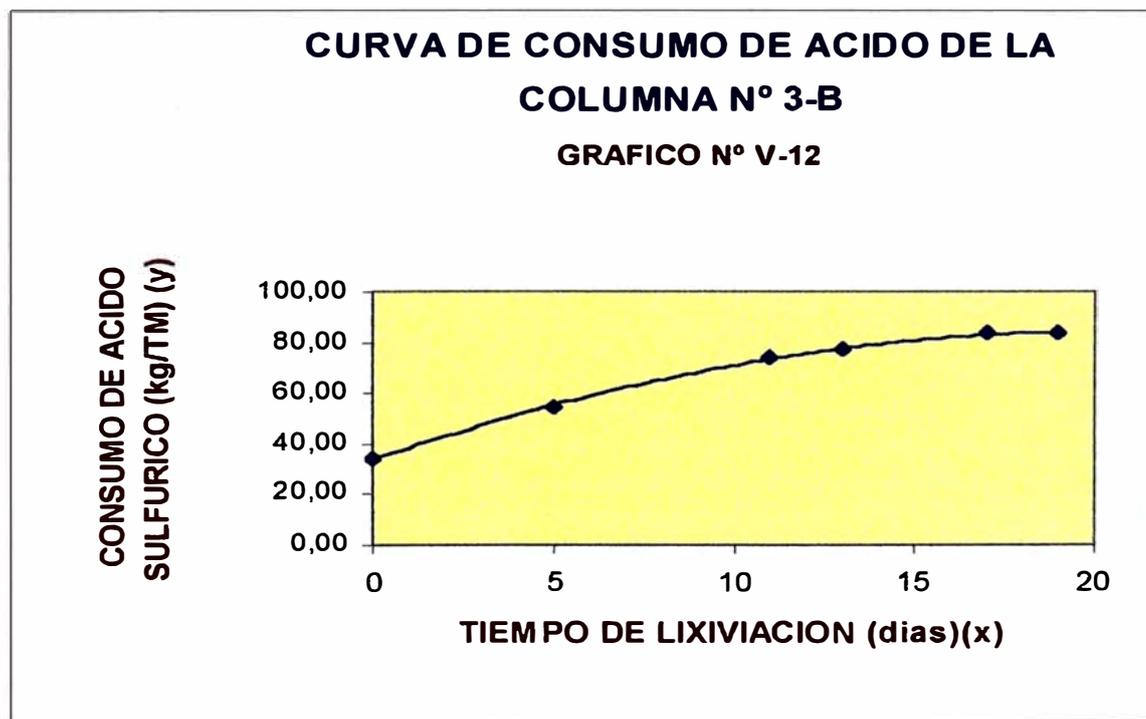
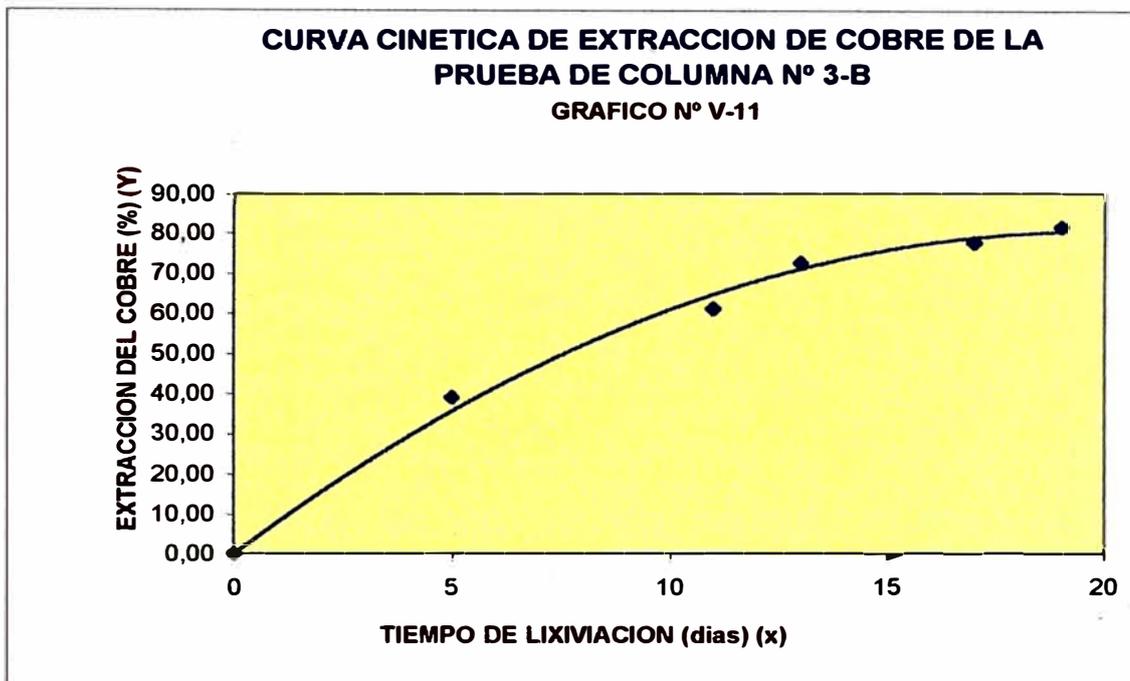
CUADRO N° V – 27

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	34,00	0,00
5	39,07	39,07	54,33	13,00
11	22,24	61,31	73,78	11,25
13	11,39	72,70	77,20	9,92
17	5,11	77,81	83,61	10,04
19	3,82	81,63	83,50	9,56

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	25,00	1,69	1,09	0,42	0,27	100,00	100,00
RESIDUO	22,22	0,81	0,23	0,18	0,05	42,60	18,37
COSECHA				0,24	0,22	57,40	81,63

Los gráficos N° V-11 y N° V-12, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 4 - B**Condiciones**

Mineral	:	25 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.67%
Cu ox.	:	1.08%
Curado	:	25 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.15 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 28, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

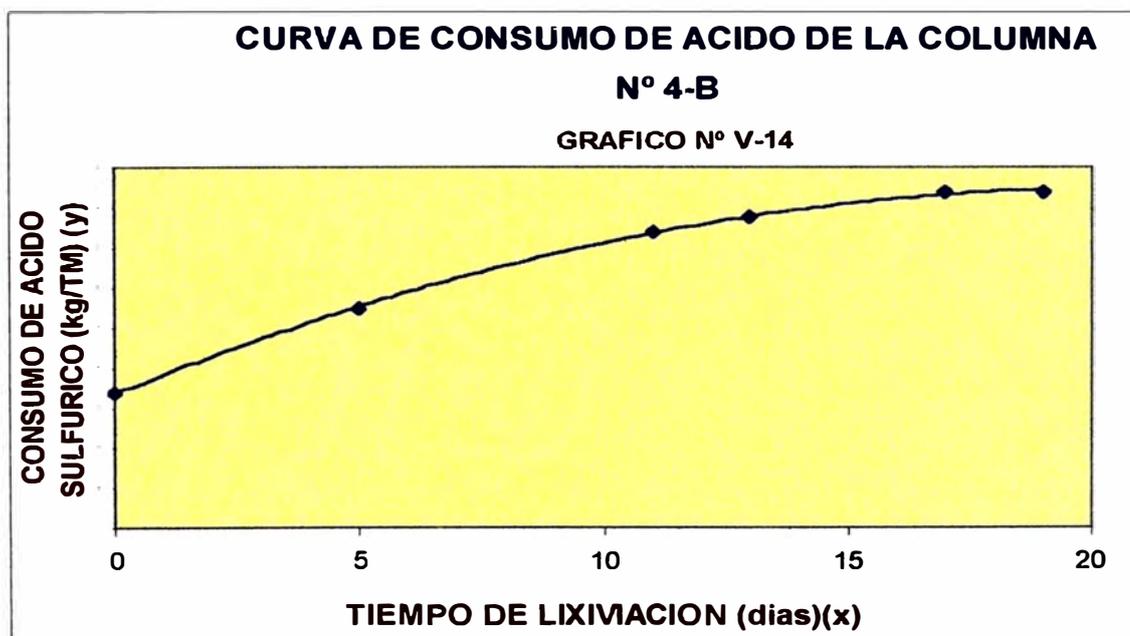
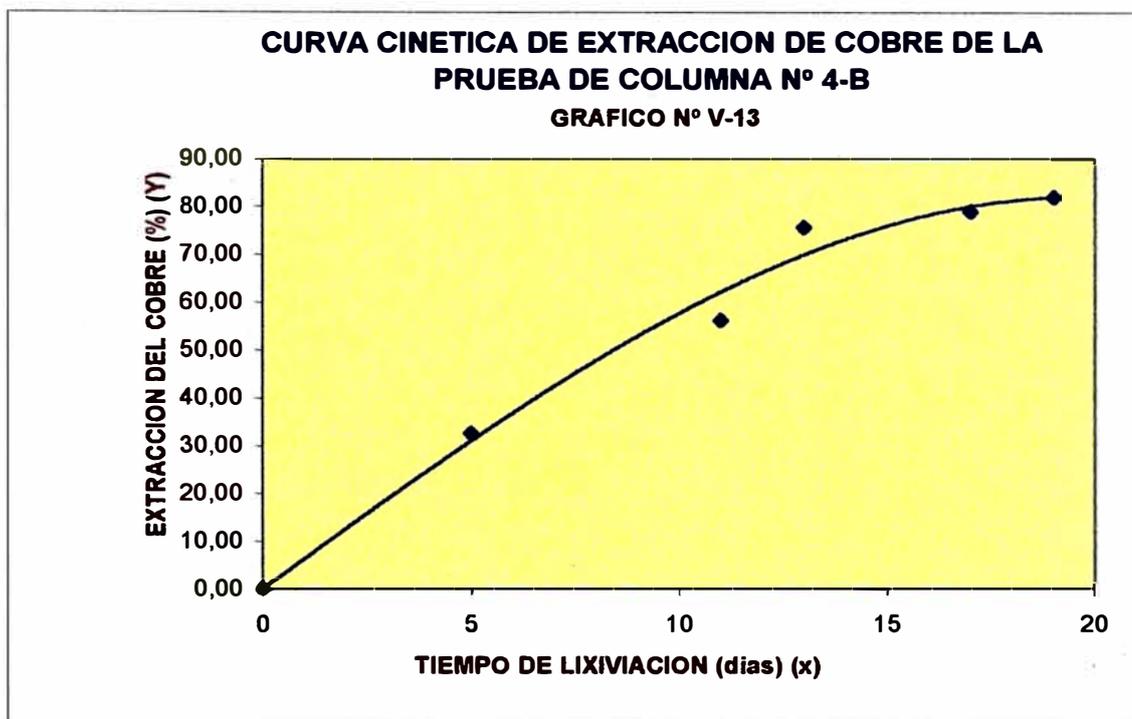
CUADRO N° V – 28

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	33,96	0,00
5	32,60	32,60	54,55	15,35
11	23,64	56,24	74,03	12,08
13	19,38	75,62	77,44	9,39
17	3,24	78,86	84,04	9,78
19	3,00	81,86	83,91	9,40

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	25,00	1,67	1,03	0,42	0,26	100,00	100,00
RESIDUO	22,18	0,80	0,21	0,18	0,05	42,50	18,14
COSECHA				0,24	0,21	57,50	81,86

Los gráficos N° V-13 y N° V-14, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



CUADRO DE RESUMEN DE LA SERIE B

El cuadro N° V – 29, nos muestra el resumen de la serie de pruebas B.

CUADRO N° V – 29

COLUMNA	CURADO (Kgr/TM, %)			Tamaño Partícula	Muestra Kgr.	Flujo Riego Lt/min.m ²	LEYES (%)	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				Cu Tot.	Cu Ox
1-B	25	6	7	-1/2"	25	0,15	1,70	1,03
2-B	25	6	7	-1/4"	25	0,15	1,67	1,07
3-B	25	6	7	-1/2"	25	0,15	1,69	1,09
4-B	25	6	7	-1/4"	25	0,15	1,67	1,08
COLUMNA	Tiempo Reposo, hr		Tiempo LIX., días		Extracción COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄		
						Kg/TM	Kg/KgCu	
1-B	6		19		76,03	76,51	10,47	
2-B	6		19		80,66	82,00	9,50	
3-B	12		19		81,63	83,50	9,56	
4-B	12		19		81,86	83,91	9,40	

Del cuadro anterior se puede observar que a medida que se incrementa el tiempo de reposo y se disminuye el tamaño de partícula, se obtienen mejores extracciones de cobre (para las condiciones dadas).

5.3.1.3.3 SERIE C: EFECTO DE LA DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO Y CLORURO DE SODIO

Para evaluar el efecto de dosificación del ácido sulfúrico y el cloruro de sodio en el curado, se realizaron 5 pruebas de pesos menores a 12 kg, en columnas de PVC de 4"φ x 1 m de altura, con mineral de 100% -1/4", como se detalla a continuación.

COLUMNA N° 1 - C

Condiciones

Mineral	:	10.9 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.22%
Cu ox.	:	1.7
Curado	:	20kg H ₂ SO ₄ /TM, 0 kg NaCl/TM 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas

Flujo de riego

0.18 lt /min*m²

El cuadro N° V – 30, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

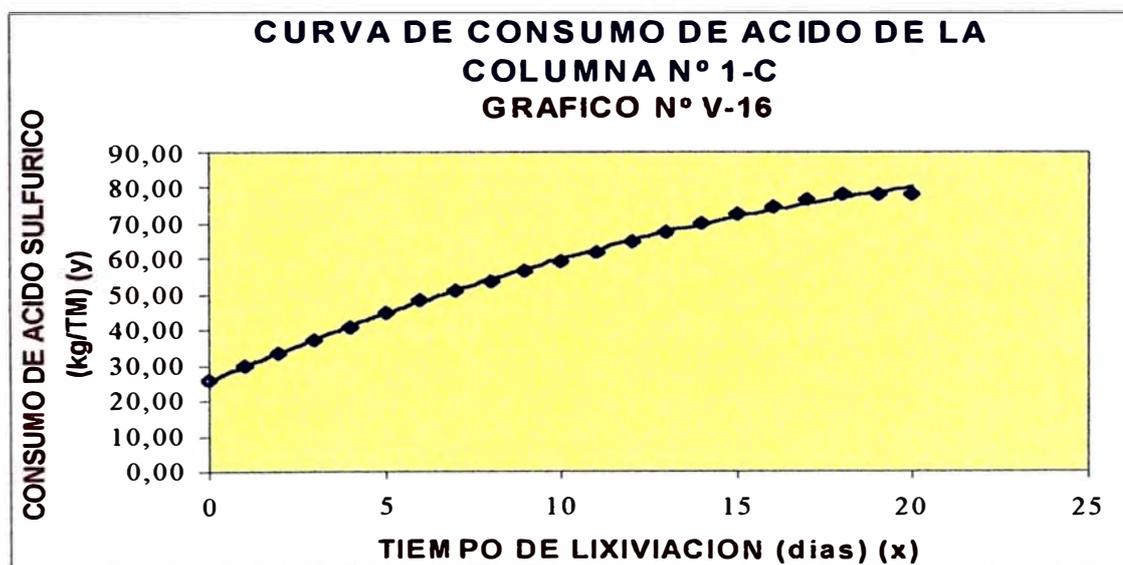
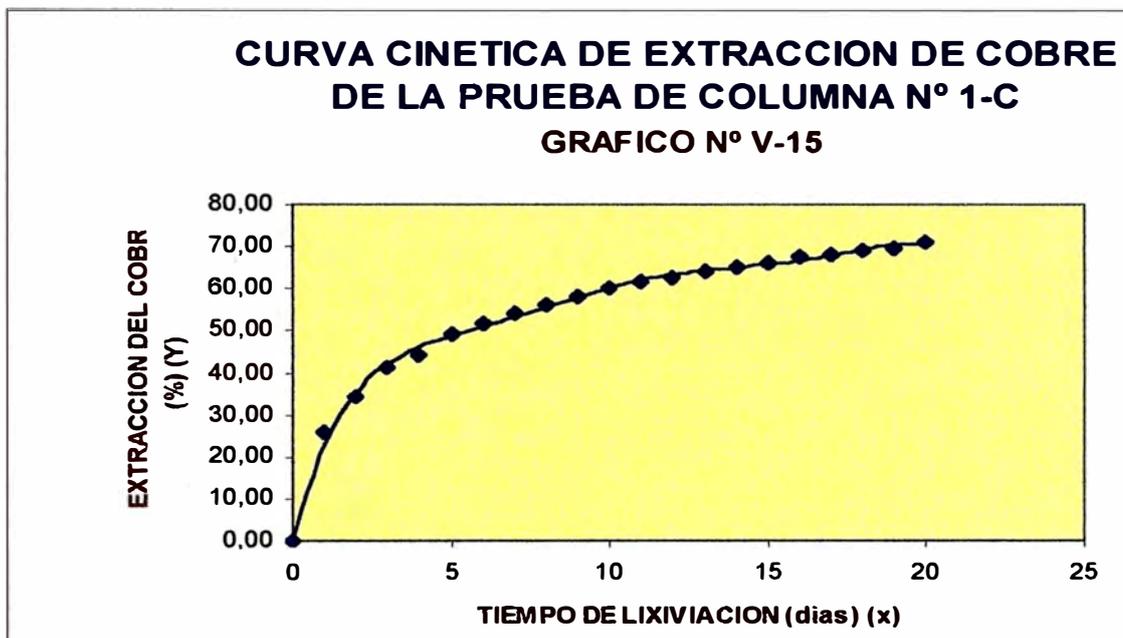
CUADRO N° V – 30

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	25,78	0,00
1	25,72	25,72	29,63	6,58
2	8,61	34,33	33,49	5,57
3	7,13	41,46	37,16	5,12
4	2,98	44,45	40,83	5,25
5	4,50	48,95	44,50	5,19
6	2,82	51,77	48,17	5,32
7	2,16	53,93	50,92	5,40
8	2,05	55,98	53,67	5,48
9	2,11	58,09	56,42	5,55
10	1,79	59,88	59,17	5,65
11	1,51	61,39	61,93	5,76
12	1,35	62,74	64,68	5,89
13	1,19	63,93	67,43	6,03
14	1,19	65,11	70,18	6,16
15	1,12	66,23	72,39	6,25
16	1,12	67,35	74,59	6,33
17	0,75	68,10	76,42	6,41
18	0,91	69,01	78,26	6,48
19	0,66	69,66	78,26	6,42
20	1,22	70,89	78,26	6,31

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	10,90	2,22	1,75	0,24	0,19	100,00	100,00
RESIDUO	10,46	0,90	0,53	0,09	0,06	38,90	29,11
COSECHA				0,15	0,14	61,10	70,89

Los gráficos N° V-15 y N° V-16, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 2 -C

Condiciones

Mineral	:	11.6 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.31%

Cu ox.	:	1.59%
Curado	:	30kg H ₂ SO ₄ /TM,3 kg NaCl/TM,7%H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 31, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

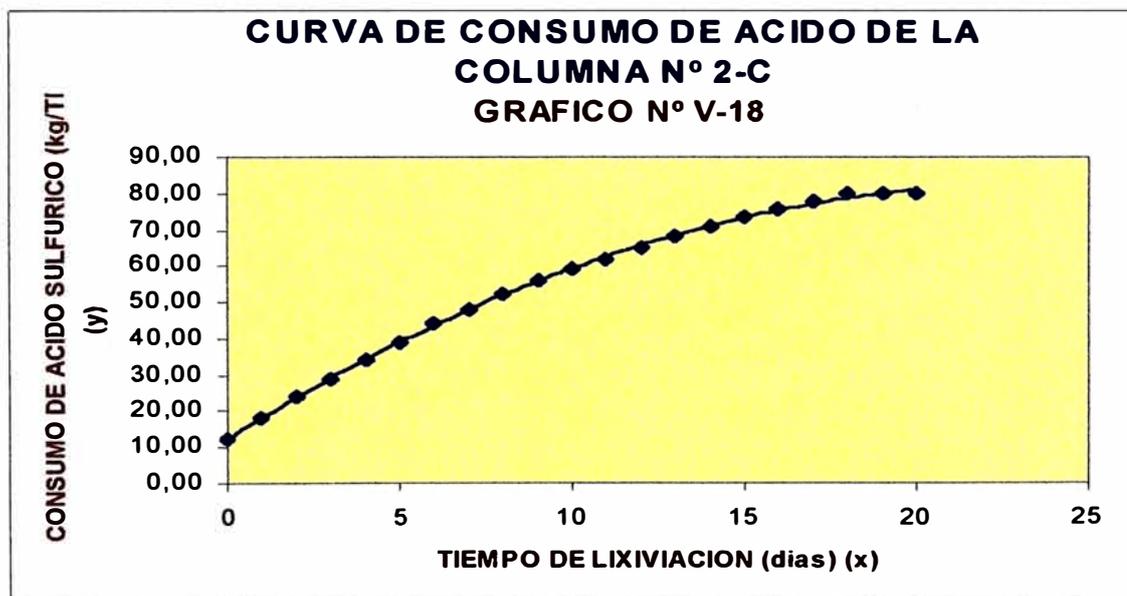
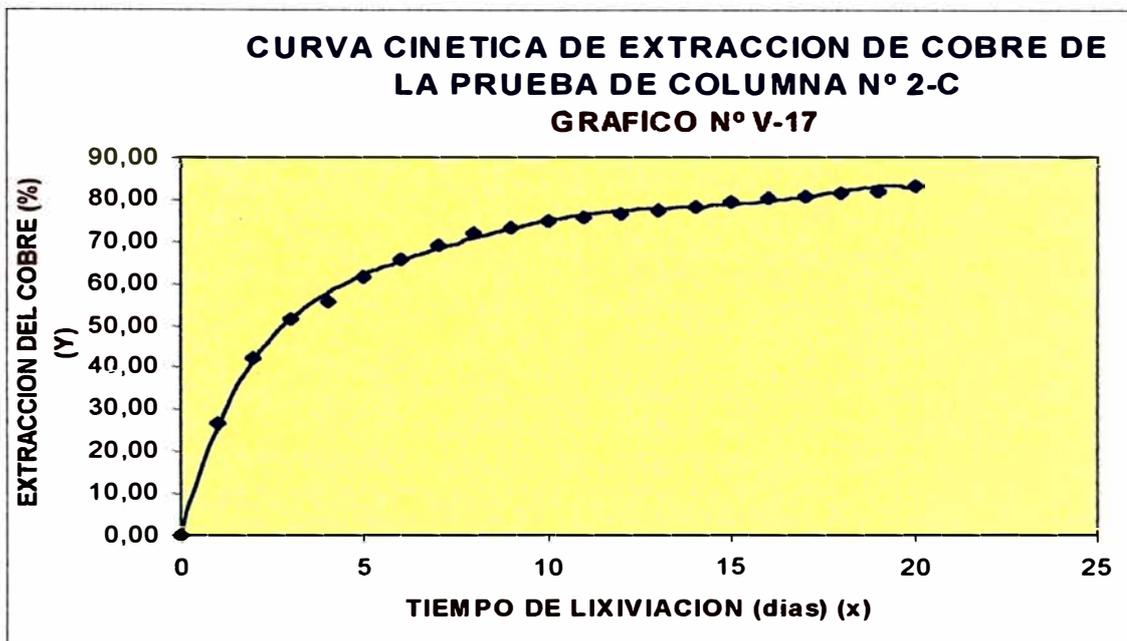
CUADRO N° V – 31

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	12,00	0,00
1	26,87	26,87	18,52	10,66
2	15,29	42,16	24,31	7,56
3	9,53	51,69	29,20	6,69
4	4,16	55,85	34,15	6,68
5	5,79	61,64	39,12	6,49
6	4,27	65,91	44,57	6,48
7	3,20	69,11	48,17	6,50
8	2,69	71,80	52,45	6,56
9	1,54	73,34	56,08	6,71
10	1,44	74,78	59,17	6,80
11	0,89	75,68	62,58	6,94
12	1,11	76,79	65,73	7,05
13	0,66	77,45	68,16	7,20
14	1,02	78,48	71,29	7,31
15	0,87	79,35	73,40	7,40
16	0,82	80,17	75,80	7,48
17	0,75	80,92	77,89	7,55
18	0,75	81,67	79,78	7,61
19	0,56	82,23	79,80	7,56
20	1,10	83,32	79,84	7,46

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	11,60	2,31	1,59	0,27	0,18	100,00	100,00
RESIDUO	11,28	0,75	0,27	0,08	0,03	31,57	16,68
COSECHA				0,18	0,15	68,43	83,32

Los gráficos N° V-17 y N° V-18, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 3 – C

Condiciones

Mineral	:	11.6 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.25%

Cu ox.	:	1.71%
Curado	:	20kg H ₂ SO ₄ /TM,6 kg NaCl/TM,7%H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18lt/min*m ²

El cuadro N° V – 32, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

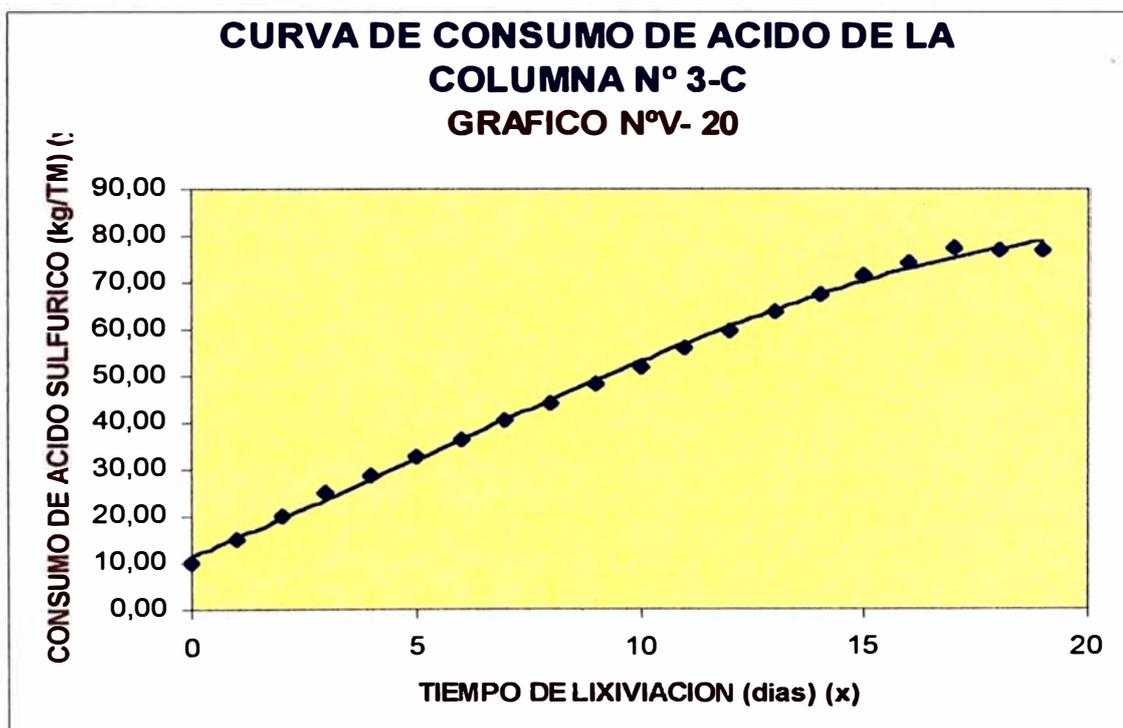
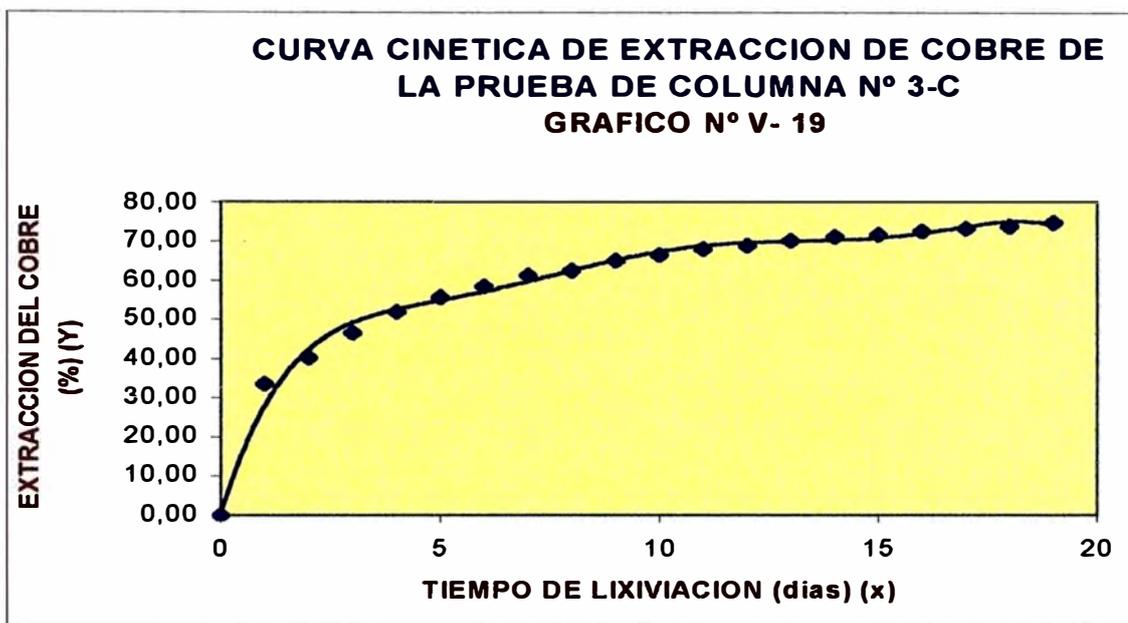
CUADRO N° V – 32

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	8,62	0,00
1	33,45	33,45	12,93	5,76
2	6,72	40,16	17,24	5,42
3	6,36	46,53	21,38	5,20
4	5,29	51,81	24,72	5,05
5	3,82	55,64	28,09	5,06
6	2,84	58,47	31,43	5,14
7	2,73	61,20	34,76	5,23
8	1,27	62,47	38,15	5,44
9	2,61	65,08	41,47	5,52
10	1,43	66,51	44,80	5,70
11	1,51	68,02	48,11	5,86
12	0,94	68,97	51,48	6,06
13	1,12	70,09	54,85	6,25
14	0,97	71,06	58,19	6,43
15	0,70	71,76	61,52	6,64
16	0,86	72,62	63,97	6,76
17	0,65	73,26	66,46	6,90
18	0,53	73,80	66,34	6,84
19	0,93	74,73	66,20	6,75

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	11,60	2,25	1,71	0,26	0,20	100,00	100,00
RESIDUO	11,23	0,77	0,45	0,09	0,05	33,13	25,27
COSECHA				0,17	0,15	66,87	74,73

Los gráficos N° V-19 y N° V- 20, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 4 - C

Condiciones

Mineral	:	11.7 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.35%

Cu ox.	:	1.75%
Curado	:	20 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 33, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

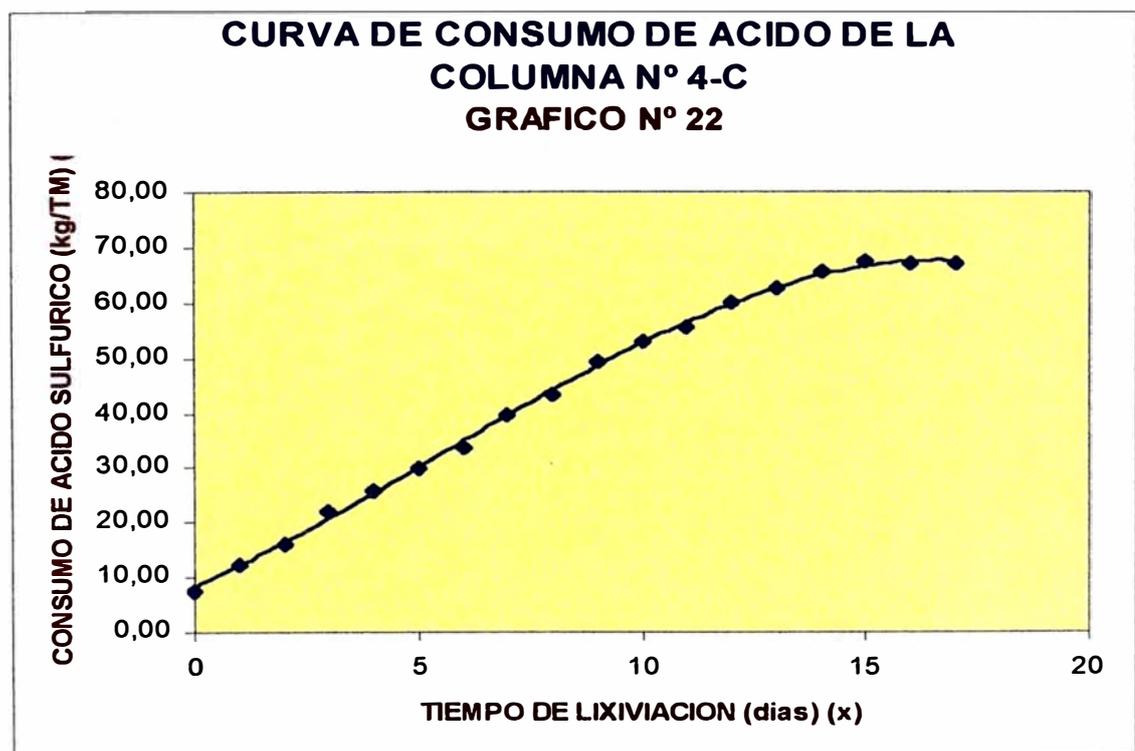
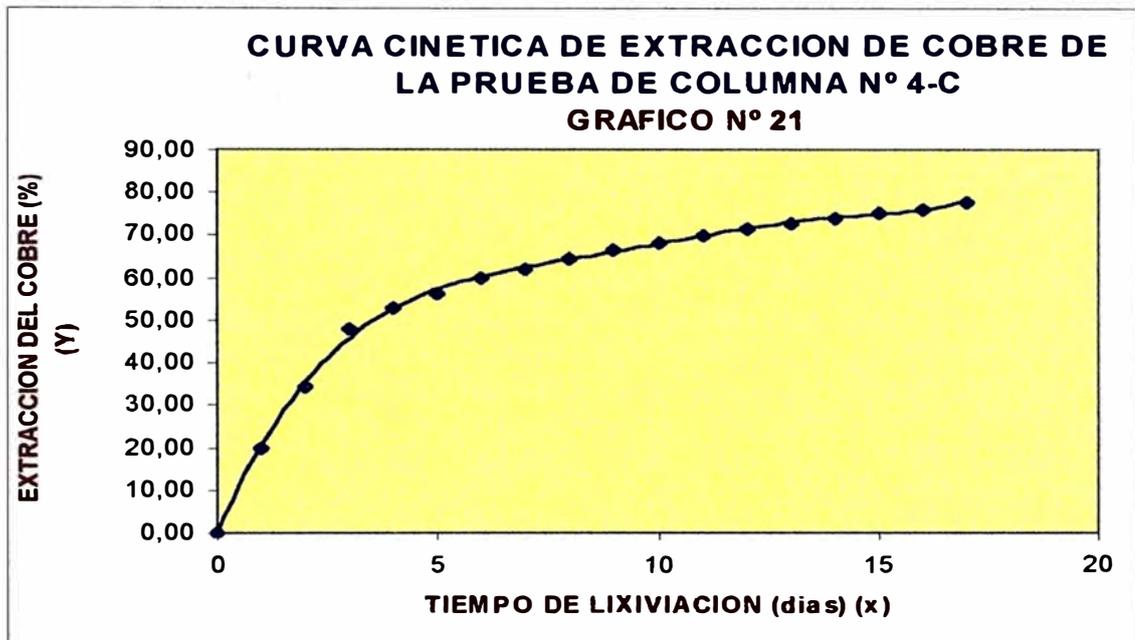
CUADRO N° V – 33

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	7,50	0,00
1	19,80	19,80	12,39	10,27
2	14,63	34,43	16,18	6,44
3	13,32	47,74	22,01	5,24
4	5,16	52,90	25,82	5,08
5	3,42	56,32	29,73	5,11
6	3,60	59,92	33,55	5,12
7	2,16	62,08	39,36	5,40
8	2,50	64,58	43,16	5,48
9	1,90	66,48	49,00	5,75
10	1,59	68,07	52,74	5,88
11	1,67	69,74	55,50	5,93
12	1,48	71,22	59,86	6,11
13	1,53	72,75	62,66	6,17
14	1,11	73,86	65,34	6,25
15	1,27	75,13	67,18	6,27
16	1,01	76,13	67,09	6,18
17	1,64	77,77	67,02	6,05

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	11,70	2,35	1,75	0,27	0,20	100,00	100,00
RESIDUO	11,31	1,02	0,40	0,12	0,05	41,96	22,23
COSECHA				0,16	0,16	58,04	77,77

Los gráficos N° V-21 y N° V- 22, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 5 – C**Condiciones**

Mineral	:	11.6 kg
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu total	:	2.16%
Cu ox.	:	1.64%
Curado	:	25kg H₂SO₄ /TM,9 kg NaCl/TM,7%H₂O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 34, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

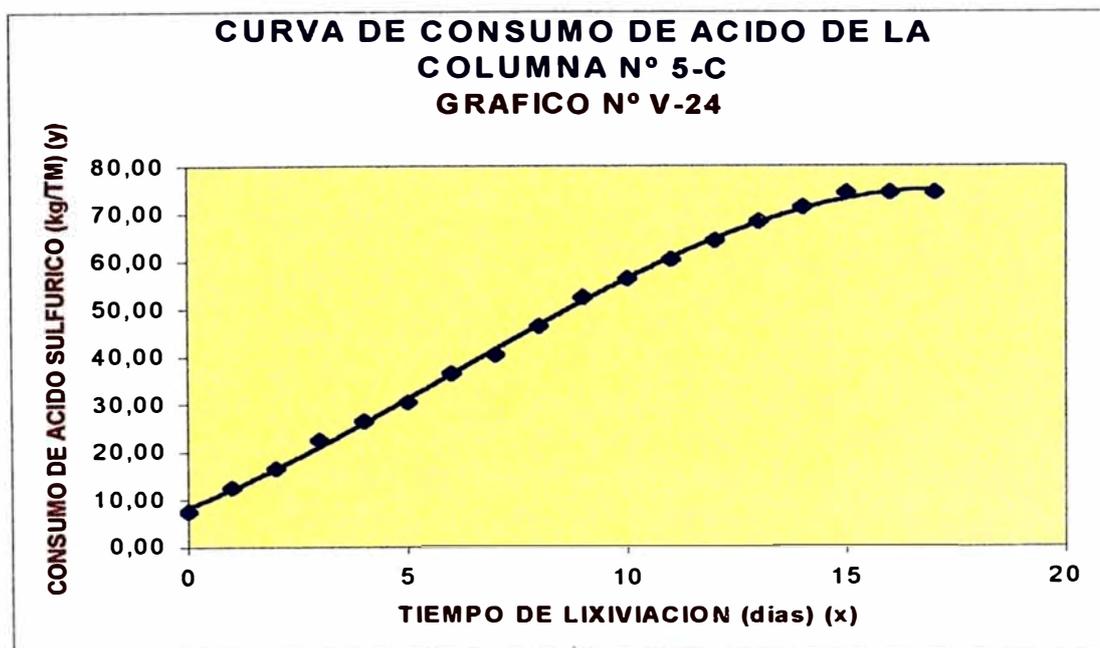
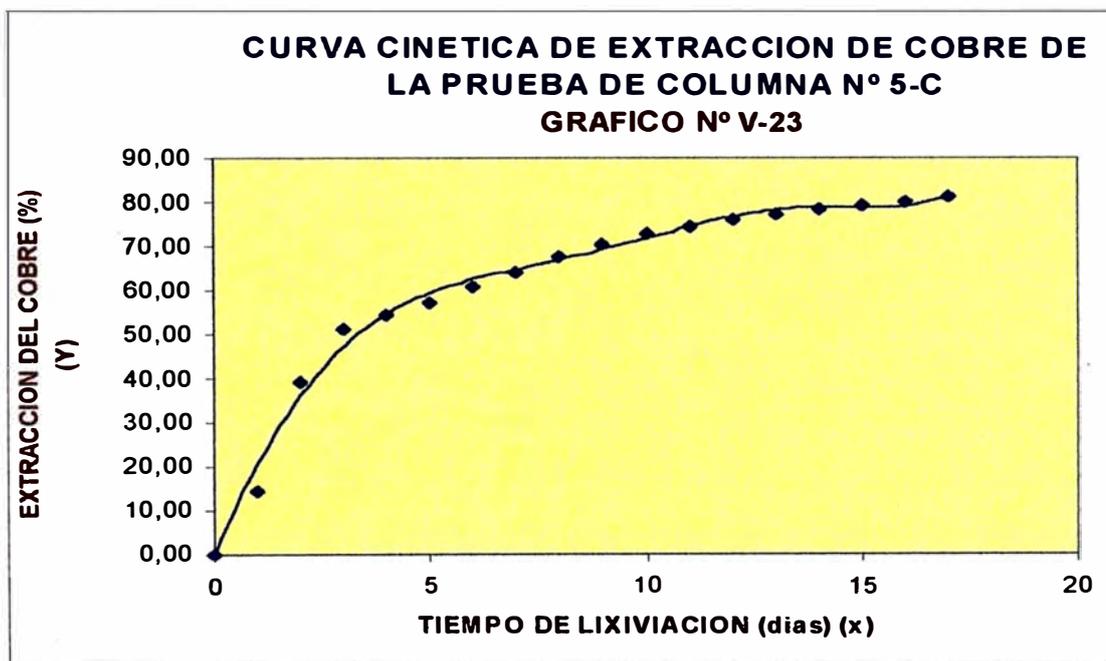
CUADRO N° V – 34

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	7,50	0,00
1	14,31	14,31	12,50	15,25
2	24,88	39,19	16,50	6,10
3	11,92	51,11	22,47	5,29
4	3,30	54,40	26,47	5,36
5	2,92	57,32	30,47	5,45
6	3,33	60,65	36,47	5,67
7	3,52	64,17	40,39	5,68
8	3,59	67,75	46,39	5,85
9	2,68	70,44	52,42	6,08
10	2,38	72,82	56,36	6,16
11	1,78	74,60	60,32	6,29
12	1,39	75,98	64,32	6,46
13	1,10	77,08	68,32	6,64
14	1,18	78,26	71,32	6,74
15	1,06	79,32	74,32	6,85
16	0,82	80,14	74,32	6,78
17	0,94	81,07	74,32	6,70

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	11,60	2,16	1,64	0,25	0,19	100,00	100,00
RESIDUO	11,28	0,76	0,32	0,09	0,04	34,21	18,93
COSECHA				0,16	0,15	65,79	81,07

Los gráficos N° V- 23 y N° V- 24, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



CUADRO DE RESUMEN DE LA SERIE C

El cuadro N° V – 35, nos muestra el resumen de la serie de pruebas C.

CUADRO N° V – 35

COLUMNA	CURADO (Kgr/TM, %)			Tamaño	Muestra	Fluj o Riego Lt/min.m ²	LEYES (%)	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O	Partícula	Kgr.		Cu Tot.	Cu Ox
1-C	20	0	7	-1/4"	10,9	0,18	2,22	1,75
2-C	30	3	7	-1/4"	11,6	0,18	2,31	1,59
3-C	20	6	7	-1/4"	11,6	0,18	2,25	1,71
4-C	20	6	7	-1/4"	11,7	0,18	2,35	1,75
5-C	25	9	7	-1/4"	11,6	0,18	2,16	1,64
COLUMNA	Tiempo		Tiempo	Extracción	CONSUMO H ₂ SO ₄			
	Reposo, hr	LIX., días	LIX., días		COBRE, %	Kg/TM	Kg/KgCu	
1-C	12	20	20	70,89	78,26	6,31		
2-C	12	20	20	83,32	79,84	7,46		
3-C	12	19	19	74,73	66,20	6,75		
4-C	12	17	17	77,77	67,02	6,05		
5-C	12	17	17	81,07	74,32	6,70		

Del cuadro anterior se puede observar que las pruebas 2-C y 5-C, son de las que se obtienen mejores extracciones, pero los consumos de ácido son aun altos como en las series anteriores, mientras que para las pruebas 3-C y 4-C , sucede lo contrario ,por lo que en la siguiente serie D, se procede a investigar el comportamiento de una sola variable, el ácido sulfúrico, para la dosificación óptima determinada de 6 kg NaCl/TM en el curado.

5.3.1.3.4 SERIE D: EFECTO DE LA DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO

Para evaluar el efecto de la dosificación de ácido sulfúrico en el curado, se realizaron 3 pruebas de 200 -203 kg en columnas de PVC de 11 ½"φ x 2 m de altura con mineral de granulometria 100% - ¼", según se detallan.

COLUMNA N° 1 – D

Condiciones

Mineral : 203 kg
Granulometría : 100% -1/4"

Cu total	:	1.81%
Cu ox.	:	1.04%
Curado	:	20 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6kg NaCl/TM, 7%H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 36, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

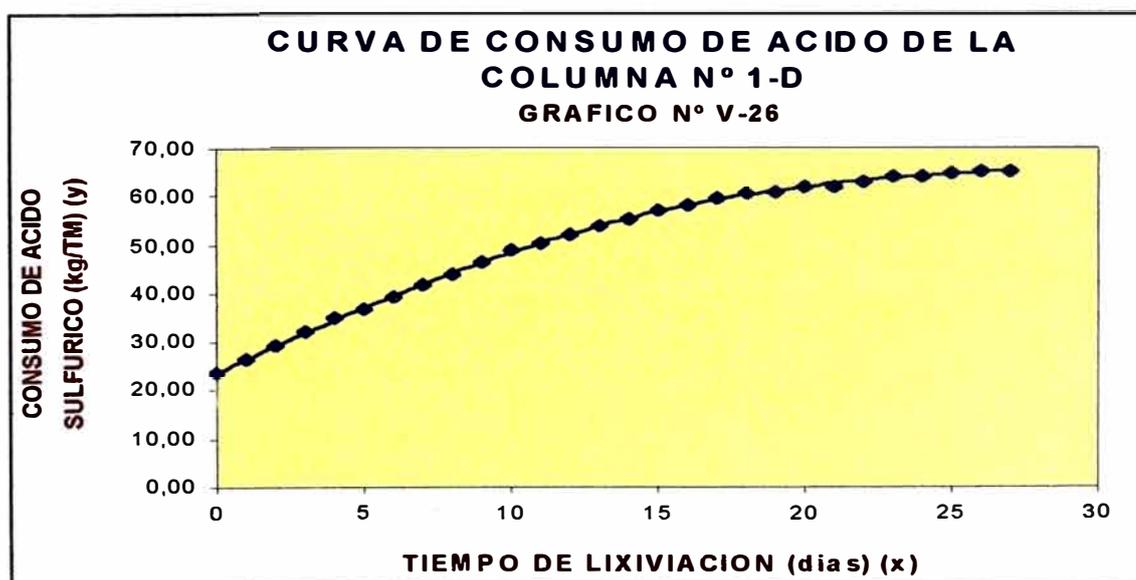
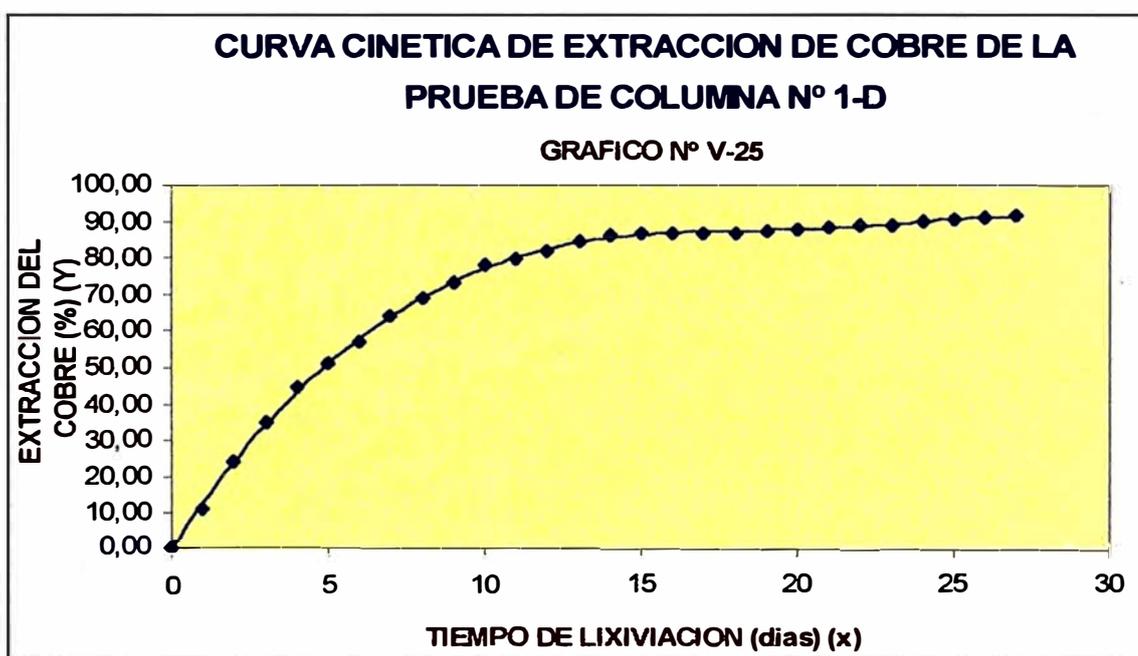
CUADRO N° V – 36

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	23,55	0,00
1	11,06	11,06	26,50	0,00
2	13,20	24,26	29,27	11,60
3	10,89	35,15	32,16	8,80
4	9,58	44,73	34,89	7,50
5	6,10	50,83	36,69	6,94
6	5,92	56,75	39,09	6,62
7	7,07	63,81	41,59	6,27
8	4,87	68,69	43,97	6,15
9	4,55	73,23	46,35	6,09
10	4,59	77,82	48,88	6,04
11	1,97	79,79	50,05	6,03
12	1,95	81,75	51,87	6,10
13	2,47	84,22	53,76	6,14
14	1,68	85,90	55,00	6,16
15	0,57	86,47	56,90	6,33
16	0,31	86,78	57,96	6,42
17	-0,15	86,62	59,48	6,60
18	-0,03	86,59	60,47	6,71
19	0,62	87,21	60,93	6,72
20	0,44	87,65	61,95	6,80
21	0,35	88,01	61,93	6,77
22	0,73	88,74	62,96	6,82
23	0,21	88,95	63,92	6,91
24	0,86	89,81	64,11	6,86
25	0,53	90,34	64,85	6,90
26	0,26	90,60	65,00	6,90
27	0,56	91,16	64,98	6,85

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	203,00	1,81	1,04	3,67	2,11	100,00	100,00
RESIDUO	192,85	1,05	0,10	2,02	0,19	55,11	8,84
COSECHA				1,65	1,92	44,89	91,16

Los gráficos N° V-25 y N° V- 26, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 2 – D**Condiciones**

Mineral	:	202 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.76%
Cu ox.	:	1.04%
Curado	:	25kg H₂SO₄/TM,6kg NaCl/TM, 7% H₂O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 37, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

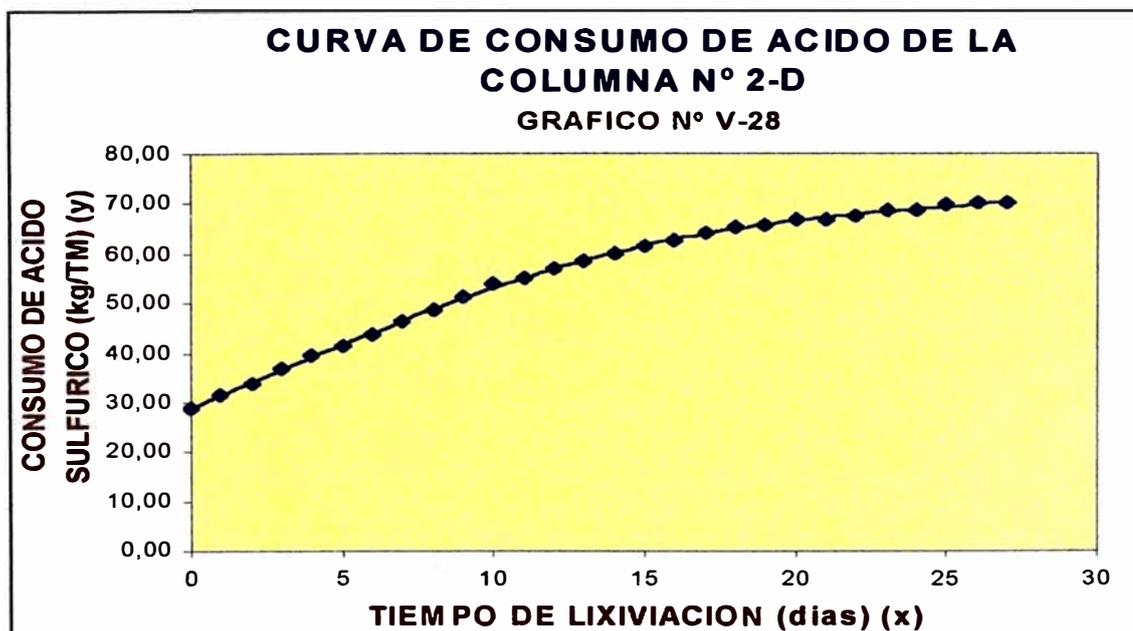
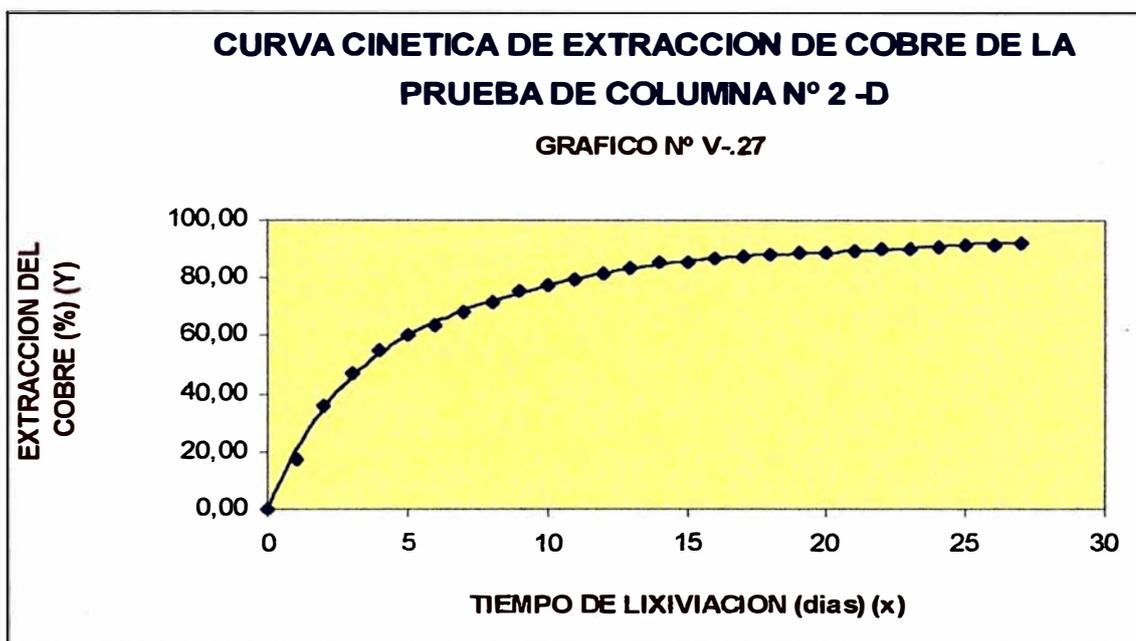
CUADRO N° V – 37

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	28,66	0,00
1	16,91	16,91	31,59	0,00
2	18,87	35,79	33,74	9,06
3	11,29	47,07	36,63	7,48
4	7,84	54,91	39,38	6,90
5	5,33	60,24	41,18	6,57
6	3,66	63,89	43,59	6,56
7	4,12	68,01	46,16	6,53
8	3,43	71,44	48,59	6,54
9	4,05	75,50	51,04	6,50
10	2,08	77,58	53,70	6,66
11	2,18	79,76	54,89	6,62
12	1,83	81,59	56,72	6,68
13	1,90	83,49	58,56	6,74
14	1,70	85,19	59,77	6,75
15	0,55	85,74	61,59	6,91
16	0,91	86,65	62,66	6,95
17	0,68	87,33	64,17	7,07
18	0,59	87,92	65,13	7,12
19	0,51	88,43	65,61	7,13
20	0,41	88,83	66,61	7,21
21	0,52	89,35	66,60	7,17
22	0,64	89,99	67,63	7,23
23	0,26	90,25	68,62	7,31
24	0,72	90,97	68,80	7,27
25	0,55	91,52	69,79	7,33
26	0,19	91,71	69,98	7,34
27	0,50	92,21	69,97	7,30

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	202,00	1,76	1,04	3,56	2,10	100,00	100,00
RESIDUO	193,92	0,95	0,08	1,84	0,16	51,82	7,79
COSECHA				1,71	1,94	48,18	92,21

Los gráficos N° V-27 y N° V- 28, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 3 – D**Condiciones**

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.64%
Cu ox.	:	0.93%
Curado	:	30kg H₂SO₄/TM,6kg NaCl/TM,7% H₂O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 38, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

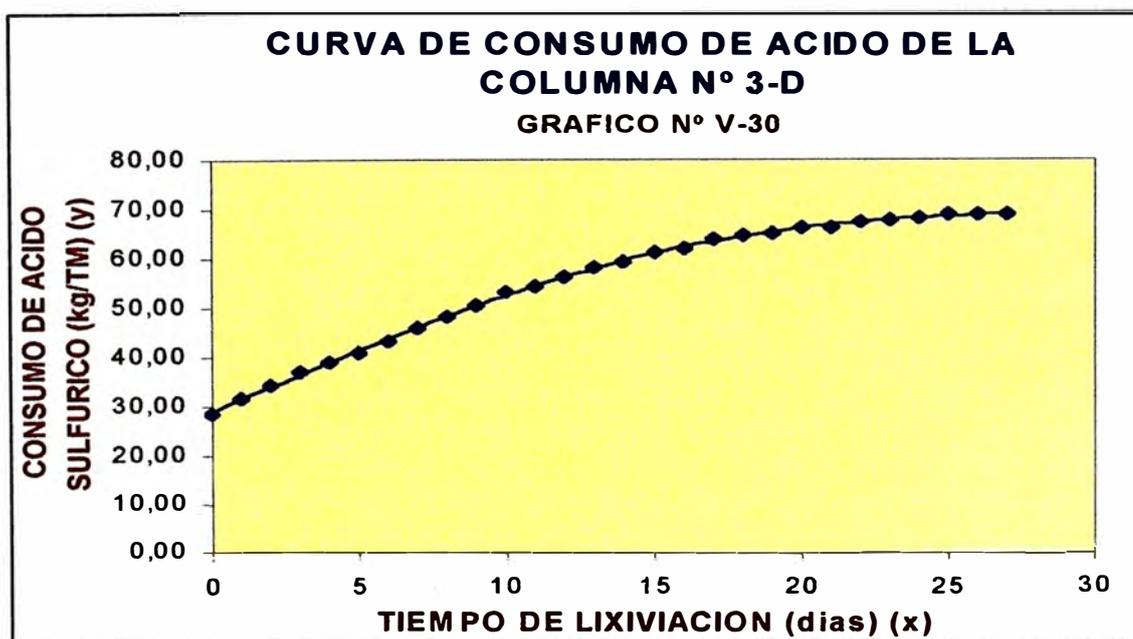
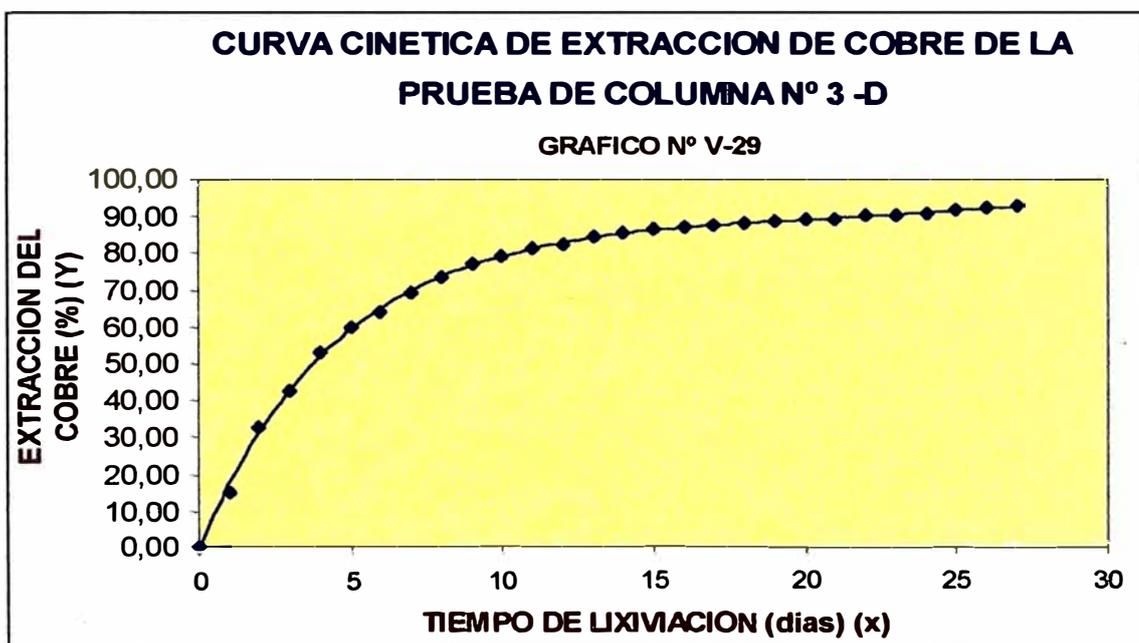
CUADRO N° V – 38

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	28,56	0,00
1	15,30	15,30	31,52	0,00
2	17,35	32,65	34,30	12,97
3	10,03	42,68	36,73	10,54
4	10,29	52,97	39,02	8,96
5	7,13	60,10	40,78	8,22
6	3,91	64,01	43,23	8,13
7	5,44	69,44	45,72	7,89
8	4,16	73,60	48,09	7,79
9	3,26	76,86	50,47	7,80
10	2,30	79,16	53,02	7,92
11	2,07	81,23	54,25	7,88
12	1,13	82,36	56,15	8,02
13	2,20	84,56	57,96	8,05
14	0,79	85,35	59,21	8,13
15	0,94	86,29	60,98	8,27
16	0,75	87,04	62,09	8,33
17	0,34	87,38	63,67	8,50
18	0,44	87,82	64,67	8,58
19	0,66	88,48	65,17	8,58
20	0,53	89,01	66,18	8,65
21	0,20	89,21	66,17	8,63
22	0,67	89,88	67,14	8,68
23	0,30	90,19	67,88	8,74
24	0,69	90,87	68,00	8,69
25	0,73	91,60	68,73	8,71
26	0,34	91,95	68,82	8,68
27	0,52	92,47	68,80	8,63

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr. Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,64	0,93	3,28	1,86	100,00	100,00
RESIDUO	194,00	0,87	0,07	1,69	0,14	51,46	7,53
COSECHA				1,59	1,72	48,54	92,47

Los gráficos N° V- 29 y N° V- 30, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



CUADRO DE RESUMEN DE LA SERIE D

El cuadro N° V – 39, nos muestra el resumen de la serie de pruebas C.

CUADRO N° V – 39

COLUMNA	CURADO (Kgr/TM, %)			Tamaño	Muestra	Flujo Riego	LEYES (%)		
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O	Partícula	Kgr.	Lt/min.m ²	Cu Tot.	Cu Ox	
1-D	20	6	7	-1/4"	203	0,18	1,81	1,04	
2-D	25	6	7	-1/4"	202	0,18	1,76	1,04	
3-D	30	6	7	-1/4"	200	0,18	1,64	0,93	
COLUMNA	Tiempo		Tiempo	Extracción	CONSUMO H ₂ SO ₄				
	Reposo, hr		LIX., días	COBRE, %	Kg/TM	Kg/KgCu			
1-D	12		27	91,16	64,98	6,85			
2-D	12		27	92,21	69,97	7,30			
3-D	12		27	92,47	68,80	8,63			

Del cuadro anterior se puede observar que a medida que se incrementa el ácido sulfúrico en el rango de concentración óptima se logran mejores recuperaciones de cobre, pero los consumos del mismo también se incrementan. Por lo expuesto pasamos a estudiar en la SERIE E; la influencia del flujo de riego para las condiciones óptimas de 25 kg H₂SO₄ y 6 kg NaCl /TM.

5.3.1.3.5 SERIE E: EFECTO DE LA VARIACION DEL FLUJO DE RIEGO

Para evaluar el efecto de la variación del flujo de riego en la lixiviación, se realizaron 5 pruebas de 200 kg en columnas de PVC de 11 ½"φ x 2 m de altura, para un mineral de granulometría 100% - 1/4".

COLUMNA N° 1 – E

Condiciones

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.73%
Cu Ox.	:	1.06%

Curado : 25 kg H₂SO₄/TM, 6 kg NaCl/TM,
7%H₂O

Tiempo de reposo : 12 horas

Flujo de riego : 0.18 lt/min*m²

El cuadro N° V – 40, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

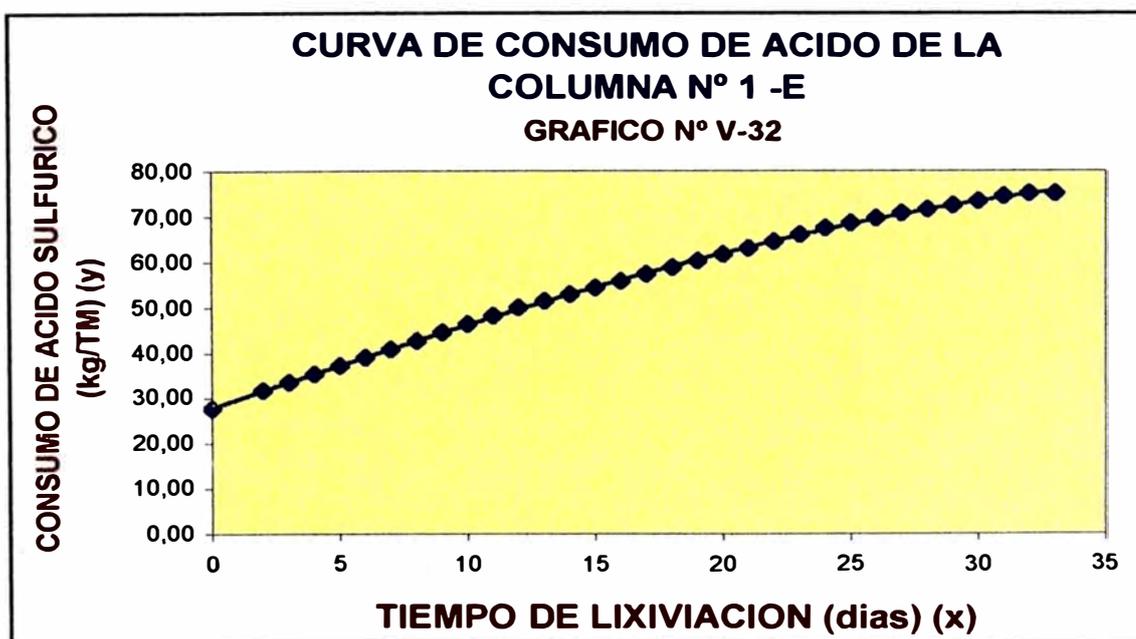
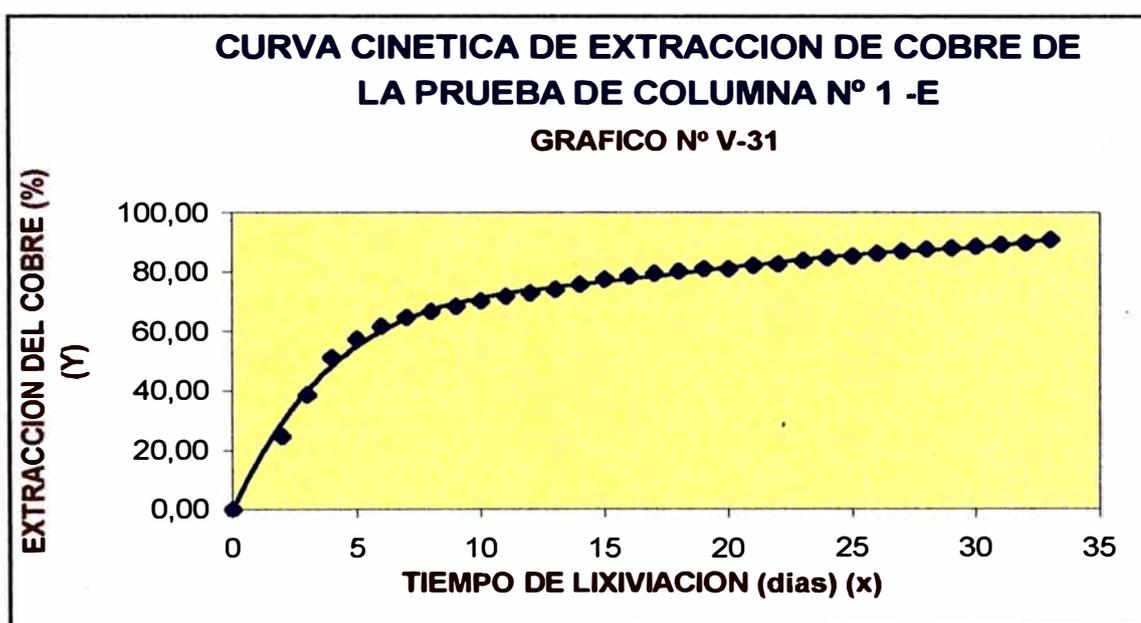
CUADRO N° V – 40

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	27,70	0,00
2	24,68	24,68	31,77	12,14
3	13,81	38,50	33,57	8,23
4	12,53	51,03	35,38	6,54
5	6,29	57,32	37,20	6,12
6	4,38	61,69	39,02	5,97
7	2,93	64,62	40,82	5,96
8	2,00	66,62	42,65	6,04
9	1,76	68,38	44,49	6,14
10	1,89	70,26	46,30	6,22
11	1,49	71,75	48,12	6,33
12	1,04	72,79	49,96	6,48
13	1,39	74,18	51,43	6,54
14	1,54	75,73	52,89	6,59
15	1,72	77,44	54,33	6,62
16	1,13	78,57	55,80	6,70
17	0,83	79,40	57,26	6,80
18	0,84	80,24	58,71	6,90
19	0,76	81,00	60,16	7,01
20	0,10	81,10	61,60	7,17
21	1,10	82,20	63,03	7,23
22	0,52	82,72	64,49	7,36
23	1,11	83,83	65,95	7,42
24	0,78	84,61	67,43	7,52
25	0,73	85,34	68,52	7,57
26	0,92	86,26	69,60	7,61
27	0,79	87,05	70,68	7,66
28	0,57	87,62	71,56	7,71
29	0,40	88,02	72,45	7,76
30	0,53	88,55	73,33	7,81
31	0,50	89,05	74,40	7,88
32	0,78	89,83	75,10	7,89
33	1,09	90,92	75,03	7,79

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr. Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,73	1,06	3,46	2,12	100,00	100,00
RESIDUO	184,80	0,81	0,10	1,50	0,19	43,26	9,08
COSECHA				1,96	1,93	56,74	90,92

Los gráficos N° V- 31 y N° V - 32, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 2 – E**Condiciones**

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.73%
Cu ox.	:	1.08%
Curado	:	25kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7%H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.16 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 41, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

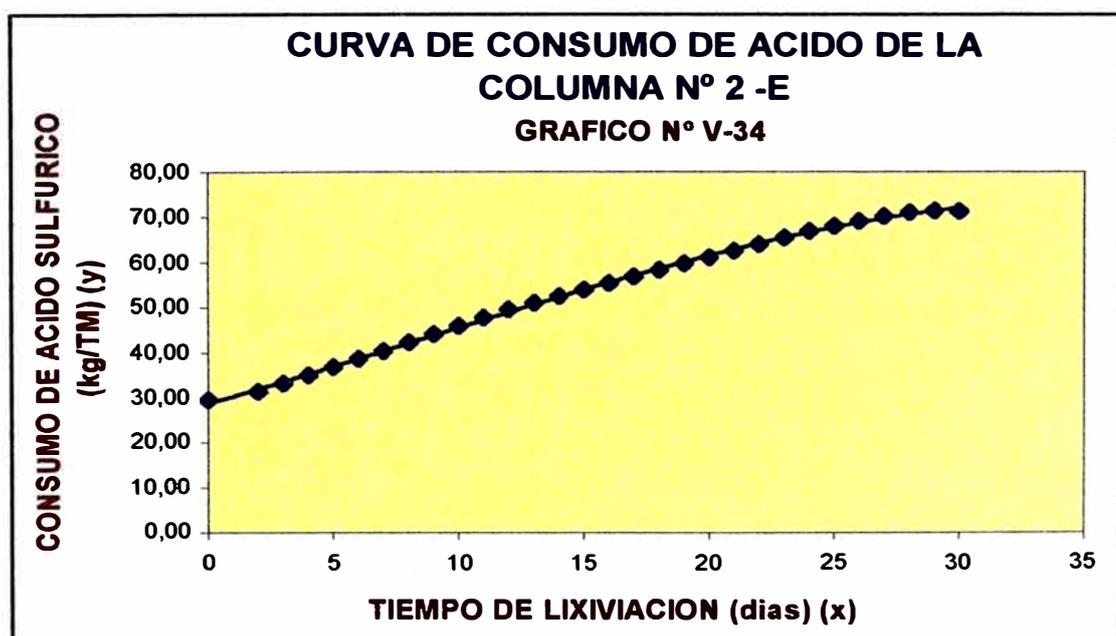
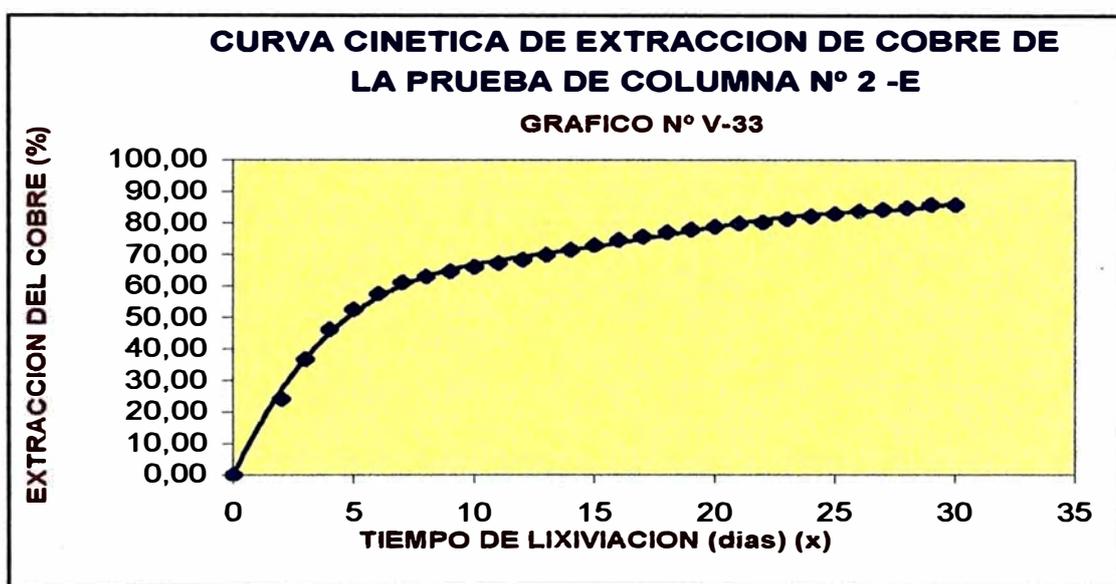
CUADRO N° V – 41

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	29,50	0,00
2	24,05	24,05	31,29	12,05
3	12,65	36,69	33,11	8,36
4	9,42	46,12	34,93	7,01
5	6,38	52,50	36,75	6,48
6	5,03	57,53	38,55	6,21
7	3,48	61,01	40,36	6,13
8	1,94	62,95	42,19	6,21
9	1,54	64,49	44,03	6,32
10	1,43	65,92	45,85	6,44
11	1,22	67,14	47,69	6,58
12	1,05	68,19	49,51	6,72
13	1,67	69,86	50,95	6,75
14	1,48	71,34	52,42	6,80
15	1,60	72,94	53,87	6,84
16	1,53	74,47	55,32	6,88
17	1,20	75,68	56,78	6,95
18	1,24	76,91	58,25	7,01
19	0,90	77,81	59,68	7,10
20	0,90	78,71	61,11	7,19
21	1,01	79,72	62,52	7,26
22	0,53	80,25	64,00	7,38
23	0,93	81,18	65,46	7,47
24	0,90	82,08	66,91	7,55
25	0,82	82,90	68,03	7,60
26	0,87	83,77	69,09	7,64
27	0,43	84,20	70,16	7,72
28	0,61	84,81	71,05	7,76
29	0,95	85,76	71,38	7,71
30	0,00	85,76	71,30	7,70

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr. Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,73	1,08	3,46	2,16	100,00	100,00
RESIDUO	187,60	0,82	0,16	1,54	0,31	44,46	14,24
COSECHA				1,92	1,85	55,54	85,76

Los gráficos N° V- 33 y N° V - 34, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 3 – E**Condiciones**

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.56%
Cu ox.	:	0.97%
Curado	:	25kg H ₂ SO ₄ /TM,6 kg NaCl/TM,7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m²

El cuadro N° V – 42, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

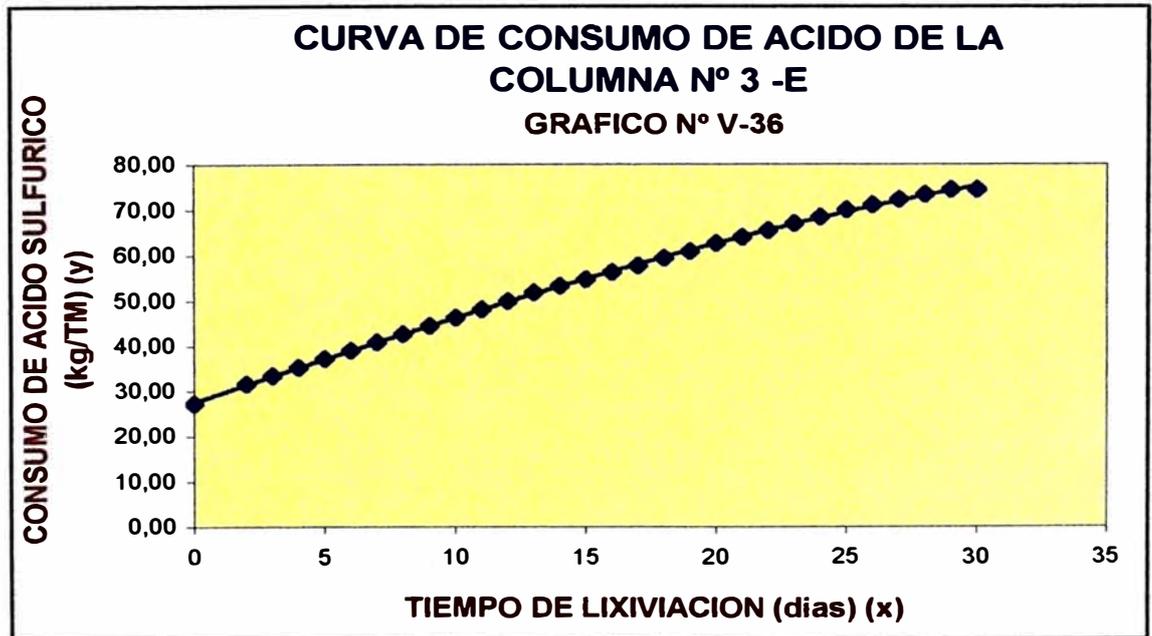
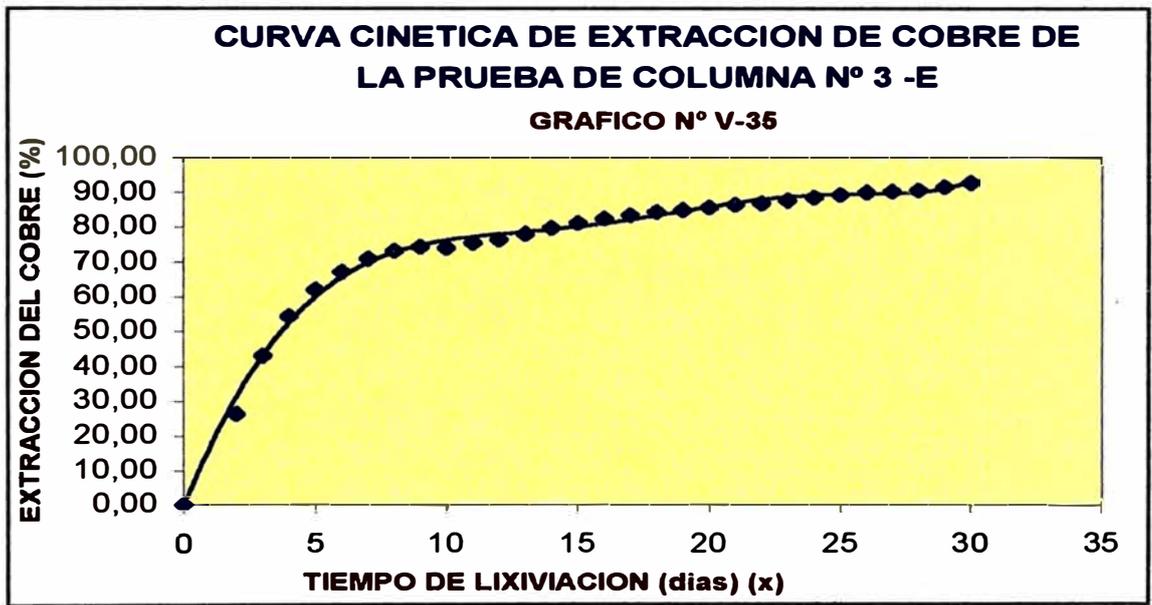
CUADRO N° V – 42

TIEMPO LIXIVIAC. dias	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	27,25	0,00
2	26,37	26,37	31,66	12,38
3	16,74	43,12	33,46	8,00
4	11,31	54,43	35,28	6,68
5	7,52	61,95	37,11	6,18
6	5,18	67,13	38,93	5,98
7	3,73	70,86	40,76	5,93
8	2,27	73,14	42,58	6,00
9	1,21	74,34	44,42	6,16
10	-0,31	74,03	46,23	6,44
11	1,40	75,43	48,05	6,57
12	0,94	76,37	49,88	6,73
13	1,65	78,02	51,72	6,83
14	1,62	79,64	53,16	6,88
15	1,43	81,07	54,72	6,96
16	1,28	82,35	56,20	7,04
17	0,96	83,30	57,65	7,14
18	1,01	84,31	59,36	7,26
19	0,50	84,81	60,82	7,39
20	0,74	85,56	62,58	7,54
21	0,75	86,30	63,97	7,64
22	0,48	86,78	65,45	7,78
23	0,80	87,59	66,97	7,88
24	0,85	88,43	68,47	7,98
25	0,78	89,21	69,95	8,08
26	0,68	89,90	71,12	8,16
27	0,22	90,12	72,29	8,27
28	0,36	90,47	73,40	8,36
29	0,90	91,38	74,49	8,40
30	1,19	92,57	74,43	8,29

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,56	0,97	3,12	1,94	100,00	100,00
RESIDUO	187,40	0,71	0,08	1,33	0,14	42,65	7,43
COSECHA				1,79	1,80	57,35	92,57

Los gráficos N° V-35 y N° V- 36, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 4 – E**Condiciones**

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.63%
Cu ox.	:	0.92%
Curado	:	25 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7%H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.15 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 43, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

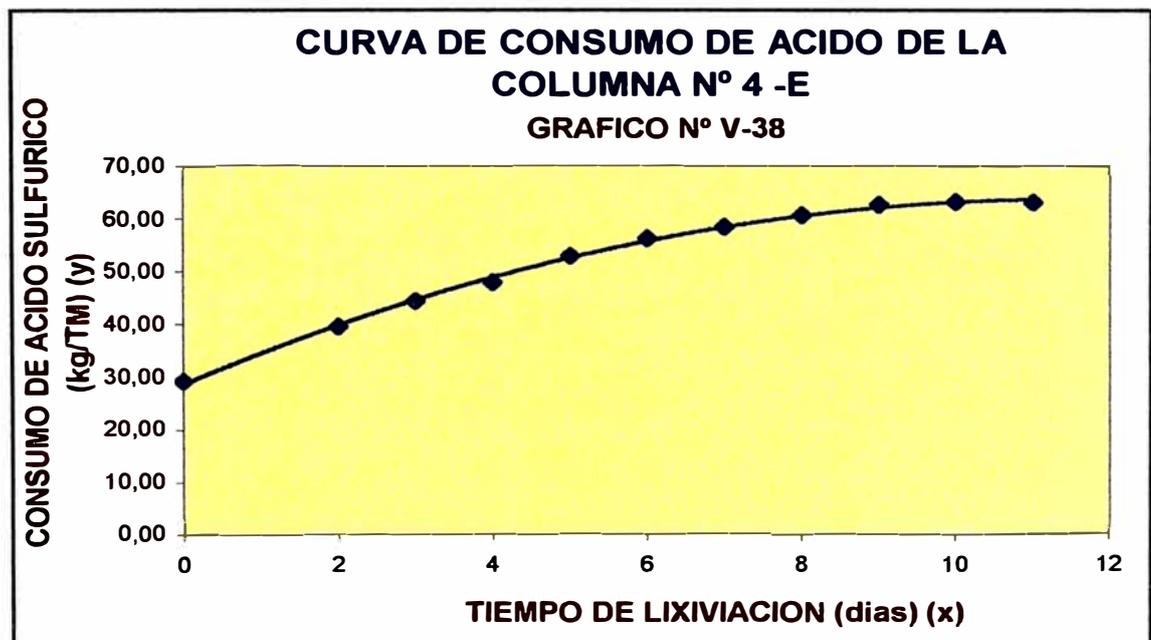
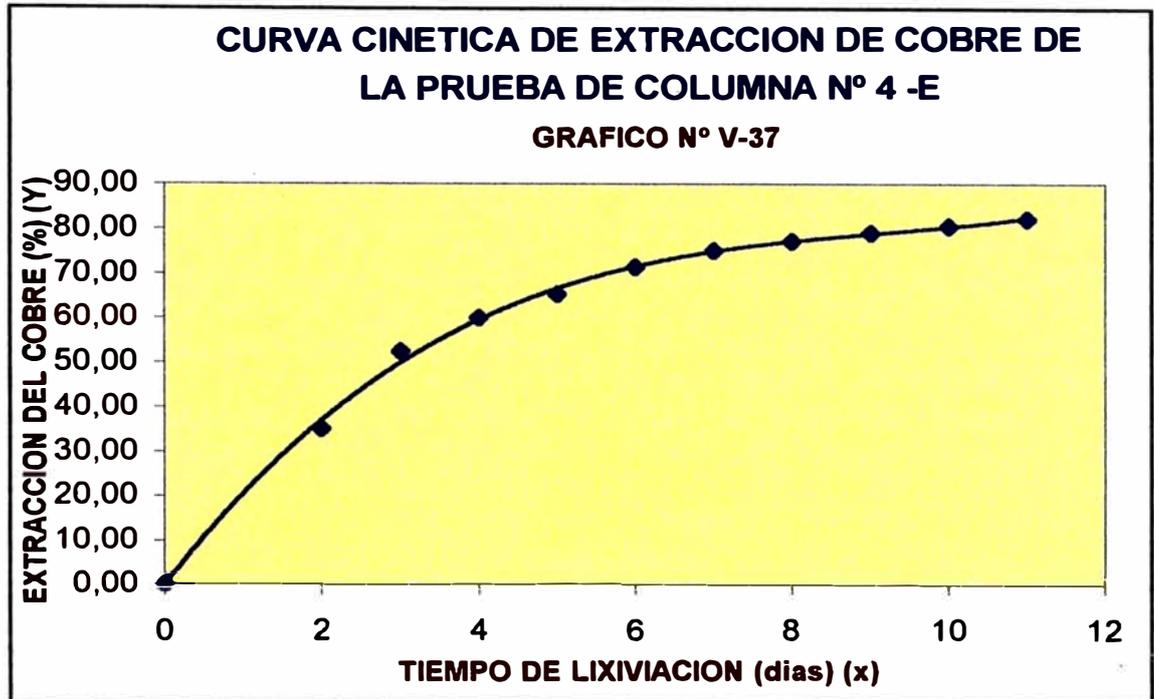
CUADRO N° V – 43

TIEMPO LIXIVIAC. días	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	29,20	0,00
2	34,98	34,98	39,50	12,27
3	17,42	52,41	44,31	9,19
4	7,49	59,89	47,89	8,69
5	5,33	65,22	52,82	8,80
6	6,07	71,30	56,20	8,57
7	3,72	75,02	58,38	8,46
8	2,15	77,16	60,53	8,53
9	1,81	78,97	62,55	8,61
10	1,53	80,50	63,00	8,51
11	1,62	82,12	62,91	8,33

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,63	0,92	3,26	1,84	100,00	100,00
RESIDUO	187,80	0,91	0,18	1,71	0,33	52,42	17,88
COSECHA				1,55	1,51	47,58	82,12

Los gráficos N° V- 37 y N° V - 38, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



COLUMNA N° 5 – E**Condiciones**

Mineral	:	200 kg
Granulometría	:	100% -1/4"
Cu total	:	1.96%
Cu ox.	:	1.14%
Curado	:	25 kg H ₂ SO ₄ /TM, 6 kg NaCl/TM, 7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²

El cuadro N° V – 44, nos muestra el Balance de la prueba. (El detalle experimental se encuentra en el Anexo N° 1.- Pruebas experimentales en Columnas).

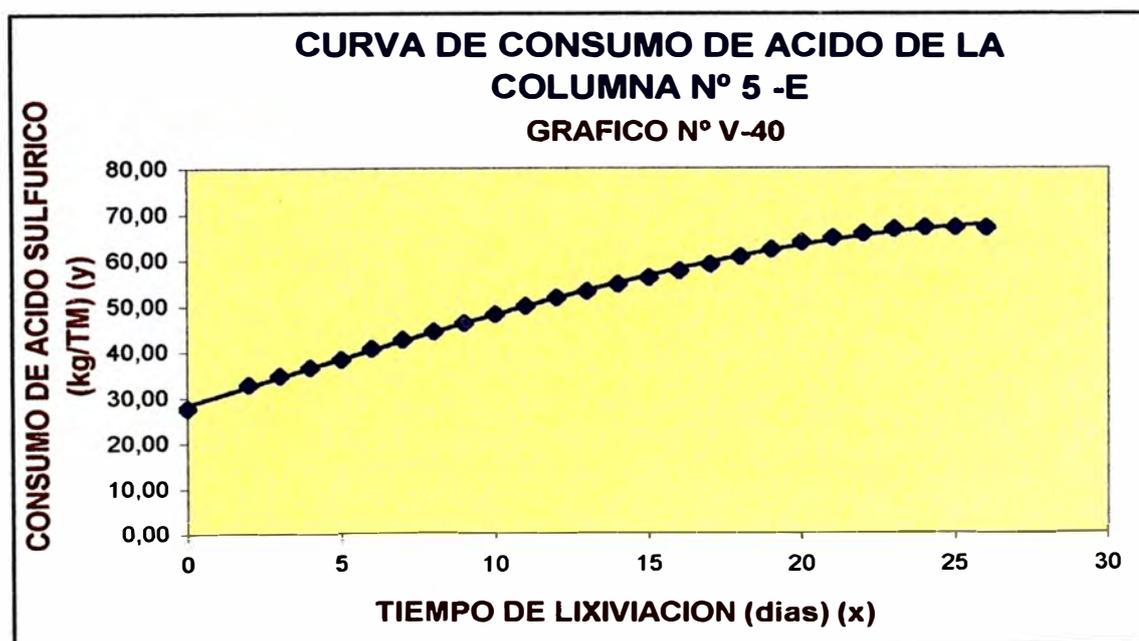
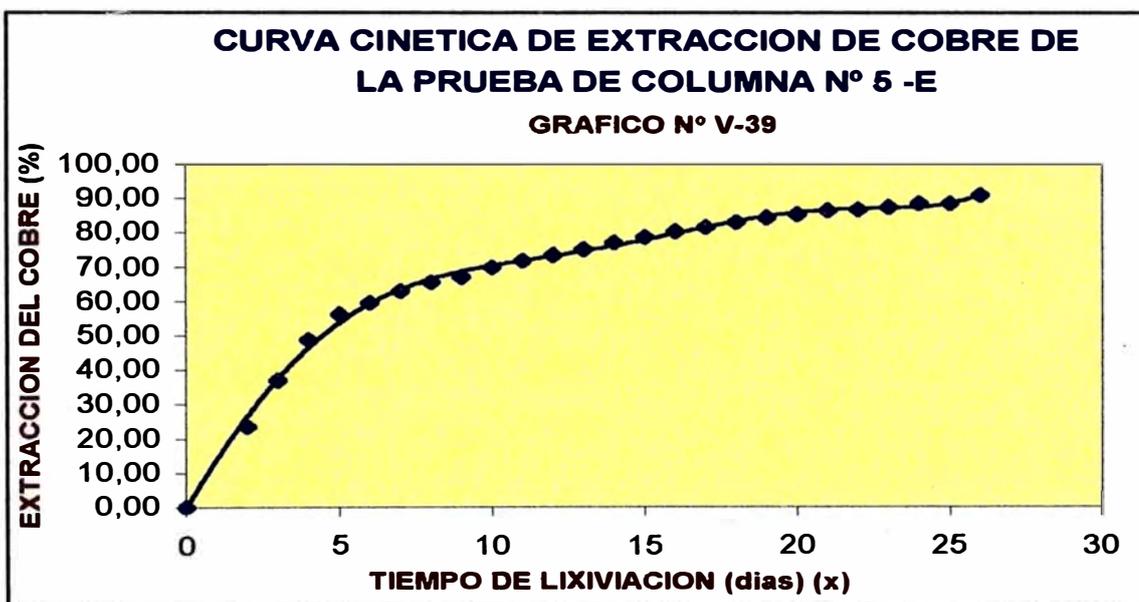
CUADRO N° V – 44

TIEMPO LIXIVIAC. días	% EXTRACCION Cu		CONSUMO H ₂ SO ₄	
	Parcial	Acumulado	Kg/TM	Kg/KgCu
0	0,00	0,00	27,70	0,00
2	23,59	23,59	32,87	12,22
3	13,38	36,97	34,69	8,23
4	11,84	48,81	36,50	6,56
5	7,49	56,30	38,32	5,97
6	3,28	59,58	40,77	6,00
7	3,35	62,92	42,61	5,94
8	2,52	65,45	44,43	5,96
9	1,64	67,08	46,27	6,05
10	2,70	69,79	48,10	6,05
11	1,92	71,71	49,95	6,11
12	1,70	73,41	51,77	6,19
13	1,65	75,07	53,22	6,22
14	1,93	76,99	54,68	6,23
15	1,70	78,69	56,15	6,26
16	1,60	80,29	57,60	6,29
17	1,23	81,52	59,05	6,35
18	1,42	82,94	60,77	6,43
19	1,40	84,34	62,23	6,47
20	0,93	85,27	63,87	6,57
21	1,10	86,36	64,81	6,58
22	0,38	86,74	65,75	6,65
23	0,65	87,40	66,72	6,70
24	1,05	88,45	67,04	6,65
25	0,00	88,45	67,04	6,65
26	2,45	90,89	66,97	6,46

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO Kgr	ENSAYES		CONTENIDO		EXTRACCION	
		% Cu Tot.	% Cu Ox.	Kgr Cu Tot.	Kgr.Cu Ox.	% Cu Tot.	% Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,96	1,14	3,92	2,28	100,00	100,00
RESIDUO	186,60	1,02	0,11	1,90	0,39	48,55	9,11
COSECHA				2,02	1,89	51,45	90,89

Los gráficos N° V-39 y N° V- 40, nos muestra la curva cinética de extracción del cobre y la curva de consumo de ácido sulfúrico.



CUADRO DE RESUMEN DE LA SERIE E

El cuadro N° V – 45, nos muestra el resumen de la serie de pruebas E.

CUADRO N° V – 45

COLUMNA	CURADO (Kg./TM, %)			Tamaño	Muestra	Flujo Riego Lt/min.m ²	LEYES (%)	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O	Partícula	Kg.		Cu Tot.	Cu Ox
1-E	25	6	7	-1/4"	200	0,18	1,73	1,06
2-E	25	6	7	-1/4"	200	0,16	1,73	1,08
3-E	25	6	7	-1/4"	200	0,18	1,56	0,97
4-E	25	6	7	-1/4"	200	0,15	1,63	0,92
5-E	25	6	7	-1/4"	200	0,18	1,96	1,14
COLUMNA	Tiempo		Tiempo	Extracción COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄			
	Reposo, hr	LIX., días	LIX., días		Kg/TM	Kg/KgCu		
1-E	12	33	33	90,92	75,03	7,79		
2-E	12	30	30	85,76	71,30	7,70		
3-E	12	30	30	92,57	74,43	8,29		
4-E	12	11	11	82,12	62,91	8,33		
5-E	12	26	26	90,89	66,97	6,46		

Del cuadro anterior se puede observar que a medida que se incrementa el flujo unitario de riego se incrementan también las extracciones de cobre (2-E, 3-E y 4-E) y a 0.18 lt/min*m² se obtienen las mejores extracciones de cobre para las condiciones óptimas dadas (1-E, 3-E y 5-E).

5.3.2 PRUEBA A NIVEL PILOTO

Con los resultados obtenidos en las pruebas de columnas se procedió a realizar un pilotaje en pila de lixiviación.

Condiciones:

Tonelaje	:	200 TM
Granulometria	:	100% -1/4"
Cu (total)	:	1.59%
Cu (ox)	:	1.02%

Curado	:	25kg H ₂ SO ₄ /TM,6 kg NaCl/TM,7% H ₂ O
Tiempo de reposo	:	12 horas
Flujo de riego	:	0.18 lt/min*m ²
Tiempo de Lixiviación	:	30 días
Consumo de Acido	:	75.41 kg/TM de mineral
		8.04 kg/kg Cu

El cuadro N° V – 40, nos muestra el Balance Metalúrgico de la prueba piloto

CUADRO N° V – 40

BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	PESO TM	ENSAYES (%)		CONTENIDO(gr)		EXTRACCION (%)	
		Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.	Cu Tot.	Cu Ox.
MINERAL	200,00	1,59	1,02	3,18	2,04	100,00	100,00
RESIDUO	178,00	0,96	0,09	1,71	0,16	53,74	7,85
COSECHA				1,47	1,88	46,26	92,15

5.3.3 APLICACIÓN DE MODELACION CINETICA A LA LIXIVIACION DE OXIDOS DE COBRE EN COLUMNAS

En esta parte del estudio se aplicará la modelación cinética de lixiviación de minerales de cobre para cada una de las 20 pruebas de lixiviación en columnas a nivel de laboratorio presentadas anteriormente, para seleccionar el mecanismo cinético de control, que mejor se ajuste para todo el tiempo de lixiviación ó período de agotamiento (mayor valor de la correlación “r” cercano a la unidad) y explicar mediante un método empírico denominado Modelo Poblacional, los cambios de curvatura que experimenta la curva de extracción experimental.

Los modelos cinéticos empleados se describen con mayor detalle en el Capítulo III: Fundamento Teórico. Modelación Cinética de Lixiviación de minerales de cobre y el detalle de los ajustes cinéticos columna por columna, en el Anexo N° 2: Ajustes Modelos Cinéticos en Columnas a Nivel Laboratorio.

Los modelos cinéticos utilizados en los ajustes respectivos, son presentados para una mejor visualización en los cuadros resumen extracción experimental y extracciones corregidas, usando la siguiente simbología abreviada:

M.R.T = Modelo Reacción Topoquímica

M.R.D.C.= Modelo Reacción a Difusión Controlada

M.L. = Modelo Lineal

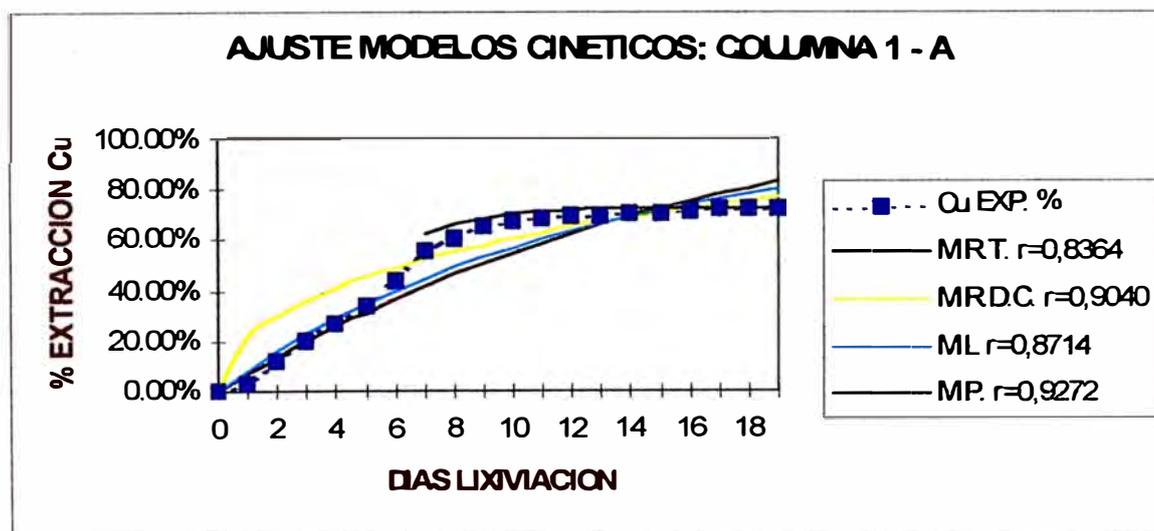
M.P. = Modelo Poblacional

Seguidamente se presentaran los cuadros resumen columna por columna y serie por serie, con su respectivo gráfico para cada uno de los modelos estudiados, mostrando los resultados del modelo de aproximación y mecanismo cinético controlante resaltados, con sus respectivos valores de la correlación “r”.

SERIE A: EFECTO DE LA VARIACION DEL TIEMPO DE REPOSO

COLUMNA 1-A

TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION.Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,8364$	M.R.D.C. $r=0,9040$	M.L $r=0,8714$	M.P. $r=0,9272$
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
1	3,40%	6,83%	21,60%	8,08%	
2	11,85%	13,34%	29,99%	15,50%	
3	19,75%	19,54%	36,05%	22,32%	
4	26,43%	25,44%	40,99%	28,59%	
5	33,32%	31,04%	45,21%	34,36%	
6	43,82%	36,35%	48,89%	39,66%	
7	55,13%	41,38%	52,15%	44,53%	62,47%
8	60,63%	46,14%	55,17%	49,01%	66,07%
9	65,10%	50,64%	57,88%	53,13%	68,48%
10	67,02%	54,88%	60,40%	56,92%	70,04%
11	68,45%	58,87%	62,68%	60,39%	71,02%
12	69,22%	62,61%	64,89%	63,59%	71,64%
13	69,22%	66,12%	66,90%	66,53%	72,03%
14	70,11%	69,41%	68,75%	69,24%	72,26%
15	70,60%	72,47%	70,55%	71,72%	72,41%
16	71,04%	75,33%	72,24%	74,00%	72,49%
17	71,88%	77,98%	73,83%	76,10%	72,55%
18	72,56%	80,43%	75,33%	78,03%	72,58%
19	72,63%	82,69%	76,78%	79,81%	72,60%

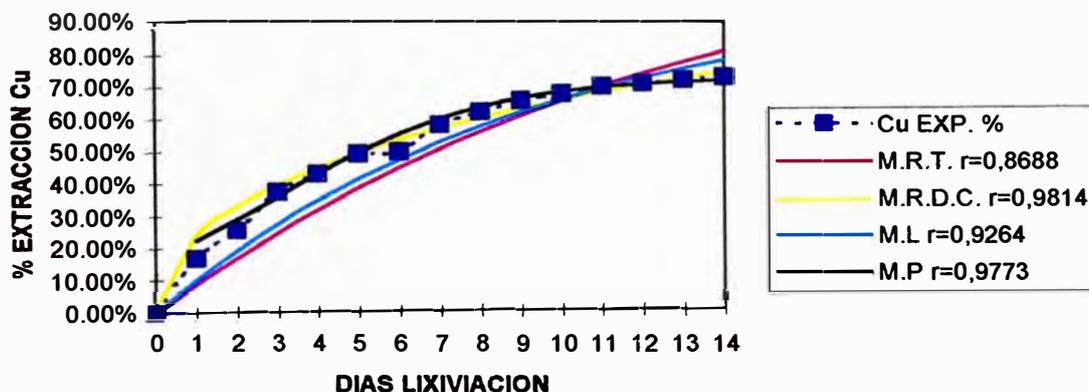


El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada (M.R.D.C.)** con una aproximación al Modelo Poblacional desde el séptimo día de lixiviación.

COLUMNA 2-A

TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION.Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,8688$	M.R.D.C. $r=0,9814$	M.L $r=0,9264$	M.P $r=0,9773$
0	0,00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	16,71%	8.65%	23.75%	10.09%	22.32%
2	25,43%	16.78%	32.88%	19.17%	28.83%
3	37,45%	24.42%	39.46%	27.33%	35.87%
4	42,86%	31.57%	44.78%	34.66%	42.92%
5	48,85%	38.26%	49.30%	41.26%	49.48%
6	49,44%	44.50%	53.23%	47.19%	55.14%
7	57,84%	50.30%	56.72%	52.52%	59.75%
8	61,62%	55.69%	59.87%	57.31%	63.31%
9	65,23%	60.67%	62.72%	61.62%	65.95%
10	67,12%	65.26%	65.35%	65.49%	67.86%
11	69,37%	69.48%	67.76%	68.98%	69.21%
12	70,33%	73.34%	70.00%	72.11%	70.15%
13	71,35%	76.86%	72.08%	74.92%	70.79%
14	72,16%	80.06%	74.03%	77.45%	71.23%

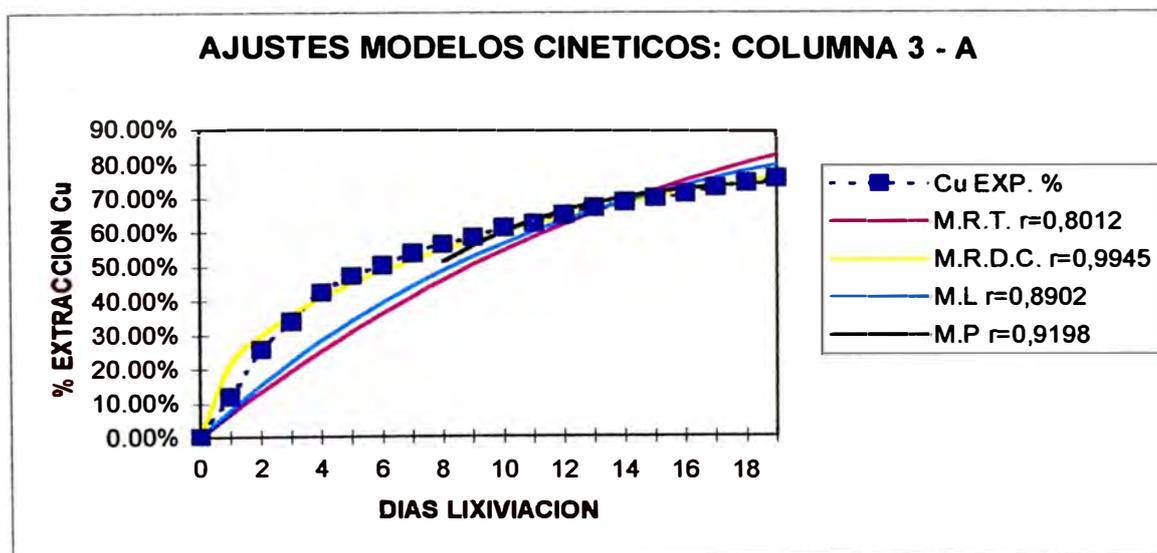
AJUSTES MODELOS CINETICOS: COLUMNA 2-A



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada (M.R.D.C.)** con una aproximación al Modelo Poblacional, desde el segundo día de lixiviación.

COLUMNA 3-A

TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION.Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,8012$	M.R.D.C. $r=0,9945$	M.L $r=0,8902$	M.P $r=0,9198$
0	0,00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	11,78%	6.77%	21.51%	8.00%	
2	25,73%	13.23%	29.74%	15.36%	
3	33,85%	19.38%	35.76%	22.14%	
4	42,20%	25.24%	40.66%	28.37%	
5	46,93%	30.80%	44.87%	34.10%	
6	50,18%	36.08%	48.50%	39.37%	
7	53,73%	41.09%	51.75%	44.22%	
8	56,37%	45.83%	54.73%	48.69%	51.31%
9	58,35%	50.30%	57.45%	52.79%	56.02%
10	61,08%	54.52%	59.93%	56.57%	60.10%
11	62,43%	58.50%	62.25%	60.04%	63.50%
12	64,77%	62.24%	64.39%	63.24%	66.27%
13	66,92%	65.74%	66.42%	66.18%	68.47%
14	68,58%	69.03%	68.35%	68.89%	70.19%
15	69,82%	72.09%	70.08%	71.38%	71.51%
16	71,06%	74.95%	71.80%	73.67%	72.52%
17	72,83%	77.60%	73.35%	75.78%	73.28%
18	74,30%	80.06%	74.84%	77.71%	73.85%
19	75,50%	82.33%	76.27%	79.50%	74.28%

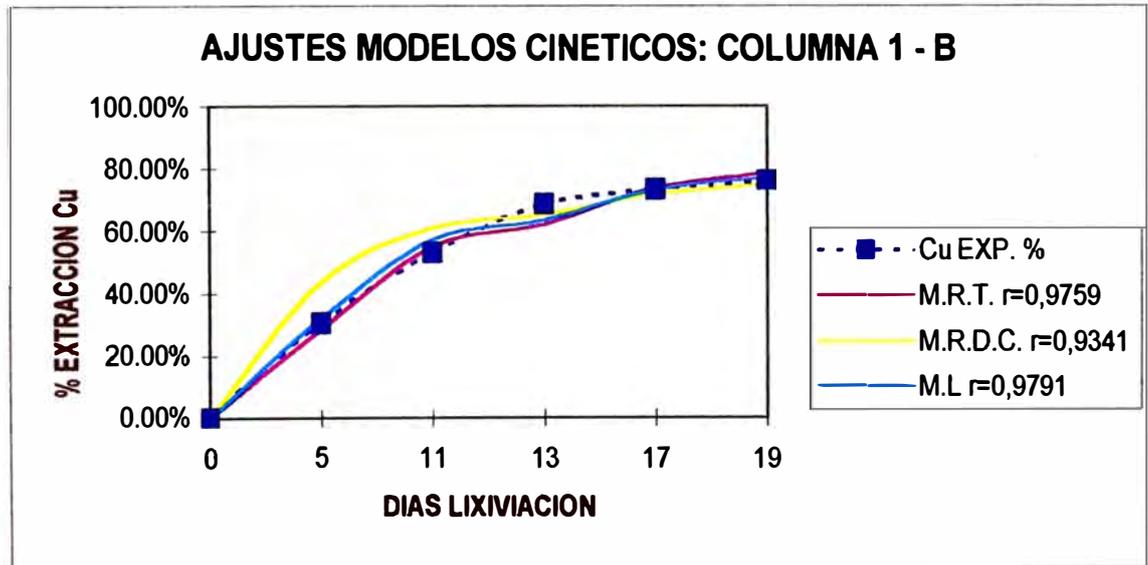


El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada (M.R.D.C.)** con una aproximación al Modelo Poblacional, desde el séptimo día de lixiviación.

SERIE B: EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTICULA Y TIEMPO DE REPOSO

COLUMNA 1-B

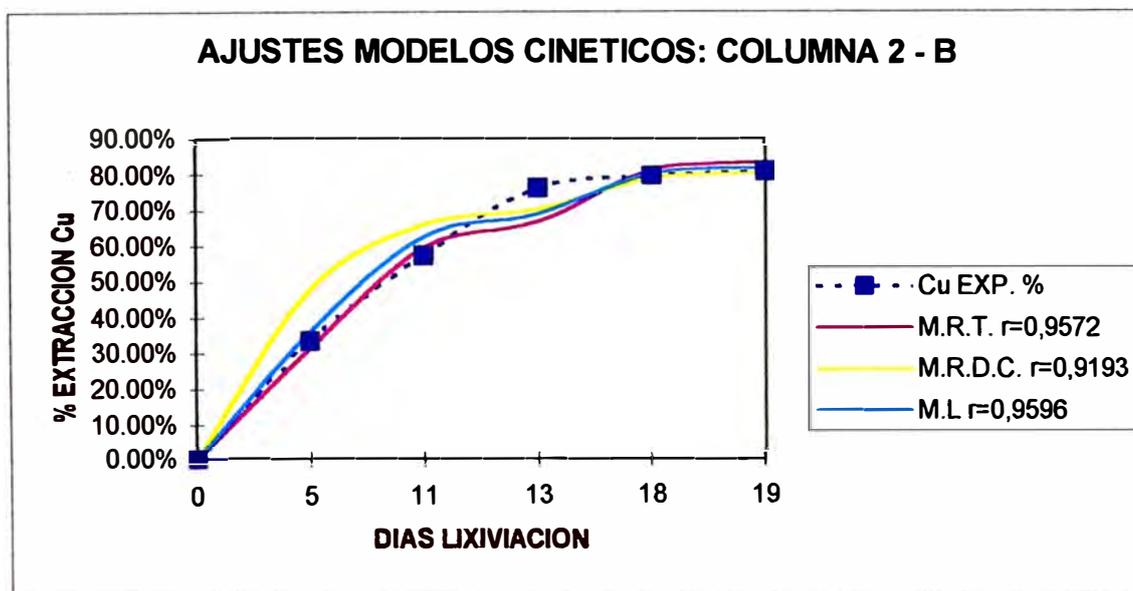
TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA		
		M.R.T. $r=0,9759$	M.R.D.C. $r=0,9341$	M.L $r=0,9791$
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	30,49%	28,55%	43,81%	32,09%
11	52,99%	54,91%	60,95%	57,32%
13	68,49%	61,99%	65,06%	63,44%
17	73,25%	73,83%	71,94%	73,17%
19	76,03%	78,70%	74,86%	77,02%



El mecanismo cinético controlante está dado por la cinética de primer orden, el **Modelo Lineal**, en estrecha relación con el Modelo de **Reacción Topoquímica**.

COLUMNA 2-B

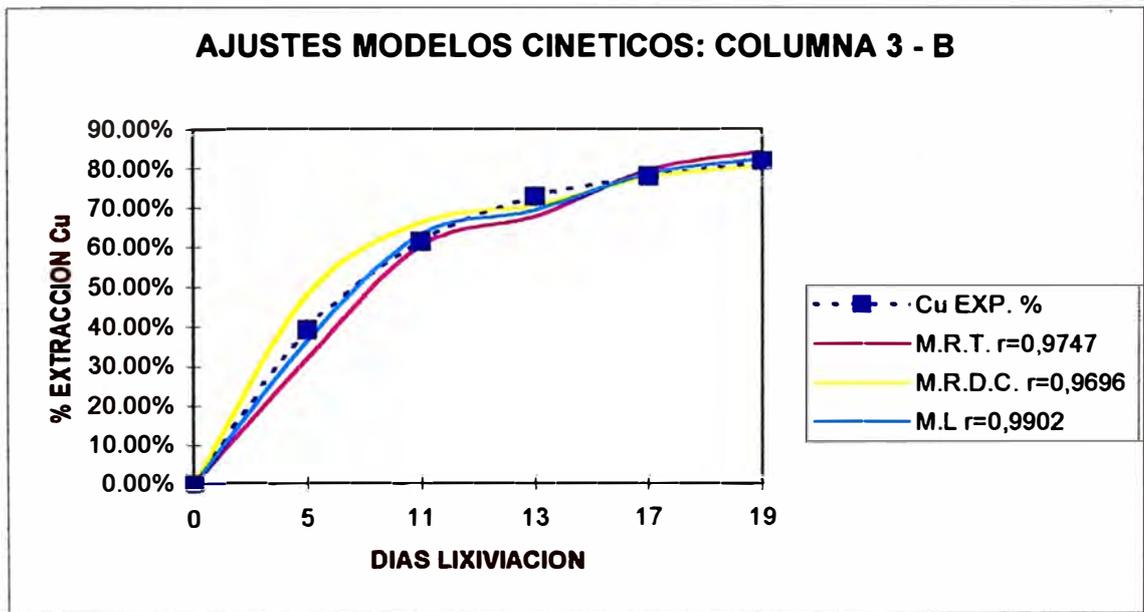
TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA		
		M.R.T. $r=0,9572$	M.R.D.C. $r=0,9193$	M.L $r=0,9596$
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	33,39%	31,39%	47,78%	36,08%
11	57,28%	59,41%	65,91%	62,64%
13	75,96%	66,69%	70,18%	68,76%
18	79,29%	80,97%	78,73%	80,03%
19	80,66%	83,22%	80,15%	81,74%



El mecanismo cinético controlante está dado por la cinética de primer orden, el **Modelo Lineal**, en estrecha relación con el Modelo de **Reacción Topoquímica**.

COLUMNA 3-B

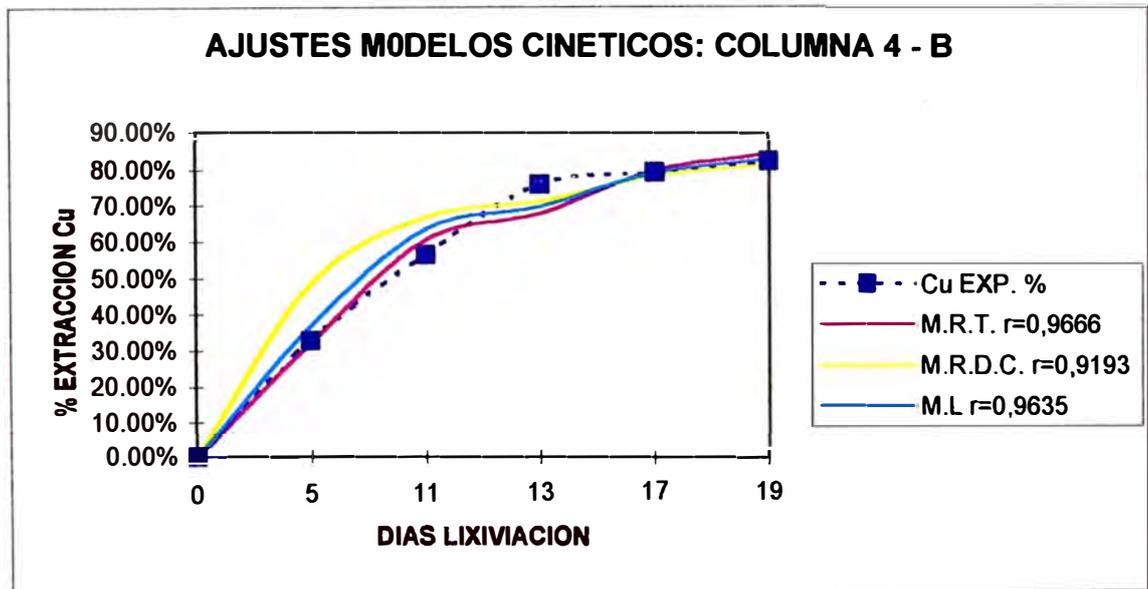
TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA		
		M.R.T. $r=0,9747$	M.R.D.C. $r=0,9696$	M.L $r=0,9902$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5	39.07%	31.97%	48.09%	36.49%
11	61.31%	60.31%	66.29%	63.17%
13	72.70%	67.62%	70.57%	69.28%
17	77.81%	79.43%	77.62%	78.64%
19	81.63%	84.07%	80.55%	82.19%



El mecanismo cinético controlante está dado por la cinética de primer orden, el **Modelo Lineal**, en estrecha relación con el Modelo de **Reacción Topoquímica**.

COLUMNA 4-B

TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA		
		M.R.T. $r=0,9666$	M.R.D.C. $r=0,9193$	M.L $r=0,9635$
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	32,60%	31,97%	48,40%	36,71%
11	56,24%	60,31%	66,66%	63,45%
13	75,62%	67,62%	70,96%	69,56%
17	78,86%	79,43%	78,01%	78,89%
19	81,86%	84,07%	80,94%	82,42%

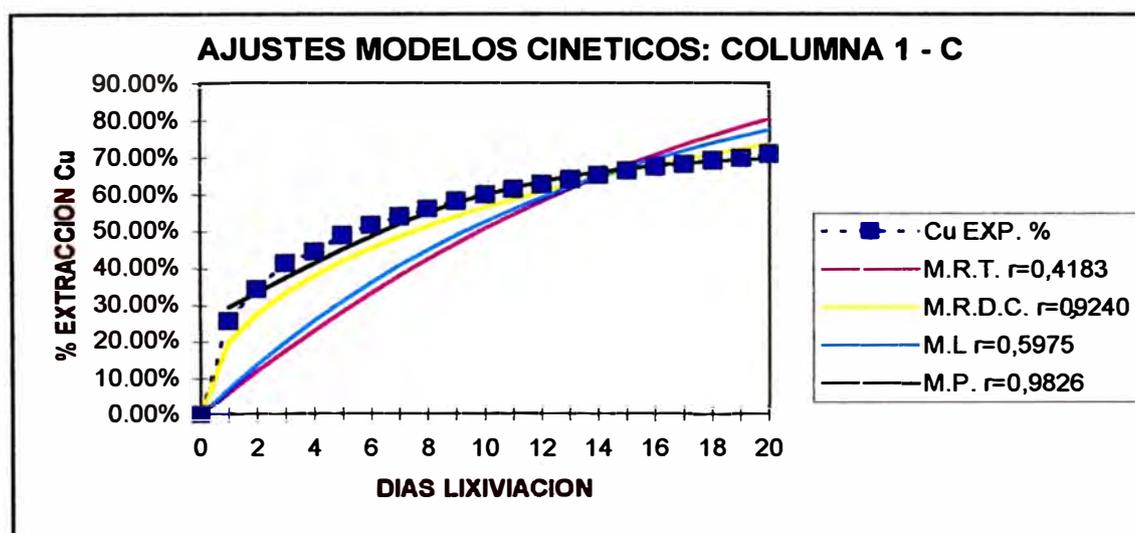


El mecanismo cinético controlante está dado por la cinética de primer orden, el **Modelo de Reacción Topoquímica**, en estrecha relación con el **Modelo de Reacción Lineal**.

SERIE C: EFECTO DE LA DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO Y CLORURO DE SODIO

COLUMNA 1-C

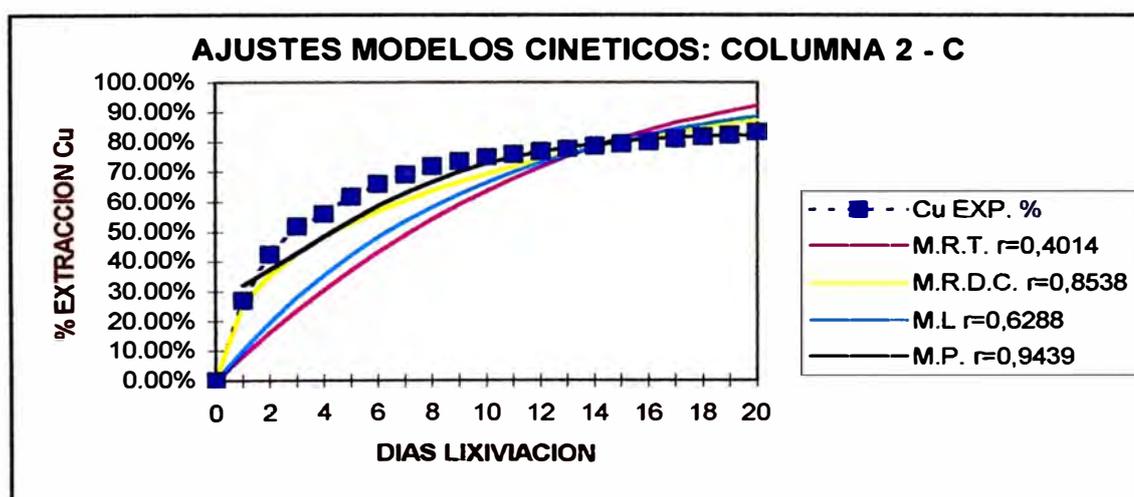
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,4183$	M.R.D.C. $r=0,9240$	M.L $r=0,5975$	M.P. $r=0,9826$
0	0,00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	25,72%	6.17%	20.02%	7.19%	29.53%
2	34,33%	12.08%	27.72%	13.86%	33.49%
3	41,46%	17.73%	33.40%	20.05%	37.50%
4	44,45%	23.14%	38.03%	25.80%	41.45%
5	48,95%	28.31%	41.99%	31.13%	45.26%
6	51,77%	33.24%	45.47%	36.08%	48.84%
7	53,93%	37.93%	48.58%	40.68%	52.12%
8	55,98%	42.41%	51.41%	44.94%	55.08%
9	58,09%	46.66%	54.00%	48.90%	57.69%
10	59,88%	50.70%	56.39%	52.57%	59.95%
11	61,39%	54.52%	58.62%	55.98%	61.88%
12	62,74%	58.15%	60.70%	59.15%	63.52%
13	63,93%	61.58%	62.65%	62.08%	64.88%
14	65,11%	64.81%	64.49%	64.81%	66.02%
15	66,23%	67.86%	66.22%	67.34%	66.95%
16	67,35%	70.72%	67.86%	69.69%	67.71%
17	68,10%	73.42%	69.42%	71.87%	68.33%
18	69,01%	75.94%	70.90%	73.89%	68.84%
19	69,66%	78.29%	72.31%	75.77%	69.24%
20	70,89%	80.49%	73.65%	77.51%	69.57%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el segundo día de lixiviación.

COLUMNA 2-C

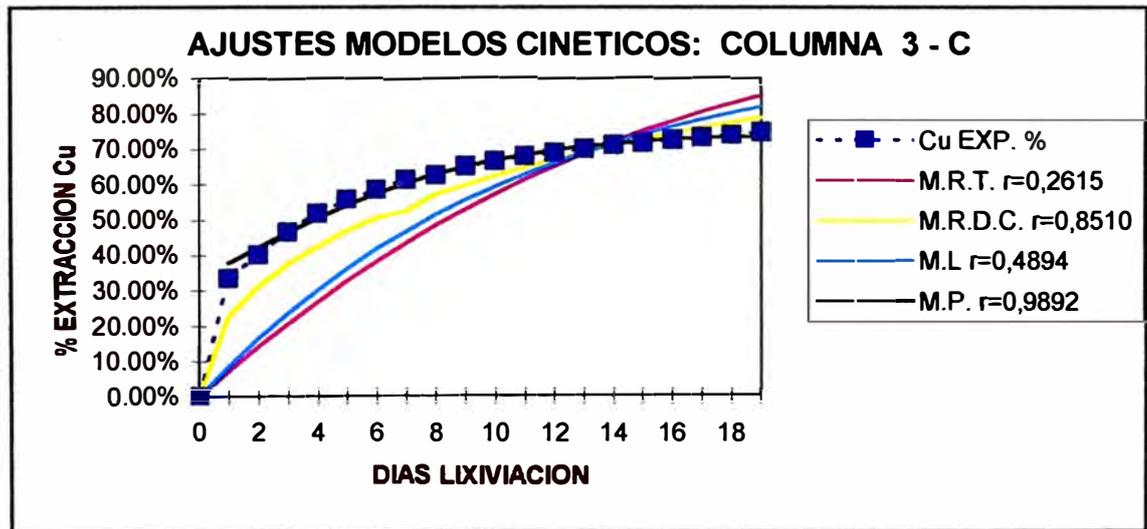
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,4014$	M.R.D.C. $r=0,8538$	M.L $r=0,6288$	M.P. $r=0,9439$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	26.87%	8.31%	25.65%	10.34%	31.94%
2	42.16%	16.14%	35.29%	19.60%	37.33%
3	51.69%	23.52%	42.29%	27.91%	42.87%
4	55.85%	30.45%	47.91%	35.36%	48.37%
5	61.64%	36.95%	52.65%	42.04%	53.64%
6	65.91%	43.03%	56.77%	48.04%	58.52%
7	69.11%	48.70%	60.41%	53.41%	62.91%
8	71.80%	53.99%	63.68%	58.22%	66.74%
9	73.34%	58.90%	66.63%	62.54%	70.00%
10	74.78%	63.45%	69.33%	66.41%	72.72%
11	75.68%	67.65%	71.80%	69.88%	74.96%
12	76.79%	71.51%	74.08%	73.00%	76.76%
13	77.45%	75.05%	76.19%	75.79%	78.20%
14	78.48%	78.29%	78.14%	78.29%	79.35%
15	79.35%	81.24%	79.96%	80.53%	80.24%
16	80.17%	83.90%	81.66%	82.55%	80.94%
17	80.92%	86.30%	83.24%	84.35%	81.49%
18	81.67%	88.45%	84.72%	85.97%	81.91%
19	82.23%	90.36%	86.11%	87.42%	82.24%
20	83.32%	92.05%	87.40%	88.72%	82.49%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el segundo día de lixiviación.

COLUMNA 3-C

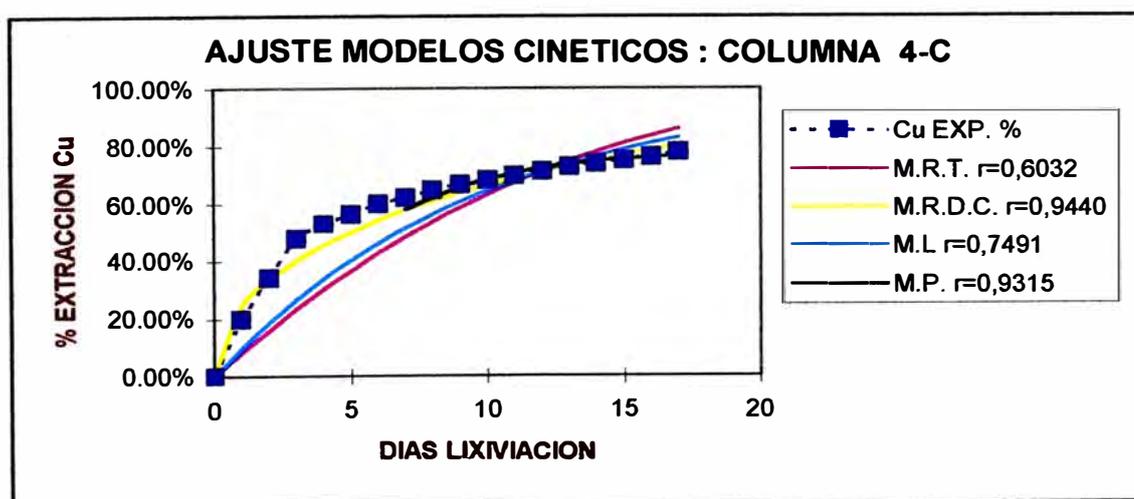
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,2615$	M.R.D.C. $r=0,8510$	M.L $r=0,4894$	M.P. $r=0,9892$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	33.45%	7.23%	22.54%	8.62%	37.84%
2	40.16%	14.10%	31.13%	16.49%	42.22%
3	46.53%	20.62%	37.41%	23.68%	46.46%
4	51.81%	26.81%	42.51%	30.26%	50.47%
5	55.64%	32.66%	46.84%	36.27%	54.17%
6	58.47%	38.20%	50.62%	41.76%	57.49%
7	61.20%	43.42%	52.44%	46.78%	60.42%
8	62.47%	48.34%	57.04%	51.36%	62.95%
9	65.08%	52.96%	59.82%	55.55%	65.10%
10	66.51%	57.30%	62.38%	59.38%	66.91%
11	68.02%	61.37%	64.74%	62.88%	68.42%
12	68.97%	65.17%	66.94%	66.08%	69.65%
13	70.09%	68.71%	69.01%	69.00%	70.66%
14	71.06%	72.00%	70.92%	71.67%	71.48%
15	71.76%	75.05%	72.72%	74.11%	72.14%
16	72.62%	77.88%	74.42%	76.35%	72.66%
17	73.26%	80.48%	76.00%	78.38%	73.09%
18	73.80%	82.87%	77.50%	80.25%	73.43%
19	74.73%	85.05%	78.93%	81.95%	73.70%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el segundo día de lixiviación.

COLUMNA 4-C

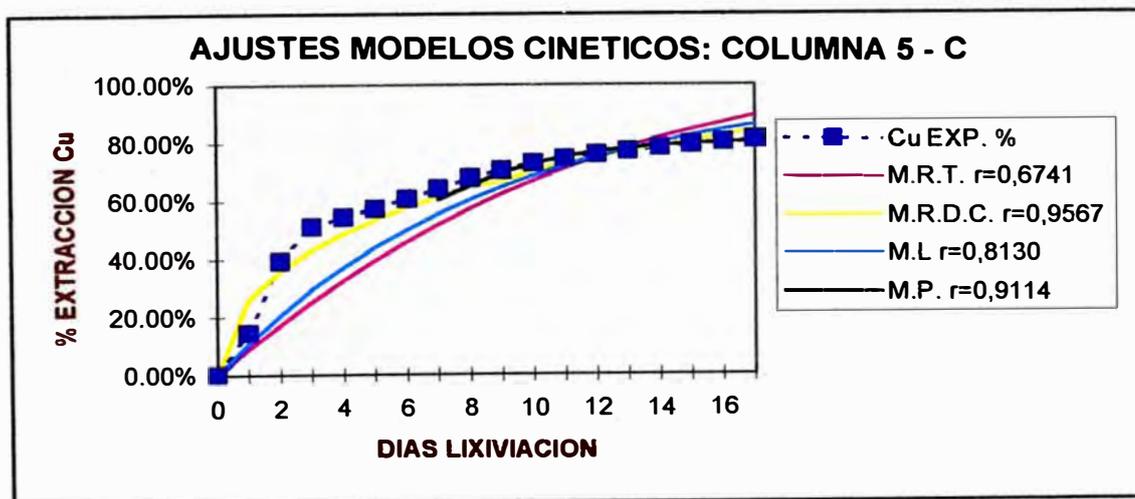
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,6032$	M.R.D.C. $r=0,9440$	M.L $r=0,7491$	M.P. $r=0,9315$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	19.80%	8.25%	24.32%	9.85%	
2	34.43%	16.04%	33.49%	18.73%	
3	47.74%	23.37%	40.20%	26.74%	
4	52.90%	30.26%	45.60%	33.95%	
5	56.32%	36.73%	50.17%	40.46%	
6	59.92%	42.78%	54.15%	46.32%	
7	62.08%	48.43%	57.68%	51.61%	57.95%
8	64.58%	53.70%	60.86%	56.38%	62.13%
9	66.48%	58.60%	63.75%	60.67%	65.62%
10	68.07%	63.14%	66.39%	64.55%	68.44%
11	69.74%	67.33%	68.82%	68.04%	70.68%
12	71.22%	71.20%	71.08%	71.19%	72.42%
13	72.75%	74.74%	73.17%	74.03%	73.76%
14	73.86%	77.99%	75.11%	76.59%	74.78%
15	75.13%	80.94%	76.93%	78.89%	75.55%
16	76.13%	83.62%	78.64%	80.97%	76.12%
17	77.77%	86.03%	80.24%	82.85%	76.55%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el séptimo día de lixiviación.

COLUMNA 5-C

TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,6741$	M.R.D.C. $r=0,9567$	M.L $r=0,8130$	M.P. $r=0,9114$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	14.31%	8.96%	26.07%	10.95%	
2	39.19%	17.37%	35.86%	20.71%	
3	51.11%	25.24%	42.95%	29.39%	
4	54.40%	32.59%	48.64%	37.12%	
5	57.32%	39.45%	53.44%	44.01%	
6	60.65%	45.83%	57.59%	50.14%	
7	64.17%	51.74%	61.27%	55.60%	60.30%
8	67.75%	57.20%	64.56%	60.47%	65.52%
9	70.44%	62.24%	66.53%	64.80%	69.67%
10	72.82%	66.86%	70.24%	68.65%	72.86%
11	74.60%	71.09%	72.73%	72.08%	75.23%
12	75.98%	74.95%	75.01%	75.14%	76.95%
13	77.08%	78.44%	77.12%	77.86%	78.19%
14	78.26%	81.60%	79.08%	80.29%	79.06%
15	79.32%	84.43%	80.90%	82.45%	79.68%
16	80.14%	86.95%	82.59%	84.37%	80.11%
17	81.07%	89.19%	84.16%	86.08%	80.41%

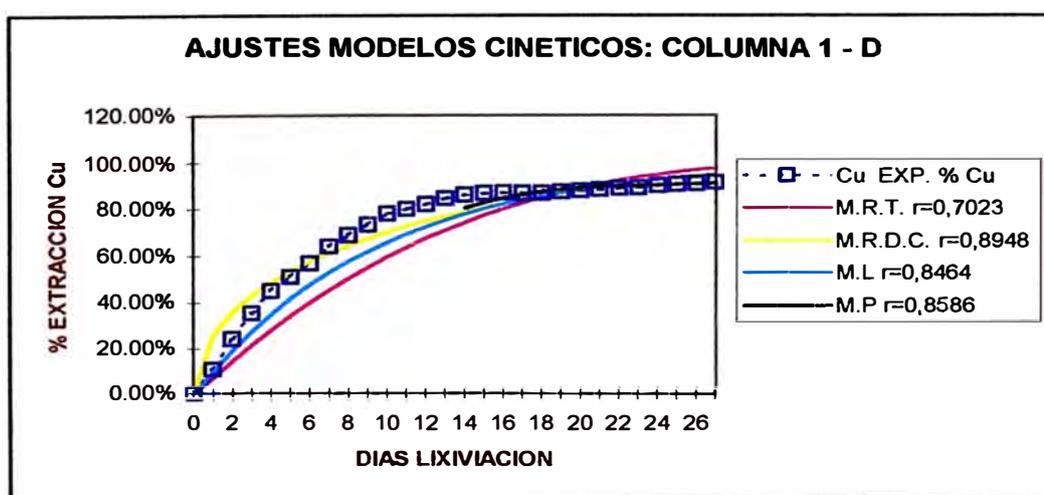


El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el séptimo día de lixiviación.

SERIE D:EFECTO DE LA DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO

COLUMNA 1-D

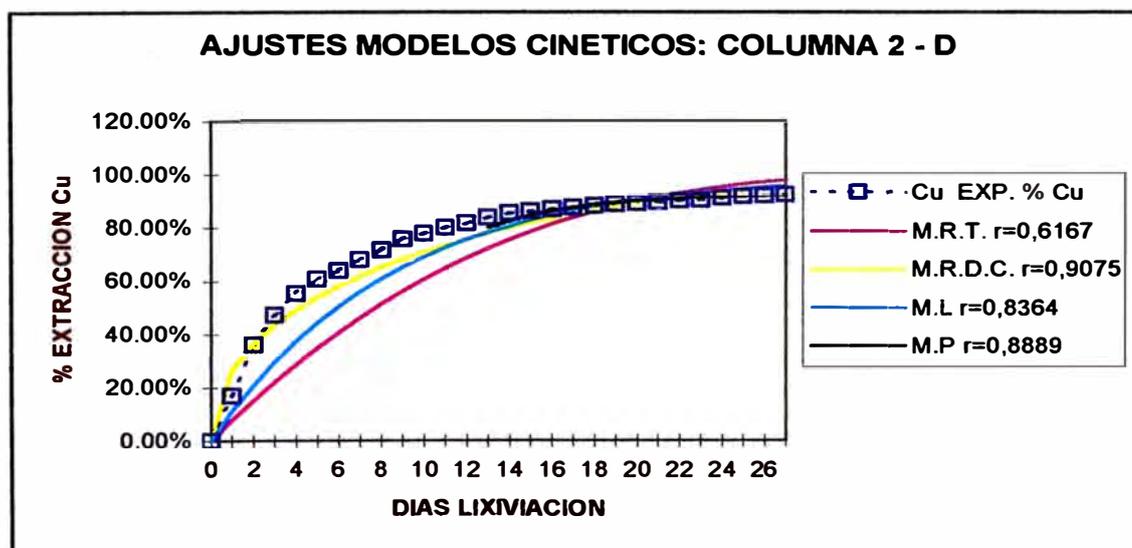
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu CORREGIDA			
		M.R.T. r=0,7023	M.R.D.C. r=0,8948	M.L r=0,8464	M.P r=0,8586
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	11.06%	7.57%	26.00%	10.17%	
2	24.26%	14.75%	35.75%	19.30%	
3	35.15%	21.55%	42.73%	27.50%	
4	44.73%	27.97%	48.40%	34.87%	
5	50.83%	34.04%	53.17%	41.49%	
6	56.75%	39.75%	57.33%	47.44%	
7	63.81%	45.13%	60.99%	52.78%	
8	68.69%	50.17%	64.27%	57.58%	
9	73.23%	54.90%	67.24%	61.89%	
10	77.82%	59.31%	69.95%	65.77%	
11	79.79%	63.43%	72.43%	69.25%	
12	81.75%	67.26%	74.76%	72.37%	
13	84.22%	70.82%	76.82%	75.18%	
14	85.90%	74.10%	78.78%	77.70%	80.23%
15	86.47%	77.13%	80.60%	79.97%	82.68%
16	86.78%	79.92%	82.29%	82.01%	84.62%
17	86.62%	82.47%	83.87%	83.84%	86.15%
18	86.59%	84.79%	85.35%	85.48%	87.34%
19	87.21%	86.90%	86.72%	86.96%	88.25%
20	87.65%	88.80%	88.01%	88.28%	88.95%
21	88.01%	90.51%	89.19%	89.47%	89.49%
22	88.74%	92.04%	90.31%	90.54%	89.90%
23	88.95%	93.39%	91.36%	91.50%	90.21%
24	89.81%	94.58%	92.34%	92.37%	90.44%
25	90.34%	95.62%	93.24%	93.14%	90.62%
26	90.60%	96.52%	94.09%	93.84%	90.75%
27	91.16%	97.28%	94.87%	94.47%	90.85%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 14 de lixiviación.

COLUMNA 2-D

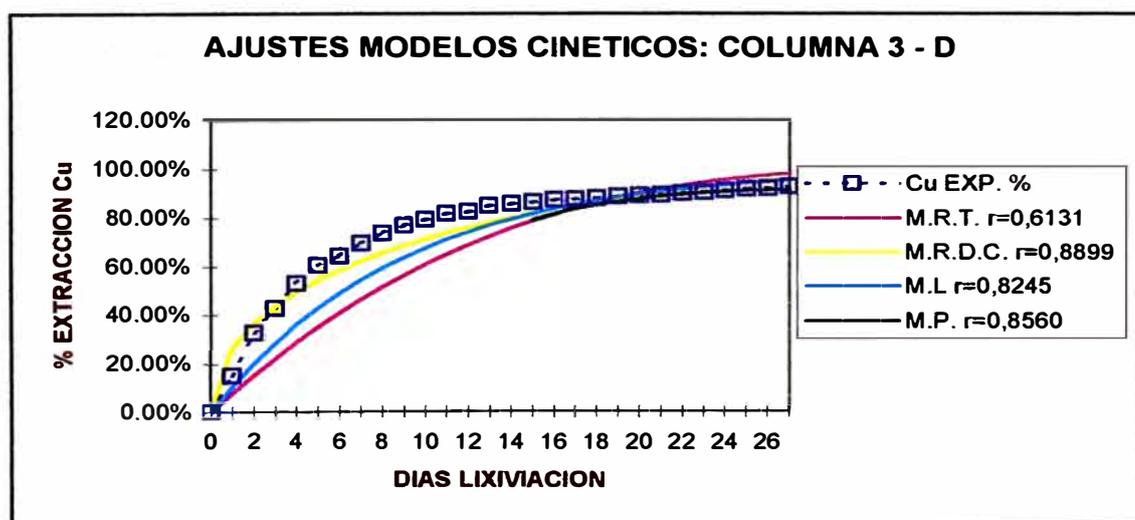
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,6167$	M.R.D.C. $r=0,9075$	M.L $r=0,8364$	M.P $r=0,8889$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	16.91%	7.77%	26.42%	11.04%	
2	35.79%	15.13%	36.24%	20.86%	
3	47.07%	22.08%	43.43%	29.60%	
4	54.91%	28.64%	49.17%	37.37%	
5	60.24%	34.83%	53.95%	44.29%	
6	63.89%	40.64%	58.14%	50.44%	
7	68.01%	46.10%	61.83%	55.91%	
8	71.44%	51.22%	65.14%	60.78%	
9	75.50%	56.00%	68.12%	65.11%	
10	77.58%	60.46%	70.84%	68.96%	
11	79.76%	64.60%	73.33%	72.39%	
12	81.59%	68.45%	75.62%	75.44%	
13	83.49%	72.00%	77.73%	78.15%	79.81%
14	85.19%	75.28%	79.69%	80.56%	82.33%
15	85.74%	78.29%	81.50%	82.71%	84.39%
16	86.65%	81.05%	83.19%	84.62%	86.05%
17	87.33%	83.56%	84.76%	86.32%	87.37%
18	87.92%	85.84%	86.22%	87.83%	88.43%
19	88.43%	87.90%	87.58%	89.17%	89.26%
20	88.83%	89.75%	88.85%	90.37%	89.92%
21	89.35%	91.40%	90.04%	91.43%	90.43%
22	89.99%	92.86%	91.14%	92.38%	90.83%
23	90.25%	94.15%	92.16%	93.22%	91.14%
24	90.97%	95.27%	93.11%	93.97%	91.38%
25	91.52%	96.24%	94.00%	94.63%	91.57%
26	91.71%	97.07%	94.82%	95.23%	91.71%
27	92.21%	97.76%	95.56%	95.75%	91.82%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 13 de lixiviación.

COLUMNA 3-D

TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,6131$	M.R.D.C. $r=0,8899$	M.L $r=0,8245$	M.P. $r=0,8560$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	15.30%	7.83%	26.49%	10.66%	
2	32.65%	15.23%	36.39%	20.18%	
3	42.68%	22.23%	43.56%	28.69%	
4	52.97%	28.84%	49.31%	36.29%	
5	60.10%	35.05%	54.15%	43.08%	
6	64.01%	40.90%	58.40%	49.15%	
7	69.44%	46.38%	62.10%	54.57%	
8	73.60%	51.52%	65.42%	59.41%	
9	76.86%	56.31%	68.41%	63.73%	
10	79.16%	60.78%	71.13%	67.60%	
11	81.23%	64.93%	73.63%	71.05%	
12	82.36%	68.78%	75.92%	74.14%	
13	84.56%	72.33%	78.03%	76.89%	
14	85.35%	75.61%	79.98%	79.36%	
15	86.29%	78.62%	81.80%	81.56%	84.17%
16	87.04%	81.36%	83.48%	83.52%	85.95%
17	87.38%	83.87%	85.05%	85.28%	87.37%
18	87.82%	86.13%	86.50%	86.85%	88.49%
19	88.48%	88.18%	87.86%	88.25%	89.38%
20	89.01%	90.01%	89.12%	89.50%	90.07%
21	89.21%	91.64%	90.30%	90.62%	90.62%
22	89.88%	93.09%	91.40%	91.62%	91.04%
23	90.19%	94.36%	92.42%	92.51%	91.36%
24	90.87%	95.46%	93.36%	93.31%	91.62%
25	91.60%	96.41%	94.23%	94.02%	91.81%
26	91.95%	97.21%	95.04%	94.66%	91.96%
27	92.47%	97.89%	95.78%	95.23%	92.08%



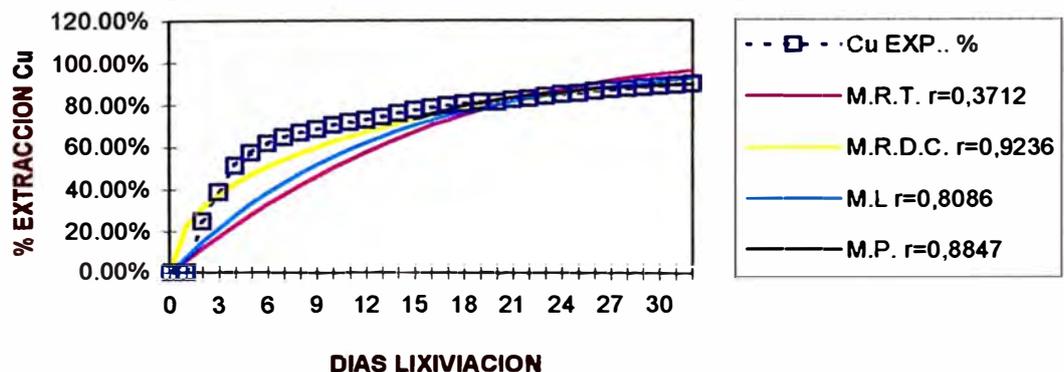
El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 14 de lixiviación.

SERIE E: EFECTO DE VARIACION DE FLUJO DE RIEGO

COLUMNA 1-E

TIEMPO LIX días	EXTRACCION. Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. r=0,3712	M.R.D.C. r=0,9236	M.L r=0,8086	M.P. r=0,8847
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	0.00%	6.11%	22.58%	7.75%	
2	24.68%	11.97%	31.08%	14.90%	
3	38.50%	17.58%	37.43%	21.50%	
4	51.03%	22.94%	42.53%	27.59%	
5	57.32%	28.04%	46.82%	33.20%	
6	61.69%	32.96%	50.67%	38.38%	
7	64.62%	37.63%	54.03%	43.16%	
8	66.62%	42.07%	57.06%	47.57%	
9	68.38%	46.30%	59.83%	51.63%	
10	70.26%	50.32%	62.38%	55.38%	
11	71.75%	54.13%	64.74%	58.84%	
12	72.79%	57.74%	66.94%	62.03%	
13	74.18%	61.16%	69.01%	64.97%	
14	75.73%	64.39%	70.92%	67.69%	
15	77.44%	67.43%	72.72%	70.20%	73.46%
16	78.57%	70.30%	74.42%	72.51%	75.62%
17	79.40%	72.99%	76.00%	74.64%	77.57%
18	80.24%	75.52%	77.50%	76.60%	79.31%
19	81.00%	77.88%	78.93%	78.42%	80.85%
20	81.10%	80.08%	81.10%	80.09%	82.21%
21	82.20%	82.14%	81.56%	81.63%	83.40%
22	82.72%	84.04%	82.78%	83.06%	84.44%
23	83.83%	85.81%	83.93%	84.37%	85.35%
24	84.61%	87.44%	85.03%	85.58%	86.14%
25	85.34%	88.94%	86.07%	86.70%	86.82%
26	86.26%	90.32%	87.06%	87.73%	87.41%
27	87.05%	91.57%	88.01%	88.68%	87.91%
28	87.62%	92.72%	88.90%	89.56%	88.35%
29	88.02%	93.75%	89.76%	90.37%	88.72%
30	88.55%	94.68%	90.56%	91.12%	89.04%
31	89.05%	95.52%	91.33%	91.81%	89.32%
32	89.83%	96.26%	92.06%	92.44%	89.55%
33	90.92%	96.92%	92.76%	93.03%	89.75%

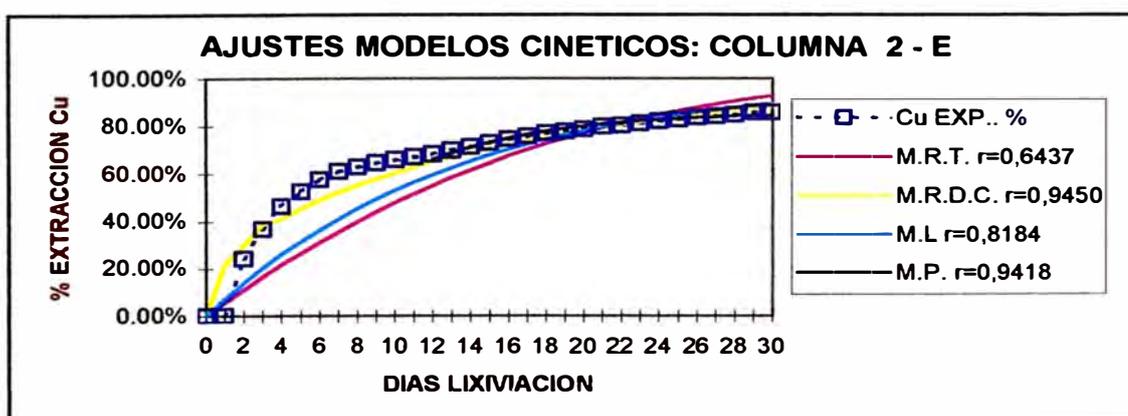
AJUSTES MODELOS CINETICOS : COLUMNA 1 - E



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 15 de lixiviación.

COLUMNA 2-E

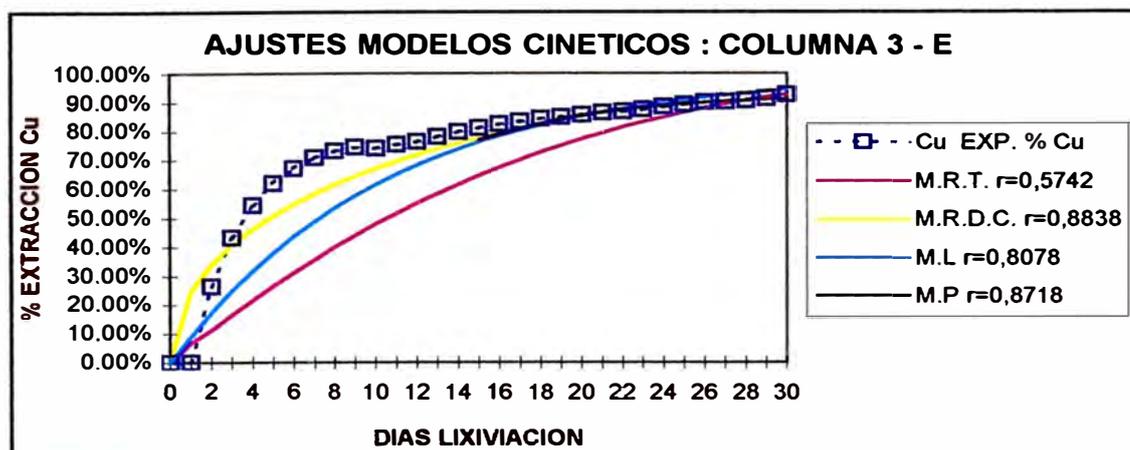
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu, CORREGIDA			
		M.R.T. r=0,6437	M.R.D.C. r=0,9450	M.L r=0,8184	M.P. r=0,9418
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	0.00%	5.74%	21.71%	7.30%	
2	24.05%	11.25%	30.01%	14.07%	
3	36.69%	16.54%	38.57%	20.34%	
4	46.12%	21.62%	41.04%	26.15%	
5	52.50%	26.49%	45.25%	31.55%	
6	57.53%	31.15%	48.88%	36.54%	
7	61.01%	35.61%	52.17%	41.17%	
8	62.95%	39.88%	55.15%	45.47%	
9	64.49%	43.95%	57.87%	49.45%	
10	65.92%	47.83%	60.37%	53.14%	
11	67.14%	51.53%	62.69%	56.56%	
12	68.19%	55.05%	64.85%	59.73%	66.08%
13	69.86%	58.40%	66.87%	62.67%	68.67%
14	71.34%	61.58%	68.76%	65.40%	71.00%
15	72.94%	64.59%	70.54%	67.92%	73.06%
16	74.47%	67.43%	72.23%	70.26%	74.88%
17	75.68%	70.13%	73.81%	72.43%	76.48%
18	76.91%	72.66%	75.32%	74.45%	77.86%
19	77.81%	75.05%	76.74%	76.31%	79.06%
20	78.71%	77.30%	78.10%	78.04%	80.09%
21	79.72%	79.41%	79.39%	79.64%	80.97%
22	80.25%	81.38%	80.61%	81.13%	81.72%
23	81.18%	83.23%	81.78%	82.51%	82.36%
24	82.08%	84.94%	82.89%	83.78%	82.90%
25	82.90%	86.54%	83.95%	84.97%	83.35%
26	83.77%	88.02%	84.97%	86.07%	83.74%
27	84.20%	89.38%	85.93%	87.08%	84.07%
28	84.81%	90.64%	86.85%	88.03%	84.34%
29	85.76%	91.80%	87.73%	88.90%	84.57%
30	85.76%	92.85%	88.56%	89.71%	84.76%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 12 de lixiviación.

COLUMNA 3-E

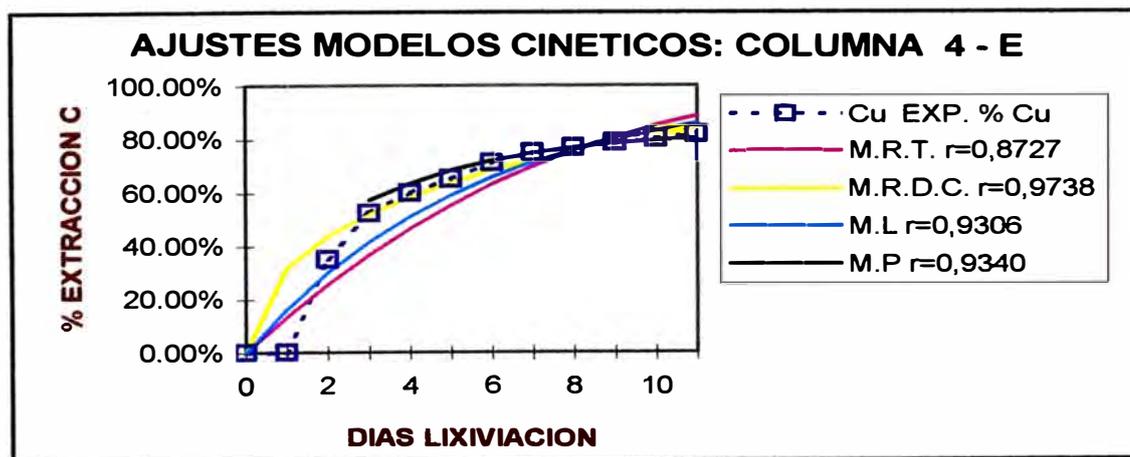
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,5742$	M.R.D.C. $r=0,8838$	M.L $r=0,8078$	M.P $r=0,8718$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	0.00%	6.80%	24.63%	9.14%	
2	26.37%	11.25%	33.93%	17.44%	
3	43.12%	16.54%	40.70%	24.98%	
4	54.43%	21.62%	46.15%	31.83%	
5	61.95%	26.49%	50.77%	38.06%	
6	67.13%	31.15%	54.79%	43.72%	
7	70.86%	35.61%	58.35%	48.86%	
8	73.14%	39.88%	61.51%	53.53%	
9	74.34%	43.95%	64.41%	57.78%	
10	74.03%	47.83%	67.07%	61.63%	
11	75.43%	51.53%	69.51%	65.14%	
12	76.37%	55.05%	71.77%	68.32%	
13	78.02%	58.40%	73.87%	71.22%	
14	79.64%	61.58%	75.82%	73.85%	
15	81.07%	64.59%	77.64%	76.24%	79.00%
16	82.35%	67.43%	79.34%	78.41%	80.94%
17	83.30%	70.13%	80.94%	80.38%	82.64%
18	84.31%	72.66%	82.44%	82.17%	84.12%
19	84.81%	75.05%	83.84%	83.80%	85.39%
20	85.56%	77.30%	85.17%	85.28%	86.49%
21	86.30%	79.41%	86.41%	86.63%	87.43%
22	86.78%	81.38%	87.58%	87.85%	88.23%
23	87.59%	83.23%	88.68%	88.96%	88.91%
24	88.43%	84.94%	89.72%	89.97%	89.49%
25	89.21%	86.54%	90.70%	90.88%	89.98%
26	89.90%	88.02%	91.61%	91.72%	90.40%
27	90.12%	89.38%	92.47%	92.47%	90.74%
28	90.47%	90.64%	93.28%	93.16%	91.04%
29	91.38%	91.80%	94.03%	93.78%	91.28%
30	92.57%	92.85%	94.74%	94.35%	91.49%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 15 de lixiviación.

COLUMNA 4-E

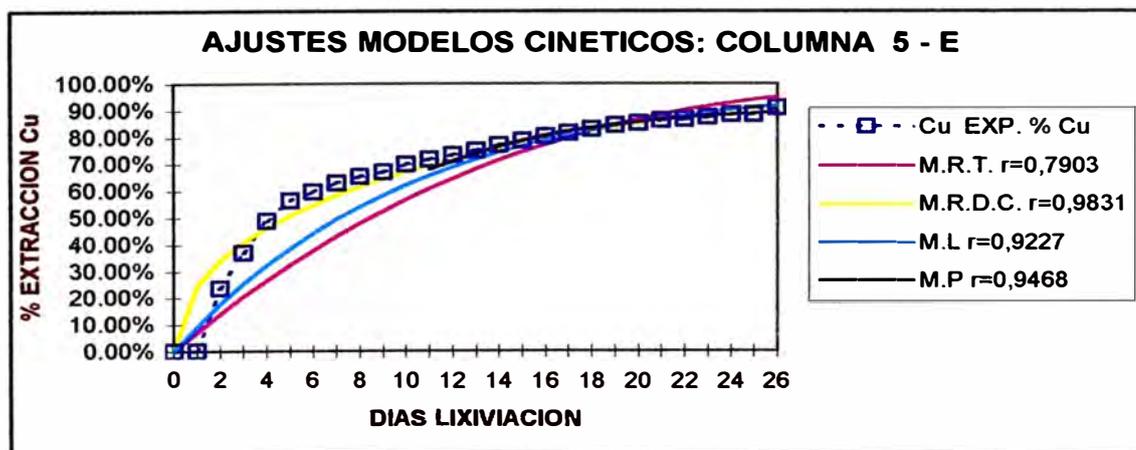
TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION COBRE CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,8727$	M.R.D.C. $r=0,9738$	M.L $r=0,9306$	M.P $r=0,9340$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	0.00%	13.47%	31.98%	16.36%	
2	34.98%	25.68%	43.53%	30.04%	
3	52.41%	36.68%	51.84%	41.48%	57.36%
4	59.89%	46.54%	58.31%	51.05%	63.40%
5	65.22%	55.32%	63.69%	59.06%	68.32%
6	71.30%	63.08%	68.31%	65.75%	72.15%
7	75.02%	69.88%	72.31%	71.36%	75.03%
8	77.16%	75.80%	75.82%	76.04%	77.13%
9	78.97%	80.88%	78.93%	79.96%	78.64%
10	80.50%	85.20%	81.70%	83.24%	79.71%
11	82.12%	88.81%	84.18%	85.98%	80.45%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el tercer día de lixiviación.

COLUMNA 5-E

TIEMPO LIX días	EXTRACCION Cu EXP. %	% EXTRACCION Cu CORREGIDA			
		M.R.T. $r=0,7903$	M.R.D.C. $r=0,9831$	M.L $r=0,9227$	M.P $r=0,9468$
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
1	0.00%	7.14%	24.63%	9.30%	
2	23.59%	13.94%	33.93%	17.73%	
3	36.97%	20.39%	40.70%	25.38%	
4	48.81%	26.52%	46.15%	32.32%	
5	56.30%	32.32%	50.77%	38.61%	
6	59.58%	37.80%	54.79%	44.32%	
7	62.92%	42.99%	58.35%	49.50%	
8	65.45%	47.87%	61.51%	54.20%	
9	67.08%	52.47%	64.41%	58.46%	
10	69.79%	56.79%	67.07%	62.32%	
11	71.71%	60.84%	69.51%	65.82%	68.04%
12	73.41%	64.63%	71.77%	69.00%	71.21%
13	75.07%	68.17%	73.87%	71.88%	74.04%
14	76.99%	71.46%	75.82%	74.50%	76.55%
15	78.69%	74.52%	77.64%	76.87%	78.75%
16	80.29%	77.35%	79.34%	79.02%	80.65%
17	81.52%	79.96%	80.94%	80.97%	82.29%
18	82.94%	82.36%	82.44%	82.74%	83.69%
19	84.34%	84.57%	83.84%	84.35%	84.88%
20	85.27%	86.58%	85.17%	85.80%	85.88%
21	86.36%	88.41%	86.41%	87.12%	86.73%
22	86.74%	90.06%	87.58%	88.32%	87.44%
23	87.40%	91.55%	88.68%	89.41%	88.03%
24	88.45%	92.88%	89.72%	90.39%	88.52%
25	88.45%	94.07%	90.70%	91.28%	88.93%
26	90.89%	95.11%	91.61%	92.09%	89.27%



El mecanismo cinético controlante es el **Modelo de Reacción a Difusión Controlada** con una aproximación al **Modelo Poblacional**, desde el día 15 de lixiviación.

5.3.3.1 Observaciones

De acuerdo al análisis estadístico realizado sobre las columnas de lixiviación estática ensayadas a nivel de laboratorio (series A, B, C, D y E), nos sirve para explicar el comportamiento de las variables de estudio y determinar el mecanismo cinético de control gobernante en todo el tiempo de lixiviación, con los resultados de la optimización del pre-tratamiento curado - aglomerado. Como sabemos el modelo cinético predominante en todo el tiempo de lixiviación o período de agotamiento, es el que tiene mayor valor de "r" cercano a uno; como se observa en todos los ajustes, lo tiene la cinética mixta denotada por el mecanismo cinético de control: Modelo de Reacción a Difusión Controlada, con una aproximación al Modelo Poblacional, que es usado para corregir extracciones con crecimiento rápido, seguido de otro crecimiento limitado por la difusión controlada; pero sin eximir que los otros modelos también tienen un control cinético en determinado rango de tiempo, generalmente desde el primer día hasta el cuarto o quinto día de lixiviación; como es el caso de la cinética de primer orden (el Modelo de Reacción Topoquímica y el Modelo Lineal).

Observamos también que para los 3 mecanismos cinéticos de control estudiados: Modelo de Reacción a Difusión Controlada, Modelo de Reacción Topoquímica y Modelo Lineal, los cuales muestran que para un tiempo igual a cero, partiendo de extracciones experimentales iguales a cero, se tienen extracciones ajustadas o corregidas también iguales a cero, exceptuando esta regla el Modelo Poblacional (método empírico), que lo hace generalmente, corrigiendo las extracciones experimentales a partir del segundo día, tiempo en el cual no deja de predominar el Modelo de Reacción Topoquímica y/o el Modelo Lineal, dando paso a la cinética mixta (Modelo de Reacción a Difusión Controlada). Cabe resaltar que cuando en una determinada columna, la aproximación al Modelo Poblacional tenga el mayor valor de "r" cercano a uno, comparado con el mecanismo cinético de control, nos indica que estos valores de extracciones corregidas explican con mayor exactitud los cambios de curvatura en la curva de extracción experimental, durante todo el tiempo de lixiviación, mas no una

predominancia del modelo, pues éste no es un mecanismo cinético controlante de la lixiviación.

Para el caso de la serie A : la columna 1-A, que es un mineral que no está curado antes de la lixiviación; y en el que matemáticamente predomina el Modelo Poblacional por encima del mecanismo cinético de control, Modelo de Reacción a Difusión Controlada; a diferencia de las demás columnas; se observa que: la cinética de primer orden (Modelo Lineal y el Modelo de Reacción Topoquímica), ocurre cuando se inicia la lixiviación hasta aproximadamente el séptimo día, momento en el cual, las extracciones tienden a crecer rápidamente hasta el décimo día y limitadamente hasta el final del tiempo de lixiviación, dando paso seguidamente a la cinética mixta; Modelo de Reacción a Difusión Controlada. Esta baja predominancia de la cinética mixta, se debe a la gran resistencia que ofrecen las capas pasivantes formadas por los productos de la reacción química , favorecidas por la formación de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, responsable de esta impermeabilidad por tener una alta solubilidad, frente al FeCl_3 que se formaría, al haber usado el cloruro de sodio, y las demás condiciones de pre-tratamiento en el curado . En el resto de las columnas 2-A y 3-A, cuando esta misma prueba es previamente sometida a un curado, y seguida de un incremento del tiempo de reposo, se observa que el mecanismo cinético de control: es el Modelo de Reacción a Difusión Controlada, con una buena aproximación al Modelo Poblacional, desde el segundo día de lixiviación para la columna 2-A y desde el séptimo día de lixiviación para la columna 3-A, respectivamente.

En el caso de la serie B, en la que se evaluaron el efecto de la variación del tamaño de partícula y el tiempo de reposo, a 0.15 lt/min.m^2 , para granulometrías de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{1}{4}$ ", predomina un mecanismo combinado de Modelo de Reacción Topoquímica y Modelo Lineal, que justifica su diferencia de las demás, por lo que las extracciones experimentales no están calculadas día a día como en las demás series , por lo cual estos mecanismos de control, no son representativos de la serie ni de las condiciones dadas, asimismo al poseer el Modelo Poblacional, el menor valor de "r" cercano a uno, por ser muy pocos

valores para el ajuste, ya no se plotearon los valores corregidos de este modelo.

En el caso de la serie C, en la que se evaluaron el efecto de la variación de dosificación del ácido sulfúrico y el cloruro de sodio: las columnas 1-C, 2-C y 3-C; que son las pruebas en las que el ajuste del Modelo Poblacional tiene mayor valor de "r" cercano a uno, comparado por el mecanismo cinético de control, el Modelo de Reacción a Difusión Controlada, predomina con una aproximación al Modelo Poblacional, desde el segundo día de lixiviación, el efecto inverso lo tienen las columnas 4-C y 5-C, donde la predominancia del mecanismo de control cinético es bastante cercana a las extracciones experimentales pero con una aproximación al Modelo Poblacional que será desde el séptimo día.

En el caso de la serie D y E, en las que se evaluaron la variación de la dosificación del ácido sulfúrico y el flujo de riego, respectivamente; todas las columnas sin excepción, muestran un mecanismo cinético de control expresado por el Modelo de Reacción a Difusión Controlada con una aproximación al Modelo Poblacional, a partir de los doce días de lixiviación, salvo el caso de la columna 4-E, que lo hace a partir del cuarto día; en estas series se incluyen las columnas con las condiciones óptimas determinadas: 2-D, 1-E, 3-E, y 5-E.

Seguidamente se presentan los cuadros resumen general de pruebas en columnas, CUADRO No. V – 41 y CUADRO No. V – 42, resumen general de ajustes cinéticos en columnas, donde se denotan el modelo que matemáticamente predomina (de mayor a menor valor de "r") del cual deducimos finalmente, que la mayor predominancia en todo el tiempo de lixiviación o periodo de agotamiento, esta dada por el Modelo de Reacción a Difusión Controlada (M.R.D.C.) por lo que es el mecanismo controlante de la cinética de lixiviación de minerales oxidados de cobre tratados en la Planta de Oxidos de la Cía Minera Condestable; seguido con una buena aproximación por el Modelo Poblacional (M.P.). Luego la predominancia de los modelos de primer orden; el Modelo Lineal (M.L.) y finalmente el Modelo de Reacción Topoquímica (M.R.T.); será durante los primeros 4 o 5 días de lixiviación, y son involucrados en la cinética mixta el resto del periodo de agotamiento de la columna.

CUADRO N° V-41

RESUMEN GENERAL DE PRUEBAS EN COLUMNAS

RESUMEN SERIE A: EFECTOS DE LA VARIACION DEL TIEMPO REPOSO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	MUESTRA PESO, Kg	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	LEYES		TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	EXTRAC. COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				% Cu Tot.	% Cu Ox				Kg/TM	Kg/Kg Cu
1-A	0	0	0	-1/4"	10	0.18	2.07	1.15	0	19	72.63	45.91	5.50
2-A	20	6	7	-1/4"	10	0.18	2.10	1.19	6	14	72.16	60.94	7.10
3-A	20	6	7	-1/4"	10	0.18	2.04	1.52	12	19	75.50	80.85	7.05

RESUMEN SERIE B: EFECTOS DE LA VARIACION DEL TAMAÑO PARTICULA Y TIEMPO REPOSO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	MUESTRA PESO, Kg	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	LEYES		TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	EXTRAC. COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				% Cu Tot.	% Cu Ox				Kg/TM	Kg/Kg Cu
1-B	25	6	7	-1/2"	25	0.15	1.70	1.03	6	19	76.03	76.51	10.47
2-B	25	6	7	-1/4"	25	0.15	1.67	1.07	6	19	80.66	82.00	9.50
3-B	25	6	7	-1/2"	25	0.15	1.69	1.09	12	19	81.63	83.50	9.56
4-B	25	6	7	-1/4"	25	0.15	1.67	1.08	12	19	81.86	83.91	9.40

RESUMEN SERIE C: EFECTOS DE LA VARIACION DE CONCENTRACION DE H₂SO₄ Y NaCl

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	MUESTRA PESO, Kg	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	LEYES		TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	EXTRAC. COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				% Cu Tot.	% Cu Ox				Kg/TM	Kg/Kg Cu
1-C	20	0	7	-1/4"	10.9	0.18	2.22	1.75	12	20	70.89	78.26	6.31
2-C	30	3	7	-1/4"	11.6	0.18	2.31	1.59	12	20	83.32	79.84	7.46
3-C	20	6	7	-1/4"	11.6	0.18	2.25	1.71	12	19	74.73	66.20	6.75
4-C	20	6	7	-1/4"	11.7	0.18	2.35	1.75	12	17	77.77	67.02	6.05
5-C	25	9	7	-1/4"	11.6	0.18	2.16	1.64	12	17	81.07	74.32	6.70

RESUMEN SERIE D: EFECTOS DE LA VARIACION DE CONCENTRACION DE H₂SO₄

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	MUESTRA PESO, Kg	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	LEYES		TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	EXTRAC. COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				% Cu Tot.	% Cu Ox				Kg/TM	Kg/Kg Cu
1-D	20	6	7	-1/4"	203	0.18	1.81	1.04	12	27	91.16	64.98	6.85
2-D	25	6	7	-1/4"	202	0.18	1.76	1.04	12	27	92.21	69.97	7.30
3-D	30	6	7	-1/4"	200	0.18	1.64	0.93	12	27	92.47	68.80	8.63

RESUMEN SERIE E: EFECTO DE LA VARIACION DEL FLUJO DE RIEGO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	MUESTRA PESO, Kg	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	LEYES		TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	EXTRAC. COBRE, %	CONSUMO H ₂ SO ₄	
	H ₂ SO ₄	NaCl	H ₂ O				% Cu Tot.	% Cu Ox				Kg/TM	Kg/Kg Cu
1-E	25	6	7	-1/4"	200	0.18	1.73	1.06	12	33	90.92	75.03	7.79
2-E	25	6	7	-1/4"	200	0.16	1.73	1.08	12	30	85.76	71.30	7.70
3-E	25	6	7	-1/4"	200	0.18	1.56	0.97	12	30	92.57	74.43	8.29
4-E	25	6	7	-1/4"	200	0.15	1.63	0.92	12	11	82.12	62.91	8.33
5-E	25	6	7	-1/4"	200	0.18	1.96	1.14	12	26	90.89	66.97	6.46

RESUMEN GENERAL DE AJUSTES CINETICOS EN COLUMNAS

RESUMEN SERIE A: EFECTOS DE LA VARIACION DEL TIEMPO REPOSO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	CORRELACION " r ", EXTRAC. CORREGIDAS				TIEMPO APROX. PREDOMINANCIA INDIVIDUAL MODELOS , dias				
	H ₂ SO ₄	Na Cl	H ₂ O					M.R.T.	M.R.D.C.	M.L	M.P	M.R.T.	M.R.D.C.	M.L.	M.P. desde	MODELO/aprox.
1-A	0	0	0	-1/4"	0.18	0	19	0.8364	0.9040	0.8714	0.9272	7	12	7	7	MP/MRDC
2-A	20	6	7	-1/4"	0.18	6	14	0.8688	0.9814	0.9264	0.9773	4	14	4	2	MRDC/MP
3-A	20	6	7	-1/4"	0.18	12	19	0.8012	0.9945	0.8902	0.9198	4	19	4	7	MRDC/MP

RESUMEN SERIE B: EFECTOS DE LA VARIACION DEL TAMAÑO PARTICULA Y TIEMPO REPOSO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	CORRELACION " r ", EXTRAC. CORREGIDAS				TIEMPO APROX. PREDOMINANCIA INDIVIDUAL MODELOS , dias				
	H ₂ SO ₄	Na Cl	H ₂ O					M.R.T.	M.R.D.C.	M.L	M.P	M.R.T.	M.R.D.C.	M.L.	M.P. desde	MAYOR/menor
1-B	25	6	7	-1/2"	0.15	6	19	0.9759	0.9341	0.9791	0.7646	19	7	19	NO	ML/MRDC
2-B	25	6	7	-1/4"	0.15	6	19	0.9572	0.9193	0.9596	0.7570	19	7	19	NO	ML/MRDC
3-B	25	6	7	-1/2"	0.15	12	19	0.9747	0.9696	0.9902	0.7913	19	7	19	NO	ML/MRDC
4-B	25	6	7	-1/4"	0.15	12	19	0.9666	0.9193	0.9635	0.7477	19	7	19	NO	MRT/ML

RESUMEN SERIE C: EFECTOS DE LA VARIACION DE CONCENTRACION DE H₂SO₄ Y NaCl

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	CORRELACION " r ", EXTRAC. CORREGIDAS				TIEMPO APROX. PREDOMINANCIA INDIVIDUAL MODELOS , dias				
	H ₂ SO ₄	Na Cl	H ₂ O					M.R.T.	M.R.D.C.	M.L	M.P	M.R.T.	M.R.D.C.	M.L.	M.P. desde	MODELO/aprox.
1-C	20	0	7	-1/4"	0.18	12	20	0.4183	0.9240	0.5975	0.9826	5	20	5	2	MP/MRDC
2-C	30	3	7	-1/4"	0.18	12	20	0.4014	0.8538	0.6288	0.9439	5	20	5	2	MP/MRDC
3-C	20	6	7	-1/4"	0.18	12	19	0.2615	0.8510	0.4894	0.9892	4	19	4	2	MP/MRDC
4-C	20	6	7	-1/4"	0.18	12	17	0.6032	0.9440	0.7491	0.9315	3	17	3	7	MRDC/MP
5-C	25	9	7	-1/4"	0.18	12	17	0.6741	0.9567	0.8130	0.9114	3	17	3	7	MRDC/MP

RESUMEN SERIE D: EFECTOS DE LA VARIACION DE CONCENTRACION DE H₂SO₄

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	CORRELACION " r ", EXTRAC. CORREGIDAS				TIEMPO APROX. PREDOMINANCIA INDIVIDUAL MODELOS , dias				
	H ₂ SO ₄	Na Cl	H ₂ O					M.R.T.	M.R.D.C.	M.L	M.P	M.R.T.	M.R.D.C.	M.L.	M.P. desde	MODELO/aprox.
1-D	20	6	7	-1/4"	0.18	12	27	0.7023	0.8948	0.8464	0.8586	5	27	5	14	MRDC/MP
2-D	25	6	7	-1/4"	0.18	12	27	0.6167	0.9075	0.8364	0.8889	5	27	5	13	MRDC/MP
3-D	30	6	7	-1/4"	0.18	12	27	0.6131	0.8899	0.8245	0.8560	5	27	5	14	MRDC/MP

RESUMEN SERIE E: EFECTO DE LA VARIACION DEL FLUJO DE RIEGO

COLUMNA	CURADO(Kg/TM, %)			TAMAÑO PARTICULA	FLUJO RIEGO lt/min.m ²	TIEMPO REPOSO, hr	TIEMPO LIX., dias	CORRELACION " r ", EXTRAC. CORREGIDAS				TIEMPO APROX. PREDOMINANCIA INDIVIDUAL MODELOS , dias				
	H ₂ SO ₄	Na Cl	H ₂ O					M.R.T.	M.R.D.C.	M.L	M.P	M.R.T.	M.R.D.C.	M.L.	M.P. desde	MODELO/aprox.
1-E	25	6	7	-1/4"	0.18	12	33	0.3712	0.9236	0.8086	0.8847	3	33	5	15	MRDC/MP
2-E	25	6	7	-1/4"	0.16	12	30	0.6437	0.9450	0.8184	0.9418	4	30	5	12	MRDC/MP
3-E	25	6	7	-1/4"	0.18	12	30	0.5742	0.8838	0.8078	0.8718	4	30	5	15	MRDC/MP
4-E	25	6	7	-1/4"	0.15	12	11	0.8727	0.9738	0.9306	0.9340	9	11	8	3	MRDC/MP
5-E	25	6	7	-1/4"	0.18	12	26	0.7903	0.9831	0.9227	0.9468	15	26	16	15	MRDC/MP

CAPITULO VI

ASPECTOS AMBIENTALES

6.1 ESTADO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental, se ha preparado bajo la estructura Política, Legal y Administrativa que exige la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas; fue realizado por C y A Group S.A en 1995, para evaluar los posibles impactos ambientales que podría ocasionar la implementación de la Planta de Lixiviación.

6.1.1 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR

La Planta de Lixiviación de Oxidos de Cobre presenta en su proceso cuatro actividades principales: chancado, aglomeración, lixiviación y cementación para la obtención del cemento de cobre.

- Volumen estimado del movimiento del mineral: el material a mover será un volumen de 12,000 TM/ mes , el que se trasladará desde la zona del stock de óxidos a la planta de chancado, ubicada al pie del botadero.
- Niveles de ruido estimado durante las fases de habilitación y operación: durante la fase de habilitación y operación de los ruidos tendrán como referencia los límites permisibles dados por la OMS. En la etapa de operación, se ha determinado que los ruidos que se generan en la zona primaria del proceso, específicamente en el área de chancado, tiene una intensidad promedio de 100 dB.
- Volumen estimado de suministro y consumo de agua tanto para fines industriales como para uso humano, destinado para la planta de óxidos . Se ha estimado para fines industriales; $2.55 \text{ m}^3 / \text{min}$. y fines domésticos ; $0.35 \text{ m}^3 / \text{min}$.
- Volumen estimado de aguas de desecho a generarse: las aguas de desecho doméstico a generarse, se han calculado en $3.87 \text{ m}^3 /$

día en el área de la actividad, lo que será destinado a un pozo séptico y evacuado posteriormente a la red de desagües del campamento minero el que será dirigido a la laguna de oxidación de la compañía. Por otro lado el proceso del proyecto esta considerado para las aguas de desecho industrial, un sistema de filtrado, que consiste en una decantación de la solución de riego del proceso para su posterior uso, eliminando de esta manera los efluentes que pudieran existir . Existe además, una conexión de emergencia de los efluentes para que éstos puedan ser evacuados a la relavera.

- Volumen estimado de desechos sólidos a generarse: los sólidos generados por la actividad son aquellos que provienen de la etapa de lixiviación y se estima en un volumen de 11,880 TM/mes, estos serán depositados en un área especialmente acondicionada al Norte de la planta para la acumulación de este ripio de óxido de cobre con 0.25% Cu y un pH de 5 a 6.
- Volumen estimado de gases a generarse: los gases a generarse, que pudieran existir son aquellos cuyos componentes se generan por la evaporación del ácido sulfúrico en las diferentes etapas del proceso. Este volumen no es significativo.
- Tipos y volúmenes de desechos tóxicos o peligrosos determinados por la autoridad competente: el ácido sulfúrico se presenta como un tipo de reactivo contaminante, peligroso por su concentración y volumen usado en las operaciones del proceso el cual podría ser determinado cuando se inicie el proyecto. El verdadero impacto que pudiera generar, es si es mal manipulado, el consumo de éste producto es de 96 Kg/TM de mineral.
- Demanda de energía eléctrica y fuentes de aprovechamiento: la demanda de energía eléctrica se ha considerado en 247.0 ó 9.3 Kw / Hr x TM y proviene de Luz del Sur.
- Número estimado de puestos de trabajo permanentes y temporales a ser generados en las etapas de habilitación y operación .

6.1.2 EFECTOS PREVISIBLES DE LA ACTIVIDAD

En esta parte se identificarán los impactos ambientales previsibles, que se pudieran generar a causa de las actividades de la planta de óxidos. Estos pueden ser positivos y negativos, directos e indirectos.

6.1.2.1 EN LA SALUD HUMANA

Los efectos que podrían producirse por esta actividad, están clasificadas en:

- **Ocupacionales:** estos se pueden presentar por el sistema de trabajo en la actividad. Los elementos de interés que pudieran generar efectos en la salud son:

Polvo: Este se genera en las primeras fases del proyecto, procedente del mineral oxidado , puede causar efectos en la salud, por su contenido de sílice , podría generar la enfermedad de silicosis si no se toman ciertas acciones para la minimización del polvo en el ambiente durante el proceso de chancado.

Gases: Los gases que podrían generarse como resultado de la actividad, son aquellos que contienen azufre por el uso de ácido sulfúrico en la Planta de Lixiviación .Los efectos principales que podrían causar en la salud es la irritación de las mucosas, y en casos extremos la muerte por asfixia , de no tomarse ciertas consideraciones en el manipuleo del ácido sulfúrico y en las actividades cercanas a las canchas de lixiviación que presentan un regado continuo con éste reactivo.

Accidentes: Los accidentes de trabajo, que pudieran ocurrir por la actividad , generan un impacto negativo directo en la salud del trabajador que se clasifican en triviales, incapacitantes y fatales.

- **Propios de las condiciones climáticas:** Los efectos en la salud por estas condiciones, se presentan en las vías bronco – respiratorias.

6.1.2.2. EN LA FLORA Y FAUNA:

El área de estudio no presenta flora, sino que se trata de un paisaje tipo desértico desprovisto de cobertura vegetal, salvo zonas con escasa presentación de cactáceas por lo que las actividades del proyecto no inciden en un impacto negativo considerable. La fauna que se presenta en la zona , son animales silvestres y aves migratorias que podrían verse afectadas por la reducción del área natural de su hábitat o por accidentes.

6.1.2.3 EN LOS ECOSISTEMAS PRESENTES EN EL AREA DE LA ACTIVIDAD

La actividad puede ocasionar alteraciones en los ecosistemas terrestres y acuáticos en niveles variados de intensidad.

- **En los ecosistemas terrestres:** El área de la actividad, no es área agrícola, está desprovista de vegetación y fauna importante , por lo que el impacto que se generaría por el desarrollo de la actividad es insignificante. En el suelo sólo se generaría un impacto negativo importante en situaciones extremas, como rompimiento de la lona impermeabilizada, lo que permitiría el paso del ácido sulfúrico destruyendo la calidad del suelo y el área destinada al ripio procedente de la lixiviación.
- **En los ecosistemas acuáticos:** En el área no existen cuerpos de agua cercanos que pudieran ser perjudicados por las actividades del proyecto.
- **En los recursos hídricos:** El impacto es nulo al no presentarse cuerpos de agua en la zona del proyecto.

6.1.2.4 EN LOS RECURSOS SOCIO - ECONOMICOS

La actividad de la planta de óxidos , no generará impactos negativos en el recurso socio - económico, por el contrario la actividad genera empleo permanente ocupacional para 27

trabajadores aparte de todos los que ya tiene la empresa en todo el sistema productivo.

6.1.3 CONTROL Y MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LA ACTIVIDAD

En resumen, el volumen de solución residual que sale del proceso de cementación conocido como raff es de 480 m³ /día, las que son conducidos a la cancha de relaves desde donde se recuperan para nuevamente entrar a operación de planta. Los depósitos de relaves están depositados en un entorno desértico a una cota de 123 m.s.n.m. con capacidad de almacenamiento de 7'500,000 TM y la distancia mas cercana a la zona agrícola es de 1.600 m. y el canal mas cercano está en una cota de 33 m.s.n.m. lo que nos da una diferencia de alturas de 90 m. teniendo entonces que las contaminaciones de la napa acuífera por residuos de soluciones recuperadas es mínimo.

- Medidas para el control del ruido: Las actividades que generan ruido en el proceso del proyecto de la Planta de Oxidos de Cobre, son aquellas de las fases iniciales de chancado cuyo cálculo aproximado es de 100 dB, constituyendo un impacto directo en el trabajador. La medida de mitigación inmediata es el uso de protectores auditivos a los trabajadores.
- Medidas para la protección de la actividad en los sistemas naturales circundantes: En el sistema terrestre e hídrico, no hay impacto significativo como ya se mencionó anteriormente, sólo se produce una reducción del área del hábitat natural; sin embargo es importante destacar que el suelo si sufrirá una degradación significativa en el área de las canchas de lixiviación, si la lona impermeabilizada se deteriora y dejara pasar el ácido sulfúrico, por lo que se recomienda hacer un control estricto de caudales, a fin de detectar cualquier escape y determinar el tiempo de vida de esta lona. Otra área que sufriría una degradación significativa es la zona de acumulación del ripio, procedente de la cancha de lixiviación, donde se debe tener en cuenta el sistema de control a

emplearse en su acumulación. En el área de estudio, no se presentan cuerpos de agua, sin embargo deben tenerse en cuenta los controles de caudales mencionados, porque de lo contrario, al contaminarse el suelo con el ácido sulfúrico, éste podría llegar a la napa freática, aunque esta se encuentra muy alejada de la superficie del área destinado a la lixiviación.

En el sistema aire, las áreas afectadas son aquellas localizadas en la operación del chancado. Una medida apropiada es la de efectuar riegos con agua para mitigar la acción del polvo, y es importante el uso de mascarillas protectoras para los trabajadores de este área. Las demás emisiones gaseosas son irrelevantes. A continuación se muestra un cuadro resumido, especificando los impactos y las medidas de control para proteger los sistemas circundantes

HABITAT	IMPACTO	MEDIDA
SISTEMA TERRESTRE	Rompimiento de la lona impermeabilizada afectaría el suelo. Acumulación de ripio	Control estricto de caudales Efectivas medidas de acumulación
SISTEMA HIDRICO	Rompimiento de la lona impermeabilizada afectaría napa freática	Control estricto de caudales Control del proceso
SISTEMA AIRE	Emisión de partículas finas	Riego del mineral Uso de mascarillas Control del proceso de chancado.

- Descripción del área de disposición de soluciones de desecho y del tipo de tratamiento a aplicarse a estas soluciones de desecho:

En el proceso industrial, no se considera solución de desecho, el rebose que pueda originarse será recirculado a la última etapa del proceso a la zona de depósito de solución lixivante para la aglomeración. Por otro lado, las aguas de desecho doméstico generadas por los servicios higiénicos en el área de la actividad irán a un pozo séptico donde recibirán el tratamiento respectivo.

- Medidas para evitar la contaminación de la napa freática por pozos sépticos: La localización del pozo séptico se ha realizado teniendo en consideración un lugar apropiado. El efluente proveniente de este pozo irá conectado a la red de desagüe del campamento cuyo destino final será la laguna de oxidación.
- Descripción del área de almacenaje y métodos de almacenaje, transporte y disposición de desechos tóxicos: El material sólido resultante del proceso de lixiviación será destinado a un área cercano al Norte de la Planta Concentradora. Es el único que podría considerarse como un desecho (ripió) significativamente tóxico por la calidad de este material depositado (CuOx :0.25% y pH: 5-6).
- Medidas y/o equipos utilizados para el control de la contaminación del aire: El impacto que se produciría en el aire, es en la etapa de chancado para lo cual una medida efectiva es el riego en esta zona y el uso de mascarillas por los trabajadores. Los gases generados en la época calurosa y poco viento son los provenientes de la evaporación del regadío de la solución con ácido sulfúrico y éstos son mínimos en la zona no produciendo impacto en el medio.

6.2 RESUMEN DE LA APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL PROCESO PRODUCTIVO

El total del efluente del proceso productivo de la planta de óxidos, generado por la decantación natural de la obtención del cemento de cobre, reingresa al circuito, cuya solución ácida se destina al tanque de almacenamiento de solución lixivante para la aglomeración.

El acondicionamiento de las canchas de lixiviación , se están efectuando con condiciones técnicas las cuales no sólo dan seguridad al proceso, sino al medio, donde se encuentran emplazadas.

Los elementos polucionantes , generados por el proceso como ruidos, polvos o gases, tienen una relativa significación, y están

siendo controlados en la operación. Solamente el desecho sólido generado de las canchas de lixiviación conocido como ripio, considerando el volumen y la calidad de los óxidos que puedan contener, si es considerado como un aspecto negativo, aunque de poca incidencia en el medio ambiente, si éstos depósitos son controlados técnicamente.

Debido a que el proceso necesita muy poca infraestructura mecanizada , éste reúne condiciones positivas en el medio ambiente , por el bajo incremento del ruido.

Cabe resaltar que también la seguridad del trabajador se esta considerando en el sistema productivo, como medida de seguridad, se imparte charlas sobre la manipulación del ácido sulfúrico concentrado ó Q.P. (en tanques de almacenamiento y el tambor aglomerador) o en soluciones (lixivante, rica, raffo residual entre otras) eliminando todas las condiciones inseguras para evitar los accidentes por quemadura con éste reactivo.

CAPITULO VII

ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

La evaluación económica del proyecto , implicaría tener que reparar las chancadoras primaria y secundaria así como adquirir los accesorios para instalar un dosificador de solución de cloruro de sodio , cuyos costos de inversión, no son considerables comparados con la reducción del consumo del ácido sulfúrico de 86.00 a 75.41 Kg/TM y el incremento en las extracciones de cobre de 84.65% a 92.15%, según la proyección que nos da el pilotaje . Se considera para el escalamiento industrial una extracción de cobre de 90% y una ley de cemento de 82.50%, para lo cual se realizaron las evaluaciones económicas a condiciones antes y después de la optimización.

7.1 EVALUACION ECONOMICA A CONDICIONES ANTES DE LA OPTIMIZACION

La evaluación económica se estima con una diferencia sencilla entre los valores que se consideran ingresos (valor del mineral) y los egresos (costos de operación) para las condiciones antes de la optimización, para lo cual debemos hallar el valor del mineral.

7.1.1. VALOR DEL MINERAL ANTES DE LA OPTIMIZACION

De los datos de la operación sin optimización, tenemos:

TRATAMIENTO (TM)	12000.00
LEY DE MINERAL (%)	1,15
RECUPERACION (%)	84,65
COBRE FINO EN CABEZA (TM)	138,00
COBRE FINO LIXIVIADO (TM)	116,82
EFICIENCIA CEMENTACION (%)	98,00
COBRE FINO EN CEMENTO (TM)	114,48
LEY DE CEMENTO (%)	78,50
CEMENTO PRODUCIDO (TM)	145,84
COBRE FINO EN CEMENTO (lbs)	252388,64
PAGO DEL COBRE (%)	99,00
PRECIO DEL COBRE (US\$/lb)	0,71

DEDUCCIONES O DESCUENTOS	US\$	US\$/TM cem.
TRANSPORTE DE CEMENTO	1053,25	7,22
GASTOS TRATAMIENTO: MAQUILA	24110,94	165,33
GASTOS DE REFINACION	24986,48	171,34
TOTAL DEDUCCIONES	50150,67	343,89

Los cálculos se detallan a continuación

A.- Radio de producción del cobre

0,0124 TM cem./ TM mineral

B.- Valorización del cemento (Base una tonelada)

B.1 Pago por el contenido de cobre

1215,367 US \$ / TM cem.

B.2 Pago por el cemento de cobre: (B.1–deducciones - maquila)

871,481 US \$ / TM cem.

C. Valor del mineral_ (B.2 x A)

10,807 US \$ / TM

7.1.2. COSTOS OPERATIVOS ANTES DE LA OPTIMIZACION

En esta parte del estudio, calcularemos tanto costos de mina como de planta.

COSTO MINA	US\$	US\$/TM
MINERAL OXIDADO	6000,00	0,50

REQUERIMIENTOS	CONSUMO (*)	PRECIO UNITARIO US\$/(*)	COSTO TOTAL US\$	COSTO UNITARIO US\$/TM	% DISTRIB.
REACTIVOS					
ACIDO SULFURICO (TM)	1032,00	45,00	46440,00	3,87	42,25
CHATARRA HIERRO (TM)	129,00	95,65	12338,85	1,03	11,23
SUMINISTROS					
ENERGIA (KwHr.)	60511,10	0,06	3721,43	0,31	3,39
AGUA (m ³)	12535,00	0,17	2130,95	0,18	1,94
TRANSPORTE (TM)	12000,00	2,00	24000,00	2,00	21,83
MANO DE OBRA					
OPERARIOS			11625,00	0,97	10,58
SUPERVISORES			4493,00	0,37	4,09
MANTENIMIENTO			5167,00	0,43	4,70
TOTAL REQUERIMIENTOS			109916,23	9,16	100,00

(*): representa la unidad de manejo de los insumos.

7.1.3 UTILIDAD OPERATIVA ANTES DE LA OPTIMIZACION

El valor del mineral menos los costos operativos, originan un margen de:

US \$ 1,147 / TM

Lo que multiplicado por la producción mensual, hace un ingreso de :

US \$ 13764,00

Sin considerar los costos administrativos.

7.2 EVALUACION ECONOMICA A CONDICIONES DESPUES DE LA OPTIMIZACION

La evaluación económica se realiza por una diferencia sencilla de los valores que se consideran ingresos (valor del mineral) y los egresos (costos de operación) para las condiciones después de la optimización, para lo cual debemos hallar el valor del mineral.

7.2.1. VALOR DEL MINERAL DESPUES DE LA OPTIMIZACION

Para este efecto tenemos los datos de operación optimizada:

TRATAMIENTO (TM)	12000.00
LEY DE MINERAL (%)	1,15
RECUPERACION (%)	90,00
COBRE FINO EN CABEZA (TM)	138,00
COBRE FINO LIXIVIADO (TM)	124,20
EFICIENCIA CEMENTACION (%)	98,00
COBRE FINO EN CEMENTO (TM)	121,72
LEY DE CEMENTO (%)	82,50
CEMENTO PRODUCIDO (TM)	147,53
COBRE FINO EN CEMENTO (lbs)	268339,96
PAGO DEL COBRE (%)	99,00
PRECIO DEL COBRE (US\$/lb)	0,71

DEDUCCIONES O DESCUENTOS	US\$	US\$/TM cem.
TRANSPORTE DE CEMENTO	1065,53	7,22
GASTOS TRATAMIENTO: MAQUILA	24391,89	165,33
GASTOS DE REFINACION	26565,66	180,06
TOTAL DEDUCCIONES	52023,08	352,62

Los cálculos se detallan a continuación

A.- Radio de producción del cobre

0,0125 TM cem. / TM

B.- Valorización del cemento (Base una tonelada)

B.1 Pago por el contenido de cobre

1277,296 US \$ / TM cem.

B.2 Pago por el cemento de cobre: (B.1–deducciones -maquila)

924,680 US \$ / TM cem.

D. Valor del mineral (B.2 x A)

11,601 US \$ / TM

7.2.2. COSTOS OPERATIVOS DESPUES DE LA OPTIMIZACION

En esta parte del estudio, calcularemos tanto costos de mina como de planta, en este último los costos de inversión para la instalación

del dosificador de cloruro de sodio y la reparación de las dos chancadoras en uso.

COSTO MINA	US\$	US\$/TM
MINERAL OXIDADO	6000,00	0,50

REQUERIMIENTOS	CONSUMO (*)	PRECIO UNITARIO US\$/(*)	COSTO TOTAL US\$	COSTO UNITARIO US\$/TM	% DISTRIB.
REACTIVOS					
ACIDO SULFURICO (TM)	905,40	45,00	40743,00	3,40	38,15
CLORURO DE SODIO (TM)	72,00	35,00	2520,00	0,21	2,36
CHATARRA HIERRO (TM)	120,50	95,65	11525,83	0,96	10,79
SUMINISTROS					
ENERGIA (KwHr.)	60711,10	0,06	3733,73	0,31	3,50
AGUA (m ³)	12585,00	0,17	2139,45	0,18	2,00
TRANSPORTE (TM)	12000,00	2,00	24000,00	2,00	22,47
MANO DE OBRA					
OPERARIOS			11625,00	0,97	10,89
SUPERVISORES			4493,00	0,37	4,21
MANTENIMIENTO			5167,00	0,43	4,84
OTROS			850,00	0,07	0,80
TOTAL REQUERIMIENTOS			106797,01	8,90	100,00

(*): representa la unidad de manejo de los insumos.

7.2.3 UTILIDAD OPERATIVA DESPUES DE LA OPTIMIZACION

El valor del mineral menos los costos operativos, originan un margen de:

US \$ 2,201 / TM

Lo que multiplicado por la producción mensual, hace un ingreso de :

US \$ 26412,00

Sin considerar los costos administrativos.

COSTOS DE INVERSION

EQUIPOS REQUERIDOS	US\$
TANQUE AGITADOR Y ACCESORIOS	2500,00
FLUJOMETROS AUTOMATICOS (4)	4000,00
CHANCADORAS: QUIJADAS Y CONICA	6000,00
TOTAL COSTO DE INVERSION	12500,00

7.3 EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

Luego de los estudios realizados, restando ambos ingresos netos, tendremos:

12648,00 U\$

Valor que representa el incremento en la utilidad neta proyectada que se obtendría después de la optimización.

Por consiguiente el estudio de optimización puesto a escala industrial, nos daría la utilidad neta operativa mencionada, lo que hace factible la amortización de los costos de inversión en el primer mes de su puesta en marcha. El incremento en la utilidad neta podrá mejorarse a medida que se reduzca el consumo de ácido sulfúrico y la chatarra de hierro.

Por tanto a este estudio concierne, se cumplió con uno de los objetivos buscados, el de reducir el consumo de ácido sulfúrico por constituir el costo operativo más elevado en la producción (porcentaje del costo reducido del 42,25% a 38,15%) y por consiguiente también reducir el consumo de chatarra de hierro de 11,23% a 10,79%.

CONCLUSIONES

1. Las pruebas de agitación y lixiviación en columna, permiten evaluar la acción de la dosificación del NaCl en el curado logrando mejorar las extracciones del cobre con menores consumos de H₂SO₄ a las condiciones óptimas, determinadas a partir del manejo de variables tales como: reducción del tamaño de partícula, incremento de la concentración del H₂SO₄ y NaCl en el curado, tiempo de reposo, tiempo de agitación y flujo unitario de riego.
2. El valor de la humedad de 7 % es la óptima, porque un defecto de éste valor, no permitirá que exista un medio para la difusión del H₂SO₄ a través de las zonas reactivas de los minerales de cobre; y un exceso de la humedad eliminaría la unión de las fuerzas interfaciales del aglomerado provocando la pérdida de la estabilidad física y formando una suspensión sólida - líquida.
3. El tiempo de reposo óptimo es de 12 horas, tiempo suficiente para crear una buena porosidad del lecho a lixiviar y que favorece la oxigenación, además de agilizar el carguío de las pilas de lixiviación, es el tiempo mínimo que permite que el ácido concentrado entre en contacto con el mineral sólo el tiempo necesario para no disolver elementos contaminantes tales como el hierro o aluminio.
4. El tamaño de partícula óptimo es el de ¼ " , donde se mejora la velocidad de reacción en el curado porque presenta mas superficie libre , que permite una mejor difusión del H₂SO₄ hacia las zonas reactivas (acción química y difusional en el curado – aglomerado - lixiviación), también permite obtener aglomerados muy estables físicamente (acción física del NaCl en el curado).
5. Se modelaron con ajustes cinéticos las columnas de lixiviación a nivel laboratorio, demostrando que el orden decreciente de predominancia de los mecanismos cinéticos de control, es el siguiente: **M.R.D.C.** >

M.L. > M.R.T., por lo cual queda demostrado que la lixiviación de minerales oxidados de cobre, obedece la cinética mixta: Modelo de Reacción a Difusión Controlada, por que se están formando capas protectoras o productos de reacción, que pasivan la reacción química, para dar paso a la difusión del ácido sulfúrico hacia el centro de reacción de los minerales en cuestión, y con una aproximación del Modelo Poblacional, que sirve para explicar los cambios de curvatura de la curva de extracción experimental (crecimiento rápido seguido de otro limitado).

6. Los modelos cinéticos que son mecanismos de control cinético de primer orden (Modelo Reacción Topoquímica y Modelo Lineal), en la generalidad de los casos gobiernan los primeros 4 o 5 días de lixiviación dando paso al modelo de reacción a difusión controlada con aproximación al modelo Poblacional, que son los que gobiernan todo el período de lixiviación y que involucra, por ser una cinética mixta, la cinética de primer orden especialmente la reacción topoquímica.
7. Las variables de estudio en las condiciones de operación no influyen significativamente en la modelación cinética de las columnas de lixiviación estudiadas, salvo el mayor o menor acercamiento de la aproximación del Modelo Poblacional a los resultados experimentales.
8. Se incrementaría la utilidad neta operativa sin considerar gastos administrativos en **US \$ 12648**, a partir de un escalamiento industrial porque se disminuiría el consumo de ácido total de 42,25% a 38,15% y la chatarra de hierro de 11,23% a 10,79%, del total de los gastos operativos.

RECOMENDACIONES

1. Mantener la granulometría del chancado de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ ", para lo cual la chancadora secundaria necesita una reparación total.
2. Instalar flujómetros automáticos para agua, ácido sulfúrico y solución de cloruro de sodio, así como también el dosificador de solución de cloruro de sodio en la sección de aglomerado, para mantener la dosificación mínima necesaria de éstos reactivos en las condiciones óptimas determinadas.
3. Reducir a una cantidad mínima la concentración del ácido residual en la solución lixivante, rica y raff (0.5 gr/lit); para evitar la contaminación con hierro principalmente.
4. Estudiar la forma parcial de reemplazar el riego por aspersion por el riego por goteo, principalmente en las faldas de los pads, para evitar la oxidación y obtener un mayor tiempo de contacto de la solución ácida con el mineral.
5. Hacer lavados alcalinos al cemento de cobre durante la filtración, para evitar la precipitación de la goethita y jarosita.
6. El mineral curado debe ser cubierto para mantener la alta temperatura de reacción (230 ° C) de la reacción exotérmica generada, por el ataque del mineral con ácido sulfúrico.
7. Implementar un laboratorio de investigación en la planta de óxidos para realizar evaluaciones permanentes de las condiciones operativas.
8. Estudiar la posibilidad de darle otro tratamiento a los minerales oxidados de cobre en Condestable, por tener en su mayoría sulfuros primarios de cobre y hierro; como es el caso de la calcopirita, mineral refractario principal, que puede ser beneficiado por lixiviación bacteriana; otra alternativa de mayor aporte económico sería,

favorecer la acción bacterial, retratando la solución raff o residual con una fuerte agitación y aireación a una alta acidez (pH = 1-2), para su reutilización como solución lixivante (aprovechando la formación de Fe^{+3} a partir de Fe^{+2} presente en la solución raff).

9. Realizar estudios para la instalación de una planta de extracción por solventes y electro - refinación, y producir cobre electrolítico que bajarían los altos costos de maquila en la comercialización del cemento de cobre.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ph D. H. H. Haung, ph D. L. E. Twidwel, ph D. J. D. Millar. Hidrometalurgia tomos I y II, primera edición.
- [2] Pablo Schmidt N., revista de minerales # 174, lixiviación T. L. : hidrometalurgia del flujo de soluciones en lechos porosos no saturados, Concepción Chile, 1986.
- [3] J. B. Hiskey Newsletter International Heap and dump leaching: "the reniassance of copper in solution mining" , , vol. 3, articulo # 2, USA, 1986.
- [4] Tilyard N., Process Mining Sc. : Copper cementation and its application in the leach -precipitation - flotation process Engineering, 1973, vol. 5
- [5] Corporación Nacional del Cobre de Chile, Revista Minería Chilena No 72: Aplicación de la lixiviación en minerales pre - tratados, Chuqui - Sur , Marzo 1987.
- [6] Hans Hein S Revista minerales # 141, Generalidades sobre proceso de producción de sulfato de cobre a nivel de pequeña y mediana minería.
- [7] Conferencia anual de metalurgistas : " Dificultades en la aplicación de procesos de lixiviación de película delgada (TL) para la extracción del cobre"
Quebec - Canadá, Enero 1984, pag. 48 – 53
- [8] John Von Essen, Revista técnica de la Sociedad Minera Padahuel # 32023,: Curado de minerales oxidados de cobre con granulometria fina, Antofagasta -- Chile, Agosto de 1988.

- [9] John Von Essen, Revista Técnica de la Empresa Nacional de Minería: Procesos mejorados en la extracción hidrometalúrgica del cobre - CODELCO Chile, Agosto 1988.
- [10] Fidel Misari Ch., Biohidrometalurgia : "Tecnología de la lixiviación bacteriana de minerales, Lima - Perú, 1987, capítulos I al IV
- [11] Jaime Raúl F., Mining magazine: Over century of bioleaching copper sulfhides at Andacolla - Chile, Nov. 1989.
- [12] Esteban Domic Resultados técnicos económicos de la operación industrial del proceso T.L. en Chile, 1989, páginas 48-53.
- [13] Zenón Rutti Lazo, Manual de Construcción de diagramas de metalurgia extractiva, Primera Edición, 1992.
- [14] E. Domic ,T.L. Leaching Process Recent Aplicattions to difficult - to - Treat Copper Ones", 23rd Annual Conference of Metallurgist CIM, Quebec - Canada, Aug. 20, 1989.
- [15] V. Astucuri T. Principios de Hidrometalurgia y Algunas Aplicaciones Fundamentales, Editorial Gol SRLtda. Lima, Junio 1984.
- [16] Ms.Sc.Luis y Juan Chia Aquije (traductores) Ph. D.H.H. Haung, Ph. D.L.G. Twidwel y Ph D.J.D. Miller : Hidrometalurgia Tomos I y II

A N E X O N° 1

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN COLUMNAS

ANEXO 1

PRUEBAS EXPERIMENTALES EN COLUMNAS

SERIE A: EFECTO DE LA VARIACION DEL TIEMPO DE REPOSO

COLUMNA 1-A

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOLUMEN	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM acum.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.60	25.00				90.00	90.00					0.00	0.00	0.09	9.00	
1			0.95	4.12			90.00	0.95	4.12	3.91	3.91	3.40	3.40	0.00	9.00	22.99
2	3.60	25.00	1.41	6.89		90.00	180.00	2.36	5.77	9.71	13.63	8.45	11.85	0.09	18.00	13.21
3			1.46	6.22			180.00	3.82	5.95	9.08	22.71	7.90	19.75	0.00	18.00	7.93
4	3.60	25.00	1.32	5.82	0.69	89.09	269.09	5.14	5.91	7.68	30.39	6.68	26.43	0.09	26.91	8.85
5			1.31	6.05	0.74		269.09	6.45	5.94	7.93	38.32	6.89	33.32	0.00	26.91	7.02
6	3.60	25.00	2.02	5.98	0.97	88.04	357.13	8.47	5.95	12.08	50.40	10.50	43.82	0.09	35.71	7.09
7			2.29	5.68	1.28		357.13	10.76	5.89	13.01	63.40	11.31	55.13	0.00	35.71	5.63
8	3.60	10.00	1.52	4.16	0.86	34.69	391.82	12.28	5.68	6.32	69.73	5.50	60.63	0.03	39.18	5.62
9			1.29	3.98	1.12		391.82	13.57	5.52	5.13	74.86	4.46	65.10	0.00	39.18	5.23
10	3.60	5.00	1.65	1.34	1.04	16.28	408.11	15.22	5.06	2.21	77.07	1.92	67.02	0.02	40.81	5.30
11			2.14	0.77	0.98		408.11	17.36	4.53	1.65	78.72	1.43	68.45	0.00	40.81	5.18
12	3.60	5.00	1.87	0.47	0.86	16.39	424.50	19.23	4.14	0.88	79.60	0.76	69.22	0.02	42.45	5.33
13							424.50	19.23	4.14		79.60	0.00	69.22	0.00	42.45	5.33
14	3.60	10.00	1.46	0.7	0.96	34.60	459.10	20.69	3.9	1.02	80.62	0.89	70.11	0.03	45.91	5.69
15			1.85	0.31	0.96		459.10	22.54	3.6	0.57	81.20	0.50	70.60	0.00	45.91	5.65
16			1.52	0.33	0.96		459.10	24.06	3.4	0.50	81.70	0.44	71.04	0.00	45.91	5.62
17	1.80		1.66	0.58	0.92		459.10	25.72	3.21	0.96	82.66	0.84	71.88	0.00	45.91	5.55
18			1.68	0.47	0.92		459.10	27.40	3.05	0.79	83.45	0.69	72.56	0.00	45.91	5.50
19			0.12	0.65	0.42		459.10	27.40	3.04	0.08	83.53	0.07	72.63	0.00	45.91	5.50
									TOTAL	83.53		72.63		0.46		

COLUMNA 2-A

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado	H ₂ SO ₄ acum.	VOLUMEN acum.sal.	COMP. Cu	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM acum.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.60	25.00				290.00	290.00					0.00	0.00	0.29	29.00	0.00
1			1.30	15.30			290.00	1.30	15.30	19.89	19.89	16.71	16.71		29.00	14.58
2	3.60	25.00	1.00	10.37	1.50	88.50	378.50	2.30	13.12	10.37	30.26	8.71	25.43	0.09	37.85	12.51
3			1.66	8.62	0.90		378.50	3.96	11.24	14.31	44.57	12.02	37.45		37.85	8.49
4	3.60	25.00	1.28	5.03	1.26	88.80	467.30	5.24	9.72	6.44	51.01	5.41	42.86	0.09	46.73	9.16
5			1.56	4.57	0.94		467.30	6.80	8.54	7.13	58.14	5.99	48.85		46.73	8.04
6	3.60	25.00	0.16	4.38	0.95	89.86	557.16	6.96	8.44	0.70	58.84	0.59	49.44	0.09	55.72	9.47
7			2.42	4.13	0.87		557.16	9.38	7.33	9.99	68.83	8.40	57.84		55.72	8.09
8	3.60	10.00	1.15	3.91	0.60	35.18	592.34	10.53	6.96	4.50	73.33	3.78	61.62	0.04	59.23	8.08
9			1.90	2.26	0.71		592.34	12.43	6.24	4.29	77.62	3.61	65.23		59.23	7.63
10	3.60	5.00	1.44	1.56	0.58	17.11	609.45	13.87	5.75	2.25	79.87	1.89	67.12	0.02	60.94	7.63
11			1.99	1.35	0.62		609.45	15.86	5.2	2.69	82.56	2.26	69.37		60.94	7.38
12	3.60	5.00	1.25	0.91	0.41		609.45	17.11	4.89	1.14	83.69	0.96	70.33		60.94	7.28
13			1.45	0.84	0.45		609.45	18.56	4.57	1.22	84.91	1.02	71.35		60.94	7.18
14	3.60	10.00	0.98	0.98	0.34		609.45	19.54	4.39	0.96	85.87	0.81	72.16		60.94	7.10
									TOTAL	85.87		72.16		0.61		

COLUMNA 3-A

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOLUMEN	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM acum.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.60	20.00				272.00	272.00					0.00	0.00	0.27	27.20	0.00
1			1.05	17.06			272.00	1.05	17.06	17.91	17.91	11.78	11.78		27.20	15.18
2	3.60	20.00	1.82	11.65		72.00	344.00	2.87	13.63	21.20	39.12	13.95	25.73	0.07	34.40	8.79
3			1.40	8.81			344.00	4.27	12.05	12.33	51.45	8.11	33.85		34.40	6.69
4	3.60	20.00	2.71	4.72	0.80	69.83	413.83	6.98	9.20	12.79	64.24	8.42	42.26	0.07	41.38	6.44
5			1.90	3.73	0.60		413.83	8.88	8.03	7.09	71.33	4.66	46.93		41.38	5.80
6	3.60	20.00	1.56	3.17	0.42	71.34	485.18	10.44	7.31	4.95	76.27	3.25	50.18	0.07	48.52	6.36
7			1.90	2.84	0.40		485.18	12.34	6.62	5.40	81.67	3.55	53.73		48.52	5.94
8	3.60	20.00	1.57	2.56	0.51	71.20	556.38	13.91	6.16	4.02	85.69	2.64	56.37	0.07	55.64	6.49
9			1.21	2.48	0.70		556.38	15.12	5.87	3.00	88.69	1.97	58.35		55.64	6.27
10	3.60	20.00	1.83	2.27	0.52	71.05	627.42	16.95	5.48	4.15	92.84	2.73	61.08	0.07	62.74	6.76
11			1.06	1.94	0.48		627.42	18.01	5.27	2.06	94.90	1.35	62.43		62.74	6.61
12	3.60	19.00	2.06	1.72	0.43	67.51	694.94	20.07	4.90	3.54	98.44	2.33	64.77	0.07	69.49	7.06
13			1.77	1.85	0.45		694.94	21.84	4.66	3.27	101.72	2.15	66.92		69.49	6.83
14	3.60	15.00	1.78	1.42	0.62	52.90	747.84	23.62	4.41	2.53	104.25	1.66	68.58	0.05	74.78	7.17
15			1.42	1.33	0.74		747.84	25.04	4.24	1.89	106.13	1.24	69.82		74.78	7.05
16	3.60	15.00	1.81	1.04	0.61	52.90	800.73	26.85	4.02	1.88	108.02	1.24	71.06	0.05	80.07	7.41
17			2.22	1.21	0.51		800.73	29.07	3.81	2.69	110.70	1.77	72.83		80.07	7.23
18	1.80	5.00	1.67	1.34	0.72	7.80	808.53	30.74	3.67	2.24	112.94	1.47	74.30	0.01	80.85	7.16
19	1.80		1.60	1.14	0.58		808.53	32.34	3.55	1.82	114.76	1.20	75.50		80.85	7.05
									TOTAL	114.76		75.50		0.81		

SERIE B: EFECTO DE LA VARIACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA Y EL TIEMPO DE REPOSO

COLUMNA 1-B

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado grs.	H ₂ SO ₄ acum. grs.	VOL. acum.sal. lt.	COMP. Cu gr/lt.	COMP. H ₂ SO ₄ gr/lt.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄			
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.						grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.	
0	8.00	25.00	0.00	0.00	0.00	825.00	825.00								0.83	33.00		
1	7.50	20.00	4.07	25.31	2.94	138.03	963.03								0.14			
2	7.25	20.00	2.40		1.40	141.64	1104.67								0.14	5.67		
3							1104.67											
4	7.50	18.00	6.94	17.1	1.20	126.67	1231.35								0.13	5.07		
5	7.00	18.00	5.93	13.24	0.82	121.14	1352.48	5.93	13.24	0.82	78.51	78.51	30.49	30.49	0.12	4.85	17.23	
6	7.00	16.00	6.69			112.00	1464.48								0.11	4.48		
7	7.00	16.00	6.66	9.8	0.96	105.61	1570.09								0.11	4.22		
8							1570.09											
9	7.00	15.00	6.38	10	0.91	99.19	1669.28								0.10	3.97		
10	7.00	15.00	6.54		0.62	100.95	1770.23								0.10	4.04		
11	7.00	12.00	6.56	8.83	0.75	79.08	1849.31	12.49	10.92	0.75	57.92	136.44	22.50	52.99	0.08	3.16	13.55	
12							1849.31											
13	6.50	12.00	6.79	5.88	0.53	74.40	1923.71	19.28	9.15	0.53	39.93	176.36	15.50	68.49	0.07	2.98	10.91	
14	6.07	10.00	5.97		0.64	56.88	1980.59								0.06	2.28		
15	6.00	10.00	3.44		0.92	56.84	2037.43								0.06	2.27		
16							2037.43											
17	7.00	2.96	5.73	2.14	0.86	15.79	2053.22	25.01	7.54	0.86	12.26	188.63	4.76	73.25	0.02	0.63	10.89	
18							2053.22											
19			6.96	1.03	0.38	-2.64	2050.57	31.97	6.12	0.38	7.17	195.79	2.78	76.04	0.00	-0.11	10.47	
											TOTAL			76.03		2.05	76.51	

COLUMNA 2-B

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	9.00	25.00	0.00	0.00	0.00	850.00	850.00								0.85	34.00	
1	7.00	20.20	4.17	31.50	2.37	131.52	981.52								0.13	5.26	
2	6.65	20.00	4.08		1.12	128.43	1109.95								0.13	5.14	
3						0.00	1109.95										
4	7.00	18.00	6.57	18.40	0.58	122.19	1232.14								0.12	4.89	
5	7.00	17.80	6.29	14.20	0.63	120.64	1352.77	6.29	14.20	0.63	89.32	89.32	33.39	33.39	0.12	4.83	15.15
6	7.00	15.00	6.71		0.73	100.10	1452.88								0.10	4.00	
7	7.00	15.00	6.38	9.40	0.72	100.41	1553.28								0.10	4.02	
8						0.00	1553.28										
9	7.00	15.00	6.55	10.20	0.67	100.61	1653.89								0.10	4.02	
10	7.00	14.60	6.45		0.50	98.98	1752.87								0.10	3.96	
11	7.00	13.00	6.50	9.83	0.37	88.60	1841.46	12.79	11.98	0.37	63.90	153.21	23.89	57.28	0.09	3.54	12.02
12						0.00	1841.46										
13	7.00	12.00	6.78	7.37	0.63	79.73	1921.19	19.57	10.38	0.63	49.97	203.18	18.68	75.96	0.08	3.19	9.46
14	6.07	12.00	4.89		0.61	69.86	1991.05								0.07	2.79	
15	6.25	10.00	1.83		0.52	61.55	2052.60								0.06	2.46	
16						0.00	2052.60										
17	7.00					0.00	2052.60										
18		2.96	2.78	3.20	0.48	-1.33	2051.26	22.35	9.49	0.48	8.90	212.08	3.33	79.28	0.00	-0.05	9.67
19			3.02	1.21	0.41	-1.24	2050.03	25.37	8.5	0.41	3.65	215.73	1.37	80.65	0.00	-0.05	9.50
										TOTAL			80.65		2.05	82.00	

COLUMNA 3-B

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado	H ₂ SO ₄ acum.	VOL. acum.sal.	COMP. Cu	COMP. H ₂ SO ₄	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	9.00	25.00				850.00	850.00								0.85	34.00	
1	7.00	20.30	3.85	33.98	2.58	132.17	982.17								0.13	5.29	
2	6.84	20.00	2.50		1.25	133.68	1115.84								0.13	5.35	
3							1115.84										
4	7.00	17.80	6.18	19.50	0.80	119.66	1235.50								0.12	4.79	
5	7.00	18.00	6.67	15.67	0.47	122.87	1358.36	6.67	15.67	0.47	104.52	104.52	39.07	39.07	0.12	4.91	13.00
6	7.00	15.00	6.69		0.69	100.38	1458.75								0.10	4.02	
7	7.00	15.00	6.51	12.30	0.52	101.61	1560.36								0.10	4.06	
8							1560.36										
9	7.00	14.80	6.40	11.88	0.76	98.74	1659.10								0.10	3.95	
10	7.00	15.00	6.55		0.60	101.07	1760.17								0.10	4.04	
11	7.00	13.10	6.73	8.84	1.08	84.43	1844.60	13.40	12.24	1.08	59.49	164.01	22.24	61.31	0.08	3.38	11.25
12							1844.60										
13	7.00	13.00	6.74	4.52	0.82	85.47	1930.07	20.14	9.66	0.82	30.46	194.48	11.39	72.70	0.09	3.42	9.92
14	6.35	12.00	6.25		0.73	71.64	2001.71								0.07	2.87	
15	6.14	12.00	5.54		0.39	71.52	2073.23								0.07	2.86	
16							2073.23										
17	7.00	2.81	3.95	3.46	0.63	17.18	2090.41	24.09	8.64	0.63	13.67	208.14	5.11	77.81	0.02	0.69	10.04
18							2090.41										
19			4.73	2.16	0.56	-2.65	2087.76	28.82	7.58	0.56	10.22	218.36	3.82	81.63	0.00	-0.11	9.56
											TOTAL			81.63		2.09	83.50

UMNA 4-B

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum.	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	9.00	24.90				849.10	849.10								0.85	33.96	
1	7.00	20.10	3.39	33.54	1.07	137.07	986.17								0.14	5.48	
2	6.98	20.00	4.90		0.90	135.19	1121.36								0.14	5.41	
3							1121.36										
4	7.00	18.00	6.49	19.60	0.80	120.81	1242.17								0.12	4.83	
5	7.00	18.00	6.40	13.88	0.70	121.52	1363.69	6.40	13.88	0.70	88.83	88.83	32.60	32.60	0.12	4.86	15.35
6	7.00	14.90	6.76		0.60	100.24	1463.93								0.10	4.01	
7	7.00	15.00	6.46	9.30	0.96	98.80	1562.73								0.10	3.95	
8							1562.73										
9	7.00	14.90	6.44	10.60	0.53	100.89	1663.62								0.10	4.04	
10	7.00	15.00	6.59		0.41	102.30	1765.92								0.10	4.09	
11	7.00	13.00	6.48	9.94	0.98	84.65	1850.57	12.88	12.24	0.98	64.41	153.24	23.64	56.24	0.08	3.39	12.08
12							1850.57										
13	7.00	13.00	6.86	7.70	0.82	85.37	1935.94	19.74	9.66	0.82	52.82	206.07	19.38	75.62	0.09	3.41	9.39
14	5.82	13.00	5.72		0.65	71.94	2007.88								0.07	2.88	
15	6.49	12.00	1.69		0.87	76.41	2084.29								0.08	3.06	
16							2084.29										
17	7.00	2.78	6.08	1.45	0.45	16.72	2101.02	25.82	8.64	0.45	8.82	214.88	3.24	78.86	0.02	0.67	9.78
18							2101.02										
19			6.65	1.23	0.49	-3.26	2097.76	32.47	7.58	0.49	8.18	223.06	3.00	81.86	0.00	-0.13	9.40
										TOTAL			81.86		2.10	83.91	

SERIE C: EFECTO DE LA VARIACION DE LA CONCENTRACION DE H₂SO₄ Y Na Cl

COLUMNA 1-C

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.00	21.00	0.00	0.00	0.00	63.00	281.00	0.000		0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	25.78	0.00
1	2.00	21.00	2.00	24.53	0.00	42.00	323.00	2.00	24.53	49.06	49.06	25.72	25.72	0.04	29.63	6.58
2	2.00	21.00	1.55	10.6	0.00	42.00	365.00	3.55	18.45	16.43	65.49	8.61	34.33	0.04	33.49	5.57
3	2.00	20.00	2.18	6.24	0.00	40.00	405.00	5.73	13.8	13.60	79.09	7.13	41.46	0.04	37.16	5.12
4	2.00	20.00	1.65	3.45	0.00	40.00	445.00	7.38	11.49	5.69	84.79	2.98	44.45	0.04	40.83	5.25
5	2.00	20.00	2.85	3.01	0.00	40.00	485.00	10.23	9.13	8.58	93.36	4.50	48.95	0.04	44.50	5.19
6	2.00	20.00	1.97	2.73	0.00	40.00	525.00	12.20	8.09	5.38	98.74	2.82	51.77	0.04	48.17	5.32
7	2.00	15.00	1.91	2.16	0.66	28.74	553.74	14.11	7.29	4.13	102.87	2.16	53.93	0.03	50.92	5.40
8	2.00	15.00	1.95	2.01	0.39	29.24	582.98	16.06	6.65	3.92	106.79	2.05	55.98	0.03	53.67	5.48
9	2.00	15.00	1.86	2.16	0.51	29.05	612.03	17.92	6.18	4.02	110.81	2.11	58.09	0.03	56.42	5.55
10	2.00	15.00	1.90	1.80	0.66	28.75	640.78	19.82	5.76	3.42	114.23	1.79	59.88	0.03	59.17	5.65
11	2.00	15.00	1.82	1.58	0.62	28.87	669.65	21.64	5.41	2.88	117.10	1.51	61.39	0.03	61.93	5.76
12	2.00	15.00	2.11	1.22	0.73	28.46	698.11	23.75	5.04	2.57	119.67	1.35	62.74	0.03	64.68	5.89
13	2.00	15.00	1.87	1.21	0.44	29.18	727.28	25.62	4.76	2.26	121.94	1.19	63.93	0.03	67.43	6.03
14	2.00	15.00	1.90	1.19	0.59	28.88	756.16	27.52	4.51	2.26	124.20	1.19	65.11	0.03	70.18	6.16
15	2.00	12.00	1.85	1.15	0.62	22.85	779.02	29.37	4.3	2.13	126.33	1.12	66.23	0.02	72.39	6.25
16	2.00	12.00	1.86	1.15	0.48	23.11	802.12	31.23	4.11	2.14	128.47	1.12	67.35	0.02	74.59	6.33
17	2.00	10.00	2.00	0.72	0.58	18.84	820.96	33.23	3.91	1.44	129.91	0.75	68.10	0.02	76.42	6.41
18	2.00	10.00	1.71	1.01	0.41	19.30	840.26	34.94	3.77	1.73	131.63	0.91	69.01	0.02	78.26	6.48
19	3.00	0.00	2.16	0.58	0.69	-1.49	838.77	37.10	3.58	1.25	132.88	0.66	69.66	0.00	78.26	6.42
20	0.00	0.00	3.07	0.76	0.48	-1.47	837.30	40.17	3.37	2.33	135.22	1.22	70.89	0.00	78.26	6.31
									TOTAL	135.22		70.89		0.62		

COLUMNA 2-C

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado	H ₂ SO ₄ acum.	VOL. acum.sal.	COMP. Cu	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	4.00	30.00	0.00	0.00	0.00	120.00	468.00					0.00	0.00	0.12	12.00	0.00
1	2.00	30.00	2.47	20.06	0.00	60.00	528.00	2.47	20.06	49.55	49.55	26.87	26.87	0.06	18.52	10.60
2	2.00	30.00	2.51	11.23	0.72	58.19	586.19	4.98	15.61	28.19	77.74	15.29	42.16	0.06	24.31	7.56
3	2.00	25.00	2.35	7.48	0.75	48.24	634.43	7.33	13	17.58	95.31	9.53	51.69	0.05	29.20	6.69
4	2.00	25.00	1.10	6.97	1.01	48.89	683.32	8.43	12.22	7.67	102.98	4.16	55.85	0.05	34.15	6.68
5	2.00	25.00	2.56	4.17	0.52	48.67	731.99	10.99	10.34	10.68	113.66	5.79	61.64	0.05	39.12	6.49
6	2.00	25.00	1.96	4.02	0.62	48.78	780.77	12.95	9.38	7.88	121.53	4.27	65.91	0.05	44.57	6.48
7	2.00	20.00	1.91	3.09	0.67	38.72	819.49	14.86	8.58	5.90	127.44	3.20	69.11	0.04	48.17	6.50
8	2.00	20.00	1.86	2.67	0.61	38.87	858.36	16.72	7.92	4.97	132.40	2.69	71.80	0.04	52.45	6.56
9	2.00	20.00	1.83	1.55	0.93	38.30	896.66	18.55	7.29	2.84	135.24	1.54	73.34	0.04	56.08	6.71
10	2.00	15.00	1.85	1.44	0.60	28.89	925.55	20.40	6.76	2.66	137.90	1.44	74.78	0.03	59.17	6.80
11	2.00	15.00	1.41	1.17	0.63	29.11	954.66	21.81	6.4	1.65	139.55	0.89	75.68	0.03	62.58	6.94
12	2.00	15.00	2.39	0.86	0.76	28.18	982.84	24.20	5.85	2.06	141.61	1.11	76.79	0.03	65.73	7.05
13	2.00	15.00	1.45	0.84	0.73	28.94	1011.78	25.65	5.57	1.22	142.83	0.66	77.45	0.03	68.16	7.20
14	2.00	15.00	2.39	0.79	0.48	28.85	1040.64	28.04	5.16	1.89	144.71	1.02	78.48	0.03	71.29	7.31
15	2.00	12.00	2.00	0.8	0.56	22.88	1063.52	30.04	4.87	1.60	146.31	0.87	79.35	0.02	73.40	7.40
16	2.00	12.00	1.85	0.82	0.62	22.85	1086.37	31.89	4.64	1.52	147.83	0.82	80.17	0.02	75.80	7.48
17	2.00	10.00	1.92	0.72	0.61	18.83	1105.20	33.81	4.41	1.38	149.21	0.75	80.92	0.02	77.89	7.55
18	2.00	10.20	1.92	0.72	0.52	19.40	1124.60	35.73	4.21	1.38	150.60	0.75	81.67	0.02	79.78	7.61
19	3.00	0.00	1.58	0.65	0.42	-0.66	1123.94	37.31	4.06	1.03	151.62	0.56	82.23	0.00	79.80	7.56
20	0.00	0.00	3.27	0.62	0.61	-1.99	1121.94	40.58	3.79	2.03	153.65	1.10	83.32	0.00	79.84	7.46
									TOTAL	144.71		83.32		0.77		

COLUMNA 3-C

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado	H ₂ SO ₄ acum.	VOL. acum.sal.	COMP. Cu	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	4.00	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	332.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	8.62	0.00
1	2.00	25.00	3.60	18.43	0.00	50.00	382.00	3.60	18.43	66.35	66.35	33.45	33.45	0.05	12.93	5.76
2	2.00	25.00	1.54	8.65	0.00	50.00	432.00	5.14	15.50	13.32	79.67	6.72	40.16	0.05	17.24	5.42
3	2.00	25.00	2.32	5.44	0.86	48.00	480.00	7.46	12.37	12.62	92.29	6.36	46.53	0.05	21.38	5.20
4	2.00	20.00	1.96	5.35	0.61	38.80	518.81	9.42	10.91	10.49	102.78	5.29	51.81	0.04	24.72	5.05
5	2.00	20.00	1.70	4.46	0.54	39.08	557.89	11.12	9.92	7.58	110.36	3.82	55.64	0.04	28.09	5.06
6	2.00	20.00	1.70	3.31	0.74	38.74	596.63	12.82	9.05	5.63	115.98	2.84	58.47	0.04	31.43	5.14
7	2.00	20.00	1.75	3.09	0.80	38.60	635.23	14.57	8.33	5.41	121.39	2.73	61.20	0.04	34.76	5.23
8	2.00	20.00	1.25	2.02	0.60	39.25	674.48	15.82	7.83	2.53	123.92	1.27	62.47	0.04	38.15	5.44
9	2.00	20.00	2.55	2.03	0.54	38.62	713.11	18.37	7.03	5.18	129.09	2.61	65.08	0.04	41.47	5.52
10	2.00	20.00	1.71	1.66	0.82	38.60	751.70	20.08	6.57	2.84	131.93	1.43	66.51	0.04	44.80	5.70
11	2.00	20.00	2.61	1.15	0.63	38.36	790.06	22.69	5.95	3.00	134.93	1.51	68.02	0.04	48.11	5.86
12	2.00	20.00	1.75	1.07	0.48	39.16	829.22	24.44	5.60	1.87	136.81	0.94	68.97	0.04	51.48	6.06
13	2.00	20.00	2.20	1.01	0.42	39.08	868.30	26.64	5.22	2.22	139.03	1.12	70.09	0.04	54.85	6.25
14	2.00	20.00	1.97	0.98	0.67	38.68	906.98	28.61	4.93	1.93	140.96	0.97	71.06	0.04	58.19	6.43
15	2.00	20.00	1.75	0.79	0.78	38.64	945.61	30.36	4.69	1.38	142.34	0.70	71.76	0.04	61.52	6.64
16	2.00	15.00	2.16	0.79	0.72	28.44	974.06	32.52	4.43	1.71	144.05	0.86	72.62	0.03	63.97	6.76
17	2.00	15.00	1.97	0.65	0.55	28.92	1002.97	34.49	4.21	1.28	145.33	0.65	73.26	0.03	66.46	6.90
18	3.00	0.00	2.24	0.47	0.62	-1.39	1001.58	36.73	3.99	1.05	146.38	0.53	73.80	0.00	66.34	6.84
19	0.00	0.00	3.18	0.58	0.51	-1.62	999.96	39.91	3.71	1.84	148.23	0.93	74.73	0.00	66.20	6.75
									TOTAL	148.23		74.73		0.77		

COLUMNA 4-C

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu barc. acum	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.00	25.00	0.00	0.00	0.00	75.00	309.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	7.50	0.00
1	2.00	25.00	1.17	34.65	0.98	48.85	357.85	1.17	34.65	40.54	40.54	19.80	19.80	0.05	12.39	10.27
2	2.00	20.00	2.04	14.68	1.01	37.94	395.79	3.21	21.96	29.95	70.49	14.63	34.43	0.04	16.18	6.44
3	3.00	20.00	2.87	9.50	0.58	58.34	454.13	6.08	16.08	27.27	97.75	13.32	47.74	0.06	22.01	5.24
4	2.00	20.00	2.17	4.87	0.91	38.03	492.15	8.25	13.13	10.57	108.32	5.16	52.90	0.04	25.82	5.08
5	2.00	20.00	1.71	4.09	0.49	39.16	531.32	9.96	11.58	6.99	115.31	3.42	56.32	0.04	29.73	5.11
6	2.00	20.00	2.94	2.51	0.62	38.18	569.49	12.90	9.51	7.38	122.69	3.60	59.92	0.04	33.55	5.12
7	3.00	20.00	2.36	1.87	0.80	58.11	627.61	15.26	8.33	4.41	127.11	2.16	62.08	0.06	39.36	5.40
8	2.00	20.00	2.74	1.87	0.75	37.95	665.55	18.00	7.35	5.12	132.23	2.50	64.58	0.04	43.16	5.48
9	3.00	20.00	1.87	2.08	0.82	58.47	724.02	19.87	6.85	3.89	136.12	1.90	66.48	0.06	49.00	5.75
10	2.00	19.70	2.06	1.58	0.97	37.40	761.42	21.93	6.36	3.25	139.38	1.59	68.07	0.04	52.74	5.88
11	2.00	15.00	2.50	1.37	0.96	27.60	789.02	24.43	5.85	3.43	142.80	1.67	69.74	0.03	55.50	5.93
12	3.00	15.00	2.10	1.44	0.69	43.55	832.57	26.53	5.50	3.02	145.82	1.48	71.22	0.04	59.86	6.11
13	2.00	15.00	2.90	1.08	0.67	28.06	860.63	29.43	5.06	3.13	148.96	1.53	72.75	0.03	62.66	6.17
14	2.00	14.80	2.45	0.93	1.16	26.76	887.38	31.88	4.74	2.28	151.23	1.11	73.86	0.03	65.34	6.25
15	2.00	10.00	2.01	1.29	0.77	18.45	905.84	33.89	4.54	2.59	153.83	1.27	75.13	0.02	67.18	6.27
16	3.00	0.00	1.79	1.15	0.54	-0.97	904.87	35.68	4.37	2.06	155.89	1.01	76.13	0.00	67.09	6.18
17	0.00	0.00	3.22	1.04	0.20	-0.64	904.23	38.90	4.09	3.35	159.24	1.64	77.77	0.00	67.02	6.05
									TOTAL	159.24		77.77		0.67		

COLUMNA 5-C

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)		SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄		
	VOL. lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	VOL. lt.	Cu Ox. gr/lt.	H ₂ SO ₄ gr/lt.	gastado grs.	acum. grs.	acum.sal. lt.	Cu gr/lt.	grs. parc.	grs. acum.	% Cu parc.	% Cu parc. acum	Kg parc.	Kg/TM parc.	Kg/Kg Cu acum.
0	3.00	25.00	0.00	0.00	0.00	75.00	365.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	7.50	0.00
1	2.00	25.00	0.85	32.02	0.93	49.21	414.21	0.85	32.02	27.22	27.22	14.31	14.31	0.05	12.50	15.25
2	2.00	20.00	2.09	22.65	1.24	37.41	451.62	2.94	25.36	47.34	74.56	24.88	39.19	0.04	16.50	6.10
3	3.00	19.90	2.63	8.62	0.73	57.78	509.40	5.57	17.45	22.67	97.23	11.92	51.11	0.06	22.47	5.29
4	2.00	20.00	1.53	4.10	0.59	39.10	548.50	7.10	14.58	6.27	103.50	3.30	54.40	0.04	26.47	5.36
5	2.00	20.00	1.88	2.95	0.82	38.46	586.95	8.98	12.14	5.55	109.05	2.92	57.32	0.04	30.47	5.45
6	3.00	20.00	2.20	2.88	0.73	58.39	645.35	11.18	10.32	6.34	115.38	3.33	60.65	0.06	36.47	5.67
7	2.00	19.60	2.91	2.30	0.49	37.77	683.12	14.09	8.66	6.69	122.07	3.52	64.17	0.04	40.39	5.68
8	3.00	20.00	3.28	2.08	0.33	58.92	742.04	17.37	7.42	6.82	128.90	3.59	67.75	0.06	46.39	5.85
9	3.00	20.10	2.95	1.73	0.71	58.21	800.24	20.32	6.59	5.10	134.00	2.68	70.44	0.06	52.42	6.08
10	2.00	19.70	3.00	1.51	0.45	38.05	838.29	23.32	5.94	4.53	138.53	2.38	72.82	0.04	56.36	6.16
11	2.00	19.80	2.35	1.44	0.62	38.14	876.44	25.67	5.53	3.38	141.91	1.78	74.60	0.04	60.32	6.29
12	2.00	20.00	2.16	1.22	0.78	38.32	914.75	27.83	5.19	2.64	144.55	1.39	75.98	0.04	64.32	6.46
13	2.00	20.00	1.45	1.44	1.20	38.26	953.01	29.28	5.01	2.09	146.64	1.10	77.08	0.04	68.32	6.64
14	2.00	15.00	2.60	0.86	0.95	27.53	980.54	31.88	4.67	2.24	148.87	1.18	78.26	0.03	71.32	6.74
15	2.00	15.00	2.00	1.01	0.73	28.54	1009.08	33.88	4.45	2.02	150.89	1.06	79.32	0.03	74.32	6.85
16	3.00	0.00	1.97	0.79	0.45	-0.89	1008.20	35.85	4.25	1.56	152.45	0.82	80.14	0.00	74.32	6.78
17	0.00	0.00	3.08	0.58	0.46	-1.42	1006.78	38.93	3.96	1.79	154.24	0.94	81.07	0.00	74.32	6.70
									TOTAL		154.24		81.07		0.72	

SERIE D: EFECTOS DE LA VARIACION DEL H₂SO₄

COLUMNA 1-D

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM		Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	24.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	720.00	4780.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.72	3.55	23.55	0.00
1	20.00	30.00	0.00	12.35	18.90	0.00	600.00	5380.00	12.35	0.00	233.42	233.42	11.06	11.06	0.60	1.32	2.96	26.50	0.00
2	19.00	30.00	0.00	16.44	16.95	0.50	561.78	5941.78	28.79	9.68	278.66	512.07	13.20	24.26	0.56	1.88	2.77	29.27	11.60
3	20.00	30.00	0.80	18.34	13.41	0.68	587.53	6529.31	47.13	10.79	229.94	742.01	10.89	35.15	0.59	2.47	2.89	32.16	8.80
4	19.00	30.00	0.80	20.05	10.85	0.83	553.36	7082.67	67.18	10.58	202.34	944.35	9.58	44.73	0.55	3.02	2.73	34.89	7.50
5	15.00	25.00	0.80	14.88	9.46	0.62	365.77	7448.44	82.06	10.23	128.76	1073.12	6.10	50.83	0.37	3.39	1.80	36.69	6.94
6	20.00	25.00	0.80	16.16	8.72	0.87	485.94	7934.38	98.22	9.82	124.92	1198.03	5.92	56.75	0.49	3.87	2.39	39.09	6.62
7	21.00	25.00	0.55	19.75	8.14	0.86	508.02	8442.40	117.97	9.44	149.22	1347.25	7.07	63.81	0.51	4.38	2.50	41.59	6.27
8	20.00	24.90	0.80	19.71	6.03	0.77	482.82	8925.22	137.68	8.84	102.85	1450.10	4.87	68.69	0.48	4.87	2.38	43.97	6.15
9	20.00	25.00	0.53	18.97	5.62	0.90	482.93	9408.15	156.65	8.38	96.01	1546.11	4.55	73.23	0.48	5.35	2.38	46.35	6.09
10	21.00	25.00	0.52	22.18	4.86	0.49	514.13	9922.28	178.83	7.88	96.87	1642.99	4.59	77.82	0.51	5.86	2.53	48.88	6.04
11	10.00	25.10	0.80	13.86	3.58	0.88	238.80	10161.08	192.69	7.53	41.62	1684.61	1.97	79.79	0.24	6.10	1.18	50.05	6.03
12	15.00	25.30	0.53	14.39	3.42	0.70	369.43	10530.51	207.08	7.21	41.26	1725.87	1.95	81.75	0.37	6.47	1.82	51.87	6.10
13	15.00	26.10	0.53	14.86	4.05	0.52	383.77	10914.28	221.94	6.96	52.23	1778.10	2.47	84.22	0.38	6.85	1.89	53.76	6.14
14	10.00	25.80	0.80	11.52	3.77	0.67	250.28	11164.56	233.46	6.77	35.43	1813.53	1.68	85.90	0.25	7.10	1.23	55.00	6.16
15	15.00	26.20	0.67	8.90	2.48	0.68	386.95	11551.51	242.36	6.57	12.02	1825.56	0.57	86.47	0.39	7.49	1.91	56.90	6.33
16	10.00	21.90	0.80	6.29	2.30	0.63	215.04	11766.55	248.65	6.43	6.47	1832.02	0.31	86.78	0.22	7.71	1.06	57.96	6.42
17	15.00	20.60	0.67	3.00	2.28	0.39	307.83	12074.38	251.65	6.34	-3.21	1828.81	-0.15	86.62	0.31	8.01	1.52	59.48	6.60
18	10.00	20.20	0.80	3.26	2.24	0.56	200.17	12274.55	254.91	6.26	-0.70	1828.11	-0.03	86.59	0.20	8.21	0.99	60.47	6.71
19	5.00	20.00	0.80	8.45	2.02	0.75	93.66	12368.22	263.36	6.10	13.07	1841.18	0.62	87.21	0.09	8.31	0.46	60.93	6.72
20	10.00	21.30	0.60	7.92	1.94	0.79	206.74	12574.96	271.28	5.96	9.36	1850.55	0.44	87.65	0.21	8.51	1.02	61.95	6.80
21	0.00	0.00	0.00	4.55	1.63	0.64	-2.91	12572.05	275.83	5.89	7.42	1857.97	0.35	88.01	0.00	8.51	-0.01	61.93	6.77
22	10.00	21.48	0.00	9.74	1.59	0.65	208.47	12780.52	285.57	5.74	15.49	1873.45	0.73	88.74	0.21	8.72	1.03	62.96	6.82
23	10.00	20.00	0.40	5.47	1.54	0.95	194.80	12975.32	291.04	5.65	4.42	1877.88	0.21	88.95	0.19	8.92	0.96	63.92	6.91
24	2.00	21.40	0.00	10.54	1.73	0.40	38.58	13013.90	301.58	5.51	18.23	1896.11	0.86	89.81	0.04	8.95	0.19	64.11	6.86
25	10.00	15.30	0.00	7.26	1.54	0.30	150.82	13164.73	308.84	5.42	11.18	1907.29	0.53	90.34	0.15	9.10	0.74	64.85	6.90
26	2.00	15.60	0.00	4.31	1.27	0.20	30.34	13195.06	313.15	5.36	5.47	1912.76	0.26	90.60	0.03	9.14	0.15	65.00	6.90
27	0.00	0.00	0.00	11.18	1.06	0.30	-3.35	13191.71	324.33	5.21	11.85	1924.61	0.56	91.16	0.00	9.13	-0.02	64.98	6.85

COLUMNA 2-D

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM		Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	24.00	30.80	0.00	0.00	0.00	0.00	739.20	5789.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.74	3.66	28.66	0.00
1	20.00	30.20	0.00	11.75	30.24	0.95	592.84	6382.04	11.75	0.00	355.32	355.32	16.91	16.91	0.59	1.33	2.93	31.59	0.00
2	15.00	30.00	0.00	17.70	22.40	0.96	433.01	6815.05	29.45	13.46	396.48	751.80	18.87	35.79	0.43	1.77	2.14	33.74	9.06
3	20.00	30.00	0.80	17.65	14.34	0.86	584.82	7399.87	47.10	13.79	237.10	988.90	11.29	47.07	0.58	2.35	2.90	36.63	7.48
4	19.00	29.70	0.76	20.30	8.82	0.46	554.96	7954.83	67.40	12.29	164.61	1153.51	7.84	54.91	0.55	2.90	2.75	39.38	6.90
5	15.00	25.10	0.80	16.24	7.63	0.82	363.18	8318.01	83.64	11.39	111.91	1265.42	5.33	60.24	0.36	3.27	1.80	41.18	6.57
6	20.00	24.90	0.80	13.43	6.91	0.74	488.06	8806.07	97.07	10.77	76.80	1342.22	3.66	63.89	0.49	3.76	2.42	43.59	6.56
7	21.00	25.30	0.55	19.20	5.11	0.68	518.24	9324.32	116.27	9.83	86.56	1428.78	4.12	68.01	0.52	4.27	2.57	46.16	6.53
8	20.00	25.30	0.80	19.94	4.42	0.75	491.05	9815.36	136.21	9.04	72.13	1500.92	3.43	71.44	0.49	4.77	2.43	48.59	6.54
9	20.00	25.20	0.53	21.81	4.39	0.44	494.40	10309.77	158.02	8.40	85.15	1586.06	4.05	75.50	0.49	5.26	2.45	51.04	6.50
10	21.00	26.00	0.62	16.37	3.47	0.46	538.47	10848.24	174.39	7.94	43.78	1629.85	2.08	77.58	0.54	5.80	2.67	53.70	6.66
11	10.00	24.96	0.80	15.15	3.55	0.63	240.06	11088.29	189.54	7.59	45.78	1675.63	2.18	79.76	0.24	6.04	1.19	54.89	6.62
12	15.00	25.10	0.53	15.00	3.09	0.53	368.55	11456.84	204.54	7.26	38.40	1714.03	1.83	81.59	0.37	6.41	1.82	56.72	6.68
13	15.00	25.00	0.53	12.85	3.72	0.27	371.53	11828.37	217.39	7.05	39.85	1753.88	1.90	83.49	0.37	6.78	1.84	58.56	6.74
14	10.00	25.00	0.80	12.50	3.50	0.41	244.88	12073.25	229.89	6.85	35.75	1789.63	1.70	85.19	0.24	7.02	1.21	59.77	6.75
15	15.00	24.80	0.70	8.90	2.48	0.37	368.71	12441.95	238.79	6.69	11.57	1801.20	0.55	85.74	0.37	7.39	1.83	61.59	6.91
16	10.00	21.96	0.80	12.17	2.23	0.29	216.07	12658.02	250.96	6.48	19.14	1820.34	0.91	86.65	0.22	7.61	1.07	62.66	6.95
17	15.00	20.64	0.70	12.20	2.03	0.50	303.50	12961.52	263.16	6.27	14.27	1834.61	0.68	87.33	0.30	7.91	1.50	64.17	7.07
18	10.00	20.00	0.80	12.05	1.69	0.36	195.66	13157.19	275.21	6.07	12.36	1846.97	0.59	87.92	0.20	8.11	0.97	65.13	7.12
19	5.00	20.38	0.80	8.56	1.72	0.59	96.85	13254.04	283.77	5.94	10.72	1857.70	0.51	88.43	0.10	8.20	0.48	65.61	7.13
20	10.00	20.46	0.60	8.74	1.66	0.32	201.80	13455.84	292.51	5.81	8.51	1866.20	0.41	88.83	0.20	8.41	1.00	66.61	7.21
21	0.00	0.00	0.00	6.45	1.69	0.32	-2.06	13453.78	298.96	5.72	10.90	1877.10	0.52	89.35	0.00	8.40	-0.01	66.60	7.17
22	10.00	21.10	0.00	9.34	1.43	0.41	207.17	13660.95	308.30	5.59	13.36	1890.46	0.64	89.99	0.21	8.61	1.03	67.63	7.23
23	10.00	20.20	0.40	6.75	1.41	0.40	199.30	13860.25	315.05	5.50	5.52	1895.98	0.26	90.25	0.20	8.81	0.99	68.62	7.31
24	2.00	20.60	0.00	8.49	1.79	0.40	37.80	13898.05	323.54	5.40	15.20	1911.18	0.72	90.97	0.04	8.85	0.19	68.80	7.27
25	10.00	20.10	0.00	7.78	1.48	0.30	198.67	14096.72	331.32	5.31	11.51	1922.69	0.55	91.52	0.20	9.05	0.98	69.79	7.33
26	2.00	20.50	0.00	3.86	1.04	0.60	38.68	14135.40	335.18	5.26	4.01	1926.70	0.19	91.71	0.04	9.09	0.19	69.98	7.34
27	0.00	0.00	0.00	10.22	1.02	0.20	-2.04	14133.36	345.40	5.14	10.42	1937.13	0.50	92.21	0.00	9.08	-0.01	69.97	7.30

COLUMNA 3-D

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM		Kg/Kg Cu
	lt.	gr/ft.	gr/ft	lt.	gr/ft.	gr/ft.	grs.	grs.	lt.	gr/ft.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	24.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	720.00	6720.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.72	3.56	28.56	0.00
1	20.00	30.20	0.00	10.30	27.63	0.59	597.92	7317.92	10.30	0.00	284.59	284.59	15.30	15.30	0.60	1.32	2.96	31.52	0.00
2	19.00	30.10	0.00	16.94	19.05	0.61	561.57	7879.49	27.24	11.85	322.71	607.30	17.35	32.65	0.56	1.88	2.78	34.30	12.97
3	20.00	25.00	0.80	16.42	12.34	0.60	490.15	8369.64	43.66	12.03	186.62	793.92	10.03	42.68	0.49	2.37	2.43	36.73	10.54
4	19.00	25.00	0.76	17.71	11.62	0.73	462.07	8831.71	61.37	11.91	191.35	985.27	10.29	52.97	0.46	2.83	2.29	39.02	8.96
5	15.00	24.62	0.80	18.90	7.65	0.71	355.88	9187.59	80.27	10.91	132.59	1117.85	7.13	60.10	0.36	3.19	1.76	40.78	8.22
6	20.00	25.10	0.80	14.16	6.26	0.55	494.21	9681.80	94.43	10.21	72.64	1190.50	3.91	64.01	0.49	3.68	2.45	43.23	8.13
7	21.00	24.78	0.55	19.43	5.80	0.90	502.89	10184.70	113.86	9.46	101.14	1291.64	5.44	69.44	0.50	4.18	2.49	45.72	7.89
8	20.00	24.61	0.80	18.86	4.95	0.68	479.38	10664.07	132.72	8.82	77.36	1369.00	4.16	73.60	0.48	4.66	2.37	48.09	7.79
9	20.00	24.70	0.53	20.18	3.53	0.67	480.48	11144.55	152.90	8.12	60.64	1429.63	3.26	76.86	0.48	5.14	2.38	50.47	7.80
10	21.00	25.30	0.62	19.91	2.80	0.81	515.17	11659.72	172.81	7.51	42.73	1472.36	2.30	79.16	0.52	5.66	2.55	53.02	7.92
11	10.00	25.80	0.80	15.40	3.02	0.64	248.14	11907.87	188.21	7.14	38.51	1510.87	2.07	81.23	0.25	5.91	1.23	54.25	7.88
12	15.00	26.30	0.53	13.87	2.09	0.77	383.82	12291.69	202.08	6.79	21.04	1531.91	1.13	82.36	0.38	6.29	1.90	56.15	8.02
13	15.00	25.50	0.53	16.46	2.97	0.97	366.53	12658.22	218.54	6.51	40.94	1572.84	2.20	84.56	0.37	6.66	1.81	57.96	8.05
14	10.00	25.80	0.80	9.89	2.30	0.56	252.46	12910.68	228.43	6.32	14.75	1587.59	0.79	85.35	0.25	6.91	1.25	59.21	8.13
15	15.00	24.48	0.70	13.71	2.04	0.73	357.19	13267.87	242.14	6.08	17.47	1605.06	0.94	86.29	0.36	7.27	1.77	60.98	8.27
16	10.00	22.90	0.80	13.15	1.67	0.32	224.79	13492.67	255.29	5.85	13.96	1619.02	0.75	87.04	0.22	7.49	1.11	62.09	8.33
17	15.00	21.60	0.72	10.99	1.55	0.41	319.49	13812.16	266.28	5.68	6.23	1625.25	0.34	87.38	0.32	7.81	1.58	63.67	8.50
18	10.00	20.80	0.80	12.01	1.35	0.52	201.75	14013.91	278.29	5.49	8.21	1633.47	0.44	87.82	0.20	8.01	1.00	64.67	8.58
19	5.00	20.40	0.80	8.76	1.86	0.26	99.72	14113.64	287.05	5.38	12.29	1645.76	0.66	88.48	0.10	8.11	0.49	65.17	8.58
20	10.00	20.70	0.60	11.74	1.35	0.18	204.89	14318.52	298.79	5.22	9.85	1655.61	0.53	89.01	0.20	8.32	1.01	66.18	8.65
21	0.00	0.00	0.00	2.87	1.30	0.68	-1.95	14316.57	301.66	5.18	3.73	1659.34	0.20	89.21	0.00	8.32	-0.01	66.17	8.63
22	10.00	20.00	0.00	8.71	1.43	0.40	196.52	14513.09	310.37	5.08	12.46	1671.80	0.67	89.88	0.20	8.51	0.97	67.14	8.68
23	10.00	15.32	0.40	7.31	1.32	0.74	147.79	14660.88	317.68	4.99	5.65	1677.44	0.30	90.19	0.15	8.66	0.73	67.88	8.74
24	2.00	15.01	0.00	6.61	1.94	0.60	26.05	14686.93	324.29	4.93	12.82	1690.27	0.69	90.87	0.03	8.69	0.13	68.00	8.69
25	10.00	15.20	0.00	9.23	1.47	0.52	147.20	14834.13	333.52	4.83	13.57	1703.84	0.73	91.60	0.15	8.83	0.73	68.73	8.71
26	2.00	10.60	0.00	6.68	0.96	0.42	18.39	14852.53	340.20	4.76	6.41	1710.25	0.34	91.95	0.02	8.85	0.09	68.82	8.68
27	0.00	0.00	0.00	10.50	0.92	0.38	-3.99	14848.54	350.70	4.64	9.66	1719.91	0.52	92.47	0.00	8.85	-0.02	68.80	8.63

**SERIE E: EFECTOS DE LA VARIACION DEL FLUJO DE RIEGO
COLUMNA 1-E**

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM	Kg/TM	Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	18.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	540.00	5540.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	5.54	2.70	27.70	0.00
1	15.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00	5990.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	5.99	2.25	29.95	0.00
2	15.00	25.00	0.00	15.01	34.86	0.76	363.59	6353.59	15.01	34.86	523.25	523.25	24.68	24.68	0.36	6.35	1.82	31.77	12.14
3	15.00	25.00	0.00	13.64	21.47	1.02	361.09	6714.68	28.65	36.53	292.85	816.10	13.81	38.50	0.36	6.71	1.81	33.57	8.23
4	15.00	25.00	0.80	17.53	15.84	0.76	361.68	7076.36	46.18	28.74	265.68	1081.77	12.53	51.03	0.36	7.08	1.81	35.38	6.54
5	15.00	25.00	0.80	14.86	9.78	0.83	362.67	7439.02	61.04	26.10	133.33	1215.11	6.29	57.32	0.36	7.44	1.81	37.20	6.12
6	15.00	25.00	0.80	15.73	6.66	0.64	364.93	7803.96	76.77	22.49	92.76	1307.87	4.38	61.69	0.36	7.80	1.82	39.02	5.97
7	15.00	25.00	0.80	13.88	5.34	1.03	360.70	8164.66	90.65	20.07	62.12	1369.99	2.93	64.62	0.36	8.16	1.80	40.82	5.96
8	15.00	25.00	0.80	12.47	4.36	0.72	366.02	8530.68	103.12	18.24	42.37	1412.36	2.00	66.62	0.37	8.53	1.83	42.65	6.04
9	15.00	25.00	0.80	12.32	4.00	0.55	368.22	8898.91	115.44	16.66	37.28	1449.64	1.76	68.38	0.37	8.90	1.84	44.49	6.14
10	15.00	25.00	0.80	15.94	3.26	0.81	362.09	9260.99	131.38	14.93	39.96	1489.60	1.89	70.26	0.36	9.26	1.81	46.30	6.22
11	15.00	25.00	0.80	14.40	3.02	0.80	363.48	9624.47	145.78	13.73	31.49	1521.09	1.49	71.75	0.36	9.62	1.82	48.12	6.33
12	15.00	25.00	0.80	11.92	2.86	0.57	368.21	9992.68	157.70	12.89	22.09	1543.18	1.04	72.79	0.37	9.99	1.84	49.96	6.48
13	15.00	20.00	0.80	12.43	3.34	0.56	293.04	10285.72	170.13	12.08	29.52	1572.70	1.39	74.18	0.29	10.29	1.47	51.43	6.54
14	15.00	20.00	0.80	13.92	3.21	0.59	291.79	10577.51	184.05	11.32	32.68	1605.38	1.54	75.73	0.29	10.58	1.46	52.89	6.59
15	15.00	20.00	0.80	15.27	3.17	0.80	287.78	10865.29	199.32	10.62	36.41	1641.78	1.72	77.44	0.29	10.87	1.44	54.33	6.62
16	15.00	20.00	0.80	14.43	2.49	0.43	293.80	11159.08	213.75	10.07	23.93	1665.72	1.13	78.57	0.29	11.16	1.47	55.80	6.70
17	15.00	20.00	0.80	13.12	2.25	0.61	292.00	11451.08	226.87	9.60	17.52	1683.24	0.83	79.40	0.29	11.45	1.46	57.26	6.80
18	15.00	20.00	0.80	14.77	2.02	0.63	290.69	11741.78	241.64	9.08	17.84	1701.07	0.84	80.24	0.29	11.74	1.45	58.71	6.90
19	15.00	20.00	0.80	14.07	2.00	0.63	291.14	12032.91	255.71	8.65	16.14	1717.21	0.76	81.00	0.29	12.03	1.46	60.16	7.01
20	15.00	20.00	0.80	16.61	0.85	0.78	287.04	12319.96	272.32	8.18	2.12	1719.33	0.10	81.10	0.29	12.32	1.44	61.60	7.17
21	15.00	20.00	0.80	18.20	1.94	0.80	285.44	12605.40	290.52	7.68	23.31	1742.64	1.10	82.20	0.29	12.61	1.43	63.03	7.23
22	15.00	20.00	0.80	12.58	1.83	0.56	292.96	12898.35	303.10	7.44	11.02	1753.66	0.52	82.72	0.29	12.90	1.46	64.49	7.36
23	15.00	20.00	0.80	14.54	2.45	0.55	292.00	13190.35	317.64	7.13	23.62	1777.28	1.11	83.83	0.29	13.19	1.46	65.95	7.42
24	15.00	20.00	0.80	12.65	2.25	0.31	296.08	13486.43	330.29	6.93	16.46	1793.74	0.78	84.61	0.30	13.49	1.48	67.43	7.52
25	15.00	15.00	0.80	13.11	2.09	0.61	217.00	13703.44	343.40	6.71	15.40	1809.14	0.73	85.34	0.22	13.70	1.09	68.52	7.57
26	15.00	15.00	0.80	17.24	1.83	0.49	216.55	13919.99	360.64	6.43	19.55	1828.69	0.92	86.26	0.22	13.92	1.08	69.60	7.61
27	15.00	15.00	0.80	14.07	2.04	0.63	216.14	14136.12	374.71	6.24	16.70	1845.40	0.79	87.05	0.22	14.14	1.08	70.68	7.66
28	15.00	12.40	0.63	14.07	1.53	0.67	176.57	14312.70	388.78	6.07	12.08	1857.47	0.57	87.62	0.18	14.31	0.88	71.56	7.71
29	15.00	12.50	0.80	15.02	1.37	0.74	176.39	14489.08	403.80	5.87	8.58	1866.05	0.40	88.02	0.18	14.49	0.88	72.45	7.76
30	15.00	12.60	0.80	16.30	1.42	0.75	176.78	14665.86	420.10	5.66	11.15	1877.20	0.53	88.55	0.18	14.67	0.88	73.33	7.81
31	18.00	12.60	0.64	16.20	1.37	0.74	214.81	14880.67	436.30	5.48	10.67	1887.87	0.50	89.05	0.21	14.88	1.07	74.40	7.88
32	15.00	10.00	0.00	15.61	1.06	0.66	139.70	15020.37	451.91	5.34	16.55	1904.42	0.78	89.83	0.14	15.02	0.70	75.10	7.89
33	15.00	0.00	0.00	22.35	1.03	0.67	-14.97	15005.39	474.26	5.12	23.02	1927.44	1.09	90.92	-0.01	15.01	-0.07	75.03	7.79

COLUMNA 2-E

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM	Kg/TM	Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	15.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00	5450.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.45	5.45	2.25	27.25	0.00
1	15.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00	5900.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.45	5.90	2.25	29.50	0.00
2	15.00	25.00	0.00	15.09	34.42	1.14	357.80	6257.80	15.09	34.42	519.40	519.40	24.05%	24.05%	0.36	6.26	1.79	31.29	12.05
3	15.00	25.00	0.00	13.74	19.88	0.76	364.56	6622.36	28.83	36.03	273.15	792.55	12.65%	36.69%	0.36	6.62	1.82	33.11	8.36
4	15.00	25.00	0.80	15.43	13.97	0.73	363.74	6986.09	44.26	29.37	203.56	996.11	9.42%	46.12%	0.36	6.99	1.82	34.93	7.01
5	15.00	25.00	0.80	15.26	9.82	0.78	363.10	7349.19	59.52	25.26	137.85	1133.96	6.38%	52.50%	0.36	7.35	1.82	36.75	6.48
6	15.00	25.00	0.80	16.20	7.45	0.82	361.72	7710.90	75.72	21.68	108.69	1242.65	5.03%	57.53%	0.36	7.71	1.81	38.55	6.21
7	15.00	25.00	0.80	15.24	5.72	0.86	361.89	8072.80	90.96	19.24	75.17	1317.82	3.48%	61.01%	0.36	8.07	1.81	40.36	6.13
8	15.00	25.00	0.80	12.32	4.38	0.80	365.14	8437.94	103.28	17.67	41.96	1359.78	1.94%	62.95%	0.37	8.44	1.83	42.19	6.21
9	15.00	25.00	0.80	13.15	3.44	0.57	367.50	8805.45	116.43	16.04	33.24	1393.02	1.54%	64.49%	0.37	8.81	1.84	44.03	6.32
10	15.00	25.00	0.80	14.27	3.01	0.67	365.44	9170.89	130.70	14.54	30.95	1423.97	1.43%	65.92%	0.37	9.17	1.83	45.85	6.44
11	15.00	25.00	0.80	13.33	2.87	0.62	366.74	9537.62	144.03	13.41	26.26	1450.23	1.22%	67.14%	0.37	9.54	1.83	47.69	6.58
12	15.00	25.00	0.80	12.67	2.74	0.83	364.48	9902.10	156.70	12.49	22.72	1472.95	1.05%	68.19%	0.36	9.90	1.82	49.51	6.72
13	15.00	20.00	0.80	14.17	3.39	0.84	288.10	10190.20	170.87	11.59	36.04	1508.98	1.67%	69.86%	0.29	10.19	1.44	50.95	6.75
14	15.00	20.00	0.80	13.35	3.30	0.51	293.19	10483.39	184.22	10.95	32.06	1541.04	1.48%	71.34%	0.29	10.48	1.47	52.42	6.80
15	15.00	20.00	0.80	14.96	3.11	0.61	290.87	10774.27	199.18	10.28	34.53	1575.56	1.60%	72.94%	0.29	10.77	1.45	53.87	6.84
16	15.00	20.00	0.80	15.93	2.83	0.62	290.12	11064.39	215.11	9.68	33.08	1608.64	1.53%	74.47%	0.29	11.06	1.45	55.32	6.88
17	15.00	20.00	0.80	12.88	2.95	0.61	292.14	11356.53	227.99	9.28	26.00	1634.64	1.20%	75.68%	0.29	11.36	1.46	56.78	6.95
18	15.00	20.00	0.80	15.55	2.49	0.37	294.25	11650.78	243.54	8.80	26.72	1661.36	1.24%	76.91%	0.29	11.65	1.47	58.25	7.01
19	15.00	20.00	0.80	14.85	2.11	0.97	285.60	11936.38	258.39	8.39	19.33	1680.69	0.90%	77.81%	0.29	11.94	1.43	59.68	7.10
20	15.00	20.00	0.80	16.03	1.96	0.92	285.25	12221.63	274.42	7.97	19.42	1700.11	0.90%	78.71%	0.29	12.22	1.43	61.11	7.19
21	15.00	20.00	0.80	17.87	1.89	0.94	283.20	12504.83	292.29	7.55	21.77	1721.89	1.01%	79.72%	0.28	12.50	1.42	62.52	7.26
22	15.00	20.00	0.80	12.51	1.88	0.39	295.12	12799.95	304.80	7.31	11.52	1733.41	0.53%	80.25%	0.30	12.80	1.48	64.00	7.38
23	15.00	20.00	0.80	14.31	1.8	0.61	291.27	13091.22	319.11	7.02	20.05	1753.46	0.93%	81.18%	0.29	13.09	1.46	65.46	7.47
24	15.00	20.00	0.80	13.51	2.24	0.62	291.62	13382.85	332.62	6.78	19.48	1772.94	0.90%	82.08%	0.29	13.38	1.46	66.91	7.55
25	15.00	15.40	0.80	13.72	2.33	0.59	222.91	13605.75	346.34	6.56	17.77	1790.71	0.82%	82.90%	0.22	13.61	1.11	68.03	7.60
26	15.00	15.20	0.80	17.68	2.17	0.84	213.15	13818.90	364.02	6.30	18.76	1809.47	0.87%	83.77%	0.21	13.82	1.07	69.09	7.64
27	15.00	14.80	0.80	13.97	1.74	0.59	213.76	14032.66	377.99	6.14	9.23	1818.71	0.43%	84.20%	0.21	14.03	1.07	70.16	7.72
28	15.00	12.40	0.63	15.25	1.52	0.58	177.16	14209.81	393.24	5.94	13.12	1831.83	0.61%	84.81%	0.18	14.21	0.89	71.05	7.76
29	15.00	5.00	0.00	15.72	1.48	0.61	65.41	14275.22	408.96	5.76	20.59	1852.42	0.95%	85.76%	0.07	14.28	0.33	71.38	7.71
30	0.00	0.00	0.00	24.29	1.31	0.63	-15.30	14259.92	433.25	5.49	0.00	1852.42	0.00%	85.76%	-0.02	14.26	-0.08	71.30	7.70

COLUMNA 3-E

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM	Kg/TM	Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	15.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00	5450.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.45	5.45	2.25	27.25	0.00
1	15.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00	5900.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.45	5.90	2.25	29.50	0.00
2	15.00	30.00	0.00	13.82	37.02	1.30	432.03	6332.03	13.82	37.02	511.62	511.62	26.37%	26.37%	0.43	6.33	2.16	31.66	12.38
3	15.00	25.00	0.00	13.45	24.15	1.06	360.74	6692.78	27.27	37.52	324.82	836.43	16.74%	43.12%	0.36	6.69	1.80	33.46	8.00
4	15.00	25.00	0.80	16.28	14.22	0.74	362.95	7055.73	43.55	30.68	219.50	1055.94	11.31%	54.43%	0.36	7.06	1.81	35.28	6.68
5	15.00	25.00	0.80	15.76	10.02	0.53	366.65	7422.38	59.31	26.23	145.92	1201.85	7.52%	61.95%	0.37	7.42	1.83	37.11	6.18
6	15.00	25.00	0.80	14.59	7.71	0.78	363.62	7786.00	73.90	23.02	100.49	1302.34	5.18%	67.13%	0.36	7.79	1.82	38.93	5.98
7	15.00	25.00	0.80	16.32	5.17	0.55	366.02	8152.02	90.22	19.97	72.37	1374.71	3.73%	70.86%	0.37	8.15	1.83	40.76	5.93
8	15.00	25.00	0.80	12.99	4.32	0.80	364.61	8516.63	103.21	18.16	44.12	1418.83	2.27%	73.14%	0.36	8.52	1.82	42.58	6.00
9	15.00	25.00	0.80	11.78	3.01	0.62	367.70	8884.33	114.99	16.68	23.46	1442.29	1.21%	74.34%	0.37	8.88	1.84	44.42	6.16
10	15.00	25.00	0.80	15.65	0.38	0.80	362.48	9246.81	130.64	14.86	-6.05	1436.24	-0.31%	74.03%	0.36	9.25	1.81	46.23	6.44
11	15.00	25.00	0.80	14.17	2.76	0.82	363.38	9610.19	144.81	13.37	27.11	1463.34	1.40%	75.43%	0.36	9.61	1.82	48.05	6.57
12	15.00	25.00	0.80	14.02	2.16	0.59	366.73	9976.91	158.83	12.36	18.28	1481.63	0.94%	76.37%	0.37	9.98	1.83	49.88	6.73
13	15.00	25.00	0.80	13.07	3.37	0.64	366.64	10343.55	171.90	11.53	32.05	1513.67	1.65%	78.02%	0.37	10.34	1.83	51.72	6.83
14	15.00	20.00	0.80	13.02	3.33	0.84	289.06	10632.61	184.92	10.89	31.36	1545.03	1.62%	79.64%	0.29	10.63	1.45	53.16	6.88
15	16.00	20.00	0.80	15.97	2.54	0.55	311.22	10943.83	200.89	10.17	27.76	1572.79	1.43%	81.07%	0.31	10.94	1.56	54.72	6.96
16	15.00	20.20	0.80	14.41	2.55	0.53	295.36	11239.19	215.30	9.63	24.75	1597.54	1.28%	82.35%	0.30	11.24	1.48	56.20	7.04
17	15.00	20.10	0.80	13.22	2.31	0.74	291.72	11530.91	228.52	9.18	18.54	1616.08	0.96%	83.30%	0.29	11.53	1.46	57.65	7.14
18	18.00	19.80	0.79	16.72	2.02	0.89	341.52	11872.43	245.24	8.62	19.55	1635.63	1.01%	84.31%	0.34	11.87	1.71	59.36	7.26
19	15.00	20.00	0.79	12.91	1.67	0.58	292.51	12164.94	258.15	8.27	9.71	1645.34	0.50%	84.81%	0.29	12.16	1.46	60.82	7.39
20	18.00	20.00	0.80	17.17	1.68	0.57	350.21	12515.15	275.32	7.78	14.45	1659.79	0.74%	85.56%	0.35	12.52	1.75	62.58	7.54
21	15.00	19.50	0.93	16.65	1.71	0.79	279.35	12794.50	291.97	7.39	14.52	1674.31	0.75%	86.30%	0.28	12.79	1.40	63.97	7.64
22	15.00	20.50	0.80	13.07	1.63	0.86	296.26	13090.76	305.04	7.13	9.30	1683.61	0.48%	86.78%	0.30	13.09	1.48	65.45	7.78
23	15.00	21.00	0.80	15.14	1.82	0.76	303.49	13394.25	320.18	6.82	15.55	1699.17	0.80%	87.59%	0.30	13.39	1.52	66.97	7.88
24	15.00	20.60	0.80	13.16	2.16	0.73	299.39	13693.65	333.34	6.60	16.43	1715.59	0.85%	88.43%	0.30	13.69	1.50	68.47	7.98
25	15.00	20.20	0.80	13.85	1.96	0.53	295.66	13989.31	347.19	6.38	15.15	1730.74	0.78%	89.21%	0.30	13.99	1.48	69.95	8.08
26	15.00	16.20	0.80	17.92	1.41	0.51	233.86	14223.17	365.11	6.11	13.27	1744.01	0.68%	89.90%	0.23	14.22	1.17	71.12	8.16
27	15.00	16.20	0.80	13.12	1.24	0.58	235.39	14458.56	378.23	5.93	4.27	1748.28	0.22%	90.12%	0.24	14.46	1.18	72.29	8.27
28	15.00	15.20	0.63	15.30	1.07	0.48	220.66	14679.21	393.53	5.72	6.92	1755.20	0.36%	90.47%	0.22	14.68	1.10	73.40	8.36
29	15.00	15.00	0.00	15.77	1.11	0.45	217.90	14897.12	409.30	5.54	17.50	1772.70	0.90%	91.38%	0.22	14.90	1.09	74.49	8.40
30	0.00	0.00	0.00	22.65	1.02	0.46	-10.42	14886.70	431.95	5.29	23.10	1795.80	1.19%	92.57%	-0.01	14.89	-0.05	74.43	8.29

COLUMNA 4-E

TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	VOL.	COMP.	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	gastado	acum.	acum.	COBRE	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM	Kg/TM	Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	28.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	840.00	5840.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.84	5.84	4.20	29.20	0.00
1	30.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	900.00	6740.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.90	6.74	4.50	33.70	0.00
2	40.00	30.00	0.00	35.86	17.95	1.10	1160.55	7900.55	35.86	17.95	643.69	643.69	34.98%	34.98%	1.16	7.90	5.80	39.50	12.27
3	40.00	25.00	0.00	33.50	9.57	1.15	961.48	8862.03	69.36	13.90	320.60	964.28	17.42%	52.41%	0.96	8.86	4.81	44.31	9.19
4	30.00	25.00	0.80	34.94	4.63	0.97	716.11	9578.14	104.30	10.57	137.77	1102.05	7.49%	59.89%	0.72	9.58	3.58	47.89	8.69
5	40.00	25.00	0.80	33.09	3.93	0.43	985.77	10563.91	137.39	8.73	98.04	1200.10	5.33%	65.22%	0.99	10.56	4.93	52.82	8.80
6	40.00	17.60	0.80	37.53	3.83	0.73	676.60	11240.51	174.92	7.50	111.74	1311.84	6.07%	71.30%	0.68	11.24	3.38	56.20	8.57
7	30.00	15.20	0.80	27.93	3.31	0.72	435.89	11676.40	202.85	6.80	68.45	1380.29	3.72%	75.02%	0.44	11.68	2.18	58.38	8.46
8	30.00	14.76	0.80	27.86	2.28	0.49	429.15	12105.55	230.71	6.15	39.52	1419.81	2.15%	77.16%	0.43	12.11	2.15	60.53	8.53
9	30.00	14.56	0.80	38.92	1.47	0.83	404.50	12510.05	269.63	5.39	33.21	1453.02	1.81%	78.97%	0.40	12.51	2.02	62.55	8.61
10	10.00	10.50	0.00	20.87	1.35	0.76	89.14	12599.19	290.50	5.10	28.17	1481.19	1.53%	80.50%	0.09	12.60	0.45	63.00	8.51
11	0.00	0.00	0.00	22.95	1.30	0.76	-17.44	12581.74	313.45	4.82	29.84	1511.03	1.62%	82.12%	-0.02	12.58	-0.09	62.91	8.33

COLUMNA 5-E

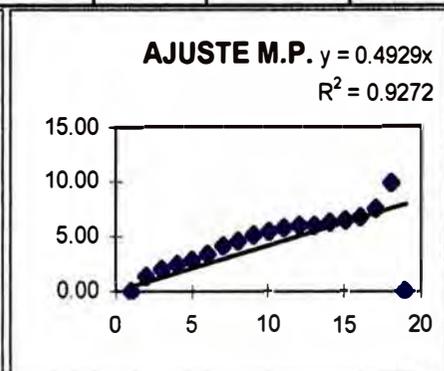
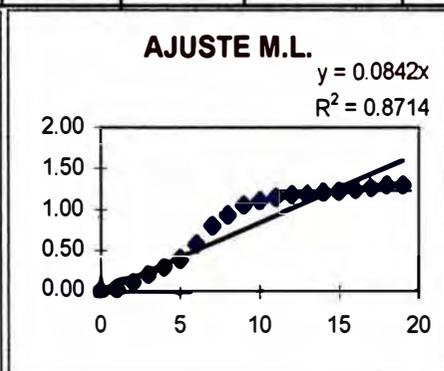
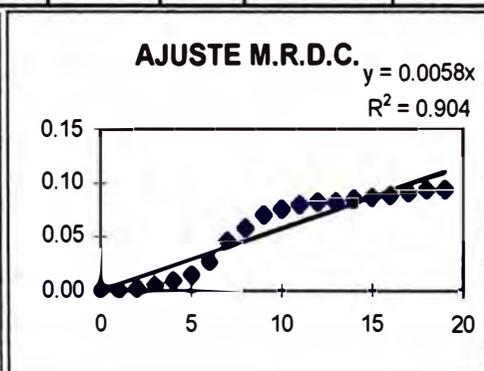
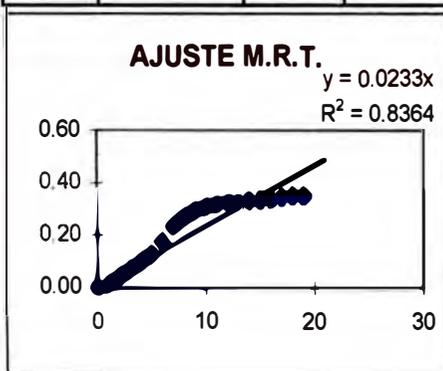
TIEMPO LIX. dias	INGRESO(RIEGO)			SALIDA (COSECHA)			H ₂ SO ₄ gastado	H ₂ SO ₄ acum.	VOL. acum.	COMP. COBRE	EXTRACCION DE COBRE OXIDO				CONSUMO DE H ₂ SO ₄				
	VOL.	H ₂ SO ₄	CuOx	VOL.	Cu Ox.	H ₂ SO ₄	grs.	grs.	lt.	gr/lt.	parc.	acum.	%Cu	%Cu	Kgr. H ₂ SO ₄		Kg/TM	Kg/TM	Kg/Kg Cu
	lt.	gr/lt.	gr/lt.	lt.	gr/lt.	gr/lt.					grs	grs.	parc.	acum.	parc.	acum.	parc.	acum.	acum.
0	18.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	540.00	5540.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.54	5.54	2.70	27.70	0.00
1	20.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	600.00	6140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.60	6.14	3.00	30.70	0.00
2	15.00	30.00	0.00	15.46	34.79	1.08	433.30	6573.30	15.46	34.79	537.85	537.85	23.59%	23.59%	0.43	6.57	2.17	32.87	12.22
3	15.00	25.00	0.00	13.49	22.61	0.76	364.75	6938.05	28.95	29.11	305.01	842.86	13.38%	36.97%	0.36	6.94	1.82	34.69	8.23
4	15.00	25.00	0.80	16.30	17.30	0.80	361.96	7300.01	45.25	24.59	269.99	1112.85	11.84%	48.81%	0.36	7.30	1.81	36.50	6.56
5	15.00	25.10	0.80	17.21	10.62	0.72	364.11	7664.12	62.46	20.55	170.77	1283.62	7.49%	56.30%	0.36	7.66	1.82	38.32	5.97
6	20.00	25.00	0.80	13.59	6.68	0.70	490.49	8154.61	76.05	17.86	74.78	1358.40	3.28%	59.58%	0.49	8.15	2.45	40.77	6.00
7	15.00	25.20	0.80	14.26	6.19	0.73	367.59	8522.20	90.31	15.89	76.27	1434.67	3.35%	62.92%	0.37	8.52	1.84	42.61	5.94
8	15.00	25.00	0.80	13.32	5.22	0.80	364.34	8886.54	103.63	14.40	57.53	1492.20	2.52%	65.45%	0.36	8.89	1.82	44.43	5.96
9	15.00	25.00	0.80	10.34	4.77	0.64	368.38	9254.92	113.97	13.42	37.32	1529.53	1.64%	67.08%	0.37	9.25	1.84	46.27	6.05
10	15.00	25.00	0.80	16.26	4.53	0.59	365.41	9620.33	130.23	12.22	61.66	1591.18	2.70%	69.79%	0.37	9.62	1.83	48.10	6.05
11	15.00	25.40	0.80	13.15	4.25	0.83	370.09	9990.42	143.38	11.40	43.89	1635.07	1.92%	71.71%	0.37	9.99	1.85	49.95	6.11
12	15.00	25.00	0.80	13.67	3.71	0.90	362.70	10353.11	157.05	10.66	38.72	1673.79	1.70%	73.41%	0.36	10.35	1.81	51.77	6.19
13	15.00	20.00	0.80	11.62	4.28	0.83	290.36	10643.47	168.67	10.15	37.73	1711.52	1.65%	75.07%	0.29	10.64	1.45	53.22	6.22
14	15.00	20.20	0.80	14.12	3.96	0.76	292.27	10935.74	182.79	9.60	43.92	1755.44	1.93%	76.99%	0.29	10.94	1.46	54.68	6.23
15	15.00	20.10	0.80	14.75	3.44	0.55	293.39	11229.12	197.54	9.08	38.74	1794.18	1.70%	78.69%	0.29	11.23	1.47	56.15	6.26
16	15.00	20.00	0.80	15.43	3.14	0.64	290.12	11519.25	212.97	8.60	36.45	1830.63	1.60%	80.29%	0.29	11.52	1.45	57.60	6.29
17	15.00	19.80	0.80	12.32	3.25	0.54	290.35	11809.60	225.29	8.25	28.04	1858.67	1.23%	81.52%	0.29	11.81	1.45	59.05	6.35
18	18.00	19.90	0.80	15.22	3.07	0.92	344.20	12153.79	240.51	7.86	32.33	1890.99	1.42%	82.94%	0.34	12.15	1.72	60.77	6.43
19	15.00	20.00	0.80	14.87	2.95	0.51	292.42	12446.21	255.38	7.53	31.87	1922.86	1.40%	84.34%	0.29	12.45	1.46	62.23	6.47
20	18.00	18.60	0.80	14.48	2.46	0.47	327.99	12774.20	269.86	7.20	21.22	1944.08	0.93%	85.27%	0.33	12.77	1.64	63.87	6.57
21	15.00	13.40	0.93	17.39	2.24	0.77	187.61	12961.81	287.25	6.85	25.00	1969.08	1.10%	86.36%	0.19	12.96	0.94	64.81	6.58
22	15.00	13.30	0.80	12.24	1.69	0.88	188.73	13150.54	299.49	6.60	8.69	1977.77	0.38%	86.74%	0.19	13.15	0.94	65.75	6.65
23	15.00	13.50	0.80	14.39	1.87	0.69	192.57	13343.11	313.88	6.35	14.91	1992.68	0.65%	87.40%	0.19	13.34	0.96	66.72	6.70
24	15.00	5.00	0.00	13.52	1.77	0.78	64.45	13407.57	327.40	6.16	23.93	2016.61	1.05%	88.45%	0.06	13.41	0.32	67.04	6.65
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13407.57	327.40	6.16	0.00	2016.61	0.00%	88.45%	0.00	13.41	0.00	67.04	6.65
26	0.00	0.00	0.00	24.03	2.32	0.60	-14.42	13393.15	351.43	5.90	55.75	2072.36	2.45%	90.89%	-0.01	13.39	-0.07	66.97	6.46

A N E X O N° 2

**AJUSTES DE MODELOS CINETICOS DE LAS PRUEBAS
EXPERIMENTALES EN COLUMNAS**

SERIE A : EFECTOS DE LA VARIACION DEL TIEMPO DE REPOSO
COLUMNA 1-A

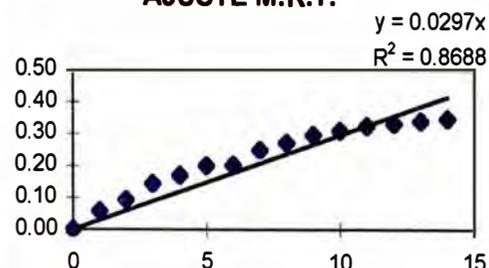
TIEMPO LIX dias	EXTRACCION Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		1-((1-α) ^x (1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ² /3		ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)		0.4929 =k, r=0.9272		α'	
		0.0233 =k, r=0,8364		α'	0.0058 =k, r=0,9040		α'	0.0842 =k, r=0,8714		α'			α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0842	0.00%	0.0000	0.0000	11.85%
1	3.40%	0.0115	0.0233	6.83%	0.0001	0.0058	21.60%	0.0058	0.0346	0.1684	8.08%	0.0000	0.4929	17.57%
2	11.85%	0.0412	0.0466	13.34%	0.0016	0.0116	29.99%	0.0116	0.1261	0.2526	15.50%	1.3778	0.9858	24.93%
3	19.75%	0.0707	0.0699	19.54%	0.0048	0.0174	36.05%	0.0174	0.2200	0.3368	22.32%	2.0276	1.4787	33.49%
4	26.43%	0.0972	0.0932	25.44%	0.0088	0.0232	40.99%	0.0232	0.3069	0.4210	28.59%	2.4540	1.9716	42.37%
5	33.32%	0.1264	0.1165	31.04%	0.0146	0.0290	45.21%	0.0290	0.4053	0.5052	34.36%	2.8472	2.4645	50.57%
6	43.82%	0.1749	0.1398	36.35%	0.0270	0.0348	48.89%	0.0348	0.5767	0.5894	39.66%	3.4321	2.9574	57.35%
7	55.13%	0.2345	0.1631	41.38%	0.0464	0.0406	52.15%	0.0406	0.8015	0.6736	44.53%	4.1602	3.4503	62.47%
8	60.63%	0.2671	0.1864	46.14%	0.0586	0.0464	55.17%	0.0464	0.9322	0.7578	49.01%	4.6325	3.9432	66.07%
9	65.10%	0.2959	0.2097	50.64%	0.0703	0.0522	57.88%	0.0522	1.0526	0.8420	53.13%	5.1688	4.4361	68.48%
10	67.02%	0.3091	0.2330	54.88%	0.0759	0.0580	60.40%	0.0581	1.1093	0.9262	56.92%	5.4924	4.9290	70.04%
11	68.45%	0.3193	0.2563	58.87%	0.0802	0.0638	62.68%	0.0638	1.1537	1.0104	60.39%	5.8082	5.4219	71.02%
12	69.22%	0.3248	0.2796	62.61%	0.0826	0.0696	64.89%	0.0697	1.1782	1.0946	63.59%	6.0211	5.9148	71.64%
13	69.22%	0.3248	0.3029	66.12%	0.0826	0.0754	66.90%	0.0755	1.1782	1.1788	66.53%	6.0211	6.4077	72.03%
14	70.11%	0.3314	0.3262	69.41%	0.0855	0.0812	68.75%	0.0812	1.2075	1.2630	69.24%	6.3351	6.9006	72.26%
15	70.60%	0.3351	0.3495	72.47%	0.0872	0.0870	70.55%	0.0870	1.2243	1.3472	71.72%	6.5619	7.3935	72.41%
16	71.04%	0.3384	0.3728	75.33%	0.0887	0.0928	72.24%	0.0928	1.2393	1.4314	74.00%	6.8100	7.8864	72.49%
17	71.88%	0.3448	0.3961	77.98%	0.0916	0.0986	73.83%	0.0987	1.2686	1.5156	76.10%	7.5671	8.3793	72.55%
18	72.56%	0.3502	0.4194	80.43%	0.0940	0.1044	75.33%	0.1044	1.2933	1.5998	78.03%	9.9626	8.8722	72.58%
19	72.63%	0.3508	0.4427	82.69%	0.0943	0.1102	76.78%	0.1103	1.2959	0.0000	79.81%	0.0000	9.3651	72.60%



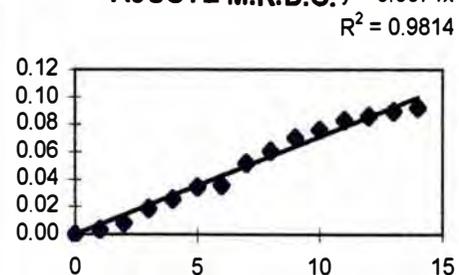
COLUMNA 2-A

TIEMPO LIX dias	EXTRACCION. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		$1-((1-\alpha)^{1/3})$		$1-(1-kt)^3$	$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$		$\ln(1-\alpha)=-kt$	$\alpha=1-\exp(-kt)$		$0.3958 =k, r=0.9773$		α^*		
		0.0297 =k, r=0,8688		α^*	0.0071 =k, r=0,9814		α^*	0.1064 =k, r=0,9264		α^*			α^*	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	16.71%
1	16.71%	0.0591	0.0297	8.65%	0.0034	0.0071	23.75%	0.0070	0.1829	0.1064	10.09%	0.0000	0.3958	22.32%
2	25.43%	0.0932	0.0594	16.78%	0.0081	0.0142	32.88%	0.0142	0.2934	0.2128	19.17%	0.5906	0.7916	28.83%
3	37.45%	0.1448	0.0891	24.42%	0.0189	0.0213	39.46%	0.0213	0.4693	0.3192	27.33%	1.2753	1.1874	35.87%
4	42.86%	0.1702	0.1188	31.57%	0.0257	0.0284	44.78%	0.0284	0.5597	0.4256	34.66%	1.5797	1.5832	42.92%
5	48.85%	0.2003	0.1485	38.26%	0.0348	0.0355	49.30%	0.0355	0.6705	0.5320	41.26%	1.9393	1.9790	49.48%
6	49.44%	0.2034	0.1782	44.50%	0.0358	0.0426	53.23%	0.0426	0.6821	0.6384	47.19%	1.9768	2.3748	55.14%
7	57.84%	0.2502	0.2079	50.30%	0.0521	0.0497	56.72%	0.0497	0.8638	0.7448	52.52%	2.5953	2.7706	59.75%
8	61.62%	0.2733	0.2376	55.69%	0.0611	0.0568	59.87%	0.0568	0.9577	0.8512	57.31%	2.9650	3.1664	63.31%
9	65.23%	0.2968	0.2673	60.67%	0.0707	0.0639	62.72%	0.0639	1.0564	0.9576	61.62%	3.4409	3.5622	65.95%
10	67.12%	0.3098	0.297	65.26%	0.0761	0.0710	65.35%	0.0710	1.1122	1.0640	65.49%	3.7874	3.9580	67.86%
11	69.37%	0.3259	0.3267	69.48%	0.0832	0.0781	67.76%	0.0781	1.1833	1.1704	68.98%	4.4139	4.3538	69.21%
12	70.33%	0.3330	0.3564	73.34%	0.0863	0.0852	70.00%	0.0852	1.2150	1.2768	72.11%	4.8477	4.7496	70.15%
13	71.35%	0.3408	0.3861	76.86%	0.0898	0.0923	72.08%	0.0923	1.2502	1.3832	74.92%	5.6812	5.1454	70.79%
14	72.16%	0.3470	0.4158	80.06%	0.0926	0.0994	74.03%	0.0994	1.2787	1.4896	77.45%	0.0000	5.5412	71.23%

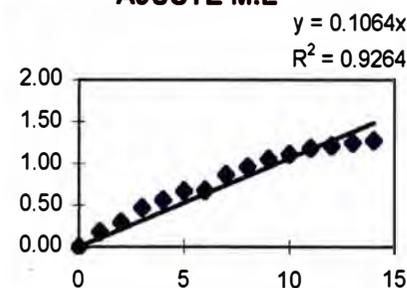
AJUSTE M.R.T.



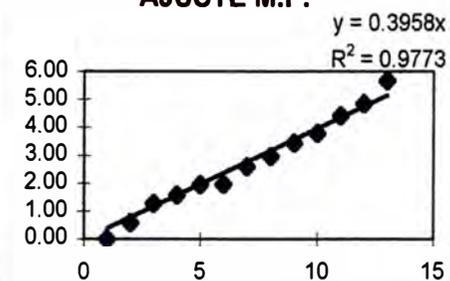
AJUSTE M.R.D.C.



AJUSTE M.L.

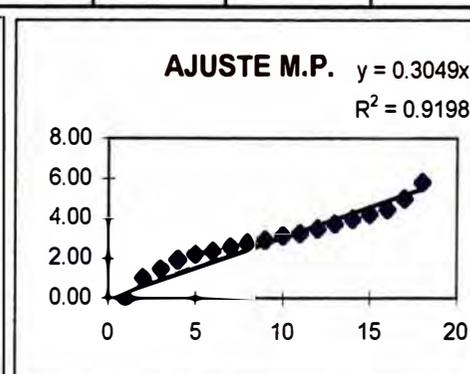
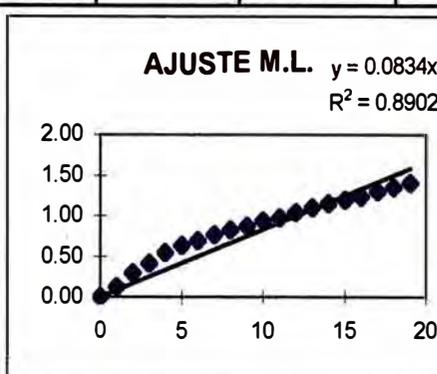
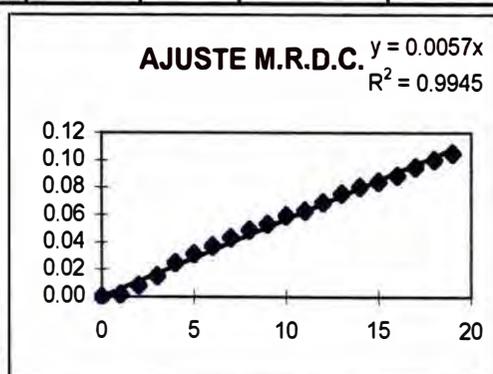
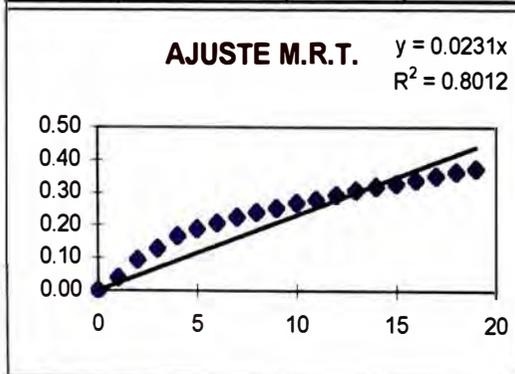


AJUSTE M.P.



COLUMNA 3-A

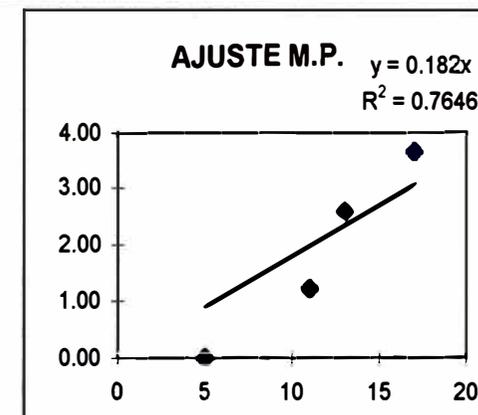
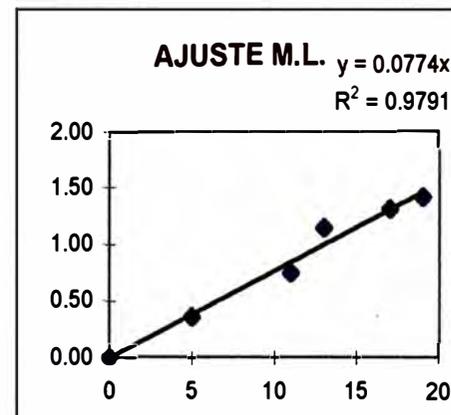
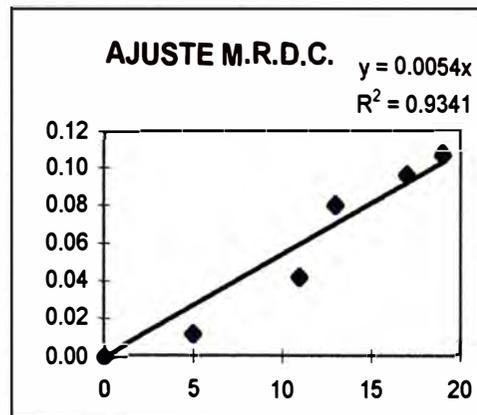
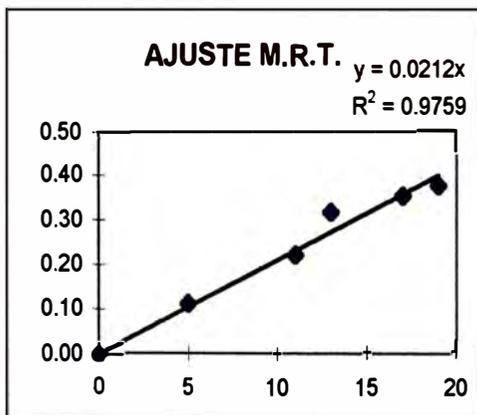
TIEMPO LIX dias	EXTRACCION. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		$1 - ((1-\alpha)^{(1/3)})$		$1 - (1-kt)^3$	$1 - 2/3\alpha - (1-\alpha)^2/3$			$\ln(1-\alpha) = -kt$	$\alpha = 1 - \exp(-kt)$					
		0.0231 =k, r=0,8012		α'	0.0057 =k, r=0,9945			α'	0.0834 =k, r=0,8902		α'	0.3049 =k, r=0.9198		α'
0	0.00%	0.0000	0.000000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.00%	0.0000	0.0000	11.78%
1	11.78%	0.0409	0.023100	6.77%	0.0016	0.0057	21.51%	0.0057	0.1254	8.00%	8.00%	0.0000	0.3049	15.14%
2	25.73%	0.0944	0.046200	13.23%	0.0084	0.0114	29.74%	0.0114	0.2975	15.36%	15.36%	1.0281	0.6098	19.17%
3	33.85%	0.1287	0.069300	19.38%	0.0151	0.0171	35.76%	0.0171	0.4132	22.14%	22.14%	1.4801	0.9147	23.85%
4	42.26%	0.1673	0.092400	25.24%	0.0249	0.0228	40.66%	0.0228	0.5493	28.37%	28.37%	1.9279	1.2196	29.07%
5	46.93%	0.1904	0.115500	30.80%	0.0316	0.0285	44.87%	0.0285	0.6335	34.10%	34.10%	2.1837	1.5245	34.68%
6	50.18%	0.2073	0.138600	36.08%	0.0370	0.0342	48.50%	0.0342	0.6968	39.37%	39.37%	2.3716	1.8294	40.42%
7	53.73%	0.2265	0.161700	41.09%	0.0436	0.0399	51.75%	0.0398	0.7707	44.22%	44.22%	2.5910	2.1343	46.04%
8	56.37%	0.2416	0.184800	45.83%	0.0490	0.0456	54.73%	0.0455	0.8295	48.69%	48.69%	2.7685	2.4392	51.31%
9	58.35%	0.2532	0.207900	50.30%	0.0533	0.0513	57.45%	0.0513	0.8758	52.79%	52.79%	2.9118	2.7441	56.02%
10	61.08%	0.2699	0.231000	54.52%	0.0597	0.0570	59.93%	0.0570	0.9437	56.57%	56.57%	3.1311	3.0490	60.10%
11	62.43%	0.2785	0.254100	58.50%	0.0631	0.0627	62.25%	0.0627	0.9791	60.04%	60.04%	3.2515	3.3539	63.50%
12	64.77%	0.2937	0.277200	62.24%	0.0694	0.0684	64.39%	0.0683	1.0431	63.24%	63.24%	3.4847	3.6588	66.27%
13	66.92%	0.3084	0.300300	65.74%	0.0756	0.0741	66.42%	0.0741	1.1062	66.18%	66.18%	3.7413	3.9637	68.47%
14	68.58%	0.3202	0.323400	69.03%	0.0806	0.0798	68.35%	0.0799	1.1578	68.89%	68.89%	3.9812	4.2686	70.19%
15	69.82%	0.3293	0.346500	72.09%	0.0846	0.0855	70.08%	0.0855	1.1982	71.38%	71.38%	4.1971	4.5735	71.51%
16	71.06%	0.3386	0.369600	74.95%	0.0888	0.0912	71.80%	0.0913	1.2401	73.67%	73.67%	4.4607	4.8784	72.52%
17	72.83%	0.3523	0.392700	77.60%	0.0950	0.0969	73.35%	0.0969	1.3031	75.78%	75.78%	4.9929	5.1833	73.28%
18	74.30%	0.3642	0.415800	80.06%	0.1005	0.1026	74.84%	0.1025	1.3588	77.71%	77.71%	5.8135	5.4882	73.85%
19	75.50%	0.3743	0.438900	82.33%	0.1051	0.1083	76.27%	0.1082	1.4066	79.50%	79.50%	0.0000	5.7931	74.28%



SERIE B: EFECTOS DEL TAMAÑO PARTICULA Y TIEMPO DE REPOSO

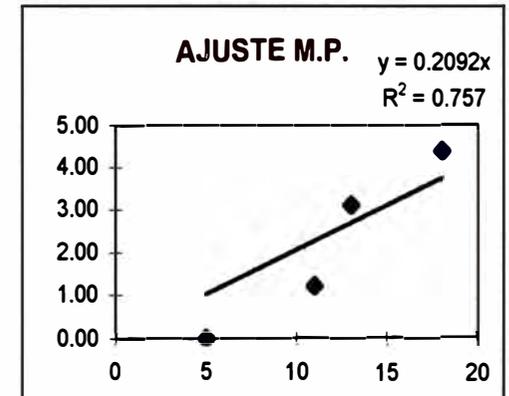
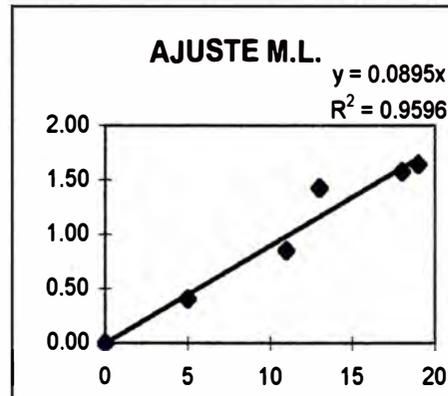
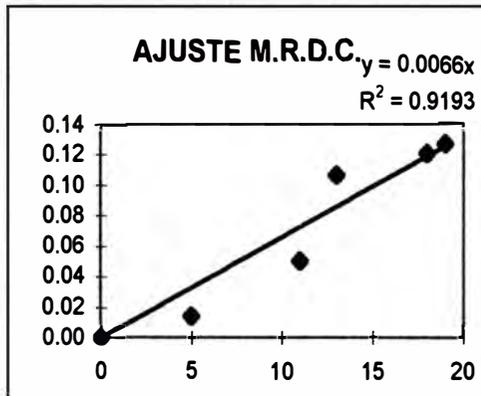
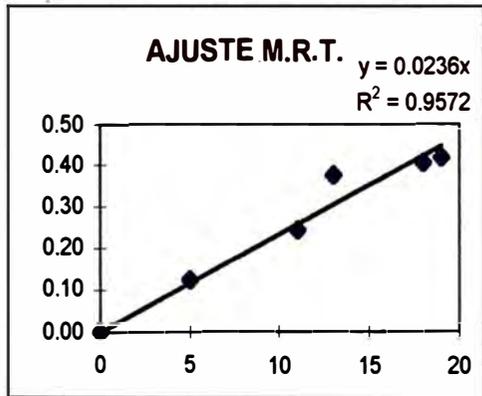
COLUMNA 1-B

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica		Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		$1-((1-\alpha)^{1/3})$	$1-(1-kt)^3$	$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$		$\ln(1-\alpha)=-kt$	$\alpha=1-\exp(-kt)$		0.182 =k, r=0,7646		α'			
		0.0212 =k, r=0,9759	α'	0.0054 =k, r=0,9341	α'	0.0774 =k, r=0,9791	α'	0.182 =k, r=0,7646	α'					
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	30.49%
5	30.49%	0.1142	0.1060	28.55%	0.0120	0.0270	43.81%	0.0270	0.3637	0.3209	32.09%	0.0000	0.9100	47.48%
11	52.99%	0.2224	0.2332	54.91%	0.0421	0.0594	60.95%	0.0594	0.7548	0.5732	57.32%	1.2341	2.0020	63.27%
13	68.49%	0.3195	0.2756	61.99%	0.0803	0.0702	65.06%	0.0702	1.1549	0.6344	63.44%	2.6077	2.3660	66.68%
17	73.25%	0.3557	0.3604	73.83%	0.0965	0.0918	71.94%	0.0918	1.3186	0.7317	73.17%	3.6726	3.0940	71.21%
19	76.03%	0.3788	0.4028	78.70%	0.1073	0.1026	74.86%	0.1026	1.4284	0.7702	77.02%	0.0000	3.4580	72.61%



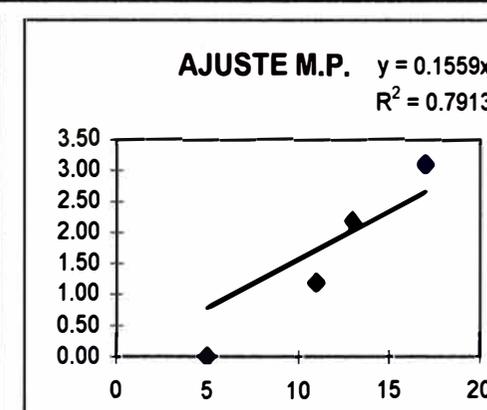
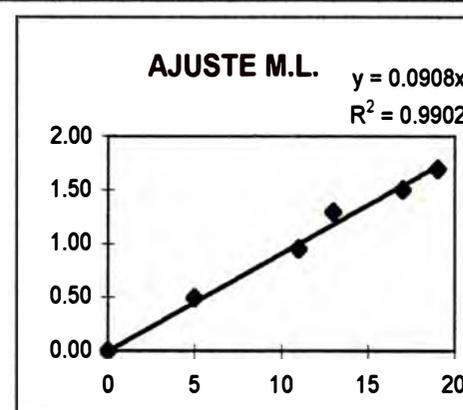
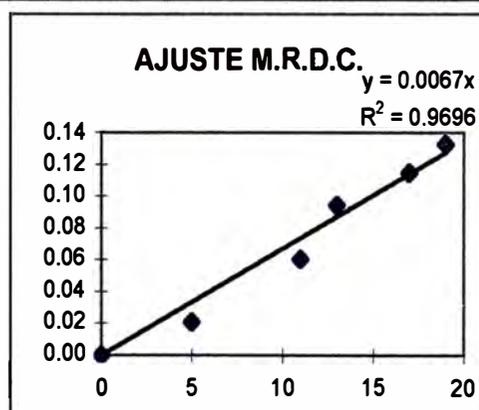
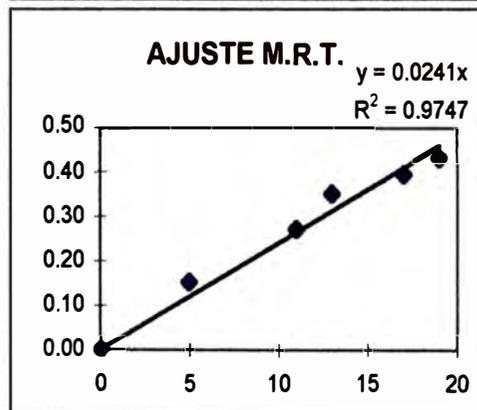
COLUMNA 2-B

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt)^3	1-2/3α-(1-α)^2/3		α'	ln(1-α)=-kt	α=1-exp(-kt)		α'	0.2092 =k, r=0,7570		α'
		0.0236	=k, r=0,9572	α'	0.0066 =k, r=0,9193	α'			0.0895 =k, r=0,9596	α'		0.2092 =k, r=0,7570	α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	33.39%
5	33.39%	0.1267	0.1180	31.39%	0.0147	0.0330	47.78%	0.0330	0.4063	0.3608	36.08%	0.0000	1.0460	53.87%
11	57.28%	0.2469	0.2596	59.41%	0.0509	0.0726	65.91%	0.0726	0.8505	0.6264	62.64%	1.2437	2.3012	70.64%
13	75.96%	0.3782	0.3068	66.69%	0.1070	0.0858	70.18%	0.0858	1.4255	0.6876	68.76%	3.1303	2.7196	73.78%
18	79.29%	0.4084	0.4248	80.97%	0.1214	0.1188	78.73%	0.1188	1.5746	0.8003	80.03%	4.4059	3.7656	78.10%
19	80.66%	0.4217	0.4484	83.22%	0.1278	0.1254	80.15%	0.1254	1.6430	0.8174	81.74%	0.0000	3.9748	78.57%



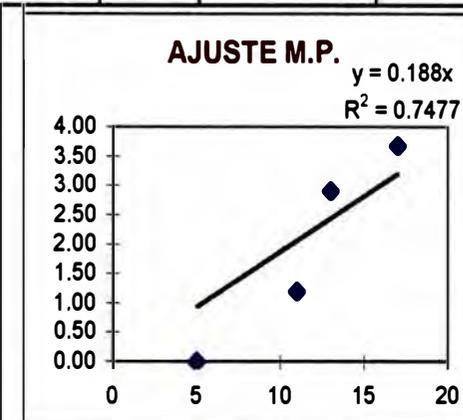
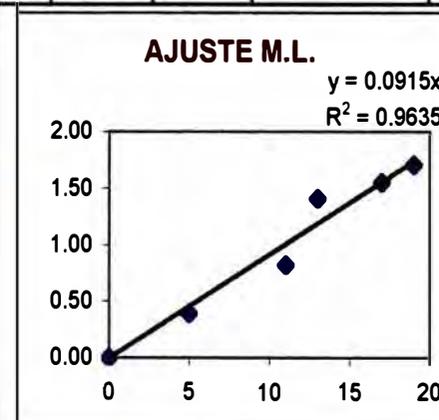
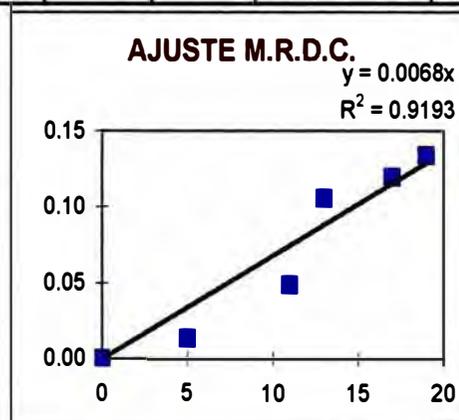
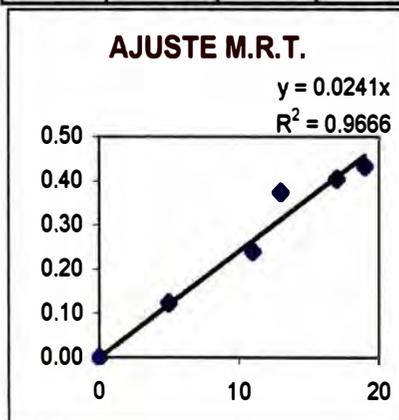
COLUMNA 3-B

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		$1-((1-\alpha)^{1/3})$		$1-(1-kt)^3$	$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$				$\ln(1-\alpha)=-kt$		$\alpha=1-\exp(-kt)$			
		0.0241 =k, r=0,9747		α'	0.0067 =k, r=0.9696		α'	0.0908 =k, r=0,9902		α'	0.1559 =k, r=0,7913		α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	39.07%
5	39.07%	0.1522	0.1205	31.97%	0.0208	0.0335	48.09%	0.0335	0.4954	0.3649	36.49%	0.0000	0.7795	54.43%
11	61.31%	0.2713	0.2651	60.31%	0.0603	0.0737	66.29%	0.0737	0.9496	0.6317	63.17%	1.1899	1.7149	68.25%
13	72.70%	0.3513	0.3133	67.62%	0.0945	0.0871	70.57%	0.0871	1.2983	0.6928	69.28%	2.1825	2.0267	71.38%
17	77.81%	0.3946	0.4097	79.43%	0.1147	0.1139	77.62%	0.1139	1.5055	0.7864	78.64%	3.0996	2.6503	75.80%
19	81.63%	0.4315	0.4579	84.07%	0.1326	0.1273	80.55%	0.1273	1.6945	0.8219	82.19%	0.0000	2.9621	77.28%



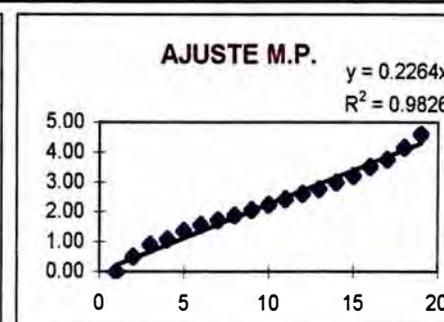
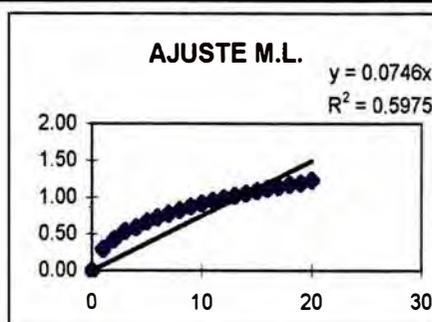
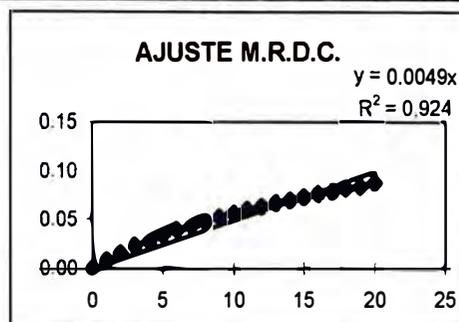
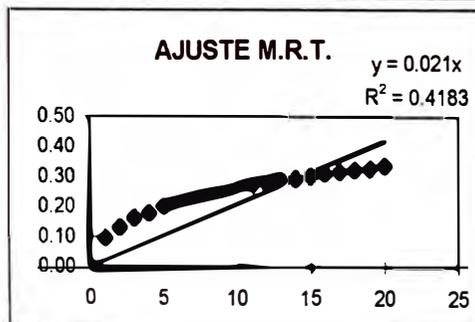
COLUMNA 4-B

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α) ^{1/3})		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}			ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)				
		0.0241	=k, r=0,9666	α'	0.0068	=k, r=0.9193	α'	0.0915	=k, r=0,9635	α'	0.188	=k, r=0,7477	α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	32.60%
5	32.60%	0.1232	0.1205	31.97%	0.0139	0.0340	48.40%	0.0340	0.3945	0.3671	36.71%	0.0000	0.9400	51.48%
11	56.24%	0.2408	0.2651	60.31%	0.0487	0.0748	66.66%	0.0748	0.8265	0.6345	63.45%	1.1991	2.0680	68.73%
13	75.62%	0.3753	0.3133	67.62%	0.1056	0.0884	70.96%	0.0884	1.4114	0.6956	69.56%	2.9075	2.4440	72.37%
17	78.86%	0.4043	0.4097	79.43%	0.1194	0.1156	78.01%	0.1156	1.5540	0.7889	78.89%	3.6819	3.1960	77.09%
19	81.86%	0.4339	0.4579	84.07%	0.1338	0.1292	80.94%	0.1292	1.7071	0.8242	82.42%	0.0000	3.5720	78.53%



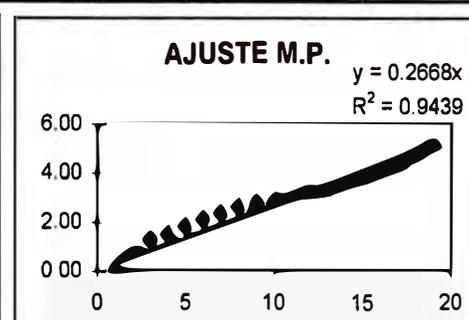
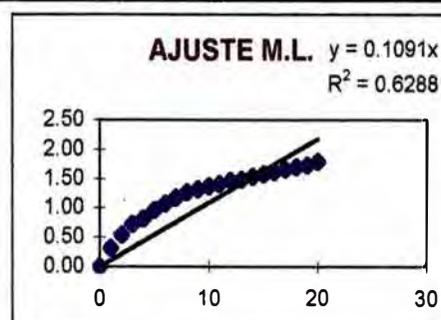
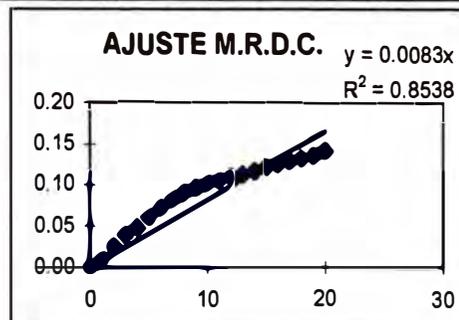
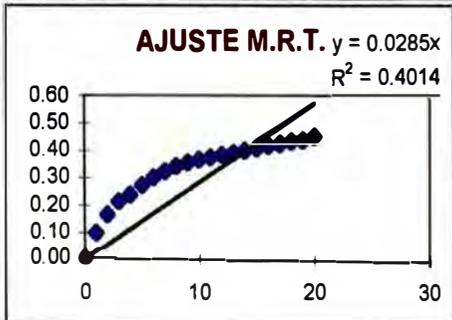
SERIE C: EFECTO DE LA DOSIFICACION H₂SO₄ Y NaCl
COLUMNA 1-C

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica		Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)				Metodo Poblacional		
		1-((1-α) ^{1/3})		1-(1-kt) ³		1-2/3α-(1-α) ^{2/3}				ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)		
		0.021 =k, r=0,4183		α		0.0049 =k, r=0,9240		α		0.0746 =k, r=0,5975		α		0.2264 =k, r=0,9826
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	25.72%
1	25.72%	0.0944	0.0210	6.17%	0.0083	0.0049	20.02%	0.0049	0.2973	0.0719	7.19%	0.0000	0.2264	29.53%
2	34.33%	0.1308	0.0420	12.08%	0.0156	0.0098	27.72%	0.0098	0.4206	0.1386	13.86%	0.5004	0.4528	33.49%
3	41.46%	0.1635	0.0630	17.73%	0.0238	0.0147	33.40%	0.0147	0.5355	0.2005	20.05%	0.9062	0.6792	37.50%
4	44.45%	0.1779	0.0840	23.14%	0.0279	0.0196	38.03%	0.0196	0.5879	0.2580	25.80%	1.0826	0.9056	41.45%
5	48.95%	0.2008	0.1050	28.31%	0.0349	0.0245	41.99%	0.0245	0.6723	0.3113	31.13%	1.3654	1.1320	45.26%
6	51.77%	0.2158	0.1260	33.24%	0.0399	0.0294	45.47%	0.0294	0.7291	0.3608	36.08%	1.5589	1.3584	48.84%
7	53.93%	0.2277	0.1470	37.93%	0.0440	0.0343	48.58%	0.0343	0.7750	0.4068	40.68%	1.7199	1.5848	52.12%
8	55.98%	0.2393	0.1680	42.41%	0.0481	0.0392	51.41%	0.0392	0.8206	0.4494	44.94%	1.8864	1.8112	55.08%
9	58.09%	0.2516	0.1890	46.66%	0.0527	0.0441	54.00%	0.0441	0.8696	0.4890	48.90%	2.0757	2.0376	57.69%
10	59.88%	0.2625	0.2100	50.70%	0.0568	0.0490	56.39%	0.0490	0.9133	0.5257	52.57%	2.2570	2.2640	59.95%
11	61.39%	0.2718	0.2310	54.52%	0.0605	0.0539	58.62%	0.0539	0.9516	0.5598	55.98%	2.4291	2.4904	61.88%
12	62.74%	0.2804	0.2520	58.15%	0.0639	0.0588	60.70%	0.0588	0.9872	0.5915	59.15%	2.6040	2.7168	63.52%
13	63.93%	0.2881	0.2730	61.58%	0.0671	0.0637	62.65%	0.0637	1.0196	0.6208	62.08%	2.7801	2.9432	64.88%
14	65.11%	0.2960	0.2940	64.81%	0.0703	0.0686	64.49%	0.0686	1.0530	0.6481	64.81%	2.9850	3.1696	66.02%
15	66.23%	0.3036	0.3150	67.86%	0.0735	0.0735	66.22%	0.0735	1.0855	0.6734	67.34%	3.2164	3.3960	66.95%
16	67.35%	0.3114	0.3360	70.72%	0.0768	0.0784	67.86%	0.0784	1.1192	0.6969	69.69%	3.5082	3.6224	67.71%
17	68.10%	0.3167	0.3570	73.42%	0.0791	0.0833	69.42%	0.0833	1.1426	0.7187	71.87%	3.7590	3.8488	68.33%
18	69.01%	0.3233	0.3780	75.94%	0.0820	0.0882	70.90%	0.0882	1.1714	0.7389	73.89%	4.1649	4.0752	68.84%
19	69.66%	0.3281	0.3990	78.29%	0.0841	0.0931	72.31%	0.0931	1.1928	0.7577	75.77%	4.6035	4.3016	69.24%
20	70.89%	0.3373	0.4200	80.49%	0.0882	0.0980	73.65%	0.0980	1.2341	0.7751	77.51%	0.0000	4.5280	69.57%



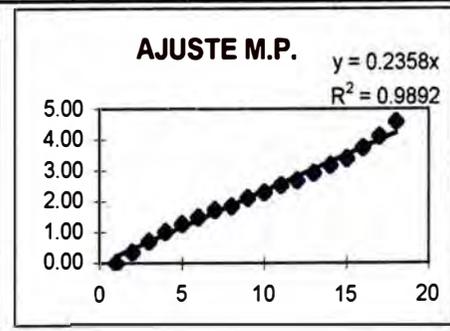
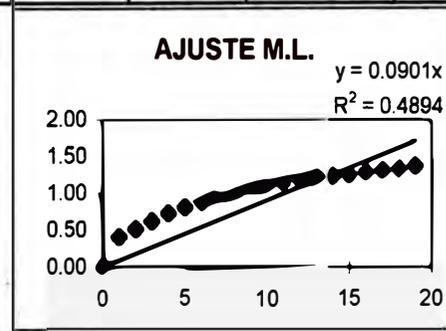
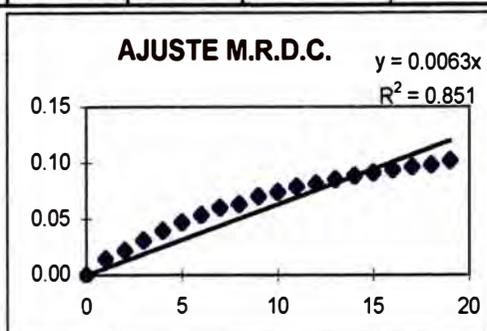
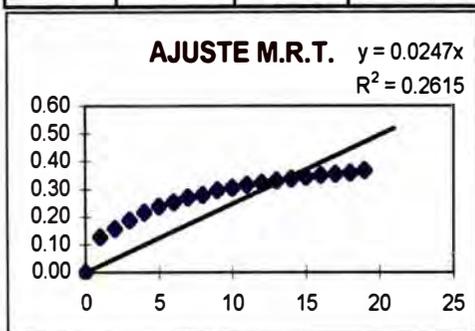
COLUMNA 2-C

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}		ln(1-α)=-kt	α=1-exp(-kt)		0.2668 =k, r=0,9439		α'		
		0.0285 =k, r=0,4014		α'	0.0083 =k, r=0,8538		α'	0.1091 =k, r=0,6288		α'			α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	26.87%
1	26.87%	0.0991	0.0285	8.31%	0.0092	0.0083	25.65%	0.0083	0.3129	0.1034	10.34%	0.0000	0.2668	31.94%
2	42.16%	0.1668	0.0570	16.14%	0.0247	0.0166	35.29%	0.0166	0.5474	0.1960	19.60%	0.7661	0.5336	37.33%
3	51.69%	0.2153	0.0855	23.52%	0.0397	0.0249	42.29%	0.0249	0.7275	0.2791	27.91%	1.2334	0.8004	42.87%
4	55.85%	0.2385	0.1140	30.45%	0.0478	0.0332	47.91%	0.0332	0.8175	0.3536	35.36%	1.4516	1.0672	48.37%
5	61.64%	0.2734	0.1425	36.95%	0.0611	0.0415	52.65%	0.0415	0.9580	0.4204	42.04%	1.7868	1.3340	53.64%
6	65.91%	0.3014	0.1710	43.03%	0.0726	0.0498	56.77%	0.0498	1.0761	0.4804	48.04%	2.0733	1.6008	58.52%
7	69.11%	0.3240	0.1995	48.70%	0.0823	0.0581	60.41%	0.0581	1.1747	0.5341	53.41%	2.3238	1.8676	62.91%
8	71.80%	0.3442	0.2280	53.99%	0.0913	0.0664	63.68%	0.0664	1.2659	0.5822	58.22%	2.5720	2.1344	66.74%
9	73.34%	0.3564	0.2565	58.90%	0.0968	0.0747	66.63%	0.0747	1.3220	0.6254	62.54%	2.7365	2.4012	70.00%
10	74.78%	0.3682	0.2850	63.45%	0.1023	0.0830	69.33%	0.0830	1.3777	0.6641	66.41%	2.9123	2.6680	72.72%
11	75.68%	0.3758	0.3135	67.65%	0.1058	0.0913	71.80%	0.0913	1.4139	0.6988	69.88%	3.0349	2.9348	74.96%
12	76.79%	0.3855	0.3420	71.51%	0.1104	0.0996	74.08%	0.0996	1.4608	0.7300	73.00%	3.2071	3.2016	76.76%
13	77.45%	0.3914	0.3705	75.05%	0.1132	0.1079	76.19%	0.1079	1.4896	0.7579	75.79%	3.3223	3.4684	78.20%
14	78.48%	0.4007	0.3990	78.29%	0.1177	0.1162	78.14%	0.1162	1.5361	0.7829	78.29%	3.5271	3.7352	79.35%
15	79.35%	0.4089	0.4275	81.24%	0.1216	0.1245	79.96%	0.1245	1.5773	0.8053	80.53%	3.7354	4.0020	80.24%
16	80.17%	0.4168	0.4560	83.90%	0.1255	0.1328	81.66%	0.1328	1.6179	0.8255	82.55%	3.9773	4.2688	80.94%
17	80.92%	0.4243	0.4845	86.30%	0.1291	0.1411	83.24%	0.1411	1.6565	0.8435	84.35%	4.2579	4.5356	81.49%
18	81.67%	0.4319	0.5130	88.45%	0.1328	0.1494	84.72%	0.1494	1.6965	0.8597	85.97%	4.6405	4.8024	81.91%
19	82.23%	0.4377	0.5415	90.36%	0.1357	0.1577	86.11%	0.1577	1.7274	0.8742	87.42%	5.0571	5.0692	82.24%
20	83.32%	0.4496	0.5700	92.05%	0.1415	0.1660	87.40%	0.1660	1.7912	0.8872	88.72%	0.0000	5.3360	82.49%



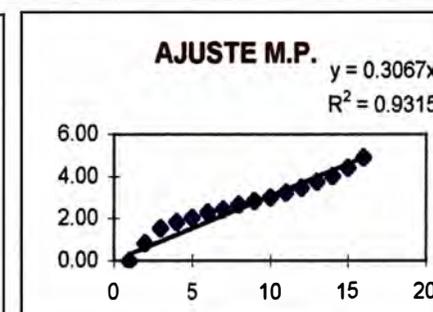
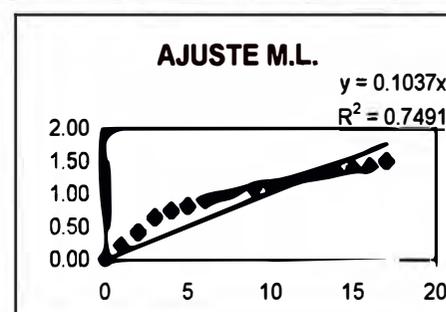
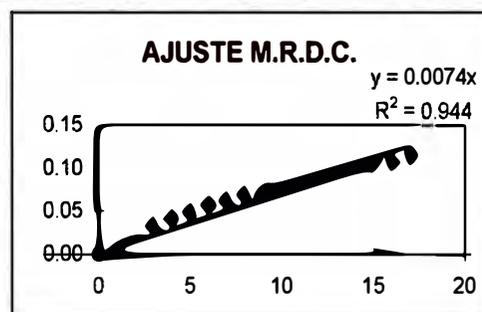
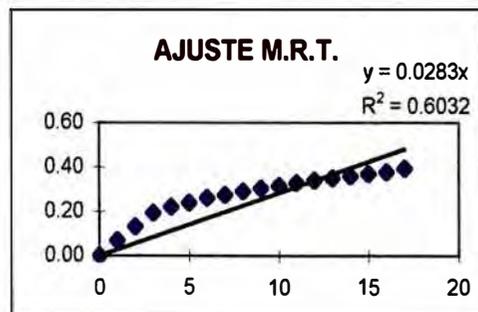
COLUMNA 3-C

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt)^3	1-2/3α-(1-α)^2/3		ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)		0.2358 =k, r=0,9892		α'	
		0.0247 =k, r=0,2615		α'	0.0063 =k, r=0,851		α'	0.0901 =k, r=0,4894		α'			α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	33.45%
1	33.45%	0.1269	0.0247	7.23%	0.0147	0.0063	22.54%	0.0063	0.4072	0.0862	8.62%	0.0000	0.2358	37.84%
2	40.16%	0.1573	0.0494	14.10%	0.0222	0.0126	31.13%	0.0126	0.5136	0.1649	16.49%	0.3605	0.4716	42.22%
3	46.53%	0.1883	0.0741	20.62%	0.0310	0.0189	37.41%	0.0189	0.6260	0.2368	23.68%	0.7110	0.7074	46.46%
4	51.81%	0.2160	0.0988	26.81%	0.0399	0.0252	42.51%	0.0252	0.7301	0.3026	30.26%	1.0263	0.9432	50.47%
5	55.64%	0.2373	0.1235	32.66%	0.0474	0.0315	46.84%	0.0315	0.8127	0.3627	36.27%	1.2799	1.1790	54.17%
6	58.47%	0.2539	0.1482	38.20%	0.0536	0.0378	50.62%	0.0378	0.8788	0.4176	41.76%	1.4905	1.4148	57.49%
7	61.20%	0.2706	0.1729	43.42%	0.0600	0.0441	52.44%	0.0411	0.9467	0.4678	46.78%	1.7197	1.6506	60.42%
8	62.47%	0.2787	0.1976	48.34%	0.0632	0.0504	57.04%	0.0504	0.9801	0.5136	51.36%	1.8391	1.8864	62.95%
9	65.08%	0.2958	0.2223	52.96%	0.0702	0.0567	59.82%	0.0567	1.0521	0.5555	55.55%	2.1195	2.1222	65.10%
10	66.51%	0.3056	0.2470	57.30%	0.0743	0.0630	62.38%	0.0567	1.0940	0.5938	59.38%	2.3019	2.3580	66.91%
11	68.02%	0.3162	0.2717	61.37%	0.0789	0.0693	64.74%	0.0693	1.1402	0.6288	62.88%	2.5280	2.5938	68.42%
12	68.97%	0.3230	0.2964	65.17%	0.0819	0.0756	66.94%	0.0756	1.1702	0.6608	66.08%	2.6936	2.8296	69.65%
13	70.09%	0.3312	0.3211	68.71%	0.0855	0.0819	69.01%	0.0820	1.2069	0.6900	69.00%	2.9261	3.0654	70.66%
14	71.06%	0.3386	0.3458	72.00%	0.0888	0.0882	70.92%	0.0883	1.2400	0.7167	71.67%	3.1755	3.3012	71.48%
15	71.76%	0.3439	0.3705	75.05%	0.0912	0.0945	72.72%	0.0946	1.2644	0.7411	74.11%	3.3963	3.5370	72.14%
16	72.62%	0.3506	0.3952	77.88%	0.0942	0.1008	74.42%	0.1009	1.2953	0.7635	76.35%	3.7507	3.7728	72.66%
17	73.26%	0.3558	0.4199	80.48%	0.0966	0.1071	76.00%	0.1071	1.3192	0.7838	78.38%	4.1256	4.0086	73.09%
18	73.80%	0.3601	0.4446	82.87%	0.0985	0.1134	77.50%	0.1134	1.3392	0.8025	80.25%	4.5844	4.2444	73.43%
19	74.73%	0.3677	0.4693	85.05%	0.1021	0.1197	78.93%	0.1197	1.3754	0.8195	81.95%	0.0000	4.4802	73.70%



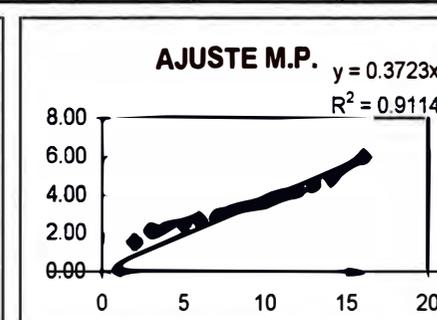
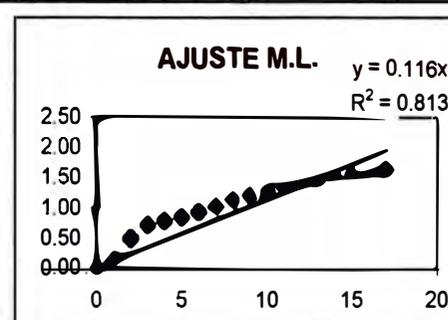
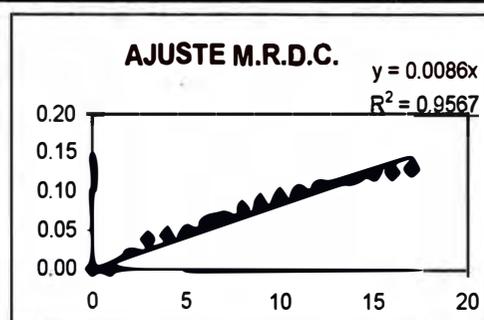
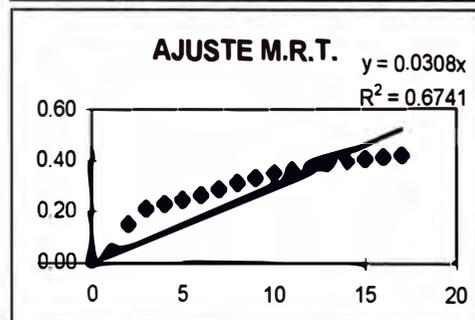
COLUMNA 4-C

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt)^3	1-2/3α-(1-α)^2/3			ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)		0.3067 =k, r=0,9315		α'
		0.0283 =k, r=0,6032		α'	0.0074 =k, r=0,944		α'	0.1037 =k, r=0,7491		α'			α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	19.80%
1	19.80%	0.0709	0.0283	8.25%	0.0048	0.0074	24.32%	0.0074	0.2206	0.0985	9.85%	0.0000	0.3067	24.65%
2	34.43%	0.1312	0.0566	16.04%	0.0157	0.0148	33.49%	0.0148	0.4220	0.1873	18.73%	0.8439	0.6134	30.08%
3	47.74%	0.1945	0.0849	23.37%	0.0329	0.0222	40.20%	0.0222	0.6490	0.2674	26.74%	1.5379	0.9201	35.89%
4	52.90%	0.2220	0.1132	30.26%	0.0420	0.0296	45.60%	0.0296	0.7530	0.3395	33.95%	1.8292	1.2268	41.85%
5	56.32%	0.2413	0.1415	36.73%	0.0488	0.0370	50.17%	0.0370	0.8283	0.4046	40.46%	2.0395	1.5335	47.66%
6	59.92%	0.2627	0.1698	42.78%	0.0569	0.0444	54.15%	0.0444	0.9144	0.4632	46.32%	2.2855	1.8402	53.09%
7	62.08%	0.2762	0.1981	48.43%	0.0622	0.0518	57.68%	0.0518	0.9697	0.5161	51.61%	2.4496	2.1469	57.95%
8	64.58%	0.2925	0.2264	53.70%	0.0689	0.0592	60.86%	0.0592	1.0379	0.5638	56.38%	2.6628	2.4536	62.13%
9	66.48%	0.3054	0.2547	58.60%	0.0743	0.0666	63.75%	0.0666	1.0931	0.6067	60.67%	2.8473	2.7603	65.62%
10	68.07%	0.3165	0.2830	63.14%	0.0790	0.0740	66.39%	0.0740	1.1417	0.6455	64.55%	3.0227	3.0670	68.44%
11	69.74%	0.3287	0.3113	67.33%	0.0844	0.0814	68.82%	0.0814	1.1955	0.6804	68.04%	3.2363	3.3737	70.68%
12	71.22%	0.3398	0.3396	71.20%	0.0893	0.0888	71.08%	0.0888	1.2455	0.7119	71.19%	3.4606	3.6804	72.42%
13	72.75%	0.3517	0.3679	74.74%	0.0947	0.0962	73.17%	0.0962	1.3001	0.7403	74.03%	3.7478	3.9871	73.76%
14	73.86%	0.3606	0.3962	77.99%	0.0988	0.1036	75.11%	0.1036	1.3418	0.7659	76.59%	4.0136	4.2938	74.78%
15	75.13%	0.3711	0.4245	80.94%	0.1037	0.1110	76.93%	0.1110	1.3915	0.7889	78.89%	4.4223	4.6005	75.55%
16	76.13%	0.3797	0.4528	83.62%	0.1077	0.1184	78.64%	0.1184	1.4328	0.8097	80.97%	4.9148	4.9072	76.12%
17	77.77%	0.3942	0.4811	86.03%	0.1146	0.1258	80.24%	0.1258	1.5037	0.8285	82.85%	0.0000	5.2139	76.55%



COLUMNA 5-C

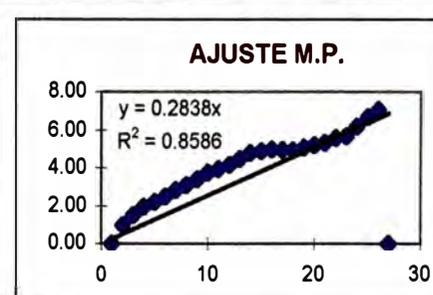
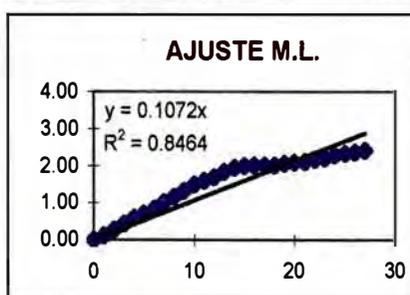
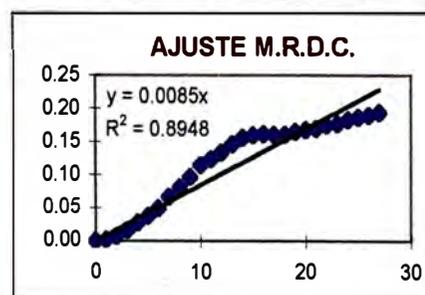
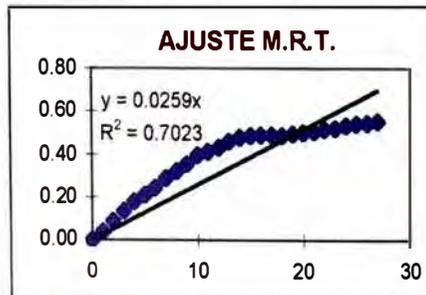
TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada				Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional		
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}				ln(1-α)=-kt	α=1-exp(-kt)				
		0.0308 =k, r=0,6741		α'	0.0086 =k, r=0,9567		α'		0.116 =k, r=0,813		α'	0.3723 =k, r=0,9114		
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	14.31%
1	14.31%	0.0502	0.0308	8.96%	0.0024	0.0086	26.07%	0.0086	0.1544	0.1095	10.95%	0.0000	0.3723	19.23%
2	39.19%	0.1528	0.0616	17.37%	0.0210	0.0172	35.86%	0.0172	0.4974	0.2071	20.71%	1.4740	0.7446	25.21%
3	51.11%	0.2122	0.0924	25.24%	0.0387	0.0258	42.95%	0.0258	0.7155	0.2939	29.39%	2.0743	1.1169	32.08%
4	54.40%	0.2303	0.1232	32.59%	0.0449	0.0344	48.64%	0.0344	0.7854	0.3712	37.12%	2.2534	1.4892	39.50%
5	57.32%	0.2471	0.1540	39.45%	0.0510	0.0430	53.44%	0.0430	0.8514	0.4401	44.01%	2.4214	1.8615	46.99%
6	60.65%	0.2672	0.1848	45.83%	0.0587	0.0516	57.59%	0.0516	0.9327	0.5014	50.14%	2.6289	2.2338	54.05%
7	64.17%	0.2897	0.2156	51.74%	0.0677	0.0602	61.27%	0.0602	1.0263	0.5560	55.60%	2.8743	2.6061	60.30%
8	67.75%	0.3143	0.2464	57.20%	0.0781	0.0688	64.56%	0.0688	1.1318	0.6047	60.47%	3.1671	2.9784	65.52%
9	70.44%	0.3338	0.2772	62.24%	0.0866	0.0774	66.53%	0.0774	1.2187	0.6480	64.80%	3.4309	3.3507	69.67%
10	72.82%	0.3522	0.3080	66.86%	0.0949	0.0860	70.24%	0.0860	1.3026	0.6865	68.65%	3.7175	3.7230	72.86%
11	74.60%	0.3667	0.3388	71.09%	0.1016	0.0946	72.73%	0.0946	1.3703	0.7208	72.08%	3.9843	4.0953	75.23%
12	75.98%	0.3784	0.3696	74.95%	0.1071	0.1032	75.01%	0.1032	1.4264	0.7514	75.14%	4.2434	4.4676	76.95%
13	77.08%	0.3880	0.4004	78.44%	0.1116	0.1118	77.12%	0.1118	1.4732	0.7786	77.86%	4.5005	4.8399	78.19%
14	78.26%	0.3987	0.4312	81.60%	0.1167	0.1204	79.08%	0.1204	1.5258	0.8029	80.29%	4.8641	5.2122	79.06%
15	79.32%	0.4086	0.4620	84.43%	0.1215	0.1290	80.90%	0.1290	1.5759	0.8245	82.45%	5.3503	5.5845	79.68%
16	80.14%	0.4165	0.4928	86.95%	0.1253	0.1376	82.59%	0.1376	1.6162	0.8437	84.37%	5.9871	5.9568	80.11%
17	81.07%	0.4259	0.5236	89.19%	0.1299	0.1462	84.16%	0.1462	1.6647	0.8608	86.08%	0.0000	6.3291	80.41%



SERIE D: EFECTOS DE LA VARIACION DEL H₂SO₄

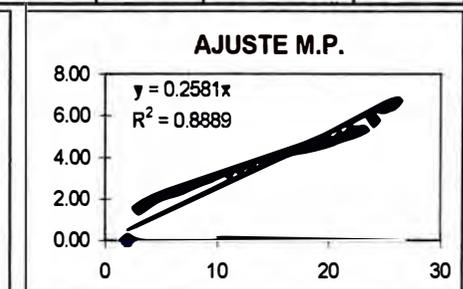
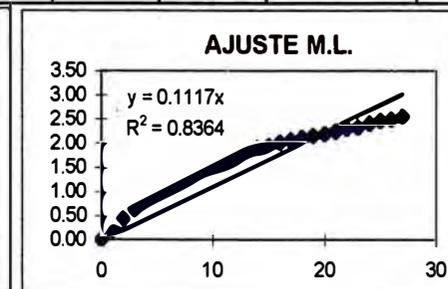
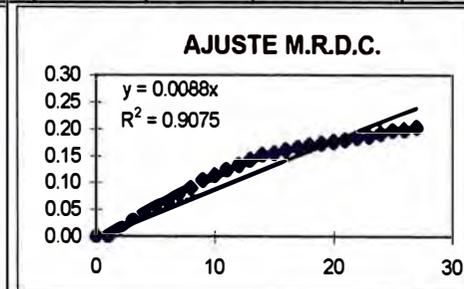
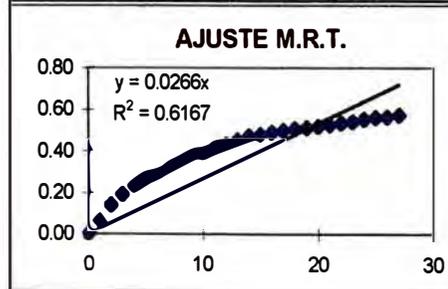
COLUMNA 1-D

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α) ^{1/3})		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}		ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)					
		0.0259 =k, r=0,7023		α'	0.0085	=k, r=0,8948	α'	0.1072	=k, r=0,8464	α'	0.2838	=k, r=0,8586	α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	11.06%
1	11.06%	0.0383	0.0259	7.57%	0.0014	0.0085	26.00%	0.0085	0.1172	0.0081	10.17%	0.0000	0.2838	14.12%
2	24.26%	0.0884	0.0518	14.75%	0.0074	0.0170	35.75%	0.0171	0.2778	0.0158	19.30%	0.9657	0.5676	17.85%
3	35.15%	0.1344	0.0777	21.55%	0.0164	0.0255	42.73%	0.0255	0.4330	0.0231	27.50%	1.5143	0.8514	22.28%
4	44.73%	0.1793	0.1036	27.97%	0.0283	0.0340	48.40%	0.0340	0.5930	0.0300	34.87%	1.9431	1.1352	27.39%
5	50.83%	0.2107	0.1295	34.04%	0.0382	0.0425	53.17%	0.0425	0.7099	0.0365	41.49%	2.2117	1.4190	33.11%
6	56.75%	0.2437	0.1554	39.75%	0.0498	0.0510	57.33%	0.0510	0.8381	0.0426	47.44%	2.4805	1.7028	39.30%
7	63.81%	0.2874	0.1813	45.13%	0.0668	0.0595	60.99%	0.0595	1.0165	0.0484	52.78%	2.8277	1.9866	45.72%
8	68.69%	0.3209	0.2072	50.17%	0.0810	0.0680	64.27%	0.0680	1.1611	0.0538	57.58%	3.0975	2.2704	52.14%
9	73.23%	0.3555	0.2331	54.90%	0.0964	0.0765	67.24%	0.0765	1.3180	0.0588	61.89%	3.3877	2.5542	58.31%
10	77.82%	0.3947	0.2590	59.31%	0.1148	0.0850	69.95%	0.0850	1.5061	0.0636	65.77%	3.7441	2.8380	64.01%
11	79.79%	0.4132	0.2849	63.43%	0.1237	0.0935	72.43%	0.0935	1.5992	0.0680	69.25%	3.9290	3.1218	69.10%
12	81.75%	0.4328	0.3108	67.26%	0.1332	0.1020	74.76%	0.1022	1.7009	0.0721	72.37%	4.1418	3.4056	73.49%
13	84.22%	0.4596	0.3367	70.82%	0.1465	0.1105	76.82%	0.1105	1.8466	0.0759	75.18%	4.4766	3.6894	77.19%
14	85.90%	0.4795	0.3626	74.10%	0.1564	0.1190	78.78%	0.1190	1.9590	0.0794	77.70%	4.7731	3.9732	80.23%
15	86.47%	0.4866	0.3885	77.13%	0.1600	0.1275	80.60%	0.1275	2.0003	0.0827	79.97%	4.8943	4.2570	82.68%
16	86.78%	0.4905	0.4144	79.92%	0.1619	0.1360	82.29%	0.1361	2.0232	0.0857	82.01%	4.9653	4.5408	84.62%
17	86.62%	0.4886	0.4403	82.47%	0.1610	0.1445	83.87%	0.1446	2.0117	0.0884	83.84%	4.9295	4.8246	86.15%
18	86.59%	0.4882	0.4662	84.79%	0.1608	0.1530	85.35%	0.1531	2.0093	0.0909	85.48%	4.9219	5.1084	87.34%
19	87.21%	0.4962	0.4921	86.90%	0.1648	0.1615	86.72%	0.1616	2.0565	0.0932	86.96%	5.0745	5.3922	88.25%
20	87.65%	0.5021	0.5180	88.80%	0.1677	0.1700	88.01%	0.1701	2.0918	0.0952	88.28%	5.1987	5.6760	88.95%
21	88.01%	0.5068	0.5439	90.51%	0.1701	0.1785	89.19%	0.1785	2.1207	0.0970	89.47%	5.3082	5.9598	89.49%
22	88.74%	0.5171	0.5698	92.04%	0.1752	0.1870	90.31%	0.1870	2.1838	0.0987	90.54%	5.5809	6.2436	89.90%
23	88.95%	0.5201	0.5957	93.39%	0.1767	0.1955	91.36%	0.1955	2.2026	0.1001	91.50%	5.6737	6.5274	90.21%
24	89.81%	0.5329	0.6216	94.58%	0.1831	0.2040	92.34%	0.2040	2.2840	0.1014	92.37%	6.1779	6.8112	90.44%
25	90.34%	0.5412	0.6475	95.62%	0.1872	0.2125	93.24%	0.2125	2.3373	0.1025	93.14%	6.6817	7.0950	90.62%
26	90.60%	0.5453	0.6734	96.52%	0.1893	0.2210	94.09%	0.2210	2.3645	0.1035	93.84%	7.0643	7.3788	90.75%
27	91.16%	0.5546	0.6993	97.28%	0.1938	0.2295	94.87%	0.2295	2.4261	0.1043	94.47%	0.0000	7.6626	90.85%



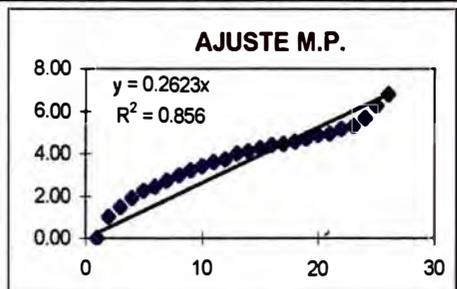
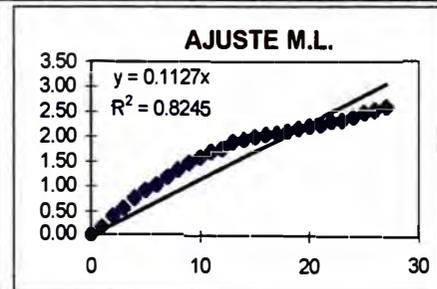
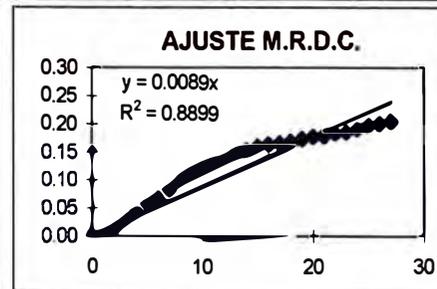
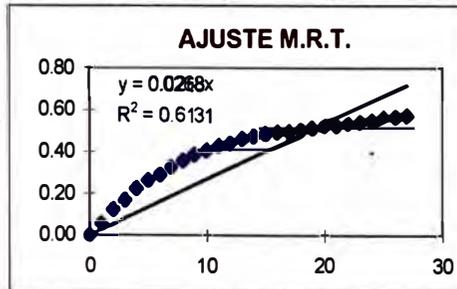
COLUMNA 2 - D

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}		ln(1-α)=-kt	α=1-exp(-kt)		0.2581 =k, r=0,8889		α'		
		0.0266 =k, r=0,6167		α'	0.0088 =k, r=0,9075		α'	0.117 =k, r=0,8364		α'	0.2581 =k, r=0,8889		α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	16.91%
1	16.91%	0.0599	0.0266	7.77%	0.0000	0.0088	26.42%	0.0088	0.1853	0.0091	11.04%	0.0000	0.2581	20.77%
2	35.79%	0.1373	0.0532	15.13%	0.0171	0.0176	36.24%	0.0176	0.4430	0.0177	20.86%	0.0000	0.5162	25.22%
3	47.07%	0.1911	0.0798	22.08%	0.0319	0.0264	43.43%	0.0265	0.6362	0.0258	29.60%	1.5353	0.7743	30.21%
4	54.91%	0.2332	0.1064	28.64%	0.0459	0.0352	49.17%	0.0353	0.7965	0.0335	37.37%	1.8799	1.0324	35.66%
5	60.24%	0.2646	0.1330	34.83%	0.0577	0.0440	53.95%	0.0440	0.9222	0.0407	44.29%	2.1266	1.2905	41.45%
6	63.89%	0.2879	0.1596	40.64%	0.0670	0.0528	58.14%	0.0528	1.0186	0.0476	50.44%	2.3070	1.5486	47.38%
7	68.01%	0.3161	0.1862	46.10%	0.0789	0.0616	61.83%	0.0616	1.1398	0.0539	55.91%	2.5267	1.8067	53.27%
8	71.44%	0.3415	0.2128	51.22%	0.0901	0.0704	65.14%	0.0704	1.2533	0.0599	60.78%	2.7290	2.0648	58.93%
9	75.50%	0.3743	0.2394	56.00%	0.1051	0.0792	68.12%	0.0792	1.4064	0.0655	65.11%	3.0013	2.3229	64.20%
10	77.58%	0.3925	0.2660	60.46%	0.1138	0.0880	70.84%	0.0880	1.4953	0.0707	68.96%	3.1618	2.5810	68.97%
11	79.76%	0.4129	0.2926	64.60%	0.1235	0.0968	73.33%	0.0968	1.5976	0.0756	72.39%	3.3508	2.8391	73.16%
12	81.59%	0.4311	0.3192	68.45%	0.1324	0.1056	75.62%	0.1056	1.6922	0.0801	75.44%	3.5323	3.0972	76.77%
13	83.49%	0.4514	0.3458	72.00%	0.1424	0.1144	77.73%	0.1144	1.8010	0.0842	78.15%	3.7521	3.3553	79.81%
14	85.19%	0.4709	0.3724	75.28%	0.1521	0.1232	79.69%	0.1232	1.9097	0.0881	80.56%	3.9893	3.6134	82.33%
15	85.74%	0.4775	0.3990	78.29%	0.1554	0.1320	81.50%	0.1320	1.9476	0.0916	82.71%	4.0774	3.8715	84.39%
16	86.65%	0.4889	0.4256	81.05%	0.1611	0.1408	83.19%	0.1408	2.0136	0.0948	84.62%	4.2397	4.1296	86.05%
17	87.33%	0.4977	0.4522	83.56%	0.1655	0.1496	84.76%	0.1496	2.0659	0.0978	86.32%	4.3778	4.3877	87.37%
18	87.92%	0.5056	0.4788	85.84%	0.1695	0.1584	86.22%	0.1584	2.1134	0.1004	87.83%	4.5131	4.6458	88.43%
19	88.43%	0.5127	0.5054	87.90%	0.1730	0.1672	87.58%	0.1672	2.1566	0.1028	89.17%	4.6455	4.9039	89.26%
20	88.83%	0.5184	0.5320	89.75%	0.1759	0.1760	88.85%	0.1760	2.1922	0.1050	90.37%	4.7634	5.1620	89.92%
21	89.35%	0.5260	0.5586	91.40%	0.1797	0.1848	90.04%	0.1848	2.2398	0.1069	91.43%	4.9360	5.4201	90.43%
22	89.99%	0.5357	0.5852	92.86%	0.1845	0.1936	91.14%	0.1936	2.3014	0.1086	92.38%	5.1948	5.6782	90.83%
23	90.25%	0.5397	0.6118	94.15%	0.1865	0.2024	92.16%	0.2024	2.3279	0.1102	93.22%	5.3236	5.9363	91.14%
24	90.97%	0.5514	0.6384	95.27%	0.1923	0.2112	93.11%	0.2112	2.4050	0.1115	93.97%	5.7925	6.1944	91.38%
25	91.52%	0.5607	0.6650	96.24%	0.1969	0.2200	94.00%	0.2200	2.4677	0.1126	94.63%	6.3849	6.4525	91.57%
26	91.71%	0.5640	0.6916	97.07%	0.1985	0.2288	94.82%	0.2289	2.4905	0.1136	95.23%	6.7127	6.7106	91.71%
27	92.21%	0.5729	0.7182	97.76%	0.2029	0.2376	95.56%	0.2376	2.5522	0.1144	95.75%	0.0000	6.9687	91.82%



COLUMNA 3 - D

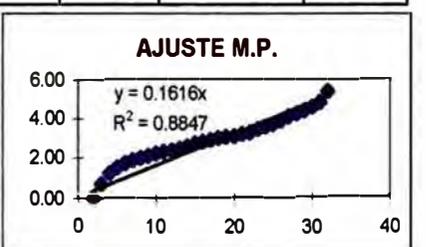
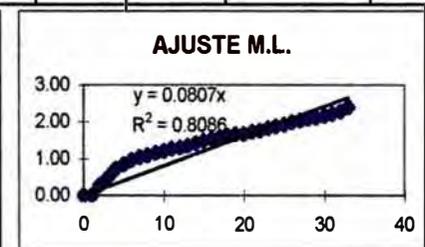
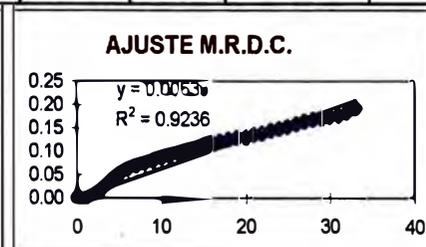
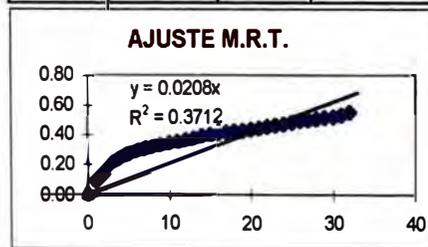
TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)				Metodo Poblacional		
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}		ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)		0.2623 =k, r=0,8560		α'	
		0.0268 =k, r=0,6131	α'	0.0089 =k, r=0,8899	α'	0.1127 =k, r=0,8245	α'	0.2623 =k, r=0,8560	α'					
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	15.30%
1	15.30%	0.0538	0.0268	7.83%	0.0028	0.0089	26.49%	0.0089	0.1661	0.1127	10.66%	0.0000	0.2623	18.95%
2	32.65%	0.1234	0.0536	15.23%	0.0140	0.0178	36.39%	0.0178	0.3953	0.2254	20.18%	1.0126	0.5246	23.21%
3	42.68%	0.1693	0.0804	22.23%	0.0254	0.0267	43.56%	0.0266	0.5566	0.3381	28.69%	1.4642	0.7869	28.05%
4	52.97%	0.2223	0.1072	28.84%	0.0421	0.0356	49.31%	0.0355	0.7544	0.4508	36.29%	1.9116	1.0492	33.43%
5	60.10%	0.2638	0.1340	35.05%	0.0574	0.0445	54.15%	0.0444	0.9188	0.5635	43.08%	2.2369	1.3115	39.20%
6	64.01%	0.2887	0.1608	40.90%	0.0673	0.0534	58.40%	0.0534	1.0218	0.6762	49.15%	2.4285	1.5738	45.21%
7	69.44%	0.3264	0.1876	46.38%	0.0834	0.0623	62.10%	0.0623	1.1856	0.7889	54.57%	2.7220	1.8361	51.25%
8	73.60%	0.3585	0.2144	51.52%	0.0978	0.0712	65.42%	0.0712	1.3319	0.9016	59.41%	2.9794	2.0984	57.13%
9	76.86%	0.3861	0.2412	56.31%	0.1107	0.0801	68.41%	0.0801	1.4637	1.0143	63.73%	3.2124	2.3607	62.65%
10	79.16%	0.4071	0.2680	60.78%	0.1208	0.0890	71.13%	0.0890	1.5683	1.1270	67.60%	3.4011	2.6230	67.69%
11	81.23%	0.4274	0.2948	64.93%	0.1306	0.0979	73.63%	0.0979	1.6729	1.2397	71.05%	3.5960	2.8853	72.15%
12	82.36%	0.4392	0.3216	68.78%	0.1364	0.1068	75.92%	0.1068	1.7350	1.3524	74.14%	3.7159	3.1476	76.00%
13	84.56%	0.4635	0.3484	72.33%	0.1485	0.1157	78.03%	0.1157	1.8683	1.4651	76.89%	3.9879	3.4099	79.26%
14	85.35%	0.4729	0.3752	75.61%	0.1531	0.1246	79.98%	0.1246	1.9210	1.5778	79.36%	4.1029	3.6722	81.96%
15	86.29%	0.4844	0.4020	78.62%	0.1589	0.1335	81.80%	0.1335	1.9873	1.6905	81.56%	4.2554	3.9345	84.17%
16	87.04%	0.4940	0.4288	81.36%	0.1637	0.1424	83.48%	0.1424	2.0436	1.8032	83.52%	4.3936	4.1968	85.95%
17	87.38%	0.4984	0.4556	83.87%	0.1659	0.1513	85.05%	0.1513	2.0698	1.9159	85.28%	4.4613	4.4591	87.37%
18	87.82%	0.5043	0.4824	86.13%	0.1688	0.1602	86.50%	0.1602	2.1054	2.0286	86.85%	4.5571	4.7214	88.49%
19	88.48%	0.5134	0.5092	88.18%	0.1734	0.1691	87.86%	0.1691	2.1612	2.1413	88.25%	4.7180	4.9837	89.38%
20	89.01%	0.5210	0.5360	90.01%	0.1772	0.1780	89.12%	0.1779	2.2083	2.2540	89.50%	4.8665	5.2460	90.07%
21	89.21%	0.5240	0.5628	91.64%	0.1786	0.1869	90.30%	0.1869	2.2267	2.3667	90.62%	4.9285	5.5083	90.62%
22	89.88%	0.5340	0.5896	93.09%	0.1836	0.1958	91.40%	0.1958	2.2908	2.4794	91.62%	5.1662	5.7706	91.04%
23	90.19%	0.5387	0.6164	94.36%	0.1860	0.2047	92.42%	0.2048	2.3213	2.5921	92.51%	5.2945	6.0329	91.36%
24	90.87%	0.5498	0.6432	95.46%	0.1915	0.2136	93.36%	0.2136	2.3941	2.7048	93.31%	5.6616	6.2952	91.62%
25	91.60%	0.5621	0.6700	96.41%	0.1976	0.2225	94.23%	0.2225	2.4774	2.8175	94.02%	6.2816	6.5575	91.81%
26	91.95%	0.5682	0.6968	97.21%	0.2006	0.2314	95.04%	0.2314	2.5194	2.9302	94.66%	6.7945	6.8198	91.96%
27	92.47%	0.5777	0.7236	97.89%	0.2052	0.2403	95.78%	0.2403	2.5860	3.0429	95.23%	0.0000	7.0821	92.08%



SERIE E: EFECTOS DE VARIACION FLUJO DE RIEGO

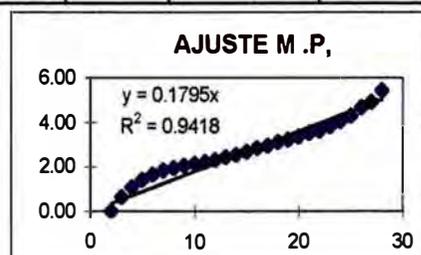
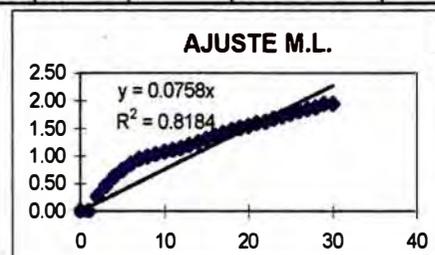
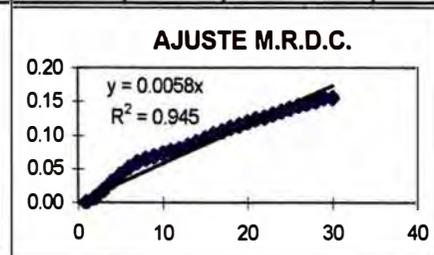
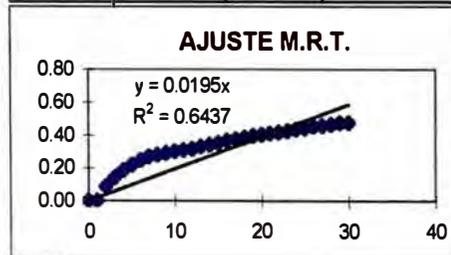
COLUMNA E-1

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt) ³	1-2/3α-(1-α) ^{2/3}		ln(1-α)=-kt	α=1-exp(-kt)		0.1616	=k, r=0,8847	α'		
		0.0208 =k, r=0,3712		α'	0.0063 =k, r=0,9236		α'	0.0807 =k, r=0,8086		α'	0.1616 =k, r=0,8847		α'	
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	24.68%
1	0.00%	0.0000	0.0208	6.11%	0.0000	0.0063	22.58%	0.0063	0.0000	0.0775	7.75%	0.0000	0.1616	27.69%
2	24.68%	0.0902	0.0416	11.97%	0.0076	0.0126	31.08%	0.0126	0.2834	0.1490	14.90%	0.0000	0.3232	30.90%
3	38.50%	0.1496	0.0624	17.58%	0.0201	0.0189	37.43%	0.0189	0.4861	0.2150	21.50%	0.6784	0.4848	34.27%
4	51.03%	0.2118	0.0832	22.94%	0.0385	0.0252	42.53%	0.0252	0.7139	0.2759	27.59%	1.2334	0.6464	37.79%
5	57.32%	0.2471	0.1040	28.07%	0.0510	0.0315	46.82%	0.0315	0.8514	0.3320	33.20%	1.5212	0.8080	41.40%
6	61.69%	0.2737	0.1248	32.96%	0.0613	0.0378	50.67%	0.0379	0.9595	0.3838	38.38%	1.7343	0.9696	45.06%
7	64.62%	0.2927	0.1456	37.63%	0.0890	0.0441	54.03%	0.0442	1.0391	0.4316	43.16%	1.8863	1.1312	48.73%
8	66.62%	0.3063	0.1664	42.07%	0.0747	0.0504	57.06%	0.0504	1.0972	0.4757	47.57%	1.9958	1.2928	52.35%
9	68.38%	0.3187	0.1872	46.30%	0.0800	0.0567	59.83%	0.0567	1.1513	0.5163	51.63%	2.0970	1.4544	55.89%
10	70.26%	0.3325	0.2080	50.32%	0.0861	0.0630	62.38%	0.0630	1.2128	0.5538	55.38%	2.2116	1.6160	59.30%
11	71.75%	0.3438	0.2288	54.13%	0.0911	0.0693	64.74%	0.0693	1.2641	0.5884	58.84%	2.3071	1.7776	62.54%
12	72.79%	0.3520	0.2496	57.74%	0.0948	0.0756	66.94%	0.0756	1.3016	0.6203	62.03%	2.3774	1.9392	65.60%
13	74.18%	0.3633	0.2704	61.16%	0.1000	0.0819	69.01%	0.0820	1.3542	0.6497	64.97%	2.4763	2.1008	68.44%
14	75.73%	0.3762	0.2912	64.39%	0.1060	0.0882	70.92%	0.0883	1.4157	0.6769	67.69%	2.5935	2.2624	71.06%
15	77.44%	0.3913	0.3120	67.43%	0.1132	0.0945	72.72%	0.0946	1.4891	0.7020	70.20%	2.7359	2.4240	73.46%
16	78.57%	0.4016	0.3328	70.30%	0.1181	0.1008	74.42%	0.1009	1.5404	0.7251	72.51%	2.8379	2.5856	75.62%
17	79.40%	0.4094	0.3536	72.99%	0.1219	0.1071	76.00%	0.1071	1.5798	0.7464	74.64%	2.9176	2.7472	77.57%
18	80.24%	0.4175	0.3744	75.52%	0.1258	0.1134	77.50%	0.1134	1.6215	0.7660	76.60%	3.0040	2.9088	79.31%
19	81.00%	0.4251	0.3952	77.88%	0.1295	0.1197	78.93%	0.1197	1.6608	0.7842	78.42%	3.0874	3.0704	80.85%
20	81.10%	0.4261	0.4160	80.08%	0.1300	0.1260	81.10%	0.1300	1.6660	0.8009	80.09%	3.0988	3.2320	82.21%
21	82.20%	0.4375	0.4368	82.14%	0.1356	0.1323	81.56%	0.1323	1.7260	0.8163	81.63%	3.2310	3.3936	83.40%
22	82.72%	0.4430	0.4576	84.04%	0.1383	0.1386	82.78%	0.1386	1.7556	0.8306	83.06%	3.2988	3.5552	84.44%
23	83.83%	0.4552	0.4784	85.81%	0.1443	0.1449	83.93%	0.1449	1.8223	0.8437	84.37%	3.4583	3.7168	85.35%
24	84.61%	0.4641	0.4992	87.44%	0.1488	0.1512	85.03%	0.1512	1.8715	0.8558	85.58%	3.5837	3.8784	86.14%
25	85.34%	0.4727	0.5200	88.94%	0.1530	0.1575	86.07%	0.1575	1.9198	0.8670	86.70%	3.7146	4.0400	86.82%
26	86.26%	0.4840	0.5408	90.32%	0.1587	0.1638	87.06%	0.1638	1.9848	0.8773	87.73%	3.9060	4.2016	87.41%
27	87.05%	0.4940	0.5616	91.57%	0.1637	0.1701	88.01%	0.1701	2.0438	0.8868	88.68%	4.1004	4.3632	87.91%
28	87.62%	0.5016	0.5824	92.72%	0.1674	0.1764	88.90%	0.1764	2.0888	0.8956	89.56%	4.2661	4.5248	88.35%
29	88.02%	0.5070	0.6032	93.75%	0.1702	0.1827	89.76%	0.1827	2.1220	0.9037	90.37%	4.4015	4.6864	88.72%
30	88.55%	0.5144	0.6240	94.68%	0.1738	0.1890	90.56%	0.1890	2.1669	0.9112	91.12%	4.6079	4.8480	89.04%
31	89.05%	0.5216	0.6448	95.52%	0.1775	0.1953	91.33%	0.1953	2.2119	0.9181	91.81%	4.8524	5.0096	89.32%
32	89.83%	0.5332	0.6656	96.26%	0.1833	0.2016	92.06%	0.2016	2.2856	0.9244	92.44%	5.4027	5.1712	89.55%
33	90.92%	0.5505	0.6864	96.92%	0.1918	0.2079	92.76%	0.2079	2.3988	0.9303	93.03%	0.0000	5.3328	89.75%



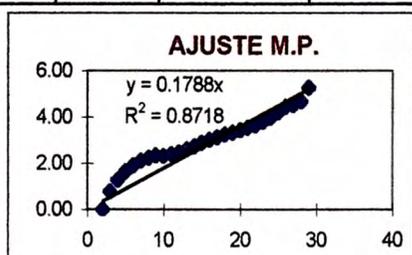
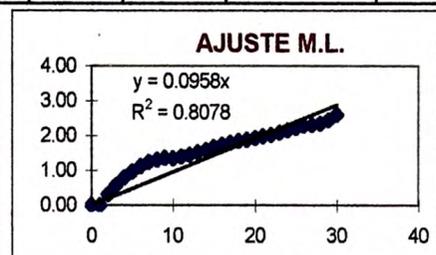
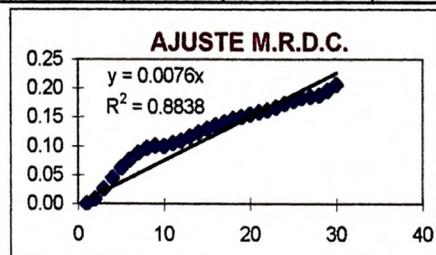
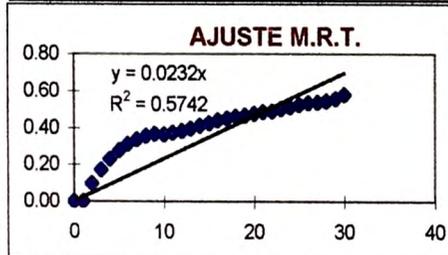
COLUMNA E-2

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)			Metodo Poblacional			
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt)^3	1-2/3α(1-α)^2/3			ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)				
		0.0195 =k, r=0,6437	α'	0.0058 =k, r=0,9450	α'	0.0758 =k, r=0,8184	α'	0.1795 =k, r=0,9418	α'					
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	24.05%	
1	0.00%	0.0000	0.0195	5.74%	0.0000	0.0058	21.71%	0.0058	0.0000	0.0043	7.30%	0.0000	0.1795	27.27%
2	24.05%	0.0876	0.0390	11.25%	0.0072	0.0116	30.01%	0.0116	0.2750	0.0085	14.07%	0.0000	0.3590	30.71%
3	36.69%	0.1413	0.0585	16.54%	0.0181	0.0174	38.57%	0.0202	0.4572	0.0125	20.34%	0.6519	0.5385	34.33%
4	46.12%	0.1863	0.0780	21.62%	0.0304	0.0232	41.04%	0.0233	0.6183	0.0164	26.15%	1.0938	0.7180	38.09%
5	52.50%	0.2197	0.0975	26.49%	0.0412	0.0290	45.25%	0.0291	0.7444	0.0201	31.55%	1.3989	0.8975	41.91%
6	57.53%	0.2483	0.1170	31.15%	0.0515	0.0348	48.88%	0.0348	0.8564	0.0236	36.54%	1.6545	1.0770	45.76%
7	61.01%	0.2694	0.1365	35.61%	0.0596	0.0406	52.17%	0.0406	0.9419	0.0270	41.17%	1.8448	1.2565	49.56%
8	62.95%	0.2818	0.1560	39.88%	0.0645	0.0464	55.15%	0.0464	0.9930	0.0302	45.47%	1.9578	1.4360	53.25%
9	64.49%	0.2919	0.1755	43.95%	0.0686	0.0522	57.87%	0.0522	1.0354	0.0333	49.45%	2.0518	1.6155	56.79%
10	65.92%	0.3015	0.1950	47.83%	0.0726	0.0580	60.37%	0.0580	1.0766	0.0363	53.14%	2.1436	1.7950	60.13%
11	67.14%	0.3099	0.2145	51.53%	0.0762	0.0638	62.69%	0.0638	1.1129	0.0391	56.56%	2.2251	1.9745	63.23%
12	68.19%	0.3174	0.2340	55.05%	0.0794	0.0696	64.85%	0.0696	1.1454	0.0417	59.73%	2.2988	2.1540	66.08%
13	69.86%	0.3295	0.2535	58.40%	0.0847	0.0754	66.87%	0.0754	1.1993	0.0443	62.67%	2.4227	2.3335	68.67%
14	71.34%	0.3407	0.2730	61.58%	0.0897	0.0812	68.76%	0.0812	1.2498	0.0467	65.40%	2.5417	2.5130	71.00%
15	72.94%	0.3532	0.2925	64.59%	0.0954	0.0870	70.54%	0.0870	1.3072	0.0490	67.92%	2.6814	2.6925	73.06%
16	74.47%	0.3657	0.3120	67.43%	0.1011	0.0928	72.23%	0.0928	1.3655	0.0511	70.26%	2.8294	2.8720	74.88%
17	75.68%	0.3758	0.3315	70.13%	0.1058	0.0986	73.81%	0.0986	1.4138	0.0532	72.43%	2.9582	3.0515	76.48%
18	76.91%	0.3866	0.3510	72.66%	0.1109	0.1044	75.32%	0.1044	1.4660	0.0551	74.45%	3.1053	3.2310	77.86%
19	77.81%	0.3946	0.3705	75.05%	0.1147	0.1102	76.74%	0.1102	1.5055	0.0569	76.31%	3.2236	3.4105	79.06%
20	78.71%	0.4029	0.3900	77.30%	0.1187	0.1160	78.10%	0.1160	1.5469	0.0586	78.04%	3.3551	3.5900	80.09%
21	79.72%	0.4125	0.4095	79.41%	0.1233	0.1218	79.39%	0.1218	1.5954	0.0602	79.64%	3.5221	3.7695	80.97%
22	80.25%	0.4176	0.4290	81.38%	0.1259	0.1276	80.61%	0.1276	1.6220	0.0617	81.13%	3.6211	3.9490	81.72%
23	81.18%	0.4269	0.4485	83.23%	0.1304	0.1334	81.78%	0.1334	1.6702	0.0631	82.51%	3.8171	4.1285	82.36%
24	82.08%	0.4362	0.4680	84.94%	0.1350	0.1392	82.89%	0.1392	1.7193	0.0644	83.78%	4.0474	4.3080	82.90%
25	82.90%	0.4450	0.4875	86.54%	0.1393	0.1450	83.95%	0.1450	1.7663	0.0656	84.97%	4.3104	4.4875	83.35%
26	83.77%	0.4545	0.5070	88.02%	0.1440	0.1508	84.97%	0.1508	1.8184	0.0667	86.07%	4.6833	4.6670	83.74%
27	84.20%	0.4594	0.5265	89.38%	0.1464	0.1566	85.93%	0.1566	1.8451	0.0678	87.08%	4.9305	4.8465	84.07%
28	84.81%	0.4664	0.5460	90.64%	0.1499	0.1624	86.85%	0.1624	1.8843	0.0687	88.03%	5.4306	5.0260	84.34%
29	85.76%	0.4778	0.5655	91.80%	0.1556	0.1682	87.73%	0.1682	1.9491	0.0696	88.90%	0.0000	5.2055	84.57%
30	85.76%	0.4778	0.5850	92.85%	0.1556	0.1740	88.56%	0.1739	1.9491	0.0704	89.71%	0.0000	5.3850	84.76%



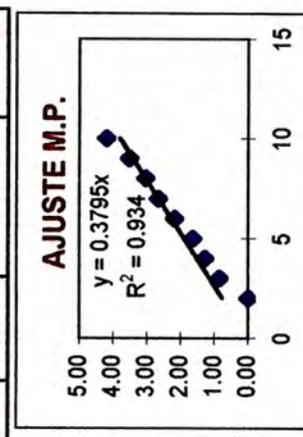
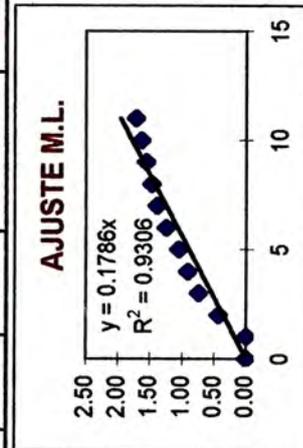
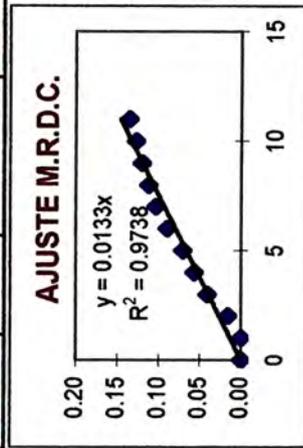
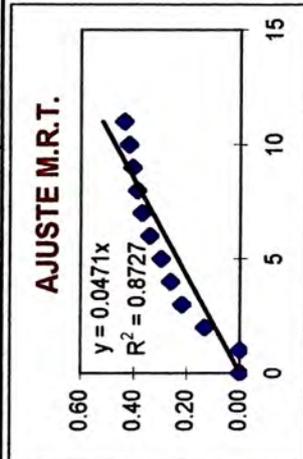
COLUMNA E- 3

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP.. %	Modelo de Reacción Topoquímica			Modelo de Reacción a Difusión Controlada			Modelo Lineal (n = 1)				Metodo Poblacional		
		1-((1-α)^(1/3))		1-(1-kt)^3	1-2/3α-(1-α)^2/3			ln(1-α)=-kt		α=1-exp(-kt)				
		0.0232 =k, r=0,5742		α'	0.0076 =k, r=0,8838			0.0958 =k, r=0,8078		α'		0.1788 =k, r=0,8718		α'
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	26.37%
1	0.00%	0.0000	0.0232	6.80%	0.0000	0.0076	24.63%	0.0076	0.0000	0.0065	9.14%	0.0000	0.1788	29.87%
2	26.37%	0.0970	0.0390	11.25%	0.0088	0.0152	33.93%	0.0152	0.3061	0.0108	17.44%	0.0000	0.3576	33.59%
3	43.12%	0.1714	0.0585	16.54%	0.0260	0.0228	40.70%	0.0228	0.5641	0.0158	24.98%	0.7832	0.5364	37.51%
4	54.43%	0.2305	0.0780	21.62%	0.0450	0.0304	46.15%	0.0304	0.7859	0.0207	31.83%	1.2760	0.7152	41.55%
5	61.95%	0.2754	0.0975	26.49%	0.0619	0.0380	50.77%	0.0381	0.9663	0.0254	38.06%	1.6251	0.8940	45.67%
6	67.13%	0.3099	0.1170	31.15%	0.0762	0.0456	54.79%	0.0457	1.1126	0.0298	43.72%	1.8908	1.0728	49.81%
7	70.86%	0.3370	0.1365	35.61%	0.0881	0.0532	58.35%	0.0533	1.2331	0.0341	48.86%	2.1035	1.2516	53.88%
8	73.14%	0.3548	0.1560	39.88%	0.0961	0.0608	61.51%	0.0608	1.3144	0.0382	53.53%	2.2457	1.4304	57.84%
9	74.34%	0.3646	0.1755	43.95%	0.1006	0.0684	64.41%	0.0684	1.3604	0.0421	57.78%	2.3264	1.6092	61.62%
10	74.03%	0.3620	0.1950	47.83%	0.0994	0.0760	67.07%	0.0760	1.3483	0.0458	61.63%	2.3052	1.7880	65.19%
11	75.43%	0.3737	0.2145	51.53%	0.1048	0.0836	69.51%	0.0836	1.4036	0.0494	65.14%	2.4023	1.9668	68.51%
12	76.37%	0.3818	0.2340	55.05%	0.1087	0.0912	71.77%	0.0912	1.4428	0.0527	68.32%	2.4712	2.1456	71.55%
13	78.02%	0.3965	0.2535	58.40%	0.1157	0.0988	73.87%	0.0988	1.5152	0.0559	71.22%	2.6002	2.3244	74.32%
14	79.64%	0.4117	0.2730	61.58%	0.1230	0.1064	75.82%	0.1064	1.5916	0.0590	73.85%	2.7386	2.5032	76.80%
15	81.07%	0.4258	0.2925	64.59%	0.1299	0.1140	77.64%	0.1140	1.6645	0.0619	76.24%	2.8737	2.6820	79.00%
16	82.35%	0.4390	0.3120	67.43%	0.1363	0.1216	79.34%	0.1216	1.7343	0.0646	78.41%	3.0069	2.8608	80.94%
17	83.30%	0.4493	0.3315	70.13%	0.1414	0.1292	80.94%	0.1292	1.7899	0.0672	80.38%	3.1166	3.0396	82.64%
18	84.31%	0.4607	0.3510	72.66%	0.1470	0.1368	82.44%	0.1368	1.8522	0.0696	82.17%	3.2438	3.2184	84.12%
19	84.81%	0.4665	0.3705	75.05%	0.1499	0.1444	83.84%	0.1444	1.8846	0.0719	83.80%	3.3123	3.3972	85.39%
20	85.56%	0.4753	0.3900	77.30%	0.1543	0.1520	85.17%	0.1520	1.9349	0.0741	85.28%	3.4220	3.5760	86.49%
21	86.30%	0.4845	0.4095	79.41%	0.1589	0.1596	86.41%	0.1596	1.9881	0.0761	86.63%	3.5436	3.7548	87.43%
22	86.78%	0.4906	0.4290	81.38%	0.1620	0.1672	87.58%	0.1672	2.0238	0.0780	87.85%	3.6288	3.9336	88.23%
23	87.59%	0.5011	0.4485	83.23%	0.1672	0.1748	88.68%	0.1748	2.0863	0.0797	88.96%	3.7872	4.1124	88.91%
24	88.43%	0.5128	0.4680	84.94%	0.1730	0.1824	89.72%	0.1824	2.1570	0.0814	89.97%	3.9832	4.2912	89.49%
25	89.21%	0.5240	0.4875	86.54%	0.1786	0.1900	90.70%	0.1900	2.2269	0.0829	90.88%	4.2012	4.4700	89.98%
26	89.90%	0.5343	0.5070	88.02%	0.1838	0.1976	91.61%	0.1976	2.2924	0.0843	91.72%	4.4369	4.6488	90.40%
27	90.12%	0.5377	0.5265	89.38%	0.1855	0.2052	92.47%	0.2053	2.3144	0.0856	92.47%	4.5254	4.8276	90.74%
28	90.47%	0.5433	0.5460	90.64%	0.1883	0.2128	93.28%	0.2129	2.3512	0.0868	93.16%	4.6867	5.0064	91.04%
29	91.38%	0.5582	0.5655	91.80%	0.1956	0.2204	94.03%	0.2204	2.4507	0.0879	93.78%	5.2606	5.1852	91.28%
30	92.57%	0.5795	0.5850	92.85%	0.2061	0.2280	94.74%	0.2280	2.5993	0.0890	94.35%	0.0000	5.3640	91.49%



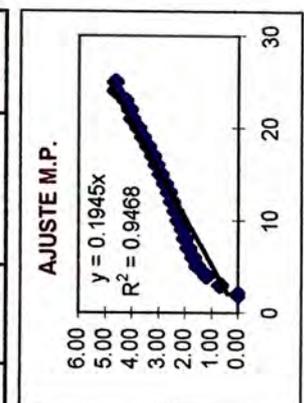
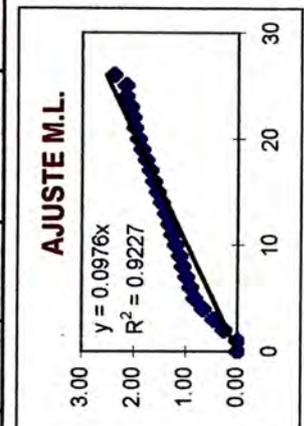
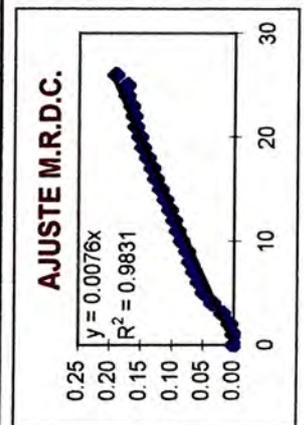
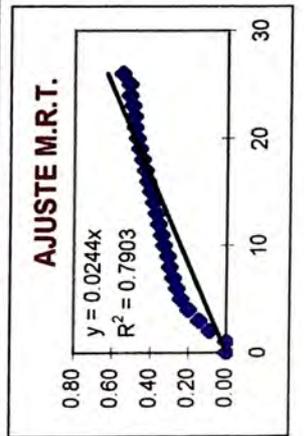
COLUMNA E-4

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP. %	Modelo de Reacción Topoquímica $1-(1-kt)^3$		Modelo de Reacción a Difusión Controlada $1-2/3\alpha(1-\alpha)^{2/3}$		Modelo Lineal (n = 1) $\ln(1-\alpha)=-kt$		Metodo Poblacional	
		α	$r=0,8727$	α	$r=0,9738$	α	$r=0,9306$	α	$r=0,9340$
0	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3795	0.0000
1	0.00%	0.0000	0.0471	0.0133	0.0133	0.0134	0.0241	0.0000	0.3795
2	34.98%	0.1337	0.0942	0.0163	0.0266	0.0266	0.0459	0.0000	0.7590
3	52.41%	0.2192	0.1413	0.0410	0.0399	0.0400	0.0655	0.8656	1.1385
4	59.89%	0.2625	0.1884	0.0569	0.0532	0.0532	0.0831	1.2895	1.5180
5	65.22%	0.2968	0.2355	0.0706	0.0665	0.0664	0.0988	1.6488	1.8975
6	71.30%	0.3403	0.2826	0.0896	0.0798	0.0798	0.1127	2.1831	2.2770
7	75.02%	0.3702	0.3297	0.1032	0.0931	0.0931	0.1248	2.6550	2.6565
8	77.16%	0.3888	0.3768	0.1120	0.1064	0.1064	0.1354	3.0432	3.0360
9	78.97%	0.4053	0.4239	0.1199	0.1197	0.1197	0.1445	3.5190	3.4155
10	80.50%	0.4201	0.4710	0.1271	0.1330	0.1330	0.1522	4.2031	4.2031
11	82.12%	0.4366	0.5181	0.1352	0.1463	0.1463	0.1586	0.0000	4.1745



COLUMNA E- 5

TIEMPO LIX dias	EXTRAC. Cu EXP. %	Modelo de Reacción Topoquímica $1-(1-\alpha)^{(1/3)}$		Modelo de Reacción a Difusión Controlada $1-2/3\alpha(1-\alpha)^{2/3}$		Modelo Lineal (n = 1) $\ln(1-\alpha)=-kt$		Metodo Poblacional	
		$0.0244 =k, r=0.7903$	α	$0.0076 =k, r=0.9831$	α	$0.0976 =k, r=0.9227$	α	$0.1945 =k, r=0.9468$	α
0	0.00%	0.0000	0.00%	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.00%
1	0.00%	0.0244	7.14%	0.0076	24.63%	0.0076	0.0076	0.0000	9.30%
2	23.59%	0.0858	13.94%	0.0069	33.93%	0.0152	0.0152	0.0000	17.73%
3	36.97%	0.1426	20.39%	0.0184	40.70%	0.0228	0.0228	0.0199	25.38%
4	48.81%	0.2000	26.52%	0.0347	46.15%	0.0304	0.0304	0.0259	32.32%
5	56.30%	0.2411	32.32%	0.0488	50.77%	0.0381	0.0381	0.0315	38.61%
6	59.58%	0.2606	37.80%	0.0561	54.79%	0.0456	0.0456	0.0369	44.32%
7	62.92%	0.2816	42.99%	0.0644	58.35%	0.0532	0.0532	0.0420	49.50%
8	65.45%	0.2983	47.87%	0.0713	61.51%	0.0608	0.0608	0.0467	54.20%
9	67.08%	0.3095	52.47%	0.0760	64.41%	0.0684	0.0684	0.0512	58.46%
10	69.79%	0.3290	56.79%	0.0845	67.07%	0.0760	0.0760	0.0554	62.32%
11	71.71%	0.3436	60.84%	0.0910	69.51%	0.0836	0.0836	0.0594	65.82%
12	73.41%	0.3570	64.63%	0.0971	71.77%	0.0912	0.0912	0.0631	69.00%
13	75.07%	0.3706	68.17%	0.1034	73.87%	0.0988	0.0988	0.0665	71.88%
14	76.99%	0.3872	71.46%	0.1112	75.82%	0.1064	0.1064	0.0697	74.50%
15	78.69%	0.4027	74.52%	0.1186	77.64%	0.1140	0.1140	0.0727	76.87%
16	80.29%	0.4180	77.35%	0.1261	79.34%	0.1216	0.1216	0.0755	79.02%
17	81.52%	0.4304	79.96%	0.1321	80.94%	0.1292	0.1292	0.0780	80.97%
18	82.94%	0.4454	82.36%	0.1395	82.44%	0.1368	0.1368	0.0804	82.74%
19	84.34%	0.4609	84.57%	0.1472	83.84%	0.1444	0.1444	0.0825	84.35%
20	85.27%	0.4718	86.58%	0.1526	85.17%	0.1520	0.1520	0.0845	85.80%
21	86.36%	0.4853	88.41%	0.1593	86.41%	0.1596	0.1596	0.0863	87.12%
22	86.74%	0.4901	90.06%	0.1617	87.58%	0.1672	0.1672	0.0879	88.32%
23	87.40%	0.4986	91.55%	0.1660	88.68%	0.1748	0.1748	0.0894	89.41%
24	88.45%	0.5130	92.88%	0.1731	89.72%	0.1824	0.1824	0.0907	90.39%
25	88.45%	0.5130	94.07%	0.1731	90.70%	0.1900	0.1900	0.0918	91.28%
26	90.89%	0.5501	95.11%	0.1916	91.61%	0.1976	0.1976	0.0928	92.09%



A N E X O N ° 3

- **MINERALES DE COBRE**
- **DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE OXIDOS**

ANEXO Nº 3 : MINERALES DE COBRE

			<u>% Cu</u>
☐	Cobre nativo	Cu	100,0
☐	Sulfuros:	Primarios (con pirita)	
		Calcopirita	CuFeS ₂ 43,5
		bornita	Cu ₅ Fe S ₄ 63,3
		Secundarios	
		calcosita	Cu ₂ S 79,8
		covellita	CuS 66,0
☐	Sulfosales:	enaroita	Cu ₃ AsS ₄ 48,3
		tetraedrita	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ 52,1
		tennantita	Cu ₁₂ As ₄ S ₃ 57,0
		famatinita	Cu ₃ SbS ₄ 43,3
		estannina	Cu ₂ FeSnS ₄ 29,6
☐	Oxidos :	cuprita	Cu ₂ O 88,8
		tenorita	CuO 79,8
		delafosita	CuFeO ₂ 42,0
☐	Carbonatos:	malaquita	CuCO ₃ .Cu(OH) ₂ 57,3
		azurita	Cu ₃ (CO ₃) ₂ .(OH) ₂ 55,1
☐	Silicatos:	crisocola	CuSiO ₃ .2H ₂ O 36,0
☐	Sulfatos:	calcantita	CuSO ₄ .5H ₂ O 25,5
		brocantita	Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆ 56,3
		antlerita	Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄ 53,8
		kroenquita	Na ₂ Cu(SO) ₂ .2H ₂ O 18,8
☐	Oxicloruros	atacamita	Cu ₂ Cl(OH) ₃ 59,4

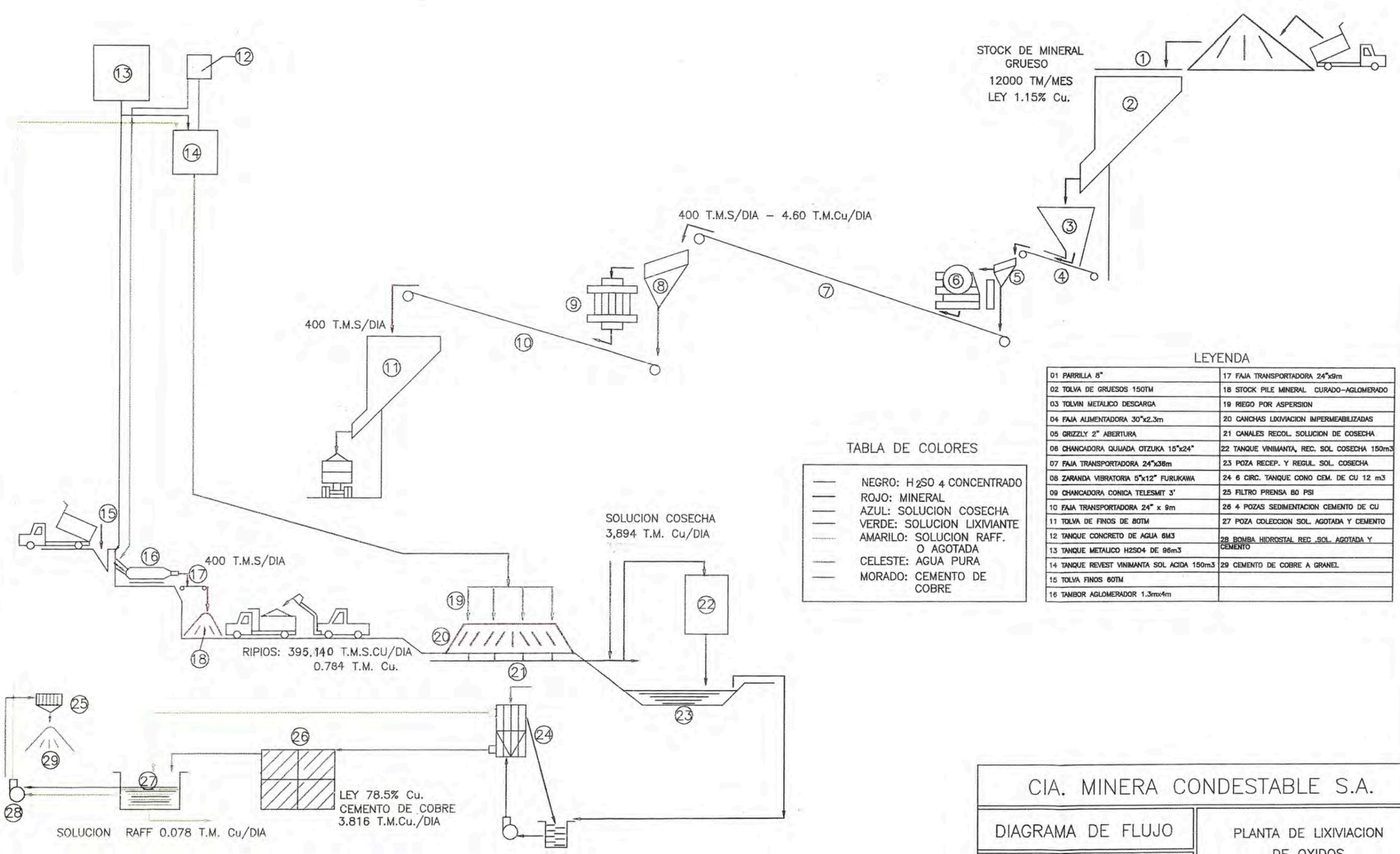


TABLA DE COLORES

—	NEGRO: H ₂ SO 4 CONCENTRADO
—	ROJO: MINERAL
—	AZUL: SOLUCION COSECHA
—	VERDE: SOLUCION LIXIVIANTE
—	AMARILLO: SOLUCION RAFF. O AGOTADA
—	CELESTE: AGUA PURA
—	MORADO: CEMENTO DE COBRE

LEYENDA

01 PARRILLA 8"	17 FAJA TRANSPORTADORA 24"x9m
02 TOLVA DE GRUESOS 150TM	18 STOCK PILE MINERAL CURADO-AGLOMERADO
03 TOLVIN METALICO DESCARGA	19 RIEGO POR ASPERSION
04 FAJA ALIMENTADORA 30"x2.3m	20 CANCHAS LIXIVACION IMPERMEABILIZADAS
05 GRIZZLY 2" ABERTURA	21 CANALES RECOL. SOLUCION DE COSECHA
06 CHANCADORA QUIJADA OTZUKA 15"x24"	22 TANQUE VINIMANTA, REC. SOL COSECHA 150m ³
07 FAJA TRANSPORTADORA 24"x36m	23 POZA RECEP. Y REGUL. SOL COSECHA
08 ZARANDA VIBRATORIA 5"x12" FURUKAWA	24 6 CIRC. TANQUE CDNO CEM. DE CU 12 m ³
09 CHANCADORA CONICA TELESMIT 3'	25 FILTRO PRENSA 80 PSI
10 FAJA TRANSPORTADORA 24" x 9m	26 4 POZAS SEDIMENTACION CEMENTO DE CU
11 TOLVA DE FINOS DE 80TM	27 POZA COLECCION SOL. AGOTADA Y CEMENTO
12 TANQUE CONCRETO DE AGUA 6M ³	28 BOMBA HIDROSTAL REC. SOL. AGOTADA Y CEMENTO
13 TANQUE METALICO H2SO4 DE 96m ³	29 CEMENTO DE COBRE A GRANUL.
14 TANQUE REVEST VINIMANTA SOL ACIDA 150m ³	
15 TOLVA FINOS 80TM	
16 TAMBOR AGLOMERADOR 1.3m x 4m	

CIA. MINERA CONDESTABLE S.A.

DIAGRAMA DE FLUJO		PLANTA DE LIXIVACION DE OXIDOS	
ELABORADO POR:	DIBUJO:	FECHA:	PLANO N°
M. GOMEZ	M. GOMEZ	FEB. 2000	N° 1

PLANO 01