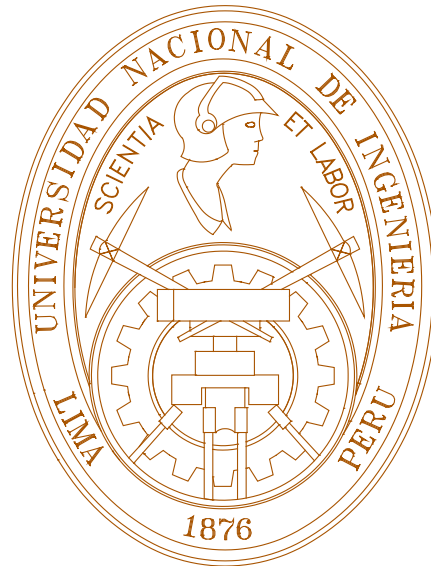


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA**



**TRATAMIENTO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA USANDO EL METODO DE
LODOS DE ALTA DENSIDAD Y EMPLEANDO RELAVES MINEROS COMO
MEDIO NEUTRALIZANTE Y AGLOMERANTE**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

Michel Roberto Carlo Agama

**Lima – Perú
2005**

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA por la formación académica brindada a mi persona

A CONSULCONT S.A.C., empresa que auspicia la tesis y al Ing. Carlos Villachica por las facilidades brindadas haciendo posible la ejecución del trabajo de tesis, al Ing. Oscar Perales por su apoyo total y a mis asesores.

A mis colegas del Departamento de Investigación y Proyectos de CONSULCONT S.A.C por su apoyo incondicional.

DEDICATORIAS

A DIOS por darme la luz, la cual me permite avanzar en la vida.

A mi esposa Regina, por su invaluable apoyo.

A mis padres, Alejandro y Hortensia, a mi hermano José y a su familia, por su permanente e incansable apoyo para mi desarrollo

A mis familiares y amigos que siempre me apoyaron en mi carrera universitaria así como su apoyo para realizar la tesis.

Nunca, nunca , nunca debemos rendirnos ante la adversidad

SUMARIO

En el presente informe se presenta los resultados obtenidos con el uso de un relave de zinc con un pH = 11 y granulometría fina en el tratamiento de un efluente de mina de pH = 3.1, con un contenido de zinc de 180 ppm y un caudal de 200 l/s

Se ha demostrado en pruebas de laboratorio y en planta piloto que el uso del relave minero de la flotación de zinc como medio neutralizante, coagulante y aglomerante de efluentes ácidos de mina es metalúrgica, medio ambiental y económicamente viable.

INDICE

CAPITULO I .- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo del Estudio.	1
1.2 Presentación del Problema y alternativas de solución.	1
1.3 Tecnología actual referente a la neutralización y aglomeración del DAM con relaves.	2
1.4 Aspectos del Control del Medio Ambiente (éticos, económicos, técnicos y Puntos de monitoreo) relevantes para operar una Planta de Tratamiento del DAM con relaves.	3
1.5 Marco Legal	4
CAPITULO II .- GENERALIDADES	7
2.1 Descripción del relave.	7
2.1.1. Definición	7
2.1.2 Usos Potenciales.	7
• Agente Neutralizante.	8
• Agente Coagulante.	8
• Agente Aglomerante.	8
• Agente Colector.	8
2.2 Drenaje Ácido de Mina (DAM)	17
2.2.1 Origen y Neutralización	17
2.3 Practica actual de neutralización del DAM	28
2.3.1 Neutralización directa con cal.	28
2.3.2 Neutralización con cal y lodos de alta densidad.	31
CAPITULO III .- INGENIERÍA DEL PROYECTO	34
3.1 Caracterización de los relaves empleados	34
3.1.1 Mineralogía, granulometría, análisis químico.	34
3.1.2 Potencial neutralizante y potencial ácido	35
3.2 Caracterización del Drenaje Ácido de Mina (DAM)	36
3.2.1 Características Físicas y Químicas.	36
3.2.2 Variación Estacional.	36
3.3 Pruebas Experimentales	38
3.3.1 Metodología	38
3.3.2 Cal	40
3.3.3 Pulpa de Relave	42
3.3.4 Relave Seco	46
3.3.5 Solución Filtrada de Relave	48
3.3.6 Método con Lodos de Alta Densidad	49

3.3.7	Sólido de relave, solución de relave y diferentes agentes neutralizantes.	52
3.3.8	O/F del Hidrociclón D-6 y cal.	53
3.3.9	O/F del Hidrociclón D-12 y cal.	65
3.3.10	Cal y U/F del Hidrociclón D-12 .	74
3.3.11	Planta Piloto	78
3.4	Diseño de la Planta de Neutralización- Lodos de Alta Densidad (HDS)	83
3.5	Diseño de la Planta de Neutralización	88
3.5.1	Diagrama de Flujo.	88
3.5.2	Neutralización Dinámica con Relaves.	88
3.5.3	Criterios del Diseño Básico.	90
3.5.4	Balance Metalúrgico.	91
3.5.5	Parámetros del Diseño Básico.	93
3.5.6	Selección de equipos principales.	94
3.6	Tamaño de la Planta y Dimensionamiento del Equipo Principal	95
3.6.1	Alternativas.	95
3.6.2	Selección del tamaño de la Planta.	97
3.6.3	Dimensionamiento del Equipo Principal.	97
3.7	Plan de Producción de la Planta.	101
3.8	Organización	102
CAPITULO IV .- EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA		103
4.1	Determinación de la Inversión.	103
4.2	Financiamiento de la Inversión.	105
4.3	Determinación del costo.	105
4.4	Determinación de Ingresos.	107
4.5	Evaluación Económica Financiera.	108
CAPITULO V .- ASPECTOS AMBIENTALES DEL SISTEMA RELAVE		111
5.1	Diagnóstico Ambiental (pasivos y actuales).	111
5.2	Elaboración del Plan de Contingencia durante la operación .	111
5.3	Plan de cierre : Cronograma de actividades y financiamiento.	113
CAPITULO VI .- CONCLUSIONES		124
CAPITULO VII .- RECOMENDACIONES		127

Bibliografía
Panel Fotográfico

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	
1.1	Niveles de Máximos Permisibles para la Unidades Mineras en Operación o que reinician operaciones	6
1.2	Niveles de Máximos Permisibles para las Unidades Minero-Metalúrgicas Nuevas.	6
2.1	Volumen que requiere el lodo de neutralización con y sin mezcla con relave	17
2.2	Bacterias que se encuentran involucradas en las reacciones de oxidación	22
2.3	Minerales consumidores de ácido	26
2.4	Características del efluente ácido	31
3.1.1	Composición química del relave	34
3.1.2	Análisis Granulométrico del Relave	34
3.1.3	Potencial de Neutralización, ácido y neto neutralizante del Relave	36
3.2.1	Características físicas del efluente ácido	36
3.2.2	Características químicas del efluente ácido	36
3.3.1	Características del efluente ácido	40
3.3.2	Características del efluente ácido y del relave	42
3.3.3	Neutralización del efluente ácido de mina con pulpa de relave	44
3.3.4	Características del efluente ácido	49
3.3.5	Neutralización con Lodos de Alta Densidad	51
3.3.6	Costos comparativos de Agentes de Neutralización	52
3.3.7	Análisis Granulométrico del Hidrociclón D-6	55
3.3.8	Neutralización de efluente ácido con O/F (D-6) y Cal	56
3.3.9	Sedimentación de la Neutralización de efluente ácido con O/F (D-6) y Cal	57
3.3.10	Sedimentación de la Neutralización de efluente ácido con O/F (D-6) y Cal	58
3.3.11	Sedimentación de la Neutralización de efluente ácido con O/F (D-6) y Cal	59
3.3.12	Sedimentación de la Neutralización de efluente ácido con O/F (D-6) y Cal	59
3.3.13	Potencial Ácido, neutralizante y neto neutralizante de los productos de relave del hidrociclón	60
3.3.14	Análisis Granulométrico del Hidrociclón D-12	67
3.3.15	Pruebas de Neutralización con el ciclón D-12	68
3.3.16	Sedimentación de la Neutralización con el O/F D12 de la pulpa de relave y cal	69
3.3.17	Neutralización con Cal y relave (U/F D-12 Vortex4" Apex 1")	75
3.3.18	Pruebas de Sedimentación con Cal y Relave (U/F D-12)	76

3.3.19	Capacidad de Almacenamiento	77
3.3.20	Volumen y tiempo de Retención por Tanque	78
3.4.2	Determinación de la Capacidad de almacenamiento con 19.6 % sólidos	85
3.4.3	Capacidad de Almacenamiento (1er Ciclo)	86
3.4.4	Capacidad de almacenamiento (10mo Ciclo)	87
3.6.1	Consumo de Energía por la Planta de Neutralización Dinámica con Relaves	96
3.6.2	Capacidad de Almacenamiento (Ratio 4)	98
3.6.3	Capacidad de Almacenamiento (ratio 6)	99
3.6.4	Equipos para la Planta de neutralización Dinámica con Relaves	100
3.8.1	Plan de Producción de Plantas	101
4.1	Costo de Inversión Comparativo para Planta de Neutralización con Efluentes Ácidos en el Perú	104
4.2	Equipos para la Planta de Neutralización Dinámica con Relaves	104
4.3	Comparación de los Costos de Inversión Unitaria	105
4.4	Cuadro Comparativo en Costos Operativos entre Planta de neutralización con Lodos de alta Densidad y Relaves Mineros	106
4.5	Comparación de Costos Operativos	107
4.6	Evaluación Económica Financiera	108
4.7	Evaluación Financiera Económica	110
5.1	Cronograma de Actividades de Cierre de la Planta de Neutralización	123

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	
2.1	Adsorción de Cobre sobre Cuarzo en función del pH y la Concentración de Cobre.	13
2.2	Potencial Zeta de partículas de cuarzo en función del pH, concentración de sulfato de cobre $10^{-4}M$	14
2.3	Potencial Zeta de partículas de cuarzo en función del pH y en presencia de $10^{-4}M Pb^+$	15
2.4	Movilidad Electroforética de partículas en sistemas que contiene SiO_2 y $Co(OH)_{2(s)}$	16
2.5	Solubilidad de Hidróxidos y de sulfuros metálicos	27
2.6	Neutralización Convencional	28
2.7	Diagrama de Flujo en una Planta de Neutralización Convencional	30
2.8	Consumo de Cal vs pH	31
2.9	Diagrama de Flujo en una Planta de Neutralización HDS con lodos de alta densidad	32
3.3.1	Neutralización de diferentes efluentes ácidos de mina	41
3.3.2	Neutralización del efluente ácido de mina con pulpa de relave	43
3.3.3	Neutralización del efluente ácido de mina con pulpa de relave	44
3.3.4	Neutralización del efluente ácido con relave seco	46
3.3.5	Cinética de la Neutralización del efluente ácido con relave seco.	47
3.3.6	Neutralización de efluente ácido con solución de relave	48
3.3.7	Diagrama de Flujo de la Neutralización con Lodos de Alta Densidad.	50
3.3.8	Prueba de sedimentación de los Lodos de Alta Densidad	51
3.3.9	Diagrama de Flujo-Neutralización con pulpa de relave (O/F D-6 y cal	53
3.3.10	Cálculo del D-50 D-6 (Vortex=2" y Apex=7/8")	61
3.3.11	Cálculo del D-50 D-6 (Vortex=2" y Apex=1")	62
3.3.12	Cálculo del D-50 D-6 (Vortex=2" y Apex=1 1/4")	63
3.3.13	Diagrama de Flujo Neutralización con pulpa de relave (O/F D-12) y cal	65
3.3.14	Curva de Sedimentación de la Neutralización con el O/F D12 de la pulpa de relave y cal	72
3.3.15	Concentración de Metales disueltos vs pH	73
3.3.16 (a)	Disposición de Planta Piloto de Neutralización con Relave (Over Flow D-6)	81
3.3.16 (b)	Disposición de Planta Piloto de Neutralización con Relave (Over Flow D-12)	82
3.4.1	Balance general Planta High Density Sludge (HDS)	84
3.5.1	Diagrama de Flujo "Planta de Tratamiento de Efluente Ácido de mina con Relave Fino"	89

3.5.2	Diagrama de Flujo Balanceado con R U/F 60%	92
5.1	Encapsulamiento Total de Coberturas Complejas	118

I

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo del Estudio

El objetivo del estudio es el de contribuir al conjunto de medidas de protección, preservación y mejoramiento de la calidad de vida en la zona adyacente a la unidad minera y a las zonas que afecte el efluente ácido de mina.

1.2 Presentación del Problema y Alternativas de Solución

El Perú siendo un país netamente minero, las tareas tanto de exploración y de desarrollo de mina generan perturbación de las áreas mineralizadas, conduciendo finalmente a exponer los diferentes componentes del yacimiento a los agentes del intemperismo, con la generación de efluentes ácidos.

De forma similar sucede con los productos de la actividad minero-metalúrgica en sí, tales como desmontes de mina, relaves, las soluciones que circulan en una mina húmeda, constituyéndose en zonas potencialmente peligrosas por la generación de drenaje ácido.

El estudio e investigación que he realizado para la presente tesis, se basó en un efluente ácido de mina a un pH de 3.1 proporcionado por Consulcont S.A.C., teniendo presente que el caudal a tratar es de 200 l/s con un factor de seguridad de 1.5 (300 l/s).

Si bien existen alternativas de soluciones tales como el Tratamiento Pasivo, Neutralización directa con Cal y la Neutralización con Lodos de Alta Densidad ó High Density Sludge (HDS). El método HDS, es actualmente reconocido como el método a usar en este tipo de problemas ambientales como es el caso de efluentes ácidos de mina con las características expuestas.

El método de tratamiento del efluente ácido de mina que presento en la tesis, es comparado con el método de neutralización con lodos de alta densidad (HDS), tanto en los aspectos técnico y económico.

1.3 Tecnología Actual referente a la Neutralización y Aglomeración del Drenaje Ácido de Mina (DAM) con Relaves

En la actualidad la neutralización del drenaje ácido de mina se realiza con cal, el cual representa una muy buena opción económica en comparación

de los demás neutralizantes tales como el hidróxido de sodio, sulfuro de sodio, etc.

En plantas polimetálicas donde el relave de la flotación de zinc, donde el pH elevado, es posible usarlo por su poder neutralizante.

1.4 Aspectos del Control del Medio Ambiente (éticos, económicos y legales) relevantes para operar una Planta de Tratamiento del DAM con relaves.

Aspectos Éticos

Si bien, existen normas legales por las cuales las unidades mineras mediante el Programa de Adecuación Medio Ambiental, tienen el objetivo de impactar lo menos posible en el medio ambiente. Es importante darnos cuenta que el beneficio económico y social se contrasta contra el deterioro del Medio Ambiente. Debemos darle la debida importancia al aspecto ambiental, partiendo de la iniciativa personal en buscar tecnología y desarrollo sostenible para asegurar un control medio ambiental óptimo.

Aspectos Económicos

El desarrollo sostenible consiste en crear riqueza y desarrollar recursos humanos y físicos a la vez que se reducen al mínimo los impactos ecológicos. Un desarrollo que es sostenible, estará basado en las características económicas, sociales y medioambientales de cada región en que se opera.

Operar de una manera sostenible incluye reunirse con las personas que serán afectadas por nuestros proyectos y cooperar con ellas para lograr metas sociales y medioambientales comunes. Este compromiso con la minería responsable se extiende desde la sala de directorio hasta el desplazamiento de la mina y se basa en el reconocimiento de que las ganancias a corto, mediano y a largo plazo nunca deben comprometer los intereses de nuestra sociedad y de nuestro medio ambiente.

Un medio limpio es esencial para lograr una economía y una sociedad saludable.

Aspectos Legales

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la autoridad competente en el ámbito de la actividad minero-metalúrgico, y está facultado por ley para otorgar títulos de concesión minera, aprobar los EIA por intermedio de la Dirección General Asuntos Ambientales (DGAA), fiscalizar el cumplimiento de las normas del sector y otros asuntos de su competencia.

1.5 MARCO LEGAL

Las principales normas y reglamentos ambientales vigentes que rigen las actividades minero- metalúrgicas son las siguientes:

- Resolución Directoral N° 440-2004-MEM/AAM: Aprobación de Formatos de Declaración de Impacto Ambiental
- Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Mineras, aprobado a través del D.S. 016-93-EM modificado por D.S. 059-93-EM .
- Modelo de Contrato de Estabilidad Administrativa Ambiental en base al PAMA de las Actividades Minero Metalúrgicas (Resolución Ministerial N° 292-97-EM/VMM).
- Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (Decreto Supremo N° 038-98-EM).
- Modificación del Reglamento para la Protección Ambiental en las actividades Minero Metalúrgicas aprobado por Decreto Supremo N° 058-99-EM.
- Ley de Fiscalización Minera aprobada a través de la Ley N° 27474 .
- Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, aprueba los Niveles Máximos Permisibles de Emisión de efluentes líquidos para las actividades minero metalúrgicas.
- Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, aprueba los Niveles Máximos Permisibles de Emisiones de gases y partículas para las actividades minero metalúrgicas .
- Resolución Directoral N° 016-95-EM/DGAA Formulario de la Declaración Jurada PAMA, para pequeños productores mineros .

Según la resolución ministerial N° 011-96-EM/ VMM, se aprobó los Niveles Máximos Permisibles de Emisión de efluentes líquidos para las actividades minero metalúrgicas, como se puede observar en los cuadro 1.1 y 1.2.

Cuadro 1.1 Niveles Máximos Permisibles para las Unidades Mineras en Operación o que reinician Operaciones (Resolución Ministerial N°011-96-EM/VMM)

Descripción	pH	Sólidos Suspend. (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	CN _T (mg/l)
Valor en cualquier momento	5.5<pH<10.5	100	1	2	6	5	1	2
Valor Promedio Anual	5.5<pH<10.5	50	0.5	1	3	2	0.5	1

Cuadro 1.2 Niveles Máximos Permisibles para las Unidades Mineras-Metalúrgicas Nuevas (Resolución Ministerial N°011-96-EM/VMM)

Descripción	pH	Sólidos Suspend. (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	CN _T (mg/l)
Valor en cualquier momento	6<pH<9	50	0.4	1.0	3.0	2.0	1.0	1.0
Valor Promedio Anual	6<pH<9	25	0.2	0.3	1.0	1.0	0.5	1.0

II

GENERALIDADES

2.1 Descripción del Relave

2.1.1 Definición

Los relaves mineros polimetálicos se definen como el deshecho mineral obtenidos de los procesos de concentración de minerales; los productos valiosos en el caso de la minería polimetálica, vienen a ser los concentrados de cobre, plomo, y zinc.

2.1.2 Usos Potenciales

La descripción de los usos potenciales para la neutralización de efluentes ácidos que se describe a continuación, es solo del relave proveniente de la flotación de una Planta Polimetálica.

- **Agente Neutralizante**

Debido a que en un circuito de flotación de Zn, se trabaja con pHs entre 11.5 y 12, y por ende el relave de este circuito posee un pH de 11.5 a 12; el relave puede usarse como un agente neutralizante.

- **Agente Coagulante**

La adsorción de los iones metálicos y la precipitación superficial de los hidróxidos metálicos precipitados sobre cuarzo (presente en los relaves), es de suma importancia, puesto que mediante este fenómeno de acumulación de materia sobre la superficie del cuarzo, origina la coagulación, neutralización de las cargas, con lo que las partículas se pueden aglomerar con una sedimentación más rápida como resultado.

- **Agente Aglomerante**

Cuando el potencial zeta tiende a cero, las cargas se encuentran neutralizadas, las partículas no se repelen y mediante la agitación se aglomeran, y con la ayuda del floculante se forman flóculos, obteniéndose una mejor sedimentación.

- **Agente Colector**

El cuarzo presente en relave de la flotación de Zn, se comporta como un agente colector mediante la coagulación y aglomeración, que puede ser consecuencia de mecanismos tales como la adsorción (de los iones metálicos disueltos sobre la superficie del grupo silanol) y la

heterocoagulación (de los hidróxidos metálicos precipitados sobre la superficie de la sílice) y también debemos tener presente que puede ocurrir una nucleación heterogénea por parte de los hidróxidos sobre el cuarzo u otras partículas presentes en el relave.

En el estudio *Electrokinetical Studies on Quartz, Ferberite and Siderite*²⁴ se trata el tema respecto a la adsorción de cobre sobre cuarzo en función de la variación del pH y la concentración de cobre, figura 2.1, en la cual se determinó la correspondiente variación de potencial zeta. A valores de pH por debajo de 6.2, el signo del potencial zeta no presenta cambios; mientras que a valores de pH entre 9.8 y 11 se observa una disminución del valor negativo del ζ , pero no se invierte la carga. A un pH de 7.5, los valores del potencial zeta ζ son positivos a una concentración aproximada de 10^{-4} moles Cu/l.

Según Allen y Matijevic¹, citado en el estudio *Electrokinetical Studies on Quartz, Ferberite and Siderite*²⁴, en valores de pHs ácidos y neutro, la adsorción es controlada por un mecanismo de intercambio entre los iones de hidrógeno de la superficie del grupo silanol con el Cu^{++} formándose hidroxocomplejos según :



A un pH de 7.5, los iones de cobre son adsorbidos de acuerdo al siguiente mecanismo, donde el Cu(OH)^+ está implicado en vez del Cu^{++} .



$=\text{SiOH}$:Representa al Grupo Superficial Silanol

En este estudio²⁴, en la figura 2.2, se grafica el potencial zeta vs. la variación del pH, tomando como dato la concentración de Cu a 10^{-4} M. La curva describe tres regiones de pH delineadas por los dos cambios de signo a pHs aproximados entre 6.5 y 9.2. La precipitación del hidróxido de cobre sobre la superficie del cuarzo, conocido como precipitación superficial, explica el segundo cambio de carga a un pH de 9.2. El punto isoelectrico del hidróxido de cobre ocurre a un pH de 9.4 (reportado por Parks¹⁵).

En el estudio “Adsorption on silica in Pb-and Ca-SO₄-CO₃ systems” realizado respecto a la adsorción de plomo sobre sílice²⁶, figura 2.3, se grafica las mediciones de potencial zeta vs. variación de pH, en una primera curva para la sílice y una segunda curva, sílice y Pb⁺⁺ con una concentración de 10^{-4} M. Se observa que el punto isoelectrico de la sílice ocurre a un pH de 1.8 y en presencia de iones de plomo, el potencial zeta aumenta (entre el rango de pH 6 - 8) y cambia de signo a pHs aproximados entre 7 y 11. Similar al caso anterior, la precipitación del hidróxido de plomo sobre la superficie de sílice, explica el segundo cambio de carga a un pH de 11. El

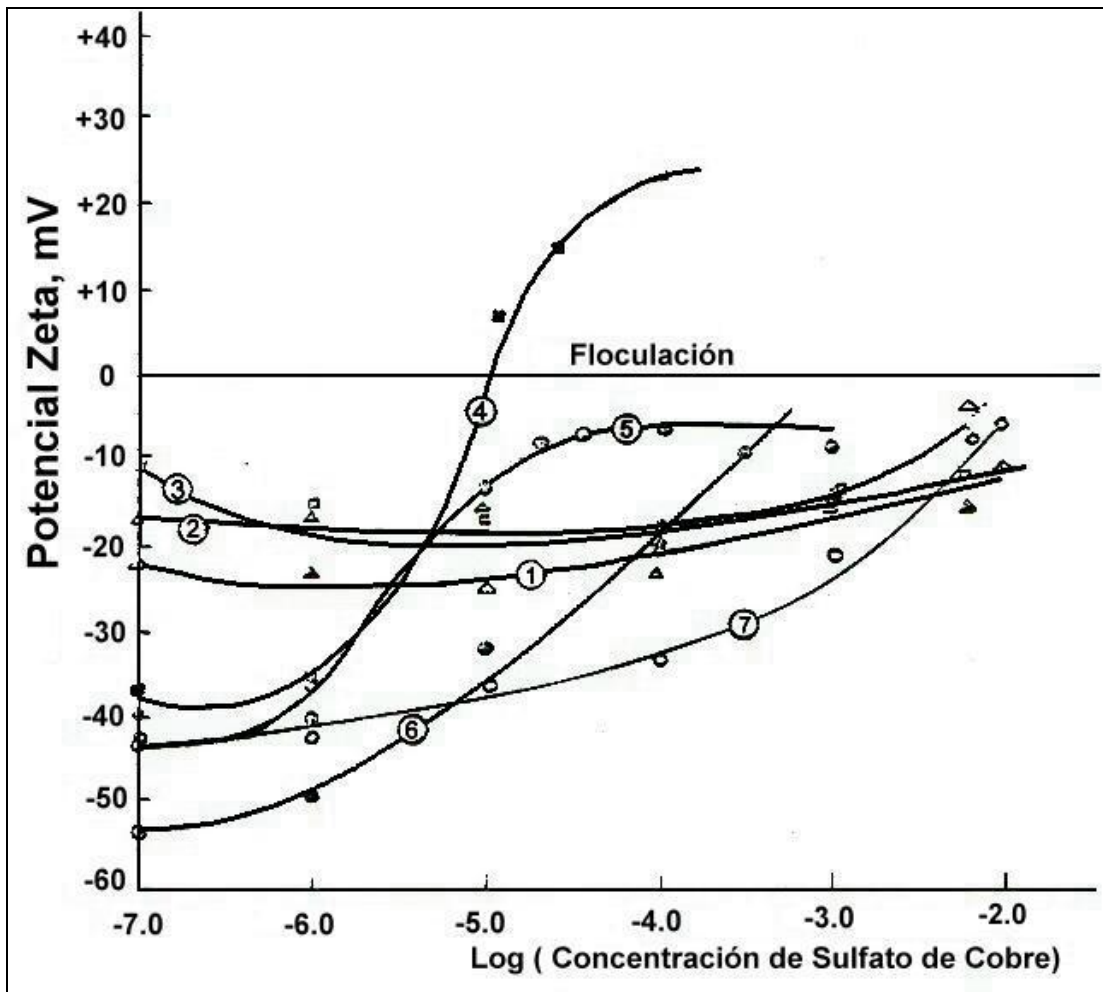
punto isoelectrico del hidróxido de plomo ocurre a un pH de 11.0 (reportado por Parks¹⁵).

A medida que el valor de potencial zeta, va acercándose al punto isoelectrico, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una coalición. La coagulación se presenta por lo general a un potencial ligeramente positivo o negativo, de manera que por lo general no se requiere que la carga sea neutralizada por completo.

Según James y Healy, presentaron un estudio respecto a la adsorción y heterocoagulación del cobalto sobre sílice coloidal, figura 2.4, donde se presenta la movilidad electroforética del $\text{SiO}_2(\text{s})$, $\text{Co}(\text{OH})_2(\text{s})$ en función del pH. En un sistema que contiene $\text{SiO}_2(\text{s})$ y Co^{2+} , la movilidad de las partículas es similar a la del $\text{SiO}_2(\text{s})$ puro a un bajo pH, luego se produce una adsorción de Co^{++} sobre la superficie del $\text{SiO}_2(\text{s})$. A un pH de 8, ocurre un cambio pronunciado y la movilidad electroforética se aproxima al del $\text{Co}(\text{OH})_2(\text{s})$. Este cambio se debe a que el $\text{Co}(\text{OH})_2(\text{s})$ precipita sobre la superficie del $\text{SiO}_2(\text{s})$; ocasionando que la partícula se comporte como una partícula de $\text{Co}(\text{OH})_2(\text{s})$.

Según Vernon L. Snoeyink¹⁹, un núcleo es una partícula sólida sobre la cual puede llevarse a cabo la precipitación de una fase sólida. La precipitación en soluciones homogéneas (donde no hay fase sólida presente) requiere que se formen núcleos de los iones en solución. Si los núcleos se forman de

los iones componentes del precipitado, la fase inicial de la precipitación se conoce como nucleación homogénea, tal es el caso del proceso de lodos de alta densidad. Si partículas extrañas son los núcleos, la nucleación es heterogénea, con lo cual este tipo de nucleación puede también ser uno de los mecanismos que ocurre en la precipitación de los hidróxidos metálicos sobre la sílice.



- 1 pH=3.0 36 horas de acondicionamiento
- 2 pH=5.8 10 minutos de acondicionamiento
- 3 pH=6.2 36 horas de acondicionamiento
- 4 pH=7.5 10 minutos de acondicionamiento
- 5 pH=9.8 10 minutos de acondicionamiento
- 6 pH=11.0 10 minutos de acondicionamiento
- 7 pH=3.0 30 minutos de acondicionamiento

Figura 2.1 Adsorción de Cobre sobre Cuarzo en función del pH y la Concentración de Cobre

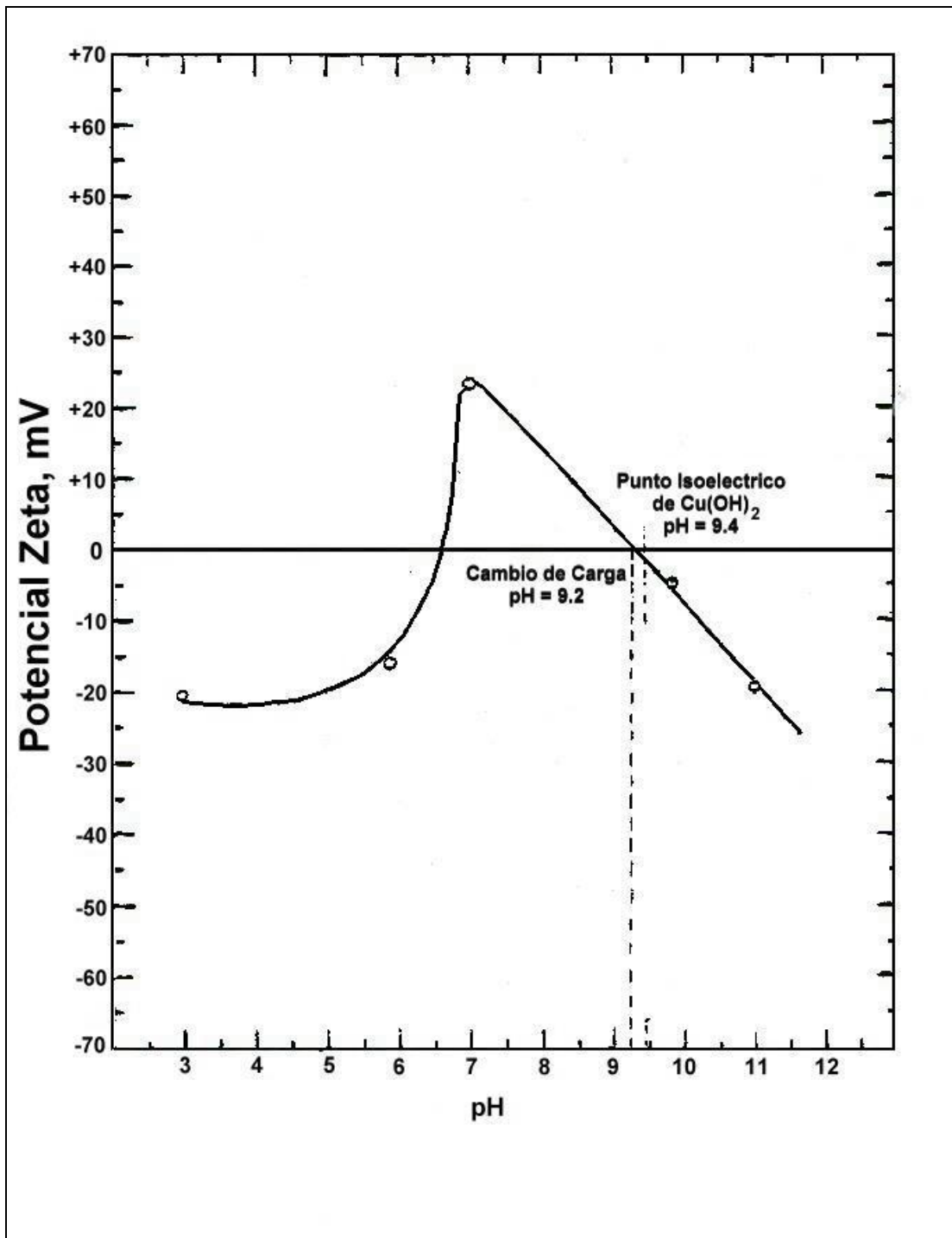


Figura 2.2 Potencial zeta ζ de partículas de cuarzo en función del pH, Concentración de Sulfato de Cobre 10^{-4} M

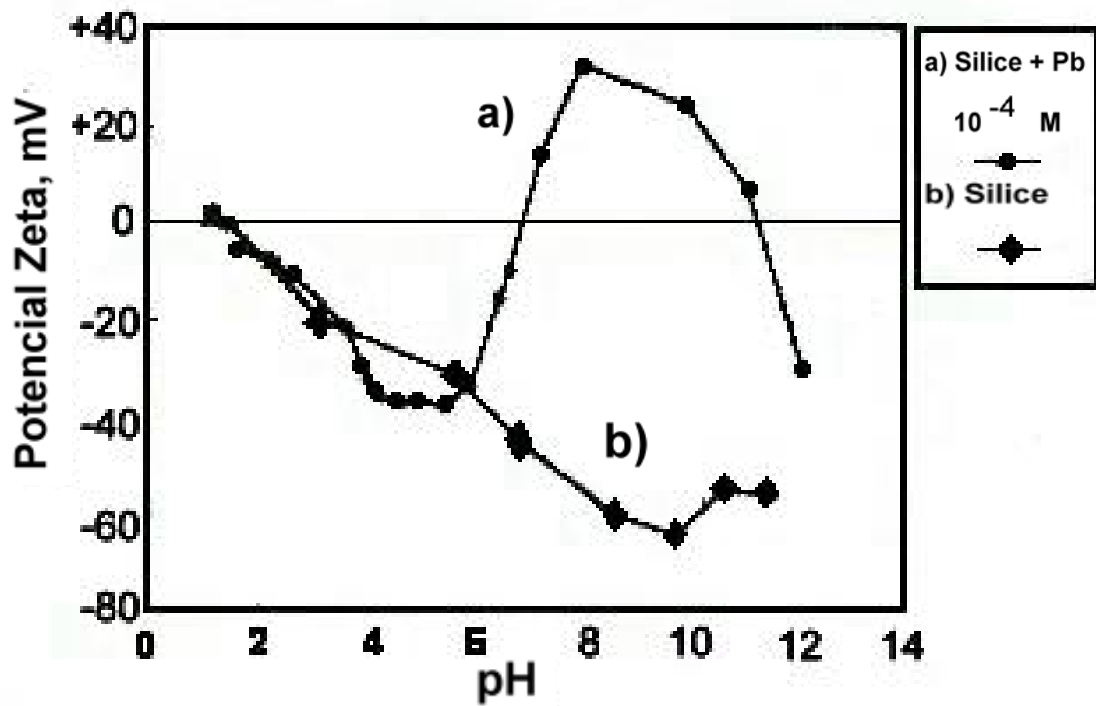


Figura 2.3 Potencial zeta ζ de partículas de cuarzo en función del pH y en presencia de 10^{-4} M Pb^{+} .

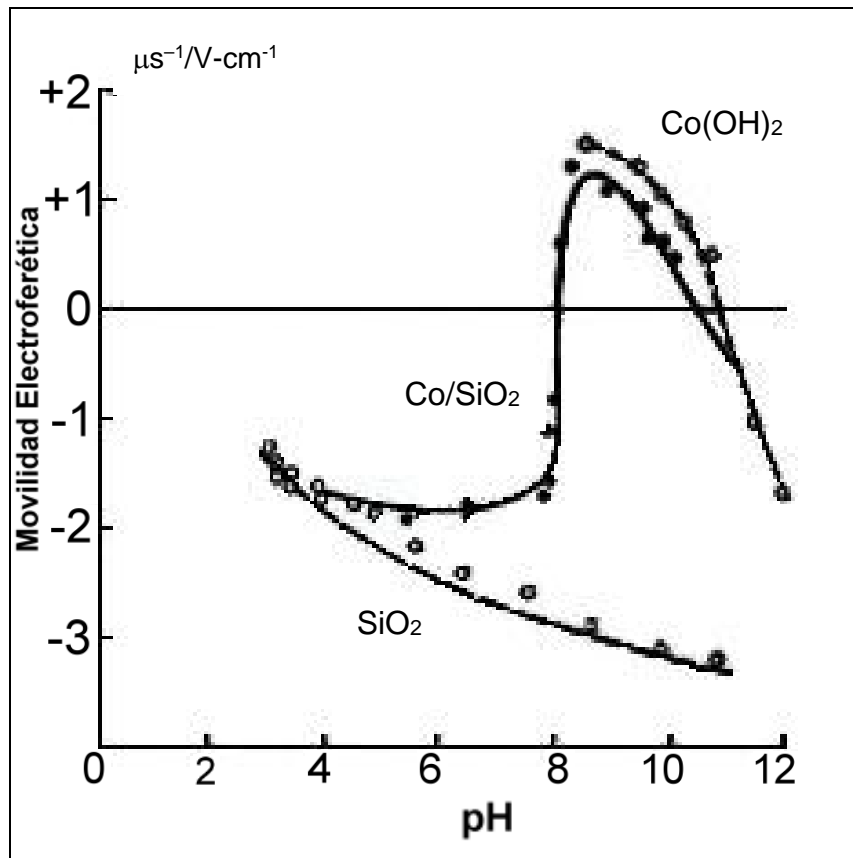


Figura 2.4 Movilidad Electroforética de partículas en sistemas que contiene 0.002 g/L SiO₂(s), 10⁻⁴M Co(OH)₂(s) y ambos SiO₂(s) con Co⁺⁺.

Movilidad Electroforética, es la velocidad de las partículas coloidales cuando están expuestas a un campo eléctrico, dividido por la magnitud del campo eléctrico.

Se realizaron pruebas con la finalidad de comparar los volúmenes finales que se obtienen luego de neutralizar una muestra de ácido de mina, en el cuadro N° 2.1, se presentan los resultados de la sedimentación de diferentes tipos de neutralización, con la cual podemos observar las propiedades del relave como coagulante y aglomerante. La granulometría usada del relave fue de 100% -m150, con lo cual aseguramos que el relave usado era fino, con similares características a las que se proponen en el informe.

Cuadro N° 2.1 Volumen que requiere el lodo de neutralización con y sin mezcla con relaves

Tipo de Neutralización	Vol (cm ³)
Convencional	160
Mezcla de lodo de neutralización con relave	125

El volumen de la mezcla (hidróxidos metálicos precipitados con relave fino) es menor que el volumen de la neutralización convencional (hidróxidos metálicos precipitados).

En la foto 1 se puede observar la reducción del volumen ocupado por los lodos de neutralización después de mezclarse con la pulpa del relave de flotación.

2.2 Drenaje ácido de mina (DAM)

2.2.1 Origen y su Neutralización.

El drenaje ácido (foto 2,3 y 4) es el efluente contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y de la lixiviación de los metales asociados cuando las rocas que lo contienen son expuestas al aire y al agua. Es importante saber que no todos los minerales sulfurosos son igualmente reactivos, ni la acidez se produce en igual proporción.

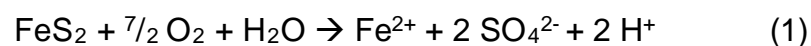
La capacidad de un determinado volumen de roca para generar drenaje ácido es una función del contenido relativo de sus minerales generadores y de consumidores de ácido. Entonces la diferencia entre ambos nos define el nivel de acidez y la calidad del drenaje en un tiempo aún no definido. El tiempo transcurrido entre la generación inicial de acidez de la roca y la

máxima velocidad de generación de acidez puede variar de días a años, este tiempo dependerá de factores ambientales y desde luego del potencial neto neutralización de la masa.

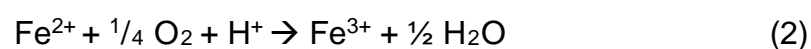
El inicio de la generación de drenaje ácido en las minas viene a ser la reacción de oxidación de la pirita. La pirita comúnmente está asociada con otros sulfuros de metales bases en depósitos de minerales mono y poli metálicos y también con carbón.

Esta primera etapa es fundamentalmente un período de oxidación química en que el oxígeno es el oxidante principal al producir sulfato y acidez a partir de la oxidación de los minerales sulfurosos. Las reacciones químicas o estequiométricas que gobiernan la oxidación de la pirita son:

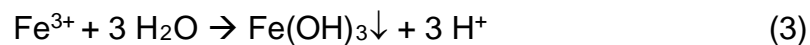
La pirita reacciona con el oxígeno (oxidante principal) y H₂O, para formar sulfato (SO₄⁼⁴), hierro ferroso (Fe²⁺) e iones hidrógeno (H⁺).



El hierro ferroso reacciona con el oxígeno y el agua para formar hierro ferrico (Fe³⁺).

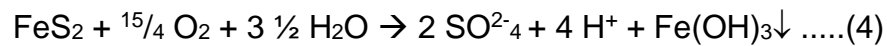


Los minerales carbonatados presentes en la roca neutralizan el efluente ácido que se caracteriza por los niveles altos de sulfato y valores de pHs cercanos al neutro; el hierro ferrico se precipita en forma de hidróxido ferrico a pHs mayores a 3.5.



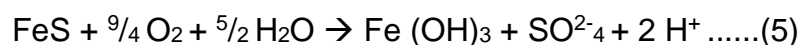
EL $\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ es el precipitado rojo que se observa en la mayoría de minas que generan ácido. Durante esta reacción, se liberan iones de hidrógeno adicionales.

Si sumamos las tres reacciones, tendremos la reacción total.



De esta reacción podemos decir que, por cada mol de pirita oxidada se generan 2 moles de sulfato, 4 moles de acidez y se precipita 1 mol de hidróxido ferrico, así como se consume 15/4 moles de oxígeno y 3 ½ moles de agua. (2 moles de acidez por cada mol de azufre).

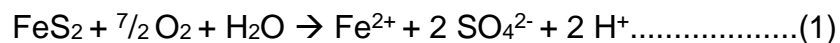
Similarmente, el mineral triolita produce 2 moles de ácido por cada mol de azufre.



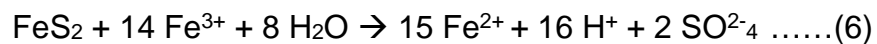
A medida que continúa la generación de ácido y se agotan los minerales carbonatados, el pH del agua disminuye y las reacciones de oxidación

química continúan hasta alcanzar valores de pH menores a 4.5, cuando el proceso se encuentra a este nivel intervienen las bacterias para acelerar la velocidad de las reacciones de oxidación anteriormente indicadas. El agua de drenaje en esta segunda etapa contiene concentraciones elevadas de sulfatos y hierro ferroso.

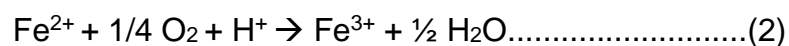
En la oxidación química de la pirita a valores de pH > 4.5 (reacción 1) el elemento que controla la velocidad de la oxidación química es la velocidad del suministro de oxígeno, pero a pH < 4.5 es muy lenta.



A valores de pH < 4.5; el hierro ferrico oxida a la pirita con mayor velocidad que el oxígeno (reacción 6)



Entonces la oxidación por el hierro férrico viene a ser el proceso de oxidación dominante; por lo que la velocidad de producción de hierro ferrico, a partir del ferroso (reacción 2) se convierte en la etapa controlante del proceso total de oxidación. Esta reacción es realmente rápida.



La velocidad y magnitud de la generación de ácido a partir de la segunda etapa esta determinada por los sgtes. parámetros:

Temperatura.

pH.

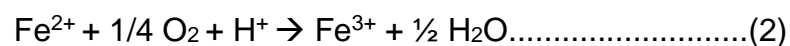
Bacterias.

Área superficial del mineral sulfuroso expuesto.

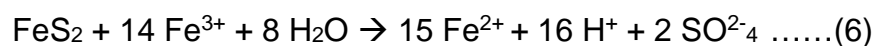
Disponibilidad de Oxígeno.

Disponibilidad de dióxido de carbono (fuente de carbono para la reproducción de las células).

Las bacterias que intervienen acelerando los procesos de oxidación son: *el Thiobacillus Thiooxidans*, que oxidan los sulfuros para producir ácido con el consiguiente descenso de pH a valores de $\text{pH} < 2.5$ y la solubilización del hierro ferroso, suministrando así las condiciones iniciales para el desarrollo de las bacterias oxidantes del hierro; la especie *Thiobacillus Ferroxidans* (foto 5) la cual oxida el hierro ferroso al estado ferrico de acuerdo a la reacción 2 de oxidación biológicamente catalizada.



Con la consiguiente oxidación del sulfuro a cargo del ion ferrico.



En esta tercera y última etapa del proceso, el agua de drenaje es generalmente ácida, con sulfato y metales disueltos en concentraciones elevadas, el hierro disuelto se presenta como hierro ferroso y hierro ferrico. Esta clase de agua de drenaje causa un impacto adverso en el ambiente por su acidez y por los contaminantes que contienen especialmente los metales disueltos que afectan negativamente la vida acuática del medio receptor y la calidad de agua para beber.

El *Thiobacillus Thiooxidans*, obtiene su energía mediante la oxidación de los compuestos reducidos de azufre, pero no oxidan los compuestos de hierro ferroso. El medio donde se desarrollan alcanza valores de pH de 0.5-6. Son los responsables de la aceleración de las velocidades de oxidación que se presentan en la segunda etapa del proceso de generación de drenaje ácido; oxida al S° y sulfuros metálicos pero no al Fe²⁺.

Cuadro N° 2.2
Bacterias que se encuentran involucradas en las reacciones de oxidación y en el proceso de crecimiento²¹

Micro organismo	pH	Temperatura (°C)	Aeróbico
Thiobacillus Thiopanus	4.5-10	10-37	+
Thiobacillus Ferrooxidans	0.5-10	15-25	+
Thiobacillus Thiooxidans	0.5-6.0	10-37	+
Thiobacillus Neapolitanus	3.0-8.5	8-37	+
Thiobacillus Denitrificans	4.0-9.5	10-37	+/-
Thiobacillus Novellus	5.0-9.2	25-35	+
Thiobacillus Intermedius	1.9-7.0	25-35	+
Thiobacillus Perometabolis	2.8-6.8	25-35	+
Sulfolobus ácido calderius	2.0-5.0	55-85	+
Desulfovibrio Desulfuricans	5.0-9.0	10-45	-

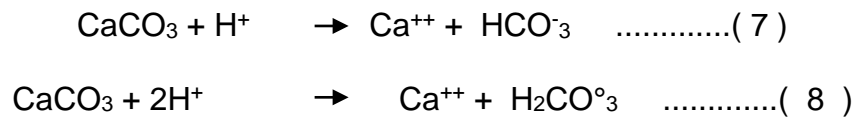
Los minerales más comunes que contienen azufre y que son capaces de producir acidez (cuando se encuentran completamente oxidado) son:

Pirita (FeS ₂)	Marcasita (FeS ₂)	Arsenopirita (FeAsS)
Calcopirita (CuFeS ₂)	Bornita (Cu ₃ FeS ₄)	Galena PbS
Calcocita Cu ₂ S	Esfalerita ZnS	Cinabrio HgS
Millenite NiS		

Los minerales que pueden consumir ácido y entre ellos tenemos:

Carbonatos (calcita)	Silicatos (clorita)
Hidróxidos (limonita)	Arcillas

El mineral más común que consume ácido es la calcita (CaCO₃), que consume acidez a través de la formación de bicarbonato (HCO₃⁻) o de ácido carbónico(H₂CO₃^o)

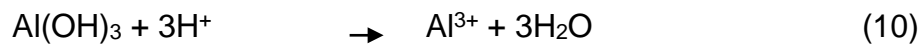


La calcita es el mineral carbonatado más abundante de los yacimientos mineralizados en el Perú, asociado con muy escasa, o ninguna dolomita. Generalmente, es el más reactivo de los minerales consumidores de ácido y, a diferencia de la mayoría de estos, tiende a ser más soluble a temperaturas más bajas.

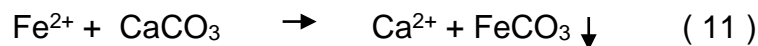
La liberación del bicarbonato y carbonato a través de la disolución de la calcita; puede darse una formación de minerales carbonatados secundarios tal como la siderita (FeCO₃) .



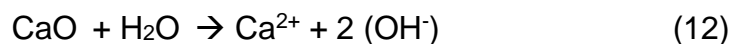
Los siguientes minerales que proporcionan alcalinidad, luego del consumo de los minerales carbonatados, generalmente son los hidróxidos, los cuales consumen acidez mediante la formación de un ión libre más agua, como se muestra en la sgte. reacción



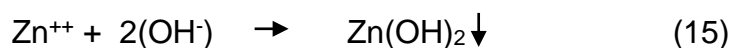
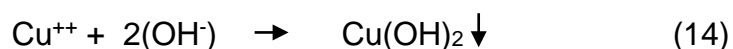
La precipitación de metales como carbonatos ocurre de la siguiente forma:



El óxido de calcio (CaO), al disolverse en la fase líquida del efluente ácido, produce iones hidroxilo (OH⁻) que elevan el pH produciendo la formación y precipitación de hidróxidos metálicos.

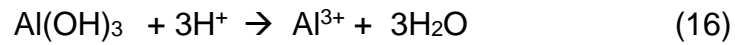


Además se pueden precipitar los iones metálicos como hidróxidos



Es importante tener presente las curvas de concentración de metales disueltos en función del pH (figura 2.12).

Los hidróxidos como por ejemplo la gypsite Al(OH)₃, puede ser un consumidor de acidez mediante la formación de un ión libre más agua tal como se presenta a continuación:



La mayoría de rocas contendrán tanto minerales sulfurosos como minerales consumidores de ácido. La relativa cantidad y la reactividad de los tipos determinarán si la roca producirá finalmente condiciones ácidas en el agua que pasa sobre ella y a través de ella.

Una serie de minerales pueden aportar alcalinidad, según el cuadro 2.3. Este cuadro indica el nombre y la composición química del mineral, la capacidad equivalente de consumo de ácido, comparada con la de la calcita, y el pH hacia el cual el sistema se estabilizaría (si se conoce este dato).

Las reacciones de neutralización eliminarán una porción de la acidez y el hierro de la solución elevando el pH. Donde hay suficiente tiempo de contacto con los minerales consumidores de ácido, puede ocurrir la oxidación hacia un pH de 7. Bajo condiciones de pH neutro, la mayoría de metales presenta solubilidad y precipitan de la solución en forma de hidróxidos metálicos. Sin embargo algunos metales, como el zinc, arsénico y molibdeno, son tan solubles –o más solubles- bajo condiciones alcalinas que bajo condiciones ácidas. En la figura 2.5, se presenta la solubilidad de hidróxidos y sulfuros metálicos.

Cuadro 2.3 Resumen de Minerales Consumidores de Ácido y sus Características de Neutralización

Mineral	Composición	Potencial de consumo de ácido*	pH de amortización
Carbonatos			
Calcita	CaCO ₃	100	5.5-6.9
Dolomita	MgCa(CO ₃) ₂	92	
Siderita	FeCO ₃	116	5.1-6.0
Magnesita	MgCO ₃	84	
Rodocrosita	MnCO ₃	115	
Witerita	BaCO ₃	196	
Ankerita	CaFé(CO ₃) ₂	108	
Hidróxidos			
Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	74	5.1-6.0
Gibsita	Al(OH) ₃	26	3.3-3.7
Limonita	FeOOH	89	3.0-3.7
Manganita	MnOOH	88	
Brucita	Mg(OH) ₂	29	

* El potencial de consumo de ácido se proporciona como el peso (g.) del mineral requerido para tener el mismo efecto neutralizador que 100 g. de calcita. Por ejemplo, el peso mol de la siderita es de 116 g, y el de la calcita es de 100 g. Por lo tanto, se requieren 116 g de siderita para suministrar la misma cantidad de alcalinidad que 100 g de calcita, a pesar de que ambos minerales no neutralizarán necesariamente aguas de pH bajo hasta el mismo nivel de pH.

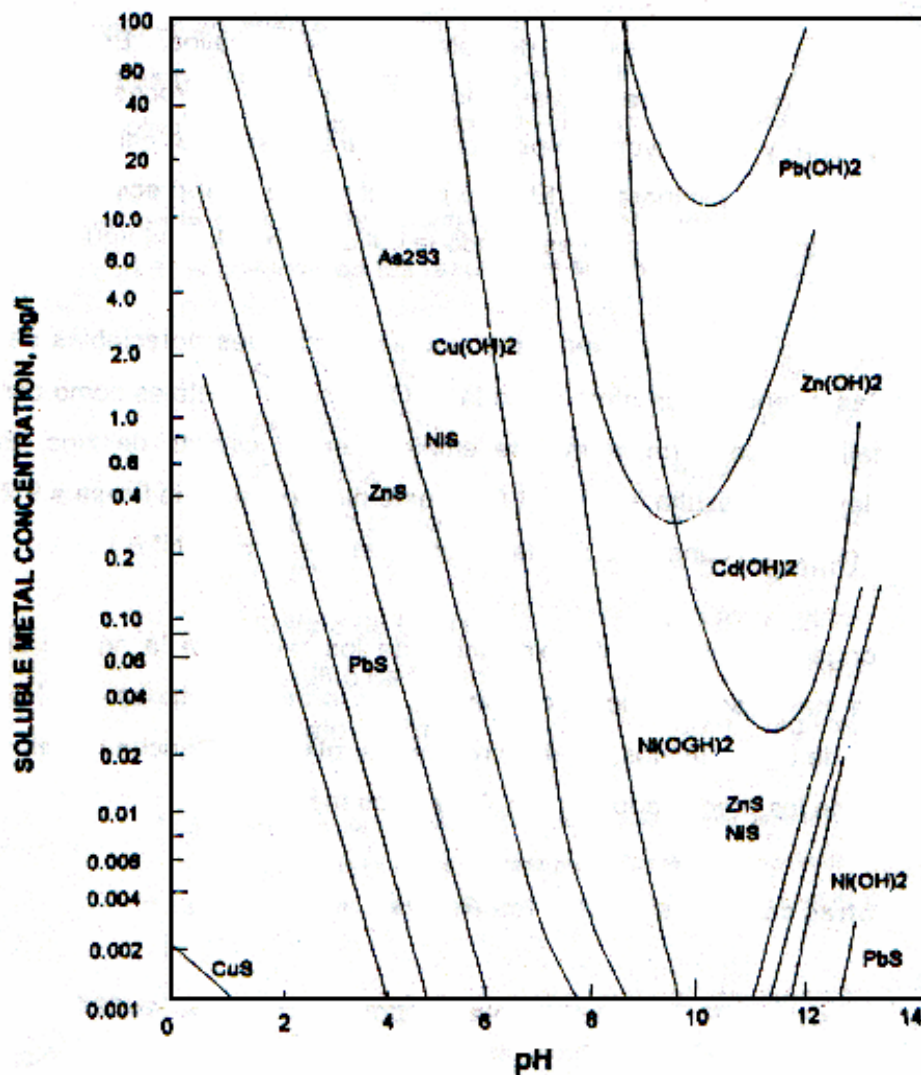


Figura 2.5 Solubilidad calculada de Hidróxidos y Sulfuros Metálicos

En conclusión, el drenaje ácido de mina o roca es el resultado de la oxidación de minerales sulfurados, cuando se encuentran expuestos al aire y al agua. El desarrollo del Drenaje Ácido de Mina o Roca es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación.

2.3 Práctica Actual de Neutralización del Drenaje Ácido de Mina

Los Procesos de Neutralización de efluente ácido en la actualidad son los siguientes :

2.3.1 Neutralización directa con cal

La neutralización directa con cal o también conocida como neutralización convencional: Existen dos tipos de neutralización directa.

Tipo I : Adición de cal al efluente ácido.

Tipo II : Adición de cal a reactores de neutralización.

En la figura 2.6 se presenta el diagrama de flujo de la neutralización convencional, tipo I, donde la cal se adiciona hasta llegar a un pH de 10, en este tipo de neutralización se llega a % sólidos entre 1-2..

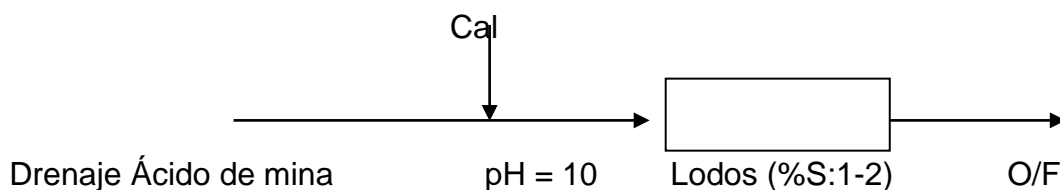


Figura 2.6 Neutralización Convencional (tipo I)

Neutralización convencional – tipo II, Este tipo de neutralización convencional difiere del anterior por que usa reactores, comprende la adición directa de lechada de cal al tanque del reactor y la descarga de la lechada neutralizada a un clarificador, la cual proporciona almacenamiento y

espesado de lodos. El depósito de lodos es también usado para proporcionar un tiempo de retención adicional para las reacciones de precipitación en cuyo caso las lagunas o depósitos son denominados lagunas de tratamiento.

El consumo de cal es controlado por el pH de descarga del reactor, se le adiciona lechada de cal para llegar a un pH de 9.5 aproximadamente para luego insuflar aire en el segundo reactor. Las densidades finales de lodos sedimentados se encuentran en el rango de 4%-15% dependiendo de la química de la carga.

El sistema convencional tiene costos de capital más bajos que del método con Lodos de Alta Densidad ó High Density Sludge (HDS), pueden requerir grandes áreas para la construcción de canchas para el almacenamiento permanente de lodos generados por el proceso. Este proceso será aplicable cuando se cuente con espacio y el costo de construcción de la cancha sea bajo.

En la figura 2.7, se presenta el diagrama de flujo de la Neutralización Convencional (Tipo II).

La neutralización con cal dependerá tanto de las características físicas y químicas que posea cada una de las muestras de ácido de mina.

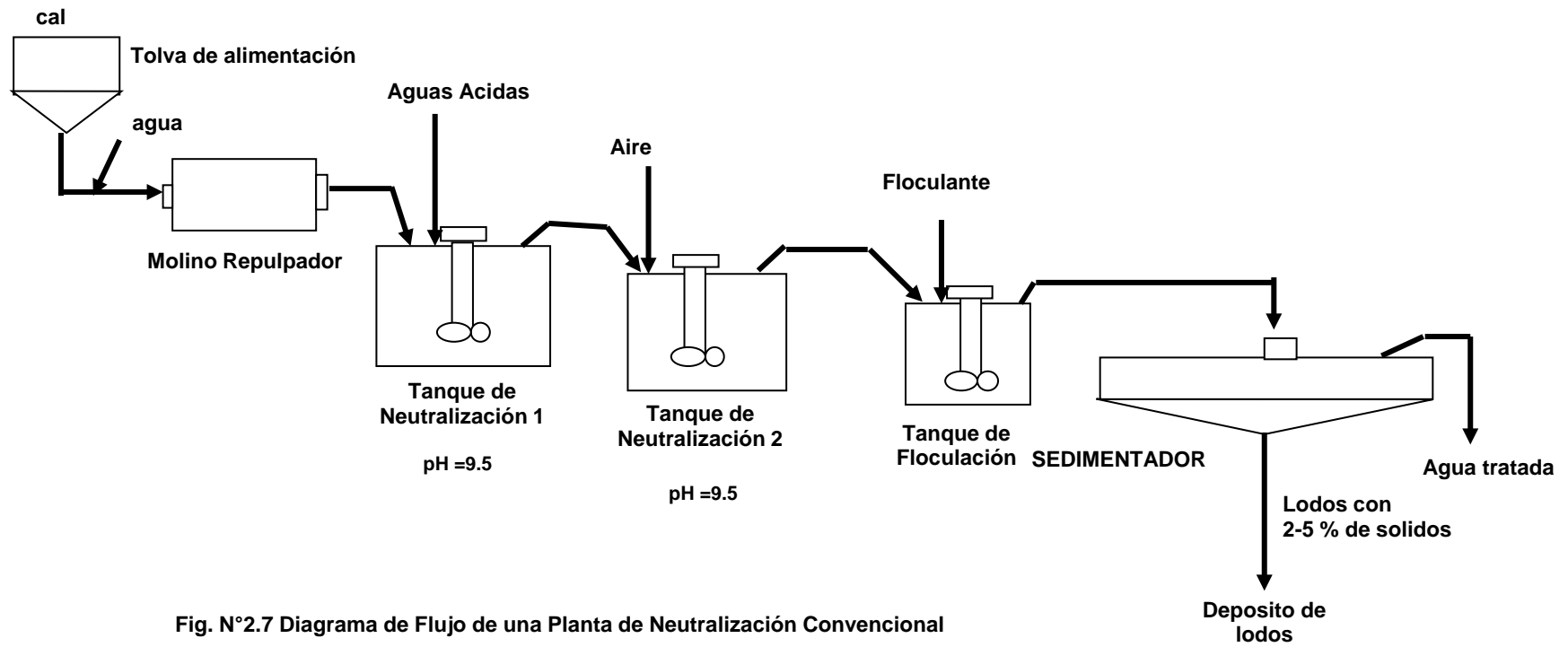


Fig. N°2.7 Diagrama de Flujo de una Planta de Neutralización Convencional

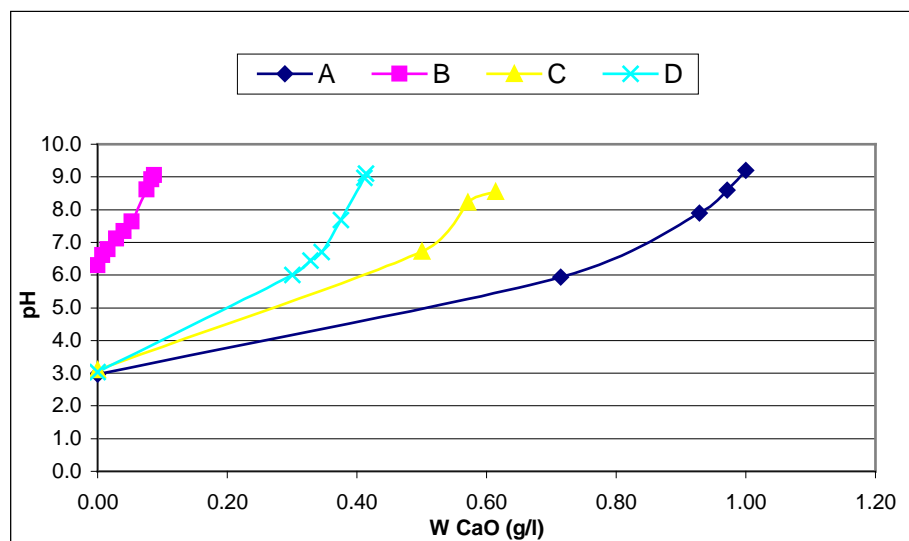
En el cuadro 2.4, tenemos características de diferentes tipos de ácido de mina. En la cual podemos observar los diferentes tipos de pH en la que se encuentran y a su vez la cantidad de Zinc en el efluente.

Cuadro 2.4 Características del efluente ácido

	pH	Eh	Zn(ppm)
A	2.97	360	180
B	6.2	176	9.6
C	3.1	290	135
D	3.03	356	8

En la figura N° 2.8, se observa el consumo de cal (g/l) necesario para poder neutralizar los diferentes tipos de drenaje ácido de mina versus la variación del pH.

Figura 2.8 Consumo de Cal (g/l) vs. pH



2.3.2 Neutralización con cal y lodos de alta densidad

En la figura N° 2.9 se muestra el diagrama del flujo del proceso de Neutralización de Cal y lodos de alta densidad (High Density Sludge –HDS)

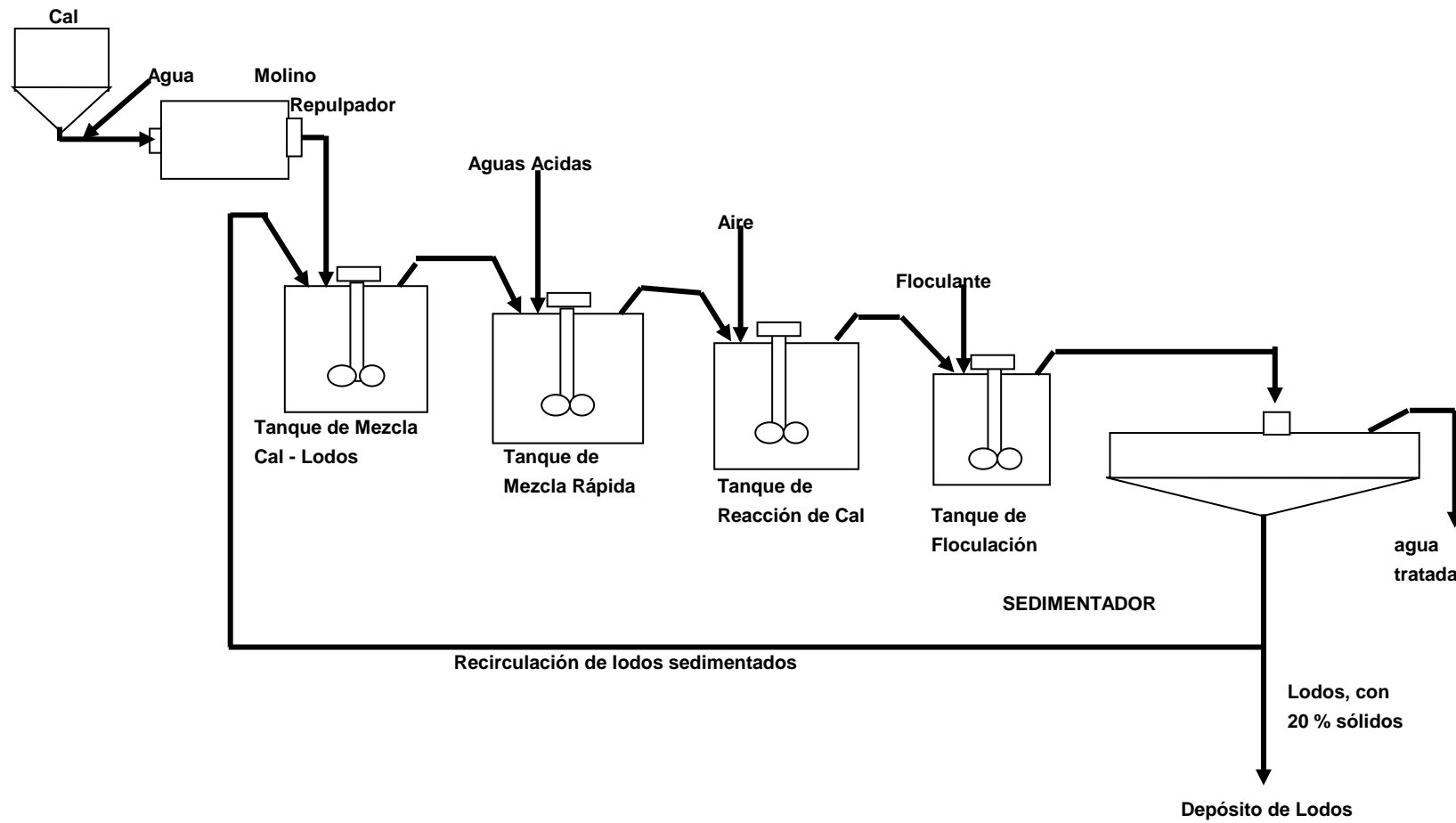


Figura 2.9 Diagrama de Flujo de una Planta de Neutralización HDS con Lodos de Alta Densidad

Este proceso consiste en la adición de la cal a lodos reciclados en un tanque de mezcla lodos/cal en la parte superior del sistema. La adición de cal a los lodos contribuye al proceso convirtiendo los lodos en un material denso, granular, libre de drenaje con una viscosidad relativamente baja. La generación de lodos densos asegura que el sistema genera un alto inventario de lodos lo que contribuye a la coprecipitación de metales para producir un efluente bajo en concentración de metal.

La mezcla de cal/lodos es luego combinada con el efluente ácido de mina (DAM) en el reactor. Ahí es donde se completa la oxidación y las reacciones de precipitación. La presencia de hierro y manganeso generalmente requiere agregar aire al reactor de precipitación.

La inyección de aire se debe a que en este proceso es una condición necesaria maximizar la oxidación del hidróxido ferroso a hidróxido ferrico a fin de evitar la redisolución de los iones metálicos.

El efluente tratado es separado del lodo mediante un clarificador que luego es reciclado al tanque de mezcla rápida lodos/cal. Los lodos excedentes con densidades que van desde 20 % hasta 45%, dependiendo de los componentes de la carga son llevados al depósito de lodos. Los lodos de alta densidad generalmente se consolidan a densidades de 45% a 60% en el depósito de lodos.

III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 Caracterización de los relaves empleados

3.1.1 Mineralogía, granulometría, análisis químico

El relave de flotación de zinc que se usó, tiene la siguiente composición química:

Cuadro 3.1.1 Composición Química del Relave

Efluente	Conc. (mg/l)				
	Cu	Pb	Zn	Fe	As
Relave Planta	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

A continuación se muestra el cuadro N° 3.1.2 , granulometría del relave que se usó para el presente informe.

Cuadro 3.1.2 Análisis Granulométrico del Relave

Parámetro	Malla 50	Malla 100	Malla 200	Malla 400	Malla -400	Total
Peso retenido (%)	8.6	17.8	17.8	14.7	41.1	100
Peso de fino (%)	91.4	73.6	55.8	41.1	-	-

Una característica fundamental del relave que se aprovecha en el proceso NDR (Neutralización dinámica con relaves) es su granulometría fina. Mas adelante mostraremos como los finos desempeñan un papel neutralizador importante.

3.1.2 Potencial neutralizante y potencial ácido

- El potencial de neutralización (NP) expresado en Kg. CaCO_3 / TM relave (Cantidad equivalente de CaCO_3 puro) proporciona una capacidad de neutralización similar a la del relave o mineral considerado.
- El potencial ácido (ΔP), expresa la capacidad que tiene el mineral para producir ácido en condiciones extremadamente favorables, esto depende exclusivamente del contenido de sulfuros.
- El potencial neto de neutralización (NNP) expresa el balance entre la capacidad de producir y neutralizar ácido. $\text{NNP} = \text{NP} - \Delta P$.

Se establece que si:

- $\text{NNP} > +20 \text{ Kg } \text{CaCO}_3 / \text{TM relave}$, entonces no se produce ácido.
- $\text{NNP} < +20 \text{ Kg } \text{CaCO}_3 / \text{TM relave}$, entonces si se produce ácido.

Otro criterio, es el que se establece que el cociente $\text{NP} / \Delta P$ debe de ser mayor a 3, para que no se produzca drenaje ácido.

En el cuadro N° 3.1.3 se presenta los NP, ΔP y NNP de la muestra de relave; por mallas:

Cuadro 3.1.3 NP, AP, NNP del relave

	NP	ΔP	NNP	NP/ ΔP
+50	64.75	41.25	23.50	1.57
+100	174.93	118.13	56.81	1.48
+200	63.25	350.00	-286.75	0.18
+400	68.25	386.56	-318.31	0.18
-400	168.98	413.44	-244.46	0.41

3.2 Caracterización del Efluente Ácido de Mina (DAM)

3.2.1 Características Físicas y Químicas

Las principales características principales físicas y químicas del drenaje ácido de mina son las siguientes :

Cuadro 3.2.1 Características Físicas del Drenaje Ácido de Mina

pH	T.S.S.(g/l)	Coloides(g/l)
3.1	1.84	0.33

Cuadro 3.2.2 Características Químicas del Drenaje Ácido de Mina

Análisis Químico (mg/l)			
Cu	Pb	Zn	Fe
11.18	1.56	166.4	153.38

3.2.2 Variación Estacional

El Perú posee una variada geografía, la cual va desde desiertos, áreas de gran altitud y selvas tropicales con variados ambientes climáticos.

Aún las condiciones climáticas que se presenta durante el año son diferentes para cada uno de las regiones que posee nuestro país, de ahí que los caudales de agua ácida también varia según las estaciones del año. Por lo tanto siempre debemos tener en cuenta un balance de agua de varios años para ver el comportamiento de cada lugar, en cada zona durante el año.

3.3 Pruebas Experimentales

3.3.1 Metodología

Las Pruebas de Neutralización tanto de laboratorio como del pilotaje, las pruebas de sedimentación, las pruebas de determinación del Potencial Neto Neutralizante, los análisis químicos tanto del efluente ácido de mina así como de las soluciones neutralizadas a diferentes pHs, se realizó bajo la metodología de la empresa CONSULCONT S.A.C. la cual es la auspiciadora de mi tesis.

- **Procesamiento de las muestras de efluente ácido**

El procesamiento de estas muestras fue simple. Las muestras fueron envasadas, codificadas y registradas en el libro de muestras de la empresa CONSULCONT S.A.C. Para la determinación de los metales pesados (Pb, Cu, Zn y Fe) se tomó muestras de 200ml., las cuales fueron preservadas con ácido nítrico (pH alrededor de 1.5) para luego ser analizadas en el Laboratorio Químico con un equipo de Adsorción Atómica marca Perkin Elmer 3100.

- **Calibración de los Equipos de Medición.**

Las determinaciones de pH (foto 6), conductividad, y el potencial de reducción fueron realizadas con equipos previamente calibrados en el laboratorio. Antes de cada prueba se realizó una debida calibración. En el

caso del pH metro (foto 7) , fue calibrado con solución buffer pH 7.01 y de pH 4.01.

- **Pruebas de Neutralización.**

Las pruebas de laboratorio de Neutralización se realizó en un agitador magnético, luego de lo cual se tomaba una muestra para ser analizada en el laboratorio químico. Es importante destacar que en la mayoría de pruebas solamente se analizó por Zn, debido a que por solubilidad es el metal pesado que precipita a mayor pH.

- **Procesamiento de los relaves para determinar el Potencial de Drenaje Ácido (AP, NP y NNP)**

La muestra de relave se seca al ambiente para evitar la alteración de los compuestos con agua de hidratación, luego la muestra se cuartea y en el Laboratorio se determinó azufre como sulfuro siguiendo el método establecido, resultado con el cual se determina el Potencial Ácido (AP), el Potencial Neutralizante(NP) mediante la prueba modificada de Balance-Ácido (BAB), luego de lo cual se halló el Potencial Neto Neutralizante (NNP).

- **Procesamiento del Relave para Determinar la Granulometría**

El análisis granulométrico se realizó en el Ro-tap y fue limitado a la malla 400, la cual se determinó en húmedo para esta malla y se complementó luego en seco para las mallas con mayor abertura.

3.3.2 Neutralización con cal.

Se tomaron 04 muestras diferentes de efluentes de mina, los cuales fueron neutralizados con la finalidad de comparar el consumo de cal para cada uno de ellos.

Metodología Experimental

La neutralización con cal consiste en pruebas batch de laboratorio considerando una lectura final de Zinc en la solución.

Muestra

Las características de los efluentes de mina se presentan en el cuadro 3.3.1

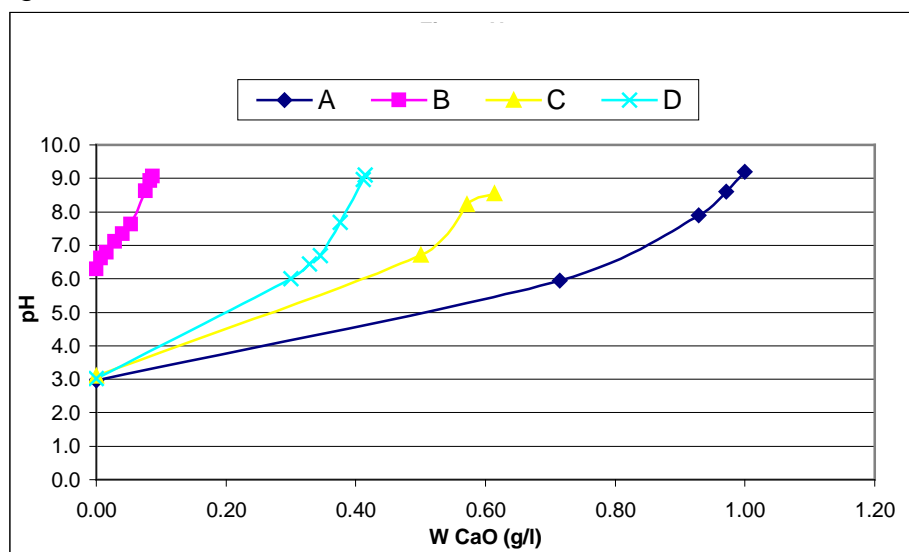
Cuadro 3.3.1 Características del Efluente de Mina

	pH	Zn(ppm)
A	2.97	180
B	6.2	9.6
C	3.1	135
D	3.03	8

Procedimiento

Se tomo 1 litro de uno de los efluentes de mina sobre el agitador, se fue agregando cal en pequeñas proporciones según iba elevando el pH hasta alcanzar un pH de 9.0, luego de lo cual se analizó por Zn en la solución.

Figura 3.3.1 Neutralización de diferentes efluentes ácidos de mina



Resultados

Los consumos de cal varían de acuerdo tanto al contenido de Zn en su solución así como su nivel de pH. El consumo de cal máximo obtenido es de 1.00 gr/l alcanzando un pH de 9.0

3.3.3 Neutralización con pulpa de relave

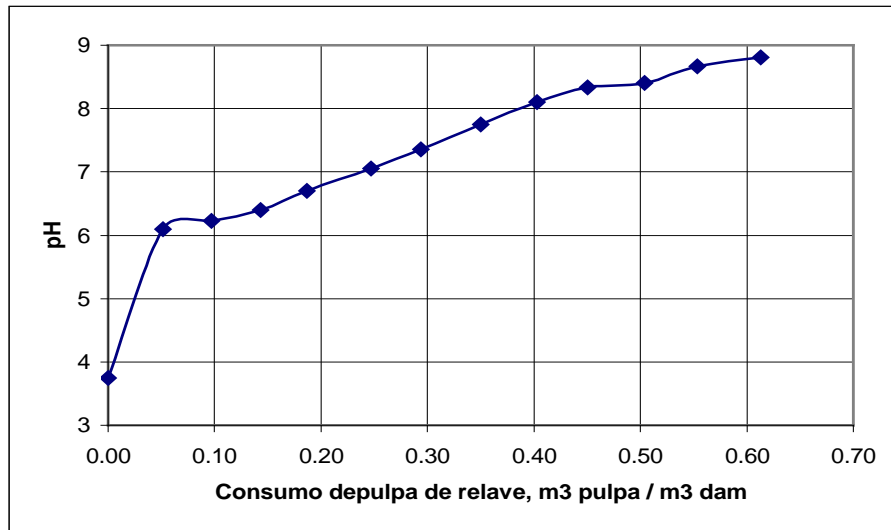
Cuando la pulpa de relave sale del circuito de flotación de Zinc, posee un pH de 11.5 a 12, el cual es aprovechable para elevar el pH de ácido de mina. Las características principales del ácido de mina como del relave se presentan en el cuadro 3.3.2

Cuadro 3.3.2 Características del efluente ácido de mina y del relave

	PH	Eh
Ácido de Mina	3.0	250
Relave	11.5	-63

En la figura 3.3.2; describe el comportamiento del pH con respecto al consumo de pulpa de relave. Esta prueba se realizó con el objetivo de comprobar el poder neutralizante del relave, aunque dependerá de la relación entre el QDAM con respecto al relave que nos puede proporcionar la planta metalúrgica. Si bien esta prueba se realizó con la pulpa de relave completa, en la primera parte se llega hasta un pH de 6.2 con una curva efectiva, para luego tener una curva con tendencia creciente pero más conservadora, además se puede observar que si queremos llegar a neutralizar completamente el efluente ácido (hasta un pH de 8.5), tendríamos que tener una relación de volúmenes entre la pulpa de relave y el efluente ácido de 0.5; lo que dependería de las características del efluente ácido, así como del volumen de relave que podríamos obtener de la planta concentradora.

Figura 3.3.2 Neutralización del efluente ácido de mina con pulpa de relave



Un aspecto importante es la relación entre volúmenes de pulpa de relave y el efluente ácido, además es importante la cinética con la que se neutraliza el efluente para diferentes relaciones de volúmenes.

En la figura 3.3.3 a,b,c,d,e se realizaron pruebas de neutralización para diferentes relaciones entre cm^3 pulpa de relave / cm^3 efluente ácido.

La velocidad de neutralización más rápida ocurre durante el primer minuto de agitación, es decir, el pH sube significativamente en primer minuto para luego mantenerse o elevarse moderadamente.

La presencia de Zinc inicialmente en el efluente ácido es de 134 ppm. Cuando la relación entre de volúmenes del relave y el efluente ácido aumenta, el contenido de Zinc disminuye y el pH va aumentando.

Cuadro 3.3.3

Tiempo (min.)	VDAM/Vpulpa	Vpulpa/VDAM	pH	Zn(ppm)
0	---	---	3.0	134
30	10	0.1	5.3	98.0
	5	0.2	6.2	62.7
	3.3	0.3	6.6	37.5
	2.5	0.4	6.9	20.0
	2	0.5	7.2	17.0

Figura 3.3.3a pH-Zn(ppm) vs. Consumo de pulpa(g/l)

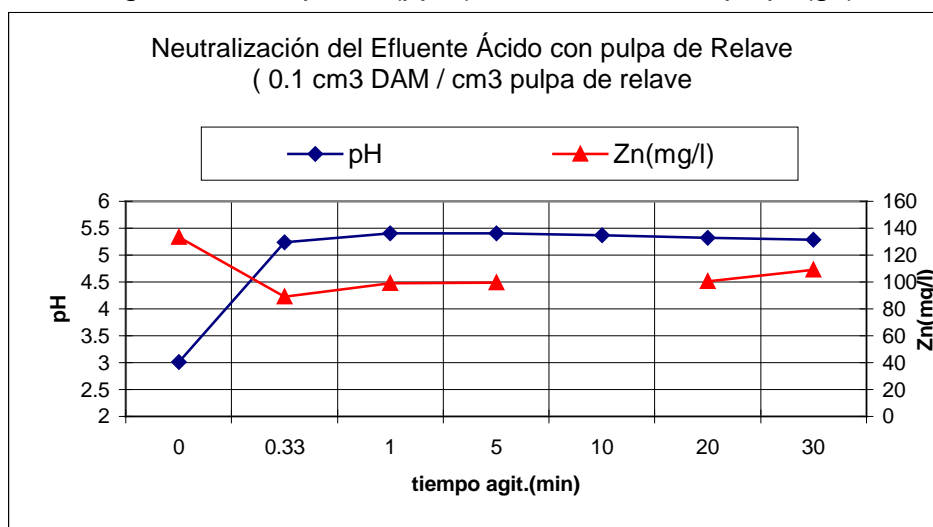


Figura 3.3.3b pH-Zn(ppm) vs. Consumo de pulpa de relave (g/l)

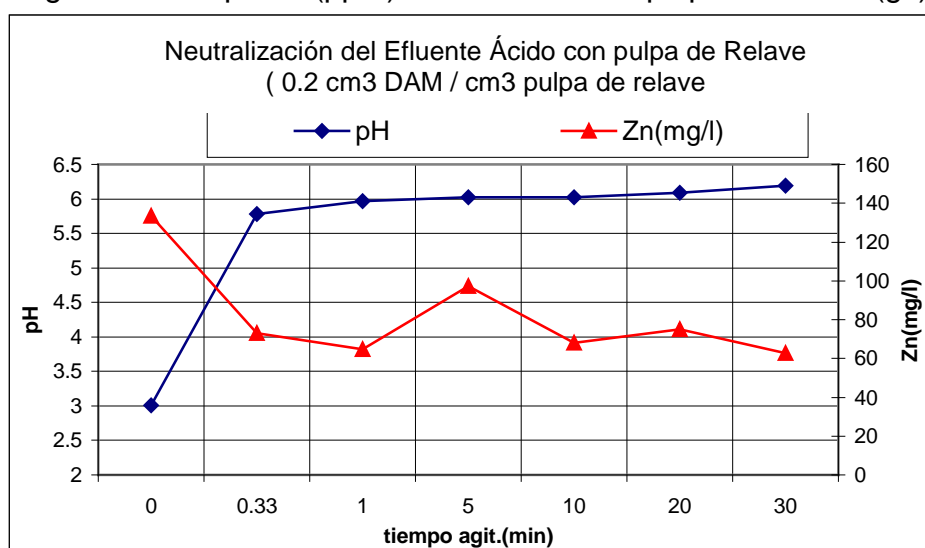


Figura 3.3.3c pH-Zn(ppm) vs. Consumo de pulpa de relave (g/l)

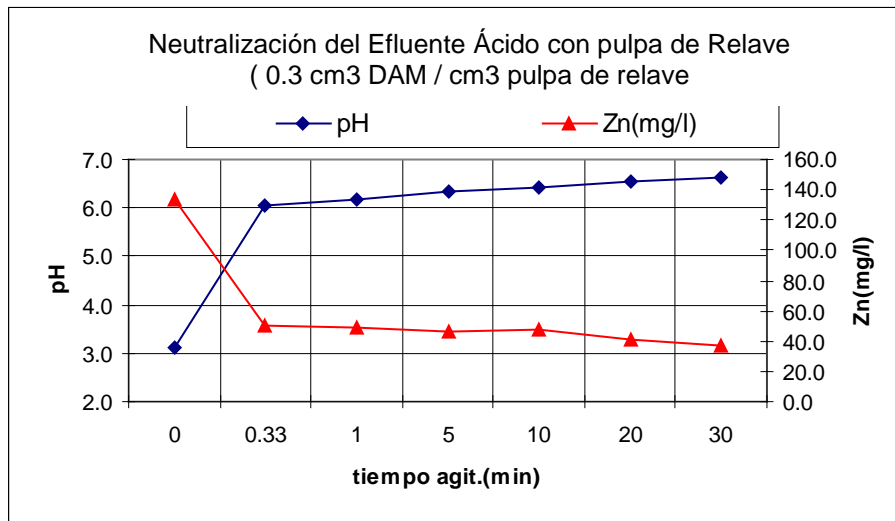


Figura 3.3.3d pH-Zn(ppm) vs. Consumo de pulpa de relave (g/l)

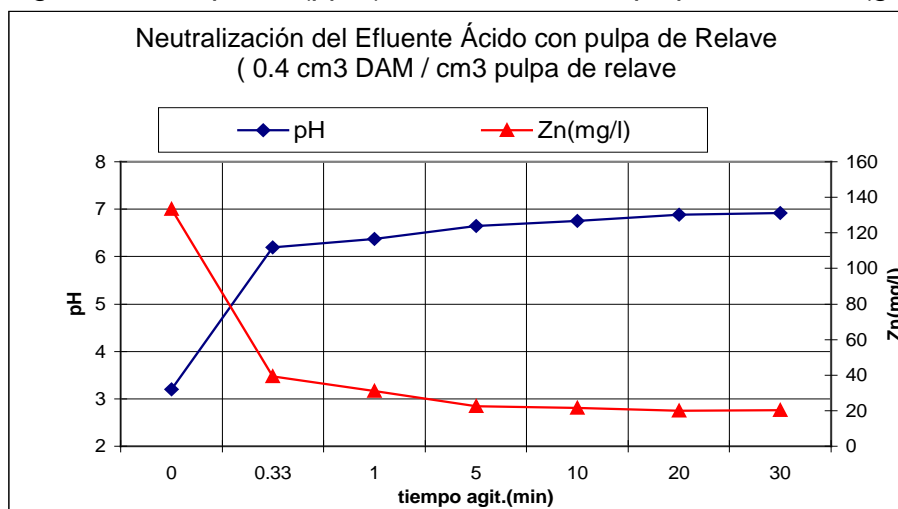
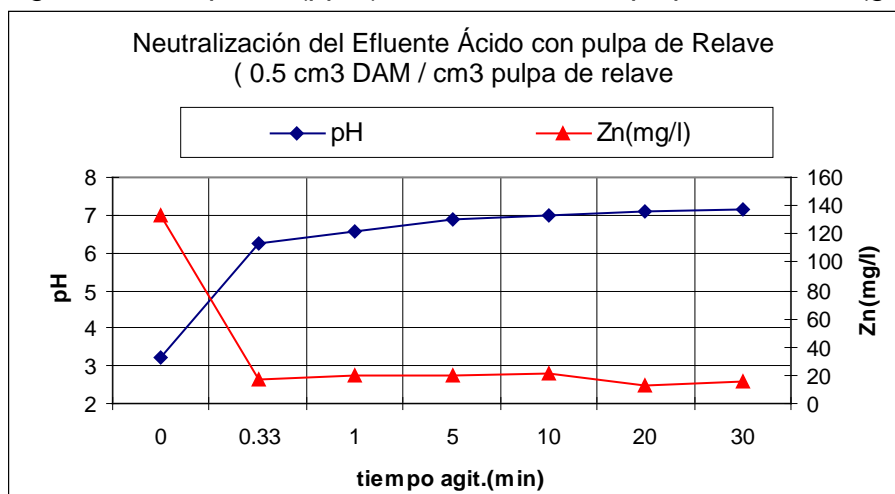


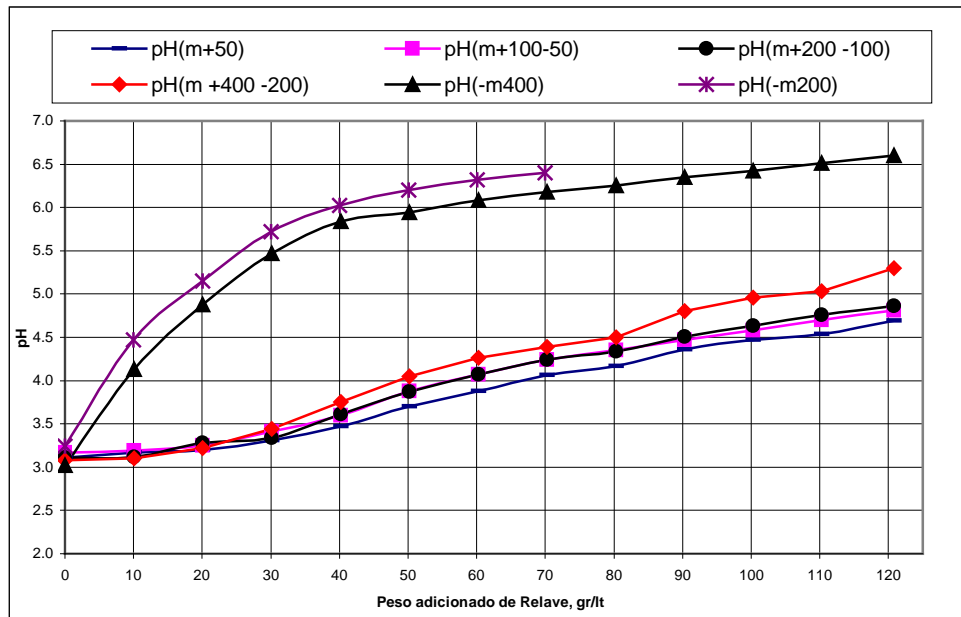
Figura 3.3.3e pH-Zn(ppm) vs. Consumo de pulpa de relave (g/l)



3.3.4 Neutralización con Relave Seco

El objetivo de neutralizar el efluente ácido con relave seco es el de evaluar el comportamiento neutralizante del relave respecto a su granulometría.

Figura 3.3.4 Neutralización del efluente ácido con relave seco

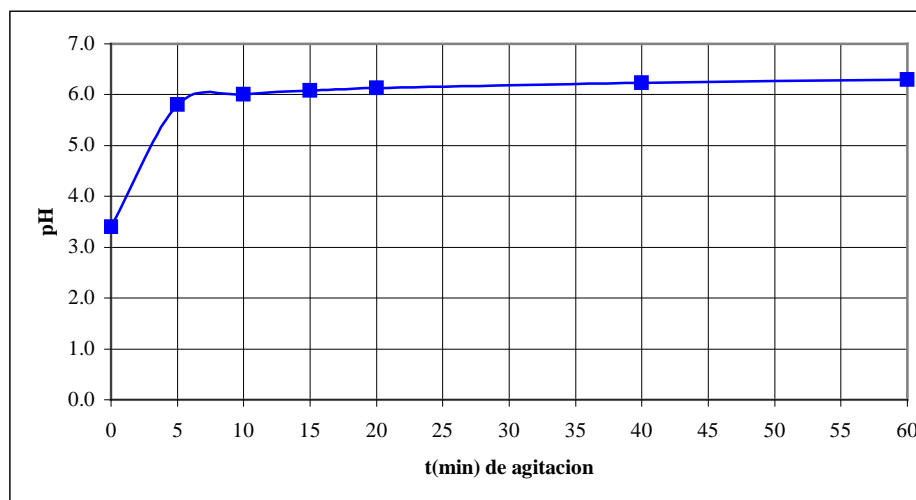


A una granulometría más fina (-m400) el comportamiento neutralizante es el más importante puesto que con 50 g/l, el pH ya se encuentra en 5.9; mientras que a la granulometría de -m 200, el pH llega a 6.3.

Ante la buena respuesta de neutralización del relave seco fino (-m400), y para una relación $V_{relave\ seco}/V_{dam}$: 50g/l; se realizó una prueba a diferentes tiempos de agitación, con los resultados que se observan en la figura 3.3.5

Los primeros 5 minutos son los más importantes puesto que se llega a un pH de 5.8, obteniendo resultados similares con agitaciones de 10 a 60 minutos, los cuales llegan a tener resultados de pH : 6 y 6.3 respectivamente, tal como se muestra en la figura 3.3.5

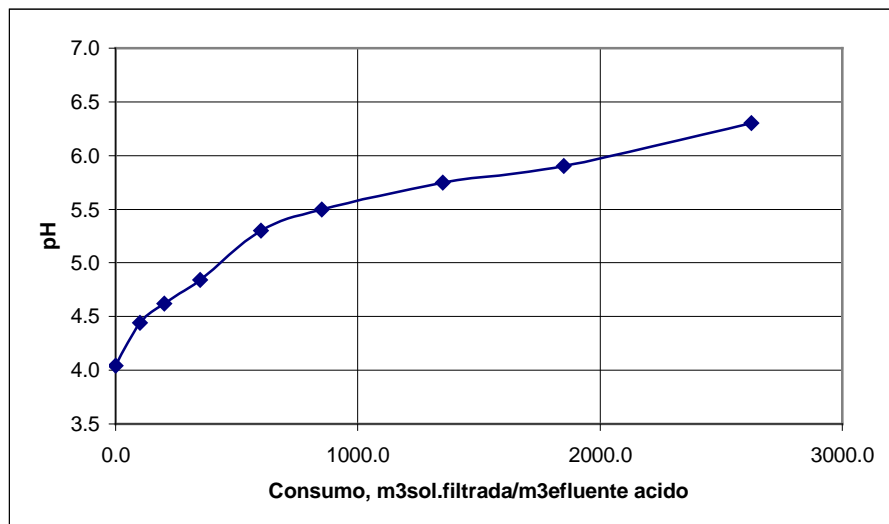
Figura 3.3.5 Cinética de la Neutralización del Efluente ácido con relave seco (-m400)



3.3.5 Neutralización Solución filtrada de relave.

Esta prueba se realizó filtrando en vacío la pulpa de relave, para obtener la solución la cual posee un pH de 11.54. Aunque si bien, el pH inicial del efluente ácido es de 4, la tendencia del pH es de aumentar pero a desmedro que la relación $V_{sol.filtrada}/V_{dam}$ sea muy alta, tal como se demuestra en la figura 3.3.6. Por lo cual se deduce que la influencia de la solución filtrada como agente neutralizante es casi nula.

Figura 3.3.6 Neutralización de efluente ácido con solución de relave



3.3.6 Neutralización - Método HDS

Se realizó una prueba de HDS, la muestra de ácido de mina que utilizó tenía las sgtes. características físicas.

Cuadro 3.3.4 Características físicas del Efluente Ácido

	pH	Eh
Muestra	3.12	180

La prueba consistió en 10 ciclos, de los cuales se obtuvo volúmenes similares a lo largo de la prueba.

En la figura N° 3.3.7, podemos observar el diagrama y los pasos que siguieron para simular la prueba de Neutralización por el método de lodos de alta densidad (HDS) y en el cuadro N° 3.3.5 se presenta los resultados de la prueba en mención.

Según el cuadro 3.3.5; el promedio del volumen total de lodos es de 70.2 ml; considerando que se llegó a neutralizar hasta un pH de 8.5, sabiendo que a este pH los iones metálicos disueltos en la solución se encuentran por debajo de límite máximo permisible.

En la foto N°9, podemos observar los volúmenes de los lodos que no fueron recirculados, es decir la mitad del volumen total de lodos, desde el primer ciclo hasta el noveno ciclo; en él podemos ver que los volúmenes son similares.

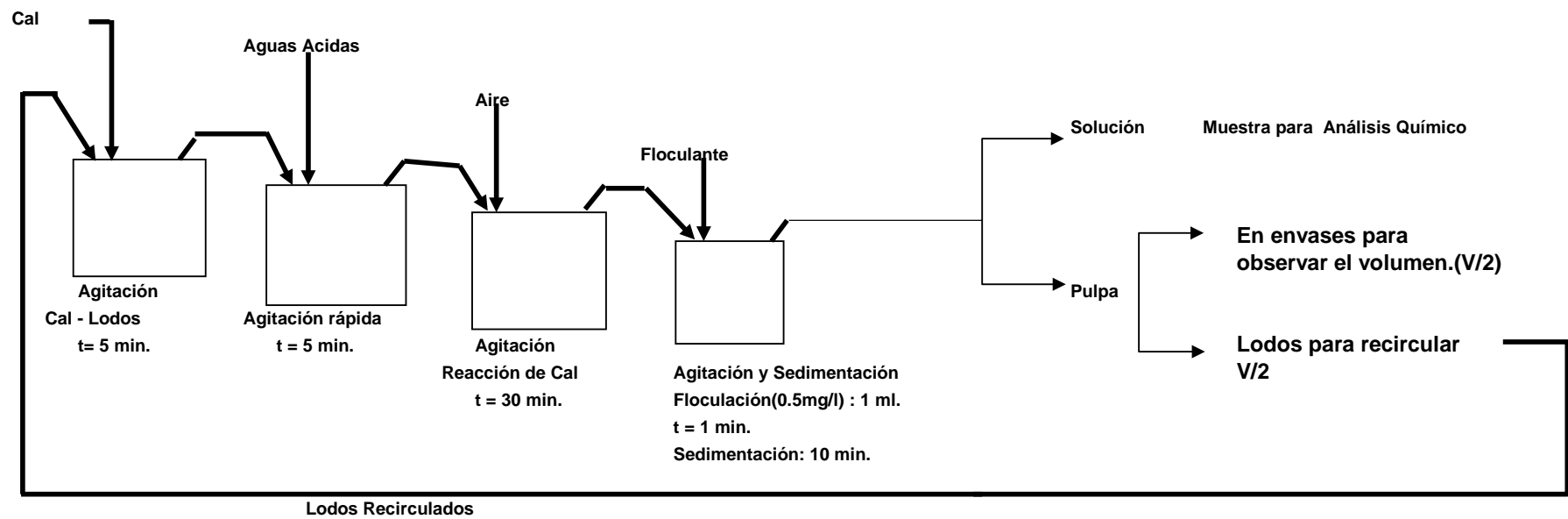


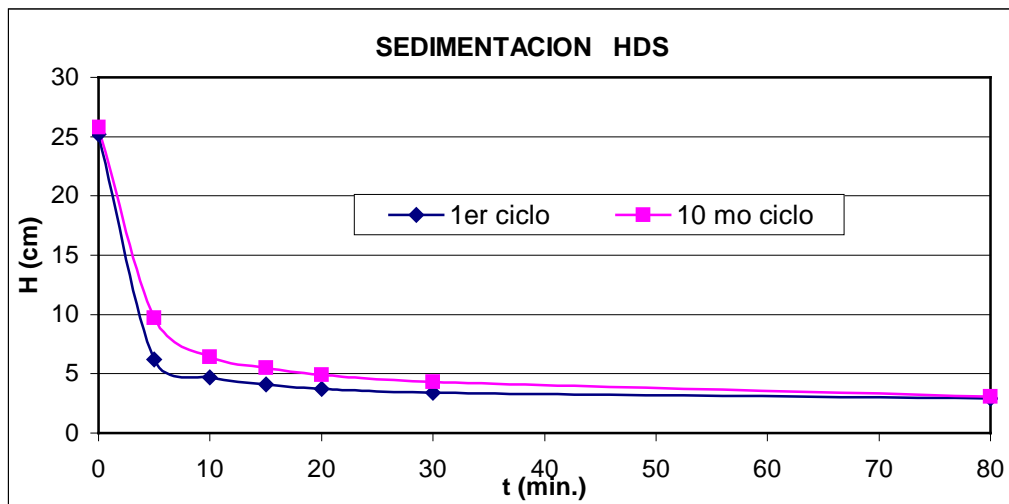
Figura 3.3.7 Diagrama de Flujo - Condiciones de la prueba HDS

Cuadro 3.3.5 Neutralización Con Lodos de Alta Densidad

#ciclo	Consumo Cal(g/l)	Condiciones		VTlodos ml.	Vrecir lodos ml.	Wtotal lodos g.	Wrecir lodos g.	Lodo + cal	
		pH	Eh					pH	Eh
1	0.94	8.2	179	62	31.0	26.5	13.2	12.5	-80
2	0.94	8.4	79	74	37.0	36.8	18.4	12.6	-37
3	0.95	8.5	71	66	33.0	34.6	17.3	12.8	-64
4	0.95	8.5	84	79	39.5	37.0	18.5	12.7	-35
5	0.95	8.5	89	70	35.0	38.0	19.0	12.5	-31
6	0.95	8.6	97	70	35.0	35.0	17.5	12.7	-55
7	0.95	7.8	77	74	37.0	37.1	18.5	12.7	-62
8	0.98	8.5	97	79	39.5	39.1	19.5	12.7	-37
9	0.98	8.4	101	69	34.5	38.9	19.4	12.7	-55
10	0.98	8.3	94	74	37.0	37.3	18.7		

Según este cuadro, la variación en volúmenes son mínimas, pero en el peso se nota la diferencia de contenido de lodos y la presencia de mayor contenido de % de sólidos en el ciclo 9 y 10.

Figura 3.3.8 Prueba de Sedimentación HDS del 1er y 10mo ciclo.



3.3.7 Neutralización con sólido de relave, solución de relave y diferentes agentes neutralizantes

Se realizó neutralización con diferentes agentes neutralizantes. Cada agente neutralizante se usó hasta llevar el pH a 8.5 .

En el cuadro 3.3.6, se presenta la evaluación económica que se refiere a los agentes potenciales neutralizantes que hemos tocado en esta parte.

Cuadro 3.3.6 Costos Comparativos de Agentes Neutralizantes.

Nombre	Pecio \$/Kg	Consumo g/l	Costo \$/m3	Relación
Hidróxido de Na	0.74	0.45	0.33	18
Cal	0.14	0.70	0.09	5
Sulfuro de Na	0.71	0.85	0.60	33
Carbonato de Na	0.50	3.70	1.85	100

Al analizar este Cuadro podemos decir que lo más económico viene a ser la cal, representado como 5 del costo con respecto del Carbonato de Sodio que se representa como 100.

3.3.8 Neutralización con O/F del Hidrociclón D-6 y Cal

De pruebas anteriores, podemos decir que el comportamiento de la partícula fina es muy importante como agente neutralizante, debido a que posee un poder neutralizante mejor a comparación de la pulpa de relave total.

Se realizó pruebas de neutralización del efluente ácido con el O/F de la pulpa de relave de un ciclón D-6. El diagrama de flujo que se siguió en esta prueba se presenta a continuación:

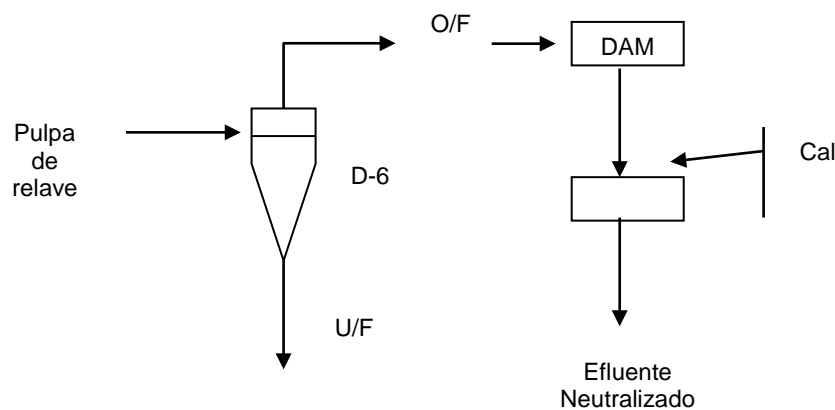


Figura 3.3.9 Diagrama de Flujo – Neutralización con pulpa de relave (O/F D-6) y cal

Se trabajó con diversos tamaños de apex, entre ellos 7/8", 1", 1 1/4" y 1 7/16", y con un solo vortex de 2". Se realizó el análisis granulométrico (Cuadro 3.3.9) para cada una de estas pruebas obteniéndose el d 50 y la eficiencia en cada uno de los casos (figuras 3.3.10, 3.3.11, 3.3.12 y 3.3.13).

Las condiciones iniciales del efluente ácido y del relave para las pruebas fueron las siguientes:

Condiciones Iniciales	pH	Eh
Efluente Acido	3.0	300
Relave	11.0	-28

Se obtienen buenos resultados en la neutralización con el O/F (vortex:2" y apex:1 ¼") para los diferentes ratios con los que se realizó las pruebas, pero cuando realizamos las pruebas de sedimentación (cuadro 3.3.9), las dimensiones del espesador son grandes, obteniéndose para las mismas condiciones anteriores y 15 minutos de retención valores de 41.3, 32.9 y 27.1 metros y además bajos porcentajes de sólidos de 9.9, 11.6 y 13.7 para ratios de 7,5 y 3 respectivamente.

Asimismo, de las pruebas realizadas con las muestras con un apex de 7/8", se obtienen los mejores resultados en la sedimentación, puesto que para un ratio de 6; a un t=15 minutos se llega a obtener 12.7 %S y un diámetro del espesador de 38.3 metros.

Además un inconveniente fundamental del ciclón D-6 para este tipo de casos, es que el caudal del O/F que nos ofrece este ciclón es muy bajo, para lo cual tendríamos que usar una cantidad significativa de ciclones D-6.

Los productos del relave que se obtuvieron en la prueba de cicloneo, se presentan en el cuadro 3.3.13; se puede decir que ocurre la concentración

Cuadro 3.3.7 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL HIDROCICLON D-6

Mallas	Abertura um	Alimento		U/F Apex (7/8")		O/F Apex (7/8")		U/F Apex (1")		O/F Apex (1")	
		%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)
70	212	14.3	85.8	31.7	68.4	0.1	99.9	26.7	74.3	0.1	99.9
100	150	9.6	76.2	17.7	50.7	0.0	99.9	16.6	57.7	0.0	99.9
140	106	14.0	62.1	19.2	31.5	0.1	99.8	18.6	39.1	0.1	99.8
200	75	9.9	52.2	11.0	20.5	1.7	98.1	12.14	27.0	0.7	99.1
270	53	10.3	42.0	9.8	10.7	6.8	91.4	12.1	14.8	3.8	95.3
400	38	5.1	36.9	3.5	7.2	5.9	85.5	4.5	10.3	3.6	91.7
-400		36.9		7.2		85.5		10.3		91.7	
		100.0		100.0		100.0		100.0		100.0	

Mallas	Abertura um	F Apex (1 1/4")		O/F Apex (1 1/4")		U/F Apex (1 7/16")		O/F Apex (1 7/16")	
		%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)	%Peso	Ac(-)
70	212	26.8	73.2	0.1	99.9	20.9	79.1	0.1	99.9
100	150	15.35	57.9	0.03	99.9	13.43	65.7	0.03	99.9
140	106	18.0	39.8	0.1	99.8	16.9	48.8	0.2	99.7
200	75	12.0	27.9	0.5	99.3	12.9	35.8	0.6	99.1
270	53	11.3	16.5	2.4	96.9	13.0	22.8	1.7	97.4
400	38	5.2	11.3	2.1	94.8	5.8	17.0	1.6	95.9
-400		11.3		94.8		17.0		95.9	
		100.0		100.0		100.0		100.0	

Cuadro 3.3.8 Neutralización de Efluente ácido con O/F (D-6) y cal

D Vortex: 2"				D Apex: 1"				V(O/F)=84.5%V.pulpa					
Ratio	V pulpa		T agit. min.	pH	Wcal g.	Wcal/Vdam g/l	T agit. min.	pH	Análisis Químico(ppm)				
	Vdam(ml.)	relave (total) 80%V.pulpa							Cu	Pb	Zn	Fe	
7	700	100	80	5	3.61	0.600	0.90	10	8.85	0.02	0.03	0.36	1.57
6	700	117	93	5	3.82	0.583	0.87	10	8.60	0.07	0.08	0.97	1.43
5	700	140	112	5	4.46	0.565	0.84	10	8.51	0.06	0.08	0.93	1.36
4	700	175	140	5	4.76	0.545	0.81	10	8.40	0.05	0.06	1.28	1.96
3	700	233	187	5	5.24	0.530	0.79	10	8.62	0.04	0.05	0.34	0.87

D Vortex: 2"				D Apex: 7/8"				V(O/F)=84.5%V.pulpa					
Ratio	V pulpa		T agit. min.	pH	Wcal g.	Wcal/Vdam g/l	T agit. min.	pH	Análisis Químico(ppm)				
	Vdam(ml.)	relave (total) 84%V.pulpa							Cu	Pb	Zn	Fe	
7	700	100	84.0	5	4.46	0.73	0.73	13	8.19	0.05	0.09	0.57	0.62
6	700	117	98.0	5	4.64	0.72	0.72	13	8.11	0.08	0.11	1.00	1.31
5	700	140	117.6	5	4.80	0.71	0.71	13	8.00	0.10	0.04	1.16	1.36
4	700	175	147.0	5	5.21	0.68	0.68	13	8.20	0.10	0.03	1.08	1.41
3	700	233	196.0	5	5.25	0.67	0.67	10	8.00	0.09	0.02	0.71	0.86

D Vortex: 2"				D Apex: 1 1/4"				V(O/F)=84.5%V.pulpa					
Ratio	V pulpa		T agit. min.	pH	Wcal g.	Wcal/Vdam g/l	T agit. min.	pH	Análisis Químico(ppm)				
	Vdam(ml.)	relave (total) 80%V.pulpa							Cu	Pb	Zn	Fe	
7	700	100	80	5	4.54	0.53	0.75	13	8.11	0.04	0.03	0.64	0.66
5	700	140	117.6	5	5.15	0.49	0.70	13	8.11	0.05	0.04	0.80	0.48
3	700	233	196	5	5.74	0.47	0.67	13	8.3	0.07	0.03	0.71	0.53

D Vortex: 2"				D Apex: 17/16"				V(O/F)=84.5%V.pulpa					
Ratio	V pulpa		T agit. min.	pH	Wcal g.	Wcal/Vdam g/l	T agit. min.	pH	Análisis Químico(ppm)				
	Vdam(ml.)	relave (total) 70%V.pulpa							Cu	Pb	Zn	Fe	
7	700	100	70	5	4.00	0.55	0.79	10	8	0.03	0.05	0.63	0.6
5	700	140	98	5	4.80	0.52	0.74	13	8.11	0.05	0.06	0.69	1.83
3	700	233	163	5	5.40	0.49	0.69	13	8.2	0.08	0.02	0.84	0.45

Cuadro 3.3.9 Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido con O/F D-6 relave y cal

Vortex: 2" Apex: 1"

relación: 7				relación: 6				relación: 5				relación: 4				relación: 3			
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm
0	24.9	700	28.1	0	29.2	725	24.8	0	26.0	735	28.3	0	30.7	770	25.1	0	32.4	810	25.0
1	19.1	525		1	24.3			1	21.3			1	25.4			1	27.8		
2	12.6	347		2	17.8			2	15.9			2	19.3			2	22.9		
3	9.2	250		3	12.6			3	11.7			3	14.2			3	18.0		
4	7.8	210		4	10.2			4	9.3			4	11.4			4	14.8		
5	7.1	190	26.8	5	8.8	210	24.0	5	8.0	220	27.5	5	9.7	235		5	12.6	300	
10	5.6	150	26.8	10	6.67	160	24.0	10	6.1	165	27.0	10	7.3	180	24.7	10	8.35	204	24.4
15	5	130	26.0	15	5.9	140	23.7	15	5.4	148	27.4	15	6.5	160	24.6	15	7.35	180	24.5
30	4	105	26.3	30	4.76	113	23.7	30	4.35	118	27.1	30	5.35	130	24.3	30	6	148	24.7
60	3.35	90	26.9	60	4	98	24.5	60	3.5	92	26.3	60	4.3	107	24.9	60	5.05	120	23.8
			26.8				24.1				27.3				24.7				24.5
V _{muestra} (ml): 700				V _{muestra} (ml): 725				V _{muestra} (ml): 735				V _{muestra} (ml): 770				V _{muestra} (ml): 810			
W _{sólidos} (g): 13.1				W _{sólidos} (g): 14.9				W _{sólidos} (g): 17.9				W _{sólidos} (g): 22.3				W _{sólidos} (g): 29.1			
H ₀ , m = 0.25 2.1 m/hr				H ₀ , m = 0.29 2.5 m/hr				H ₀ , m = 0.26 2.2 m/hr				H ₀ , m = 0.31 2.5 m/hr				H ₀ , m = 0.32 2.4 m/hr			
C ₀ = 18.7 g/l				C ₀ = 20.5 g/l				C ₀ = 24.3 g/l				C ₀ = 28.9 g/l				C ₀ = 35.9 g/l			
C ₀ = 1.9 %				C ₀ = 2.0 %				C ₀ = 2.4 %				C ₀ = 2.8 %				C ₀ = 3.5 %			
T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min			
(C _U) ₅ = 69 g/l				(C _U) ₅ = 71 g/l				(C _U) ₅ = 82 g/l				(C _U) ₅ = 93 g/l				(C _U) ₅ = 95 g/l			
(C _U) ₅ = 6.6 %				(C _U) ₅ = 6.7 %				(C _U) ₅ = 7.8 %				(C _U) ₅ = 8.8 %				(C _U) ₅ = 8.9 %			
A _U = 0.74 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.58 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.55 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.39 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.30 m ² /T/d 2 unid			
D = 24.5 m 17.3				D = 21.2 m 15.0				D = 20.7 m 14.7				D = 17.4 m 12.3				D = 15.1 m 10.7			
T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min			
(C _U) ₁₅ = 98 g/l				(C _U) ₁₅ = 105 g/l				(C _U) ₁₅ = 121 g/l				(C _U) ₁₅ = 139 g/l				(C _U) ₁₅ = 162 g/l			
(C _U) ₁₅ = 9.2 %				(C _U) ₁₅ = 9.8 %				(C _U) ₁₅ = 11.2 %				(C _U) ₁₅ = 12.7 %				(C _U) ₁₅ = 14.6 %			
A _U = 2.23 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.74 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.65 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.17 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.90 m ² /T/d 2 unid			
D = 42.5 m 30.0				D = 36.6 m 25.9				D = 35.9 m 25.4				D = 30.1 m 21.3				D = 26.1 m 18.5			
T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min			
(C _U) ₄ = 63 g/l				(C _U) ₄ = 60 g/l				(C _U) ₄ = 71 g/l				(C _U) ₄ = 79 g/l				(C _U) ₄ = 80 g/l			
(C _U) ₄ = 6.1 %				(C _U) ₄ = 5.8 %				(C _U) ₄ = 6.7 %				(C _U) ₄ = 7.5 %				(C _U) ₄ = 7.6 %			
A _U = 0.60 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.46 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.44 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.31 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.24 m ² /T/d 2 unid			
D = 21.9 m 15.5				D = 18.9 m 13.4				D = 18.6 m 13.2				D = 15.5 m 11.0				D = 13.5 m 9.5			

Cuadro 3.3.10 Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido con O/F D-6 relave y cal

Vortex: 2" Apex: 7/8"

relación: 7				relación: 6				relación: 5				relación: 4				relación: 3			
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm
0	26.3	740	28.2	0	26.7	750	28.1	0	27.4	770	28.1	0	32.0	800	25.0	0	28.6	810	28.3
1	20.8			1	22.8			1	23.7			1	28.3			1	25.0		
2	14.3			2	18.3			2	19.6			2	24.3			2	20.3		
3	9.8			3	13.9			3	15.5			3	20.3			3	15.9		
4	7.9			4	10.8			4	11.9			4	16.7			4	12.6		
5	6.9	190	27.5	5	9.0	240	26.8	5	9.6	260	27.1	5	13.9	335	24.1	5	10.6	290	27.4
10	5.35	140	26.2	10	6.2	160	25.8	10	6	160	26.7	10	8.2	200	24.4	10	7.1	190	26.8
15	4.7	122	26.0	15	5.5	145	26.4	15	5.3	140	26.4	15	7.2	172	23.9	15	6.2	170	27.4
30	3.86	100	25.9	30	4.4	110	25.0	30	4.4	120	27.3	30	6	145	24.2	30	5.2	140	26.9
60	3.1	80	25.8	60	3.5	90	25.7	60				60				60			
			26.6				26.3				27.1				24.3				27.4
V _{muestra} (ml):	740			V _{muestra} (ml):	750			V _{muestra} (ml):	770			V _{muestra} (ml):	800			V _{muestra} (ml):	810		
W _{sólidos} (g):	17.4			W _{sólidos} (g):	20.1			W _{sólidos} (g):	22.8			W _{sólidos} (g):	30.0			W _{sólidos} (g):	31.0		
H ₀ ,m =	0.26	2.3 m/hr		H ₀ ,m =	0.27	2.1 m/hr		H ₀ ,m =	0.27	2.1 m/hr		H ₀ ,m =	0.32	2.2 m/hr		H ₀ ,m =	0.29	2.2 m/hr	
C ₀ =	23.5 g/l			C ₀ =	26.8 g/l			C ₀ =	29.6 g/l			C ₀ =	37.4 g/l			C ₀ =	38.3 g/l		
C ₀ =	2.3 %			C ₀ =	2.6 %			C ₀ =	2.9 %			C ₀ =	3.7 %			C ₀ =	3.7 %		
T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min		
(C _U) ₅ =	95 g/l			(C _U) ₅ =	85 g/l			(C _U) ₅ =	88 g/l			(C _U) ₅ =	89 g/l			(C _U) ₅ =	107 g/l		
(C _U) ₅ =	8.9 %			(C _U) ₅ =	8.1 %			(C _U) ₅ =	8.3 %			(C _U) ₅ =	8.4 %			(C _U) ₅ =	10.0 %		
A _U =	0.56 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.49 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.43 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.29 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.32 m ² /T/d	2 unid	
D =	23.9 m	16.9		D =	22.1 m	15.6		D =	20.2 m	14.3		D =	17.0 m	12.0		D =	16.0 m	11.3	
T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min		
(C _U) ₁₅ =	139 g/l			(C _U) ₁₅ =	139 g/l			(C _U) ₁₅ =	159 g/l			(C _U) ₁₅ =	171 g/l			(C _U) ₁₅ =	183 g/l		
(C _U) ₁₅ =	12.7 %			(C _U) ₁₅ =	12.7 %			(C _U) ₁₅ =	14.4 %			(C _U) ₁₅ =	15.4 %			(C _U) ₁₅ =	16.3 %		
A _U =	1.69 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.46 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.28 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.87 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.95 m ² /T/d	2 unid	
D =	41.4 m	29.3		D =	38.3 m	27.1		D =	35.0 m	24.7		D =	29.5 m	20.9		D =	27.8 m	19.7	
T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min		
(C _U) ₄ =	83 g/l			(C _U) ₄ =	71 g/l			(C _U) ₄ =	71 g/l			(C _U) ₄ =	74 g/l			(C _U) ₄ =	90 g/l		
(C _U) ₄ =	7.9 %			(C _U) ₄ =	6.8 %			(C _U) ₄ =	6.8 %			(C _U) ₄ =	7.1 %			(C _U) ₄ =	8.5 %		
A _U =	0.45 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.39 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.34 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.23 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.25 m ² /T/d	2 unid	
D =	21.4 m	15.1		D =	19.8 m	14.0		D =	18.1 m	12.8		D =	15.2 m	10.7		D =	14.3 m	10.1	

Cuadro 3.3.11 Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido con O/F D-6 relave y cal Vortex: 2" Apex:1 1/4"										Cuadro 3.3.12 Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido con O/F D-6 relave y cal Vortex: 2" Apex:1 7/16"													
QDAM(l/s): 350		673.141274		QDAM(l/s): 250		642.8204		QDAM(l/s): 150		655.739509		QDAM(l/s): 350		588.431279		QDAM(l/s): 250		571.773993		QDAM(l/s): 150		520.706021	
Q O/F(l/s): 42		TMPD		Q O/F(l/s): 42		TMPD		Q O/F(l/s): 42		TMPD		Q O/F(l/s): 42		TMPD		Q O/F(l/s): 42		TMPD		Q O/F(l/s): 42		TMPD	
relación: 7				relación: 5				relación: 3				relación: 7				relación: 5				relación: 3			
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm
0	26.4	748	28.4	0	31.0	830	26.8	0	29.9	850	28.4	0	26.1	736	28.2	0	27.4	770	28.2	0	32.9	830	25.3
1	23.0			1				1	27.3			1	22.0			1	23.1			1	29.4		
2	18.3			2	21.2			2	24.5			2	17.1			2	17.6			2	25.3		
3	13.9			3	16.3			3	21.5			3	12.5			3	13.7			3	21.1		
4	10.5			4	13.1			4	18.7			4	9.7			4	11.0			4	17.6		
5	8.7	240	27.6	5	11.1	265	23.9	5	16.4	450	27.5	5	8.1	215	26.5	5	9.3	250	27.0	5	14.4	360	25.1
10	5.8	160	27.6	10	8.0	190	23.8	10	9.9	260	26.3	10	5.85	158	27.0	10	6.65	180	27.1	10	9.2	228	24.9
15	5.04	148	29.4	15	7	170	24.3	15	8.2	222	27.1	15	5.05	135	26.7	15	5.8	158	27.2	15	8.4	210	25.0
30	3.9	106	27.2	30	5.6	135	24.1	30	6.7	180	26.9	30	4	108	27.0	30	4.25	115	27.1	30	6.4	160	25.0
60	3.2	88	27.5	60	4.62	100	21.6	60	5.4	148	27.4	60	3.2	85	26.6	60	3.8	100	26.3	60	5.15	130	25.2
			27.9				24.1				27.3				27.0				27.1				25.1
V _{muestra} (ml): 748		W _{sólidos} (g): 14.9		V _{muestra} (ml): 830		W _{sólidos} (g): 21.1		V _{muestra} (ml): 850		W _{sólidos} (g): 33.6		V _{muestra} (ml): 736		W _{sólidos} (g): 12.8		V _{muestra} (ml): 770		W _{sólidos} (g): 17.4		V _{muestra} (ml): 830		W _{sólidos} (g): 26.0	
H ₀ ,m =	0.26	2.1 m/hr		H ₀ ,m =	0.31	2.4 m/hr		H ₀ ,m =	0.30	1.6 m/hr		H ₀ ,m =	0.26	2.2 m/hr		H ₀ ,m =	0.27	2.2 m/hr		H ₀ ,m =	0.33	2.2 m/hr	
C ₀ =	19.9 g/l			C ₀ =	25.5 g/l			C ₀ =	39.5 g/l			C ₀ =	17.4 g/l			C ₀ =	22.6 g/l			C ₀ =	31.3 g/l		
C ₀ =	2.0 %			C ₀ =	2.5 %			C ₀ =	3.8 %			C ₀ =	1.7 %			C ₀ =	2.2 %			C ₀ =	3.1 %		
T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min		
(C _U) _{5'} =	61 g/l			(C _U) _{5'} =	79 g/l			(C _U) _{5'} =	75 g/l			(C _U) _{5'} =	58 g/l			(C _U) _{5'} =	69 g/l			(C _U) _{5'} =	72 g/l		
(C _U) _{5'} =	5.9 %			(C _U) _{5'} =	7.5 %			(C _U) _{5'} =	7.2 %			(C _U) _{5'} =	5.6 %			(C _U) _{5'} =	6.6 %			(C _U) _{5'} =	6.9 %		
A _U =	0.66 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.44 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.29 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.77 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.56 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.34 m ² /T/d	2 unid	
D =	23.8 m	16.8		D =	19.0 m	13.4		D =	15.7 m	11.1		D =	24.0 m	17.0		D =	20.2 m	14.3		D =	15.0 m	10.6	
T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min		
(C _U) _{15'} =	106 g/l			(C _U) _{15'} =	125 g/l			(C _U) _{15'} =	150 g/l			(C _U) _{15'} =	94 g/l			(C _U) _{15'} =	111 g/l			(C _U) _{15'} =	123 g/l		
(C _U) _{15'} =	9.9 %			(C _U) _{15'} =	11.6 %			(C _U) _{15'} =	13.7 %			(C _U) _{15'} =	8.8 %			(C _U) _{15'} =	10.3 %			(C _U) _{15'} =	11.4 %		
A _U =	1.99 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.32 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.88 m ² /T/d	2 unid		A _U =	2.30 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.68 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.01 m ² /T/d	2 unid	
D =	41.3 m	29.2		D =	32.9 m	23.3		D =	27.1 m	19.2		D =	41.5 m	29.3		D =	35.0 m	24.7		D =	25.9 m	18.3	
T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min		
(C _U) _{4'} =	51 g/l			(C _U) _{4'} =	67 g/l			(C _U) _{4'} =	66 g/l			(C _U) _{4'} =	49 g/l			(C _U) _{4'} =	59 g/l			(C _U) _{4'} =	59 g/l		
(C _U) _{4'} =	4.9 %			(C _U) _{4'} =	6.4 %			(C _U) _{4'} =	3.0 %			(C _U) _{4'} =	4.7 %			(C _U) _{4'} =	5.6 %			(C _U) _{4'} =	5.7 %		
A _U =	0.53 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.35 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.24 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.61 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.45 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.27 m ² /T/d	2 unid	
D =	21.3 m	15.1		D =	17.0 m	12.0		D =	14.0 m	9.9		D =	21.4 m	15.2		D =	18.1 m	12.8		D =	13.4 m	9.5	

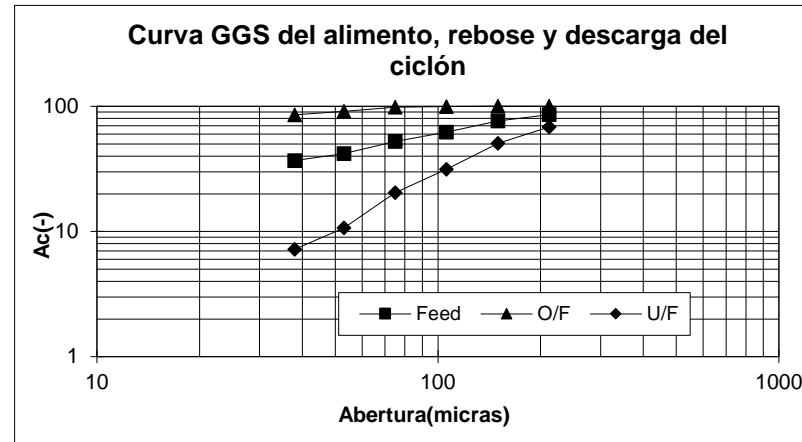
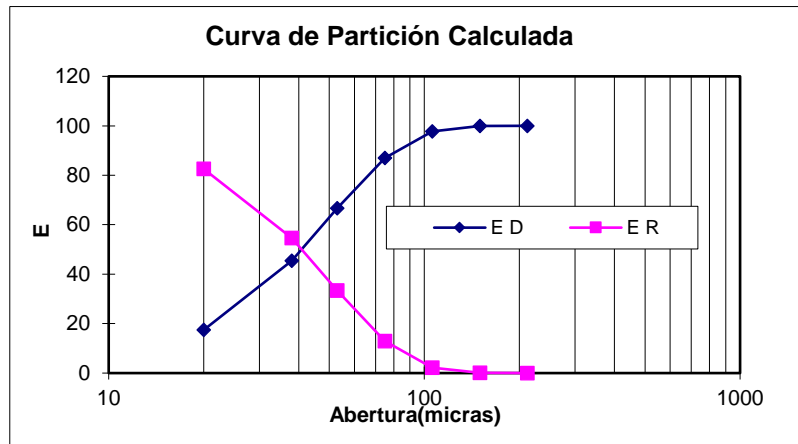
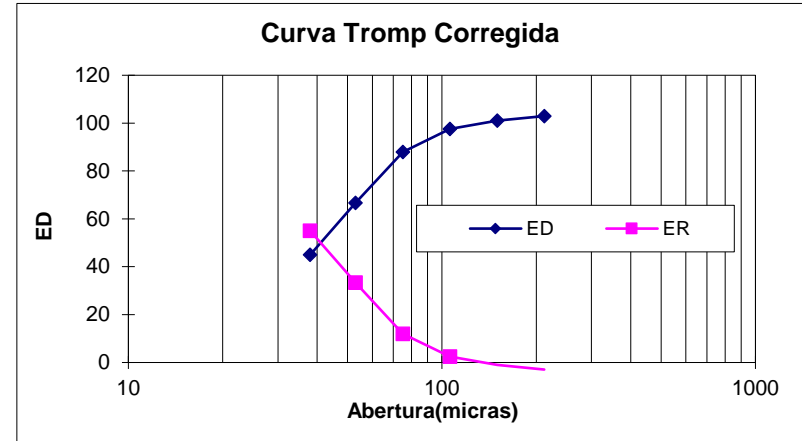
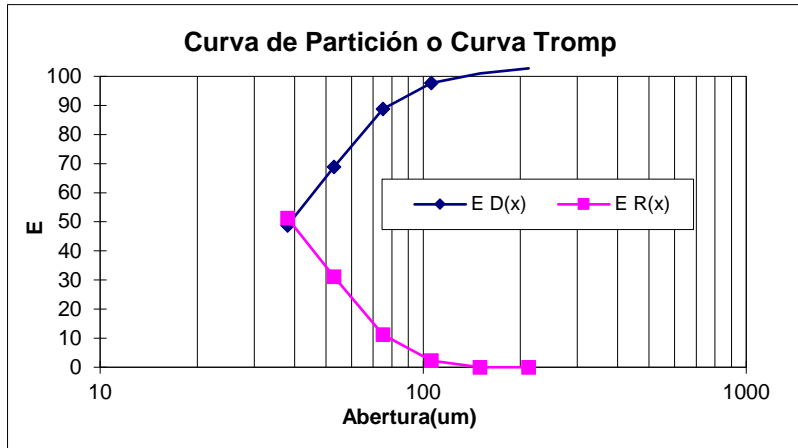
de los sulfuros en el U/F, y la concentración de los minerales consumidores de ácido en la fracción de los finos (O/F) la cual se manifiesta con un NP mayor. Todos los productos reportan potencial de drenaje ácido (NNP negativo) con mayor significancia en las fracciones gruesas.

Cuadro 3.3.13 Potencial Ácido (AP), Potencial Neutralizante (NP) y Potencial Neto Neutralizante(NNP)

Vortex:2" Apex	Lugar	S sulf(%)	NP	AP	NNP	NP/AP
			Kgs CaCO3/TM			
Alimento		8.4	108.032	261.9	-153.8	0.4
7/8	O/F	5.0	105.2	156.3	-51.1	0.7
	U/F	6.6	63.5	206.3	-142.8	0.3
1"	O/F	5.9	87.4	184.4	-97.0	0.5
	U/F	8.6	79.6	268.8	-189.2	0.3
1 1/4"	O/F	5.5	97.1	171.9	-74.8	0.6
	U/F	7.9	48.5	246.9	-198.4	0.2
1 7/16"	O/F	8.2	90.3	256.3	-166.0	0.4
	U/F	6.8	80.2	212.5	-132.3	0.4

Figura 3.3.10 CALCULO DEL D 50 Y EFICIENCIA D-6

Vortex: 2"
Apex: 7/8"

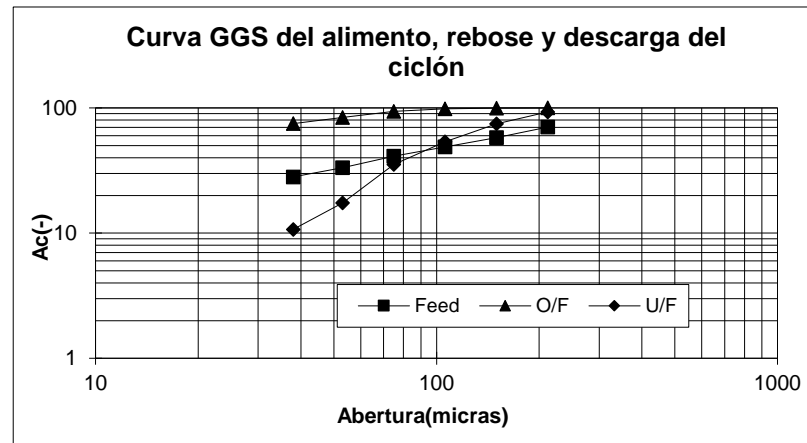
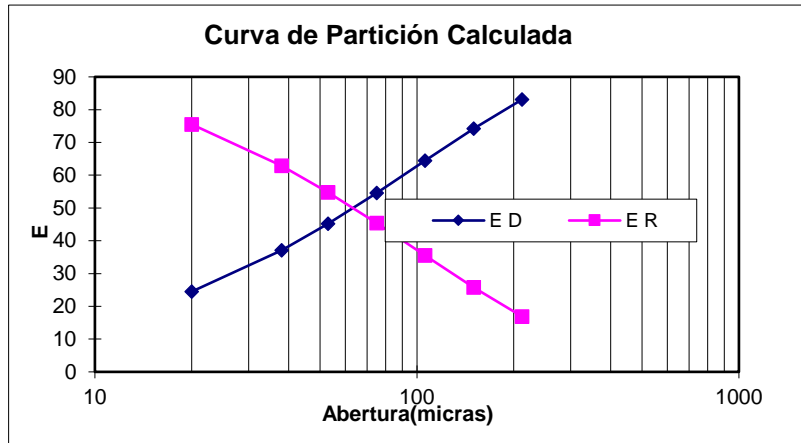
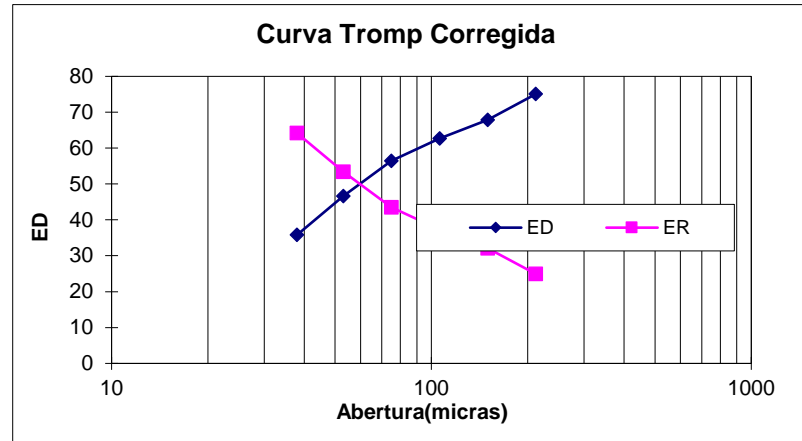
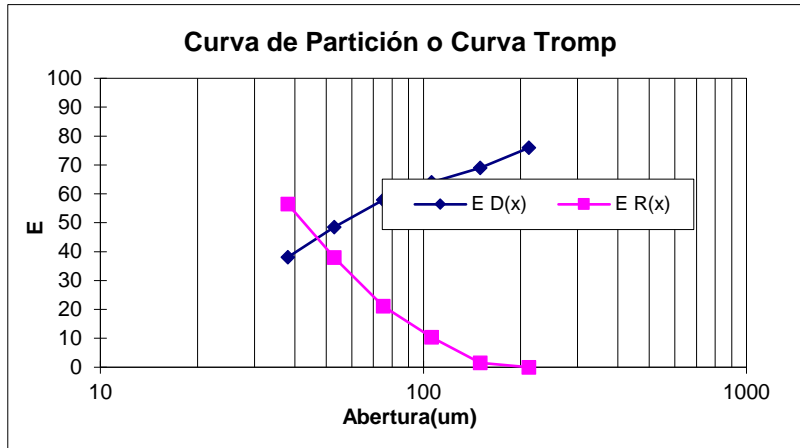


d 50 (micras): 41.0

Eficien.(%) = 79.9

Figura 3.3.11 CALCULO DEL D 50 Y EFICIENCIA D-6

Vortex: 2"
Apex: 1"

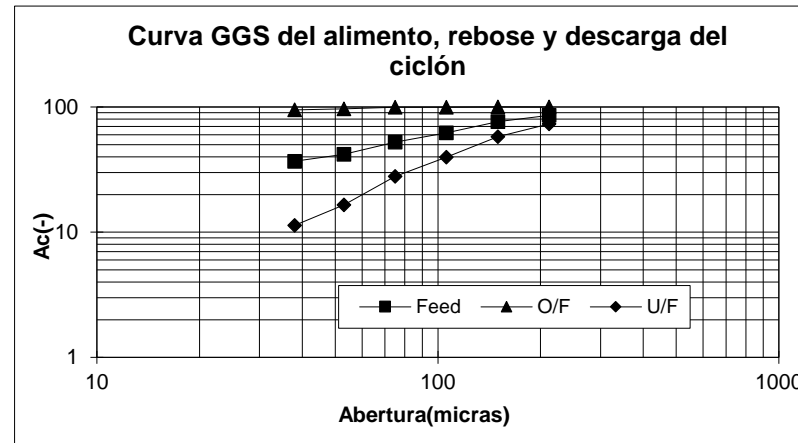
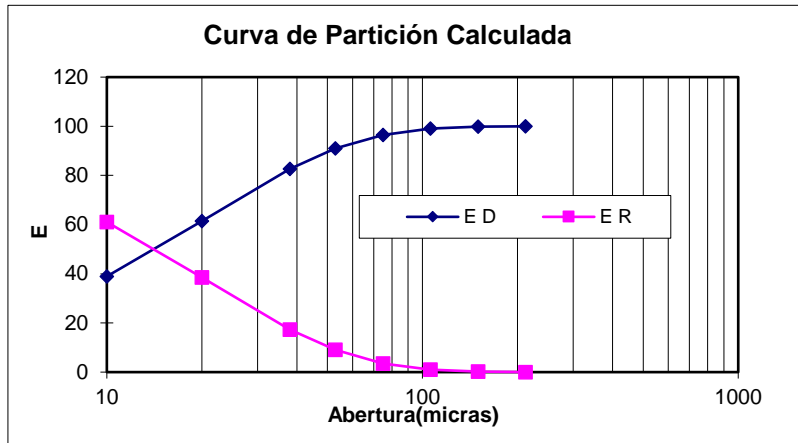
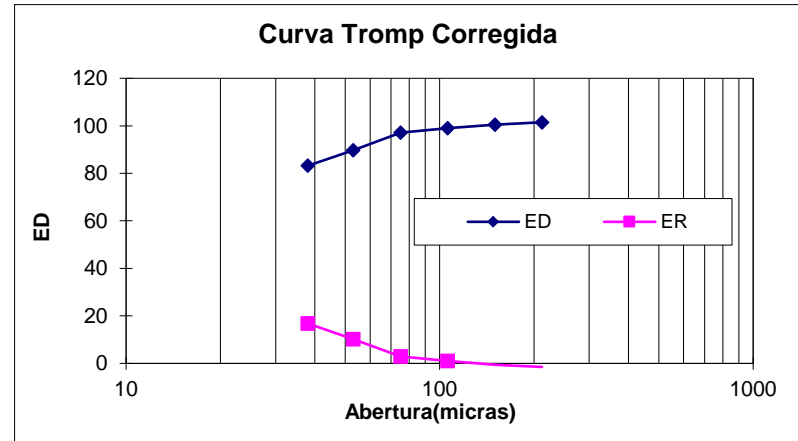
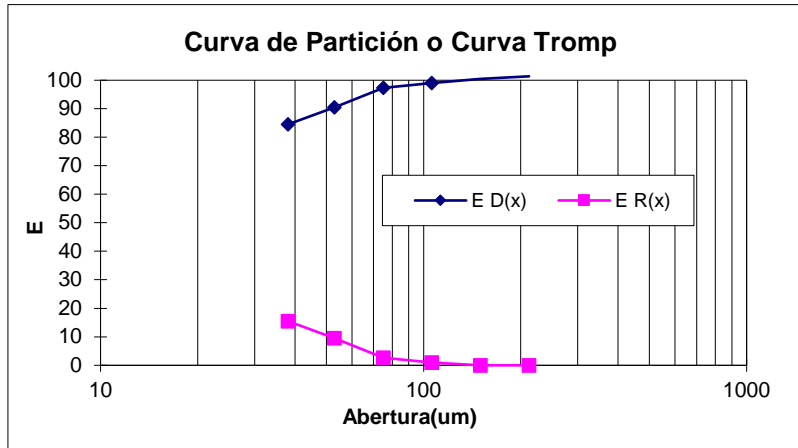


d 50 (micras): 24.2

Eficien.(%) = 83.2

Figura 3.3.12 CALCULO DEL D 50 Y EFICIENCIA D-6

Vortex: 2"
Apex: 1 1/4"

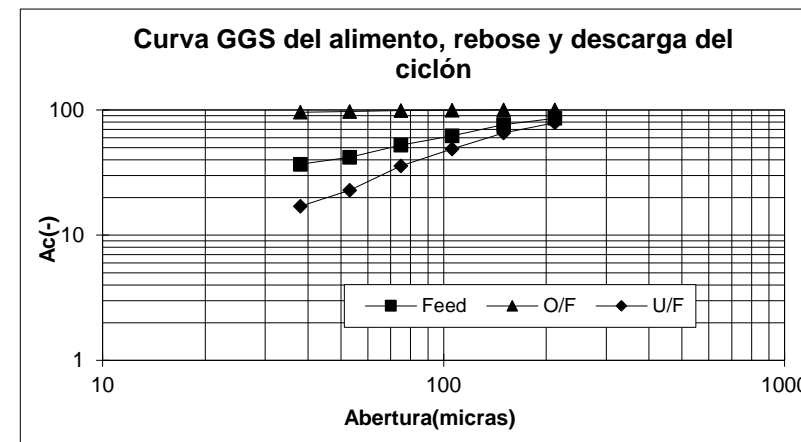
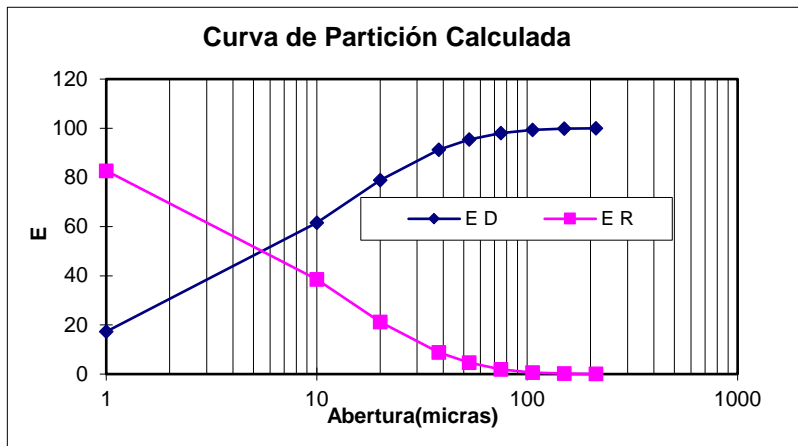
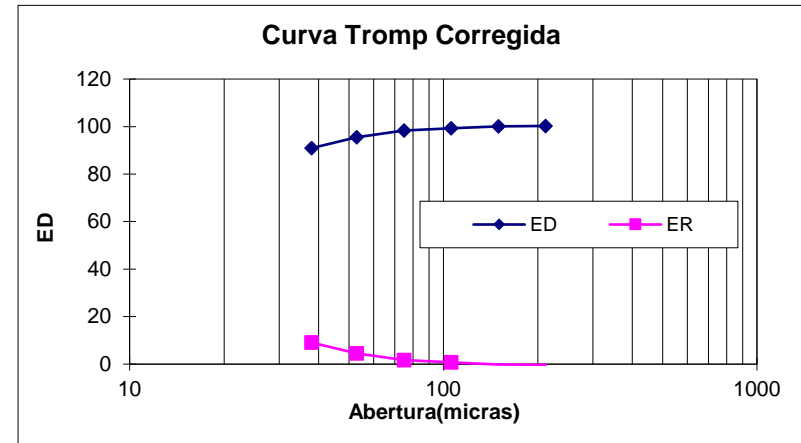
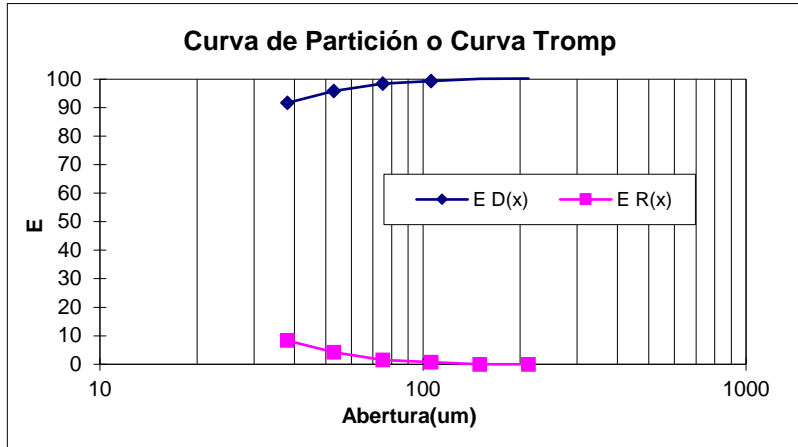


d 50 (micras): 14.3

Eficien.(%) = 81.8

Figura 3.3.13 CALCULO DEL D 50 Y EFICIENCIA D-6

Vortex: 2"
Apex: 1 7/16"



d 50 (micras): 6.3

Eficien.(%) = 84.6

3.3.9 Neutralización con O/F del Hidrociclón D-12 y Cal

El diagrama de flujo que se siguió en estas pruebas es:

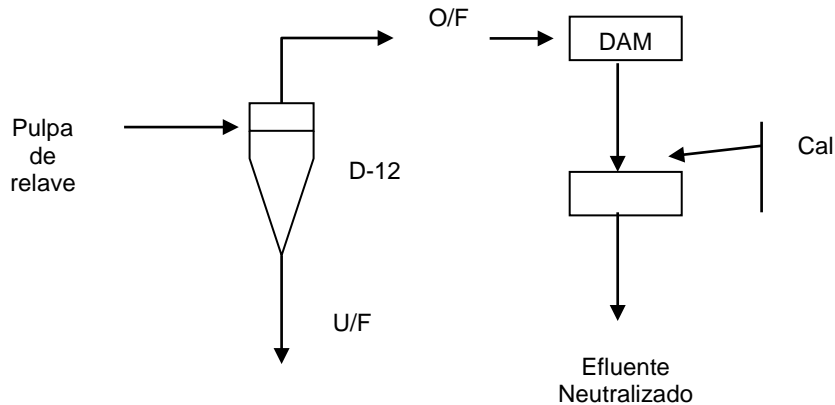


Figura 3.3.13 Diagrama de Flujo – Neutralización con pulpa de relave (O/F D-12) y cal

Las primeras pruebas con el hidrociclón D-12 fue la de realizar un análisis granulométrico tanto al alimento como a los productos. Se trabajó con un vortex de 4" y apex de 1 9/16", 1 ¼" y 1". Como resultado del análisis granulométrico, se obtuvieron tamaños de corte de 39, 35 y 42 micras respectivamente (Cuadro 3.3.14).

Las condiciones iniciales del efluente ácido y del relave son las sgtes. :

Condiciones Iniciales	pH	Eh
DAM	3.1	290
Relave	11.2	-29

La neutralización con el relave del overflow del ciclón para el vortex de 4" y los diferentes tamaños de apex, fueron muy importantes pues desde un pH

de 3.0 se alcanzaron pHs entre 6.0 a 7.0, para luego llegar un pH de 8.5 con cal, lógicamente con un consumo menor de cal.

Se realizaron las pruebas de sedimentación, para cada una de las pruebas de neutralización, según el cuadro 3.3.16, sin floculante y con floculante, para poder observar el trabajo que realiza el floculante A -110. A un ratio V_{dam}/V_{pulpa} de relave de 4 y un apex de $1 \frac{9}{16}$ ", para un tiempo de retención de 15 minutos nos da un porcentaje de sólidos de 21%, y se tendría que contar con un espesador de 28.8 metros de diámetro y con un apex de 1", el %S es de 18.5, con un espesador de 29.2 metros de diámetro.

Asimismo, el ploteo de la concentración de los iones metálicos respecto a la variación del pH, se presenta en la figura 3.3.15.

Cuadro 3.3.14 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL HIDROCICLON D-12

Diámetro Ciclon		12 pulg	Vortex		4"	Q _{O/F} , l/s		17.44			
Presion		0.5 bar	Apex		1 9/16"	Q _{U/F} , l/s		1.2			
Malla	micras D	% Peso Ac.-	Peso Retenido, %			Dtbn. Peso, %			%Peso F _{CORR}	Recpn. Tamaño,%	
			f	u	o	F	U	O		U	O
70	212	70.2	29.7	7.1	0.1	100	423	-323	4.1	99	1
100	150	57.7	12.5	18.3	0.3	100	68	32	10.6	99	1
140	108	48.7	9.0	21.0	1.4	100	39	61	12.6	95	5
200	74	41.1	7.6	18.3	4.3	100	24	76	12.3	85	15
270	53	33.2	7.9	17.8	9.8	100	-24	124	14.4	71	29
400	38	28.1	5.1	6.7	9.2	100	164	-64	7.8	49	51
635	20	22.4	5.7	3.7	13.9	101	80	20	8.1	26	74
-635			22.4	7.0	61.0	100	71	29	30.1	13	87
			100	100	100.0	56.4		43.6			
Dens.Pulpa			1310	1960	1160						
GE			3	3	3	57.2		42.8			
%Solidos			35.5	73.5	20.7						
L/S			1.8	0.4	3.8	58.1		41.9			

% Peso	
Ac.- u	Ac.+ o
89	0
71	0
50	2
32	6
14	16
7	25
100	39
D₅₀(micras) 39	

Diámetro Ciclon		12 pulg	Vortex		4"	Q _{O/F} , l/s		12.60			
Presion		0.5 bar	Apex		1 1/4"	Q _{U/F} , l/s		0.76			
Malla	micras D	% Peso Ac.-	Peso Retenido, %			Dtbn. Peso, %			%Peso F _{CORR}	Recpn. Tamaño,%	
			f	u	o	F	U	O		U	O
70	212	70.2	29.7	7.6	0.1	100	395	-295	4.6	99	1
100	150	57.7	12.5	17.9	0.2	100	69	31	10.7	99	1
140	108	48.7	9.0	21.2	0.8	100	40	60	12.9	97	3
200	74	41.1	7.6	19.5	3.4	100	26	74	13.0	89	11
270	53	33.2	7.9	18.0	9.7	100	-22	122	14.6	73	27
400	38	28.1	5.1	6.9	8.7	100	200	-100	7.6	54	46
635	20	22.4	5.7	4.2	13.8	101	84	16	8.1	31	69
-635			22.4	4.8	63.2	100	70	30	28.5	10	90
			100	100	100	58.0		42.0			
Dens.Pulpa			1310	2140	1145						
GE			3	3	3	59.5		40.5			
%Solidos			35.5	79.9	19.0						
L/S			1.8	0.3	4.3	61.0		39.0			

% Peso	
Ac.- u	Ac.+ o
88	0
70	0
49	1
30	5
12	14
5	23
100	37
D₅₀(micras) 35	

Diámetro Ciclon		12 pulg	Vortex		4"	Q _{O/F} , l/s		17.00			
Presion		0.5 bar	Apex		1"	Q _{U/F} , l/s		0.64			
Malla	micras D	% Peso Ac.-	Peso Retenido, %			Dtbn. Peso, %			%Peso F _{CORR}	Recpn. Tamaño,%	
			f	u	o	F	U	O		U	O
70	212	70.2	29.7	9.9	0.1	100	302	-202	5.6	99	1
100	150	57.7	12.5	21.0	0.2	100	59	41	11.8	99	1
140	108	48.7	9.0	22.4	0.9	100	38	62	12.9	97	3
200	74	41.1	7.6	20.1	3.8	100	23	77	12.9	87	13
270	53	33.2	7.9	17.1	10.2	100	-33	133	14.0	68	32
400	38	28.1	5.1	6.0	9.3	100	127	-27	7.5	45	55
635	20	22.4	5.7	3.4	13.6	101	77	23	7.9	24	76
-635			22.4	0.0	61.9	100	64	36	27.4	0	100
			100	100	100	52.3		47.7			
Dens.Pulpa			1310	2160	1150						
GE			3	3	3	55.8		44.2			
%Solidos			35.5	80.6	19.6						
L/S			1.8	0.2	4.1	59.3		40.7			

% Peso	
Ac.- u	Ac.+ o
87	0
66	0
43	1
23	5
6	15
0	25
100	38
D₅₀(micras) 42	

Cuadro 3.3.15 Pruebas de Neutralización con el ciclón D-12

Vortex: 4" Apex:1 9/16" V(O/F)=94%V.pulpa

Relación	2	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	6.7	110		
		8	7.6		0.50	
		10	9.0	106	0.63	0.19

Relación	4	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	5.9	140		
		8	6.6		0.53	
		10	8.4	103	0.70	0.5

Relación	6	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	5.4	110		
		8	7.0		0.50	
		10	9.0	106	0.63	0.23

Vortex: 4" Apex:1 1/4" V(O/F)=94%V.pulpa

Relación	2	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	6.8			
		10	8.6	110	0.55	0.42

Relación	4	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	6.2	159		
		10	8.5	115	0.65	0.48

Relación	6	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	5.7	161		
		10	8.3	108	0.70	0.5

Vortex: 4" Apex:1 " V(O/F)=96%V.pulpa

Relación	2	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	7.0	150		
		10	9.3	105	0.50	0.17

Relación	4	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	6.8	165		
		10	8.3	116	0.60	0.6

Relación	6	Tagita	pH	Eh	Cons cal(g/l)	Zn(ppm)
		0	3.1	290		162.20
		5	6.0	150		
		10	8.7	110	0.67	0.2

Cuadro 3.3.16-a Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido O/F-D12 de la pulpa de relave y cal - Vortex:4" Apex:1 9/16"

QDAM(l/s): #iDIV/0! QO/F(l/s): 0.0				#iDIV/0! TMSD				QDAM(l/s): #iDIV/0! QO/F(l/s): 0.0				#iDIV/0! TMSD				QDAM(l/s): #iDIV/0! QO/F(l/s): 0.0				#iDIV/0! TMSD									
Vortex:4" Apex:1 9/16 Ratio				2				Vortex:4" Apex:1 9/16 Ratio 4				Con floculante				Vortex:4" Apex:1 9/16 Ratio 6				Con floculante									
Sin floculante				Con floculante				Sin floculante				Con floculante				Sin floculante				Con floculante									
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm		
0	19.8	585	29.5	0	19.8	585	29.5	0	34.2	1000	29.2	0	34.2	1000	29.2	0	23.3	700	30.0	0	23.3	700	30.0	0	23.3	700	30.0		
1	18.3	545	29.8	1	16.2	480	29.6	1	31.9	929	29.1	1	27.8	810	29.1	1	20.3	611	30.1	1	15.7	475	30.3	1	15.7	475	30.3		
2	16.9	502	29.7	2	11.8	355	30.1	2	29.3	852	29.1	2	19.6	574	29.3	2	17.1	518	30.3	2	8.3	255	30.7	2	8.3	255	30.7		
3	15.4	461	29.9	3	9.0	274	30.4	3	26.4	770	29.2	3	12.2	360	29.5	3	14.0	422	30.1	3	6.4	200	31.3	3	6.4	200	31.3		
4	14.2	426	30.0	4	7.4	225	30.4	4	23.6	690	29.2	4	10.1	299	29.6	4	10.8	330	30.6	4	5.8	180	31.0	4	5.8	180	31.0		
5	12.8	388	30.3	5	6.4	199	31.1	5	21.0	612	29.1	5	8.9	262	29.4	5	8.4	260	31.0	5	5.3	168	31.7	5	5.3	168	31.7		
10	7.7	240	31.2	10	5.1	160	31.4	10	11.0	328	29.8	10	6.8	204	30.0	10	4.8	150	31.3	10	4.8	150	31.3	10	4.8	150	31.3		
15	5.1	164	32.2	15	4.6	148	32.2	15	7.3	218	29.9	15	6.1	182	29.8	15	4.0	131	32.8	15	3.8	120	31.6	15	3.8	120	31.6		
30	4.2	138	32.9	30	3.8	124	32.6	30	5.9	175	29.7	30	5.2	155	29.8	30	3.2	109	34.1	30	3.1	102	32.9	30	3.1	102	32.9		
60	3.3	112	33.9	60	3.2	109	34.1	60	4.7	141	30.0	60	4.6	140	30.4	60	2.8	97	34.6	60	2.6	88	33.8	60	2.6	88	33.8		
				30.9					31.1					29.4					29.6					31.5					31.5
V _{muestra} (ml): 585				V _{muestra} (ml): 585				V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 700				V _{muestra} (ml): 700									
W _{sólidos} (g): 43.5				W _{sólidos} (g): 43.5				W _{sólidos} (g): 43.7				W _{sólidos} (g): 43.7				W _{sólidos} (g): 22.6				W _{sólidos} (g): 22.6									
H ₀ , m = 0.20 0.8 m/hr				H ₀ , m = 0.20 1.6 m/hr				H ₀ , m = 0.34 1.6 m/hr				H ₀ , m = 0.34 3.0 m/hr				H ₀ , m = 0.23 1.8 m/hr				H ₀ , m = 0.23 2.2 m/hr									
C ₀ = 74.4 g/l				C ₀ = 74.4 g/l				C ₀ = 43.7 g/l				C ₀ = 43.7 g/l				C ₀ = 32.3 g/l				C ₀ = 32.3 g/l									
C ₀ = 7.1 %				C ₀ = 7.1 %				C ₀ = 4.2 %				C ₀ = 4.2 %				C ₀ = 3.2 %				C ₀ = 3.2 %									
T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min									
(C _U) _{5'} = 110 g/l				(C _U) _{5'} = 218 g/l				(C _U) _{5'} = 71 g/l				(C _U) _{5'} = 166 g/l				(C _U) _{5'} = 85 g/l				(C _U) _{5'} = 136 g/l									
(C _U) _{5'} = 10.2 %				(C _U) _{5'} = 19.1 %				(C _U) _{5'} = 6.8 %				(C _U) _{5'} = 14.9 %				(C _U) _{5'} = 8.1 %				(C _U) _{5'} = 12.4 %									
A _U = 0.24 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.24 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.23 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.23 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.46 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.46 m ² /T/d 2 unid									
D = 16.8 m 11.9				D = 16.8 m 11.9				D = 16.6 m 11.7				D = 16.6 m 11.7				D = 23.8 m 16.8				D = 23.8 m 16.8									
T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min									
(C _U) _{15'} = 276 g/l				(C _U) _{15'} = 304 g/l				(C _U) _{15'} = 203 g/l				(C _U) _{15'} = 242 g/l				(C _U) _{15'} = 179 g/l				(C _U) _{15'} = 189 g/l									
(C _U) _{15'} = 23.4 %				(C _U) _{15'} = 25.3 %				(C _U) _{15'} = 17.9 %				(C _U) _{15'} = 20.9 %				(C _U) _{15'} = 16.1 %				(C _U) _{15'} = 16.8 %									
A _U = 0.71 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.71 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.70 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.70 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.38 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.38 m ² /T/d 2 unid									
D = 29.1 m 20.6				D = 29.1 m 20.6				D = 28.8 m 20.4				D = 28.8 m 20.4				D = 41.3 m 29.2				D = 41.3 m 29.2									
T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min									
(C _U) _{4'} = 99 g/l				(C _U) _{4'} = 189 g/l				(C _U) _{4'} = 63 g/l				(C _U) _{4'} = 146 g/l				(C _U) _{4'} = 66 g/l				(C _U) _{4'} = 124 g/l									
(C _U) _{4'} = 9.3 %				(C _U) _{4'} = 16.8 %				(C _U) _{4'} = 6.0 %				(C _U) _{4'} = 13.3 %				(C _U) _{4'} = 6.4 %				(C _U) _{4'} = 11.5 %									
A _U = 0.19 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.19 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.19 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.19 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.37 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.37 m ² /T/d 2 unid									
D = 15.1 m 10.7				D = 15.1 m 10.7				D = 14.8 m 10.5				D = 14.8 m 10.5				D = 21.3 m 15.1				D = 21.3 m 15.1									

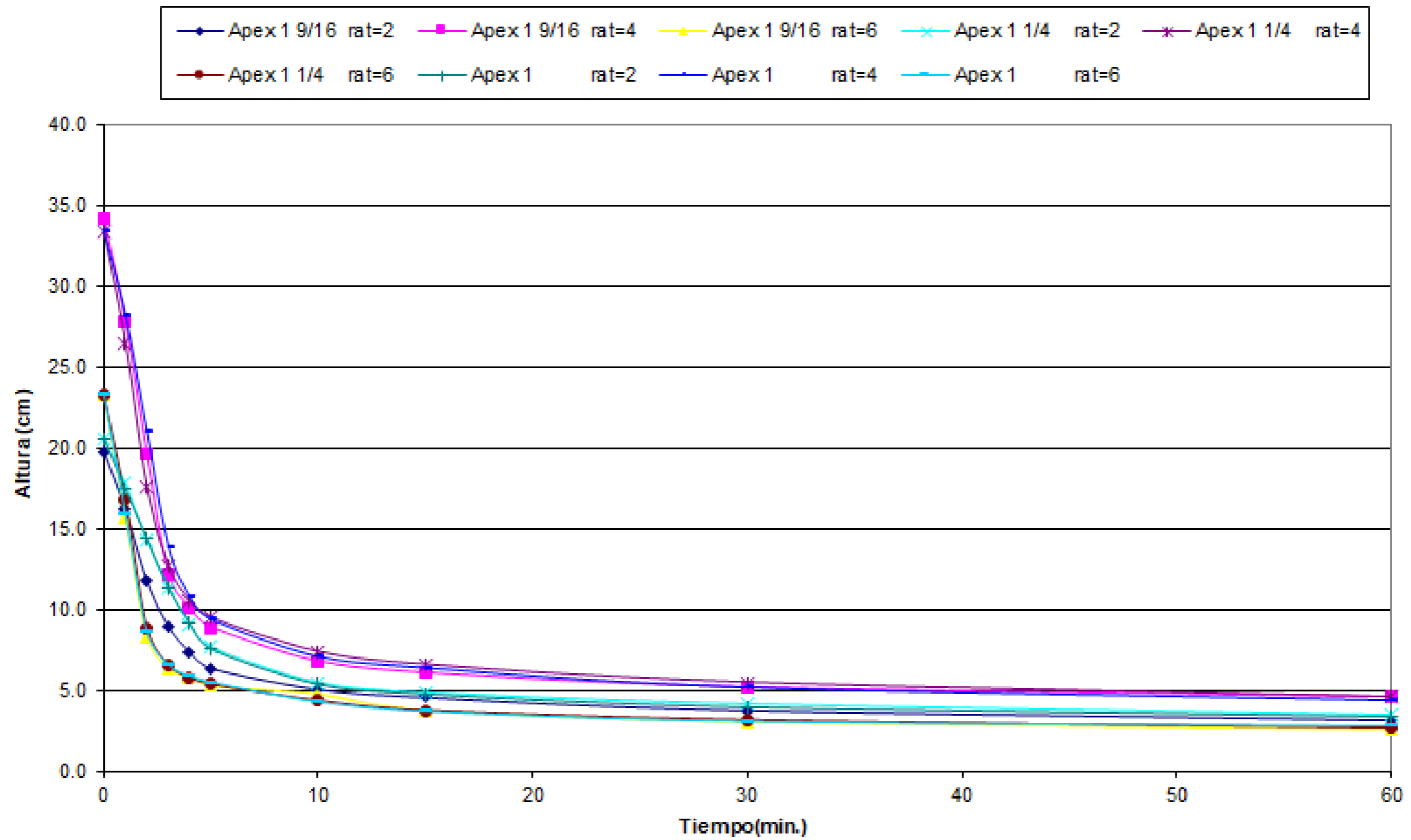
Cuadro 3.3.16-b Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido O/F-D12 de la pulpa de relave y cal - Vortex:4" Apex:1 1/4"

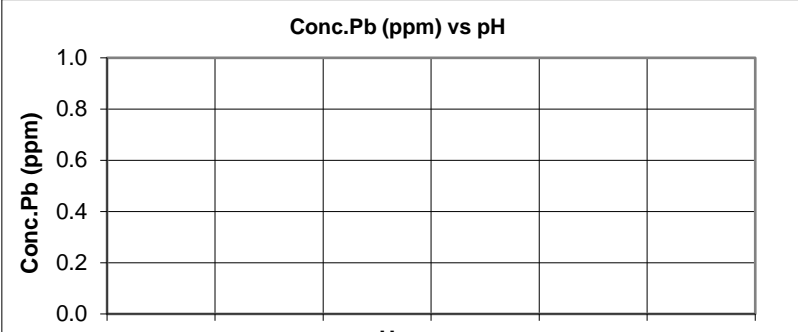
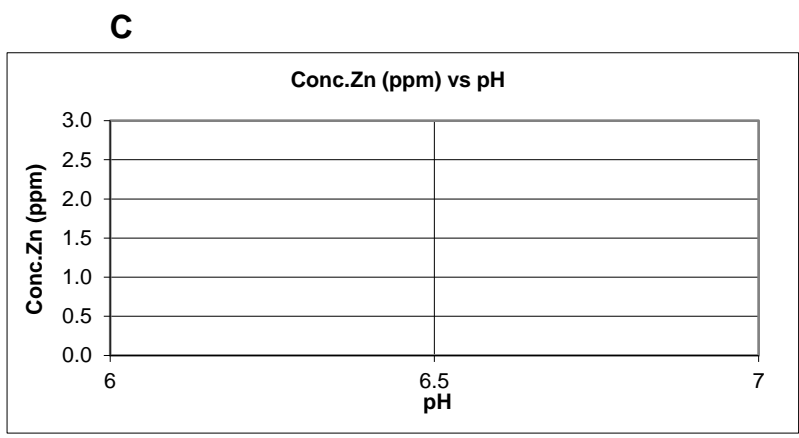
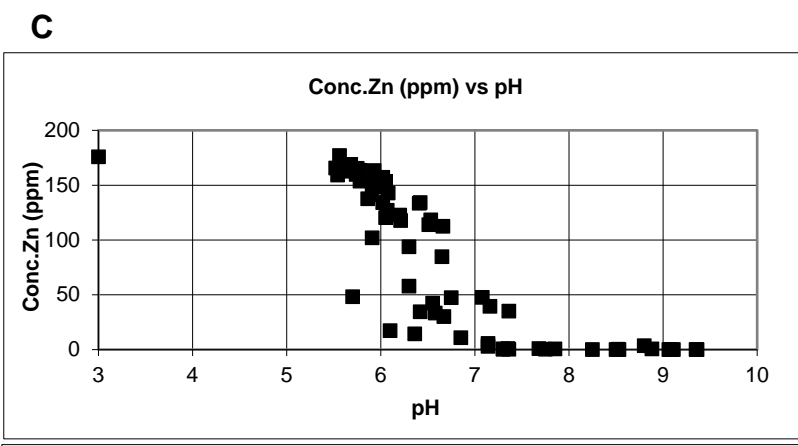
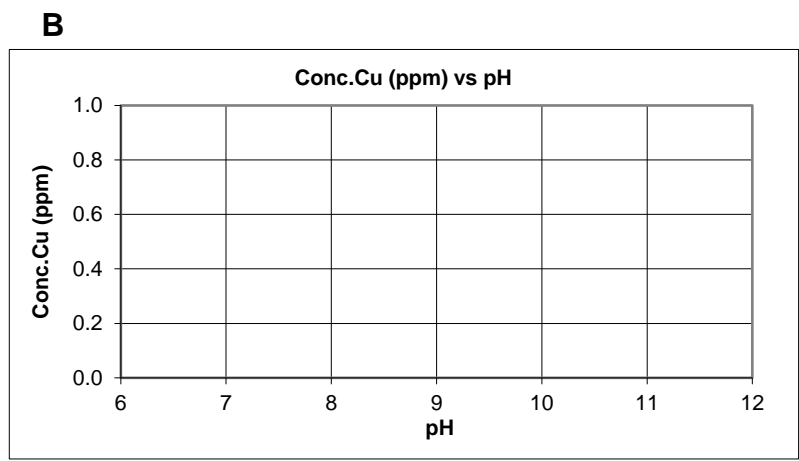
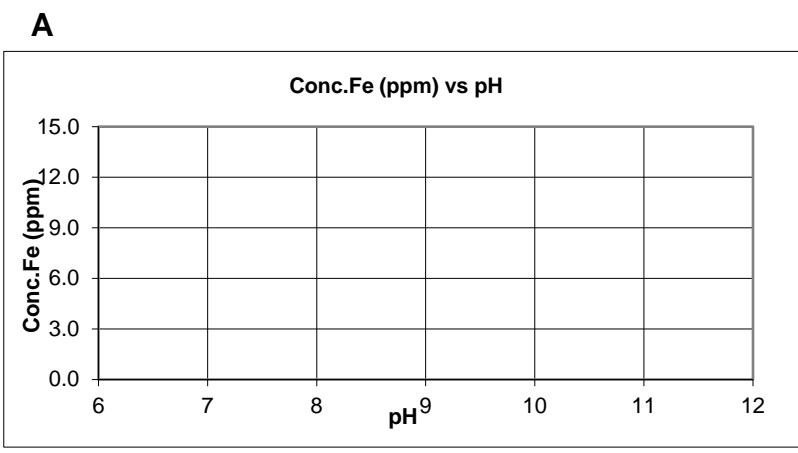
QDAM(l/s): #jREF! 0.0 #jREF! TMSD				QDAM(l/s): #jREF! 0.0 #jREF! TMSD				QDAM(l/s): #jREF! 0.0 #jREF! TMSD															
Vortex:4" Apex:1 1/4" Ratio				Vortex:4" Apex:1 1/4" Ratio 4				Vortex:4" Apex:1 1/4" Ratio 6															
Sin floculante		Con floculante		Sin floculante		Con floculante		Sin floculante		Con floculante													
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm				
0	20.6	600	29.1	0	20.6	600	29.1	0	33.4	1000	29.9	0	33.4	1000	29.9	0	23.3	700	30.0	0	23.3	700	30.0
1	19.4	579	29.8	1	17.8	521	29.3	1	31.1	929	29.9	1	26.5	791	29.8	1	21.0	620	29.5	1	16.8	500	29.8
2	18.1	530	29.3	2	14.3	420	29.4	2	28.4	850	29.9	2	17.6	530	30.1	2	17.6	521	29.6	2	8.9	270	30.3
3	16.7	489	29.3	3	11.4	329	28.8	3	25.3	759	30.0	3	12.7	385	30.3	3	14.1	420	29.8	3	6.6	205	31.1
4	15.5	456	29.4	4	9.1	270	29.7	4	22.8	682	29.9	4	10.6	322	30.4	4	10.8	328	30.4	4	5.8	181	31.2
5	14.2	418	29.4	5	7.7	230	29.9	5	19.9	598	30.1	5	9.5	290	30.5	5	8.6	260	30.2	5	5.4	170	31.5
10	9.0	266	29.6	10	5.5	168	30.5	10	10.9	335	30.7	10	7.4	230	31.1	10	4.8	151	31.5	10	4.4	139	31.6
15	5.9	178	30.2	15	4.9	150	30.6	15	7.4	230	31.1	15	6.6	206	31.2	15	4.2	135	32.1	15	3.8	124	32.6
30	4.4	132	30.0	30	4.2	128	30.5	30	5.9	185	31.4	30	5.5	171	31.1	30	3.4	120	35.3	30	3.2	105	32.8
60	3.6	110	30.6	60	3.5	109	31.1	60	4.9	155	31.6	60	4.6	145	31.5	60	2.8	98	35.0	60	2.7	97	35.9
29.7				29.9				30.5				30.6				31.3				31.7			
V _{muestra} (ml): 600				V _{muestra} (ml): 600				V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 700				V _{muestra} (ml): 700			
W _{sólidos} (g): 40.1				W _{sólidos} (g): 40.1				W _{sólidos} (g): 40.3				W _{sólidos} (g): 40.3				W _{sólidos} (g): 20.9				W _{sólidos} (g): 20.9			
H ₀ ,m = 0.21 0.8 m/hr				H ₀ ,m = 0.21 1.5 m/hr				H ₀ ,m = 0.33 1.6 m/hr				H ₀ ,m = 0.33 2.9 m/hr				H ₀ ,m = 0.23 1.8 m/hr				H ₀ ,m = 0.23 2.1 m/hr			
C ₀ = 66.8 g/l				C ₀ = 66.8 g/l				C ₀ = 40.3 g/l				C ₀ = 40.3 g/l				C ₀ = 29.9 g/l				C ₀ = 29.9 g/l			
C ₀ = 6.4 %				C ₀ = 6.4 %				C ₀ = 3.9 %				C ₀ = 3.9 %				C ₀ = 2.9 %				C ₀ = 2.9 %			
T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min			
(C _U) _{5'} = 95 g/l				(C _U) _{5'} = 174 g/l				(C _U) _{5'} = 67 g/l				(C _U) _{5'} = 139 g/l				(C _U) _{5'} = 78 g/l				(C _U) _{5'} = 122 g/l			
(C _U) _{5'} = 9.0 %				(C _U) _{5'} = 15.6 %				(C _U) _{5'} = 6.4 %				(C _U) _{5'} = 12.7 %				(C _U) _{5'} = 7.4 %				(C _U) _{5'} = 11.3 %			
A _U = 0.25 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.25 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.26 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.26 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.50 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.50 m ² /T/d 2 unid			
D = 16.5 m 11.7				D = 16.5 m 11.7				D = 16.8 m 11.9				D = 16.8 m 11.9				D = 23.9 m 16.9				D = 23.9 m 16.9			
T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min			
(C _U) _{15'} = 229 g/l				(C _U) _{15'} = 274 g/l				(C _U) _{15'} = 179 g/l				(C _U) _{15'} = 200 g/l				(C _U) _{15'} = 159 g/l				(C _U) _{15'} = 174 g/l			
(C _U) _{15'} = 19.9 %				(C _U) _{15'} = 23.2 %				(C _U) _{15'} = 16.0 %				(C _U) _{15'} = 17.7 %				(C _U) _{15'} = 14.4 %				(C _U) _{15'} = 15.6 %			
A _U = 0.76 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.76 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.77 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.77 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.50 m ² /T/d 2 unid				A _U = 1.50 m ² /T/d 2 unid			
D = 28.6 m 20.2				D = 28.6 m 20.2				D = 29.1 m 20.6				D = 29.1 m 20.6				D = 41.3 m 29.2				D = 41.3 m 29.2			
T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min			
(C _U) _{4'} = 87 g/l				(C _U) _{4'} = 147 g/l				(C _U) _{4'} = 58 g/l				(C _U) _{4'} = 124 g/l				(C _U) _{4'} = 62 g/l				(C _U) _{4'} = 114 g/l			
(C _U) _{4'} = 8.2 %				(C _U) _{4'} = 13.4 %				(C _U) _{4'} = 5.6 %				(C _U) _{4'} = 11.5 %				(C _U) _{4'} = 5.9 %				(C _U) _{4'} = 10.6 %			
A _U = 0.20 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.20 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.21 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.21 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.40 m ² /T/d 2 unid				A _U = 0.40 m ² /T/d 2 unid			
D = 14.8 m 10.5				D = 14.8 m 10.5				D = 15.0 m 10.6				D = 15.0 m 10.6				D = 21.3 m 15.1				D = 21.3 m 15.1			

Cuadro 3.3.16-c Sedimentación de la Neutralización de Efluente ácido O/F-D12 de la pulpa de relave y cal Apex 1"

QDAM(l/s): #;REF! 0.0				QDAM(l/s): #;REF! 0.0				QDAM(l/s): #;REF! 0.0				QDAM(l/s): #;REF! 0.0											
Vortex:4" Apex:1 Ratio 2				Vortex:4" Apex:1 Ratio 4				Vortex:4" Apex:1 Ratio 6															
Sin floculante		Con floculante		Sin floculante		Con floculante		Sin floculante		Con floculante		Sin floculante		Con floculante									
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm								
0	20.6	600	29.1	0	20.6	600	29.1	0	33.4	1000	29.9	0	33.4	1000	29.9	0	23.3	700	30.0	0	23.3	700	30.0
1	19.0	561	29.5	1	17.5	520	29.7	1	30.8	919	29.8	1	28.2	840	29.8	1	20.4	600	29.4	1	15.9	470	29.6
2	17.6	520	29.5	2	14.4	430	29.9	2	28.4	849	29.9	2	21.0	630	30.0	2	16.4	482	29.4	2	8.6	257	29.9
3	16.1	480	29.8	3	11.4	345	30.3	3	25.8	772	29.9	3	13.9	420	30.2	3	13.0	380	29.2	3	6.6	200	30.3
4	14.6	435	29.8	4	9.2	280	30.4	4	23.0	690	30.0	4	10.8	330	30.6	4	9.7	291	30.0	4	5.9	180	30.5
5	13.3	399	30.0	5	7.6	235	30.9	5	20.2	609	30.1	5	9.4	289	30.7	5	7.8	235	30.1	5	5.5	168	30.5
10	8.0	245	30.6	10	5.4	171	31.7	10	10.9	335	30.7	10	7.1	217	30.6	10	4.8	145	30.2	10	4.3	138	32.1
15	5.4	170	31.5	15	4.8	151	31.5	15	7.2	222	30.8	15	6.4	199	31.1	15	4.2	132	31.4	15	3.7	118	31.9
30	4.3	139	32.3	30	4.0	130	32.5	30	5.7	180	31.6	30	5.2	168	32.3	30	3.4	109	32.1	30	3.1	100	32.3
60	3.5	111	31.7	60	3.4	112	32.9	60	4.7	150	31.9	60	4.4	140	31.8	60	2.9	95	32.8	60	2.8	90	32.1
			30.4				30.9				30.5				30.7				30.5				30.9
V _{muestra} (ml):	600			V _{muestra} (ml):	600			V _{muestra} (ml):	1000			V _{muestra} (ml):	1000			V _{muestra} (ml):	700			V _{muestra} (ml):	700		
W _{solidos} (g):	41.3			W _{solidos} (g):	41.3			W _{solidos} (g):	41.4			W _{solidos} (g):	41.4			W _{solidos} (g):	21.5			W _{solidos} (g):	21.5		
H _O ,m =	0.21	0.9 m/hr		H _O ,m =	0.21	1.6 m/hr		H _O ,m =	0.33	1.6 m/hr		H _O ,m =	0.33	2.9 m/hr		H _O ,m =	0.23	1.9 m/hr		H _O ,m =	0.23	2.1 m/hr	
C _O =	68.8 g/l			C _O =	68.8 g/l			C _O =	41.4 g/l			C _O =	41.4 g/l			C _O =	30.7 g/l			C _O =	30.7 g/l		
C _O =	6.6 %			C _O =	6.6 %			C _O =	4.0 %			C _O =	4.0 %			C _O =	3.0 %			C _O =	3.0 %		
T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min			T _U =	5 min		
(C _U) ₅ =	102 g/l			(C _U) ₅ =	176 g/l			(C _U) ₅ =	67 g/l			(C _U) ₅ =	143 g/l			(C _U) ₅ =	90			(C _U) ₅ =	126 g/l		
(C _U) ₅ =	9.6 %			(C _U) ₅ =	15.8 %			(C _U) ₅ =	6.4 %			(C _U) ₅ =	13.1 %			(C _U) ₅ =	8.5 %			(C _U) ₅ =	11.6 %		
A _U =	0.24 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.24 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.25 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.24 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.49 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.49 m ² /T/d	2 unid	
D =	16.6 m	11.7		D =	16.6 m	11.7		D =	16.8 m	11.9		D =	16.8 m	11.9		D =	23.9 m	16.9		D =	23.9 m	16.9	
T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min			T _U =	15 min		
(C _U) ₁₅ =	252 g/l			(C _U) ₁₅ =	279 g/l			(C _U) ₁₅ =	189 g/l			(C _U) ₁₅ =	211 g/l			(C _U) ₁₅ =	168 g/l			(C _U) ₁₅ =	188 g/l		
(C _U) ₁₅ =	21.6 %			(C _U) ₁₅ =	23.6 %			(C _U) ₁₅ =	16.8 %			(C _U) ₁₅ =	18.5 %			(C _U) ₁₅ =	15.1 %			(C _U) ₁₅ =	16.7 %		
A _U =	0.73 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.73 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.75 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.75 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.46 m ² /T/d	2 unid		A _U =	1.46 m ² /T/d	2 unid	
D =	28.7 m	20.3		D =	28.7 m	20.3		D =	29.2 m	20.6		D =	29.2 m	20.6		D =	41.4 m	29.3		D =	41.4 m	29.3	
T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min			T _U =	4 min		
(C _U) ₄ =	93 g/l			(C _U) ₄ =	145 g/l			(C _U) ₄ =	59 g/l			(C _U) ₄ =	125 g/l			(C _U) ₄ =	73 g/l			(C _U) ₄ =	118 g/l		
(C _U) ₄ =	8.8 %			(C _U) ₄ =	13.3 %			(C _U) ₄ =	5.7 %			(C _U) ₄ =	11.6 %			(C _U) ₄ =	7.0 %			(C _U) ₄ =	10.9 %		
A _U =	0.20 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.20 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.20 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.20 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.39 m ² /T/d	2 unid		A _U =	0.39 m ² /T/d	2 unid	
D =	14.8 m	10.5		D =	14.8 m	10.5		D =	15.1 m	10.7		D =	15.1 m	10.7		D =	21.4 m	15.1		D =	21.4 m	15.1	

FIGURA 3.3.14 SEDIMENTACION DEL EFLUENTE NEUTRALIZADO CON O/F RELAVE(D-12) Y CAL





	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
LMP anual	2	1	6	5
LMP puntual	1	0.5	3	2

FIGURA 3.3.15
CONCENTRACIÓN DE METALES DISUELTOS VS. pH

3.3.10 Neutralización con cal y U/F del Hidrociclón D-12

Esta serie de pruebas se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento del relave grueso (U/F) del cicloneo, como agente coagulante, y la cal como el agente neutralizante; ya que en anteriores pruebas se comprobó que el material grueso del relave poseía un pobre poder neutralizante. Por tal motivo es que la cal se consideró como agente neutralizante.

El fin de esta parte de la prueba es la de obtener un pH final de 8.5, con lo cual aseguramos que el contenido de zinc en la solución se encuentre por debajo de los límites máximos permisibles.

Se consideró que en la primera parte de la prueba se usaría 0.7gcal/IDAM con una agitación de 5 minutos, para luego agitar 2.5 minutos más, con la adición de relave grueso (U/F) en las cantidades de 2,5,10 g(U/F) / l efluente ácido .

Los resultados de la neutralización, cuadro 3.3.17, indican que al llegar a valores de pH alrededor de 8.5, tienen bajos contenidos de zinc en la solución entre 0.42 y 0.62 ppm, los cuales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Cuadro 3.3.17 Neutralización de Efluente Ácido de Mina con cal y relave (U/F D-12) Vortex 4" Apex:1"

T	pH	Eh	Cons cal(g/l)	W U/F(g.)/IDAM	Zn(ppm)
0	3.10	224	0.7	2	160
5	8.36	160			0.60
7.5	8.42	158			

T	pH	Eh	Cons cal(g/l)	W U/F(g.)/IDAM	Zn(ppm)
0	3.10	224	0.7	5	160
5	8.45	140			0.42
7.5	8.53	138			

T	pH	Eh	Cons cal(g/l)	W U/F(g.)/IDAM	Zn(ppm)
0	3.10	224	0.7	10	160
5	8.30	155			0.62
7.5	8.37	144			

Las pruebas de sedimentación con las muestras neutralizadas, cuadro 3.3.18, se llega a obtener para 10 g(U/F)/ /ldam, valores de % de sólidos de 6.4 a los 15 minutos.

Realizando un análisis de la Capacidad de Almacenamiento de material de relave grueso en el espesador, cuadro 3.3.19, se tomó como referencia los 15 minutos de donde se llega a concluir que para el tiempo de retención en el sedimentador será de 51 minutos, por lo cual el porcentaje de sólidos obtenido ya no sería de 6.4% sólidos, sino más bien sería de 9.3 % sólidos (usando un solo sedimentador), pero como en el diseño que se esta realizando para un caudal de 300 l/s, y dos(2) sedimentadores, el tiempo de retención sería el doble, es decir de 102 minutos, con lo cual se estaría ganando un mayor porcentaje de sólidos en la descarga del sedimentador.

Cuadro 3.3.18
Pruebas de Sedimentación de la Neutralización con cal y relave (U/F D-12)

2 g/l
108.1 t rel/día

5 g/l
185.8 t rel/día

10 g/l
315.4 t rel/día

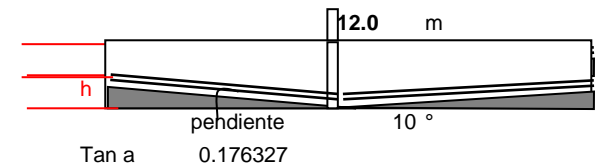
2 g/l 108.1 t rel/día				5 g/l 185.8 t rel/día				10 g/l 315.4 t rel/día			
t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm	t(min)	H(cm)	Vol(ml)	ml/cm
0	34.0	1000	29.4	0	34.5	1000	29.0	0	34.0	1000	29.4
1	31.5	840	26.7	1	31.6	915	29.0	1	29.9	880	29.4
2	25.4	530	20.9	2	24.7	720	29.1	2	21.6	637	29.5
3	19.5	335	17.2	3	18.6	541	29.1	3	14.7	440	29.9
4	14.6	280	19.2	4	12.9	380	29.5	4	10.4	315	30.3
5	11.3	252	22.3	5	10.5	309	29.4	5	8.6	265	30.8
10	7.4	196	26.5	10	7.4	220	29.7	10	6.4	200	31.3
15	6.3	170	27.0	15	6.3	189	30.0	15	5.5	172	31.3
30	4.9	138	28.2	30	4.9	149	30.4	30	4.4	141	32.0
60	4.1	120	29.3	60	4.1	125	30.5	60	3.7	121	32.7
			24.7				29.6				30.7
V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 1000				V _{muestra} (ml): 1000			
W _{sólidos} (g): 4.2				W _{sólidos} (g): 7.3				W _{sólidos} (g): 12.0			
H _O , m = 0.34		2.7 m/hr		H _O , m = 0.35		2.9 m/hr		H _O , m = 0.34		3.0 m/hr	
C _O = 4.2 g/l				C _O = 7.3 g/l				C _O = 12.0 g/l			
C _O = 0.4 %				C _O = 0.7 %				C _O = 1.2 %			
T _U = 5 min				T _U = 5 min				T _U = 5 min			
(C _U) _{5'} = 15 g/l				(C _U) _{5'} = 24 g/l				(C _U) _{5'} = 46 g/l			
(C _U) _{5'} = 1.5 %				(C _U) _{5'} = 2.3 %				(C _U) _{5'} = 4.4 %			
A _U = 2.43 m ² /T/d		2 unid		A _U = 1.38 m ² /T/d		2 unid		A _U = 0.85 m ² /T/d		2 unid	
D = 18.3 m		12.9		D = 18.1 m		12.8		D = 18.5 m		13.1	
T _U = 15 min				T _U = 15 min				T _U = 15 min			
(C _U) _{15'} = 23 g/l				(C _U) _{15'} = 38 g/l				(C _U) _{15'} = 67 g/l			
(C _U) _{15'} = 2.2 %				(C _U) _{15'} = 3.7 %				(C _U) _{15'} = 6.4 %			
A _U = 7.29 m ² /T/d		2 unid		A _U = 4.14 m ² /T/d		2 unid		A _U = 2.55 m ² /T/d		2 unid	
D = 31.7 m		22.4		D = 31.3 m		22.1		D = 32.0 m		22.6	
T _U = 4 min				T _U = 4 min				T _U = 4 min			
(C _U) _{4'} = 12 g/l				(C _U) _{4'} = 19 g/l				(C _U) _{4'} = 38 g/l			
(C _U) _{4'} = 1.2 %				(C _U) _{4'} = 1.9 %				(C _U) _{4'} = 3.7 %			
A _U = 1.95 m ² /T/d		2 unid		A _U = 1.10 m ² /T/d		2 unid		A _U = 0.68 m ² /T/d		2 unid	
D = 16.4 m		11.6		D = 16.2 m		11.4		D = 16.5 m		11.7	

CUADRO 3.3.19 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Ciclón D-12 U/F																
Apex= 1"																
Ratio 4																
			Wrel	Wppto	Wtotal	Co						G.E. = 2.9 g/cc				
			gr	gr	gr	gr/l										
			9.8	2.17	12.0	12.0										
t	H	V	días Tu	m Ho	TM/m ³ Co	Au m ² /TM/d	Au pie ² /tc/d	TM/d Q _{SOL}	m ² A	%Sol. C _{UF}	Cant. n	D m	Cant. n	D m	Cant. n	D m
0	34.0	1000	0.0000	0.340	0.012			315		0.4						
1	29.9	880	0.0007	0.340	0.012	0.170	2.02	315	54	0.5	1	1.1	2	0.8	3	0.7
2	21.6	637	0.0014	0.340	0.012	0.340	4.03	315	107	0.6	1	1.6	2	1.1	3	0.9
3	14.7	440	0.0021	0.340	0.012	0.511	6.05	315	161	0.9	1	2.0	2	1.4	3	1.1
4	10.4	315	0.0028	0.340	0.012	0.681	8.06	315	214	1.3	1	2.3	2	1.6	3	1.3
5	8.6	265	0.0035	0.340	0.012	0.851	10.08	315	268	1.5	1	2.5	2	1.8	3	1.5
10	6.4	200	0.0069	0.340	0.012	1.702	20.15	315	536	2.0	1	3.6	2	2.5	3	2.1
15	5.5	172	0.0104	0.340	0.012	2.553	30.23	315	804	2.3	1	4.4	2	3.1	3	2.5
30	4.4	141	0.0208	0.340	0.012	5.106	60.46	315	1608	2.8	1	6.2	2	4.4	3	3.6
60	3.7	121	0.0417	0.340	0.012	10.212	120.92	315	3217	3.3	1	8.7	2	6.2	3	5.0

Capacidad de almacenamiento U/F T=15'

Altura U/F	1.06 m	
Volumen U/F	79.77 m ³	
Conc. U/F	2.3 % sólidos	
Conc. U/F	0.02 TM/m ³	
Capacidad del cono	1.9 TM	
Alimento al sediment.	0.11 TM/min	
Número de Sedimentadores	2	
T _{RETENCION}	34 min =	0.6 hrs
Alimento al sediment.	0.22 TM/min	
Número de Sedimentadores	1	
TALMACENAM.	17 min =	0.3 hrs



3.3.11 Planta Piloto

El pilotaje se llevó a cabo con hidrociclones D-6 y D-12 con la finalidad de trabajar sólo con el over flow.

El tiempo de retención de la planta piloto de neutralización es de 11 minutos, con lo cual se trata caudales de efluente ácido y pulpa de relave de 3.49 l/s y 0.58 l/s respectivamente, es decir para un ratio de 6. La relación entre caudal del over flow y el caudal de la pulpa de relave total fue de 84 y 86% para los Hidrociclones D-6 y D-12 respectivamente

El volumen y los tiempos de retención por tanque se presentan en el cuadro 3.3.20.

Cuadro 3.3.20 Volumen y tiempo de retención por tanque

TK	V(m3)	t(min)
		11
1	0.33	1.35
2	1.18	4.83
3	1.18	4.83
Total	2.69	11

Se realizaron cuatro muestreos en diferentes puntos, diferentes tiempos con respecto al inicio de la puesta en marcha del pilotaje, realizando análisis químicos para cada uno de ellos. El Balance Metalúrgico de la Planta Piloto con hidrociclón D-6 se presenta en la figura 3.3.16a. El punto de muestreo #3, se encuentra a la salida del tanque rápido de acero inoxidable, luego del cual se obtiene valores de pH de 4.55 con contenido de zinc de 160.3 ppm.

En el pto. #4, antes de que ingrese la cal, a los 6.2 minutos, el valor del pH es de 5.16 con contenido de zinc en la solución de 148.4 ppm. Se ingresó la cal a través de la faja transportadora, a una velocidad de 164 g/min, lo que nos representa un consumo de cal de 0.8 g/l efluente ácido. En el punto de monitoreo #5 el valor de pH nos reportó 8.4 con contenido de zinc en la solución de 0.6, el cual se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles. Es importante contar que los resultados obtenidos a diferentes tiempos con respecto a inicio del pilotaje son similares.

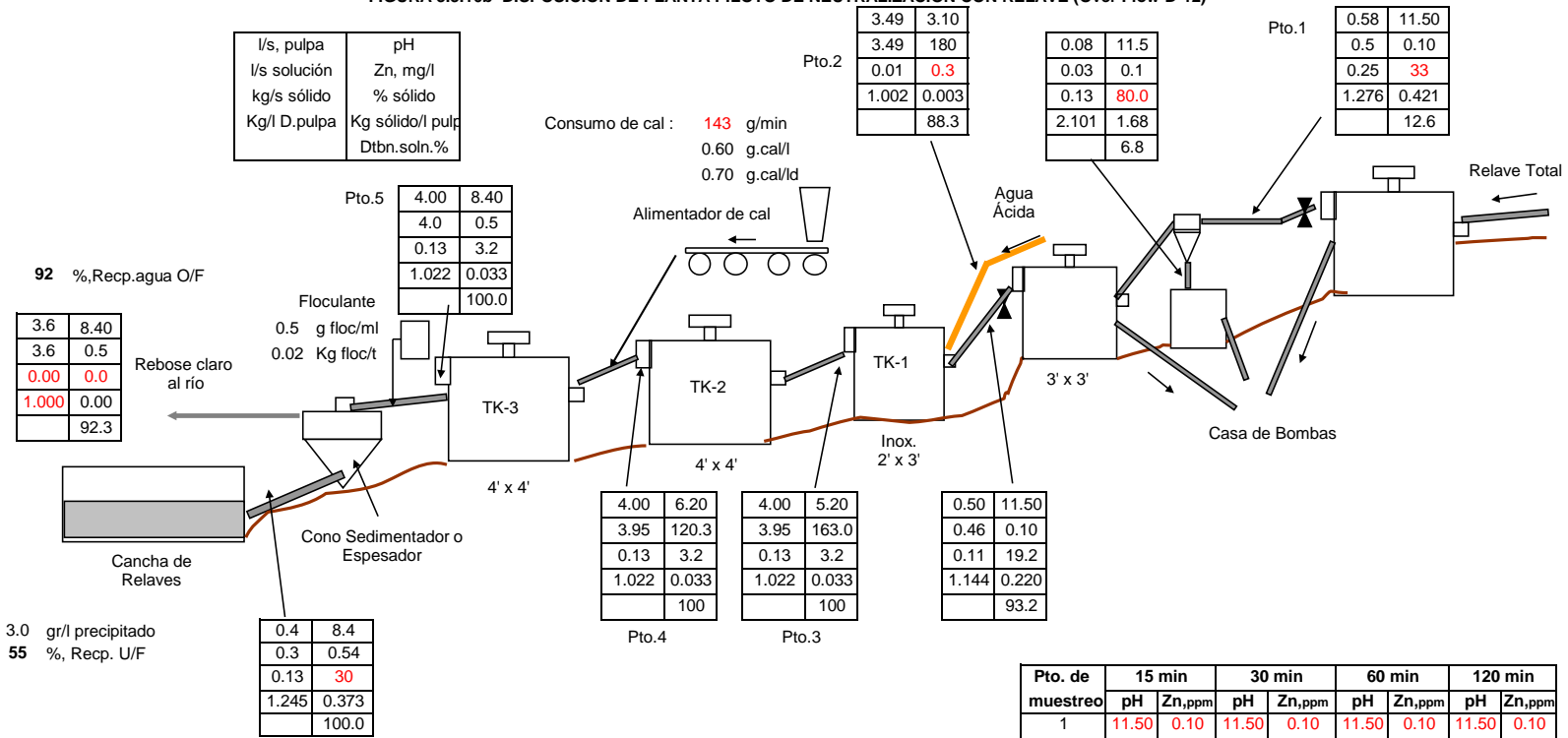
En la figura 3.3.16b, se presenta el balance metalúrgico del pilotaje realizado con el hidrociclón D-12. La diferencia que cabe destacar es en el punto 4, donde se alcanza valores de pH de hasta 6.20 y 120.3 ppm de contenido de zinc en la solución con el hidrociclón D-12; mientras que en el hidrociclón D-6 obtiene valores de pH de 5.16 con 148.4 ppm de contenido de zinc en la solución. Importante diferencia en el poder neutralizante de los finos del relave. Además cabe señalar que en el espesador se llega a obtener 30% sólidos en el under flow.

También se realizó la separación mediante un sedimentador sin mecanismo de arrastre, la cual también dio buenos resultados, tal como se puede observar en la foto 13.

En las fotos N° 10 y 11 se pueden observar la Planta Piloto de Neutralización de efluentes ácidos con relaves mineros y el sistema de alimentación de la cal.

En la foto N° 12 podemos observar las descargas del O/F, U/F del sedimentador y del espesador utilizado en la Planta Piloto.

FIGURA 3.3.16b DISPOSICION DE PLANTA PILOTO DE NEUTRALIZACIÓN CON RELAVE (Over Flow D-12)



l/s, pulpa	pH
l/s solución	Zn, mg/l
kg/s sólido	% sólido
Kg/l D.pulpa	Kg sólido/l pulp
	Dtbn.soln.%

3.6	8.40
3.6	0.5
0.00	0.0
1.000	0.00
	92.3

0.4	8.4
0.3	0.54
0.13	30
1.245	0.373
	100.0

4.00	8.40
4.0	0.5
0.13	3.2
1.022	0.033
	100.0

4.00	6.20
3.95	120.3
0.13	3.2
1.022	0.033
	100

4.00	5.20
3.95	163.0
0.13	3.2
1.022	0.033
	100

0.50	11.50
0.46	0.10
0.11	19.2
1.144	0.220
	93.2

3.49	3.10
3.49	180
0.01	0.3
1.002	0.003
	88.3

0.08	11.5
0.03	0.1
0.13	80.0
2.101	1.68
	6.8

0.58	11.50
0.5	0.10
0.25	33
1.276	0.421
	12.6

Pto. de muestreo	15 min		30 min		60 min		120 min	
	pH	Zn,ppm	pH	Zn,ppm	pH	Zn,ppm	pH	Zn,ppm
1	11.50	0.10	11.50	0.10	11.50	0.10	11.50	0.10
2	3.10	180.2	3.12	180.2	3.10	180.2	3.10	180.2
3	5.15	165.0	5.10	166.3	5.14	162.7	5.20	163.0
4	6.00	125.0	6.20	122.0	6.19	128.6	6.20	120.3
5	8.56	0.5	8.50	0.6	8.43	0.7	8.40	0.5

Planta Industrial
Dimensiones
Diam : 12 m
Altura : 3 m
Volumen
259.512 m3

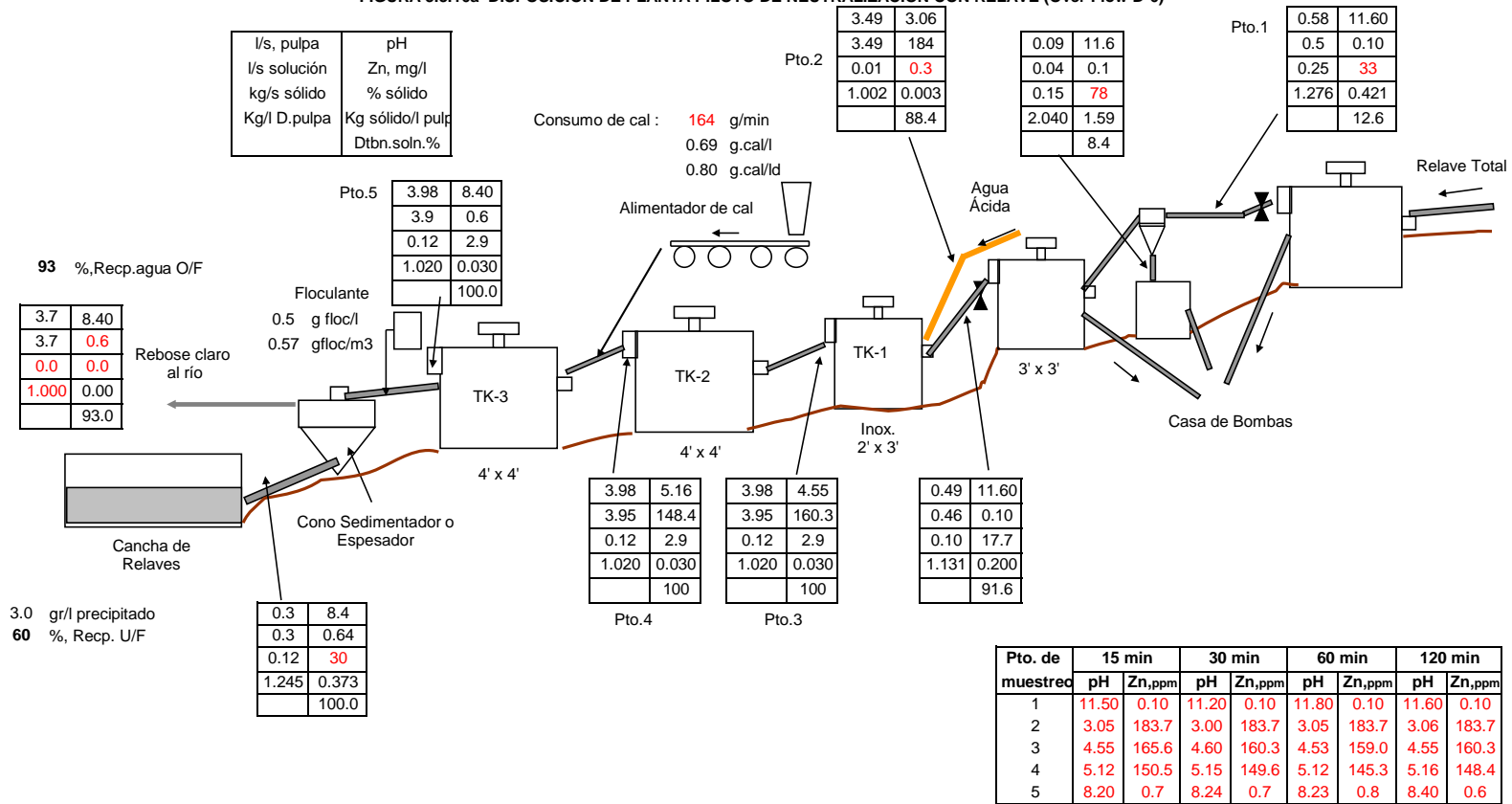
Planta Piloto
Qtotol óptimo: 56 l/min
0.759 m3 0.9333 l/s
278.1 m3 342 l/s
RPTA
Volúmen necesario
Altura 3 m.
Diametro 10.9 m.

Datos Iniciales

TK	V(m3)	t(min)
1	0.33	1.349
2	1.18	4.825
3	1.18	4.825
Total	2.69	11

Caudal total,l/s	4.08
rat:DAM:	6
Pulpa	1
Q DAM, l/s :	3.49
Q Pulpa, l/s :	0.58
244.5455	

FIGURA 3.3.16a DISPOSICION DE PLANTA PILOTO DE NEUTRALIZACIÓN CON RELAVE (Over Flow D-6)



Datos Iniciales

TK	V(m3)	t(min)
1	0.33	1.35
2	1.18	4.83
3	1.18	4.83
Total	2.69	11

Caudal total, l/s	4.08	rat: DAM:	6
		Pulpa	1
		Q DAM, l/s :	3.49
		Q Pulpa, l/s :	0.58

244.5455

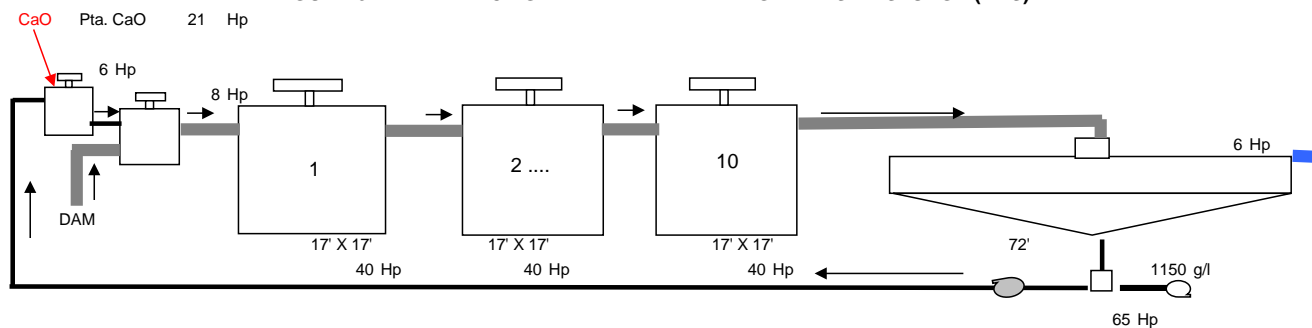
3.4 Diseño de la Planta de Neutralización- Lodos de Alta Densidad (HDS)

En la figura 3.4.1 se presenta el diagrama de la Planta de Neutralización con Lodos de Alta Densidad, así en el Cuadro 3.4.1, se presenta las principales características de la Planta HDS, para un caudal de 300 l/s; de donde resume que se tiene que trabajar con 10 tanques de agitación de 17'x17', para un tiempo de agitación de 61 minutos.

Aunque en nuestra prueba de laboratorio solamente se realizó del primer ciclo al décimo ciclo, llegando a obtener %S de 2.7 y 5.0 respectivamente, es importante darnos cuenta que para obtener un %sólido óptimo para poder realizar la descarga del sedimentador debemos realizar más ciclos con la consiguiente densificación de los lodos.

En el cuadro 3.4.2, para un caudal de 300 l/s, con un %sólidos de 19.6 en el under del sedimentador y 29.3 Kg.sólidos/s se obtiene que el tiempo de alimentación al espesador es de 126 minutos para un espesador de 22 metros de diámetro.

FIGURA 3.4.1 BALANCE GENERAL PLANTA HIGH DENSITY SLUDGE (HDS)



CUADRO 3.4.1 PLANTA HDS para un Q=300 l/s

Q_{DAM}	18 m ³ /min
Q_{DAM}	300 l/s
pH ₀	3
PD	1150 g/l
C _O	225 g/l
C _D	19.6 % sólidos
Q_{RECIR}	130 l/s
Q_{RECIR}	150 kg pulpa /s
Q_{RECIR}	29.3 kg sólido/s
R _{RECIR}	98 gr.sólido/l eflu. tot.
C _{RECIR}	68.2 g/l
Diam.=Alt.	17 pies
V _{17'x17'}	109 m ³

n	10 tanques
V _{TOTAL}	1093 m ³
T _{RETENCION}	61 min
HP _{17'x17'}	40 Hp
HP pta. cal	21 Hp
HP tk lds+cal	6 Hp
HP tk agit.rapida	8 Hp
HP recirc ul.:	65 Hp
HP Sedimen.:	6 Hp
HP _{TOTAL}	506 Hp
Energía	3307122.2 Kw-h/año
Energía	264569.78 US\$/año
Consumo. Energía	0.297 Kw-h/m ³
Costo Energía	0.024 \$/m ³

Potencia Bomba recirculación

psi 15 psi gpm

$$HP = \frac{P \cdot Q}{1430}$$

Factor Segur. 2

Q	Hp
130	43.4

1pie 0.305 m

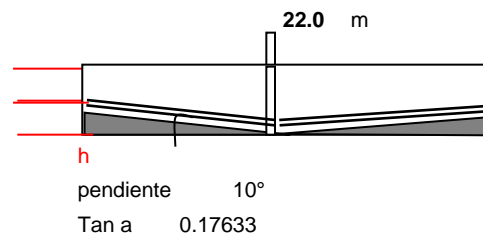
1 pie³ 0.028316847 m³

Cuadro 3.4.2 Determinación de la capacidad de almacenamiento con 19.6 %sólidos

%S	kg sólido/s	TMPD
19.6	29.3	2531.5

Capacidad de almacenamiento U/F

Altura U/F 1.94m
 Volumen U/F 491.54m³
 Conc. U/F 19.6% sólidos
 Conc. U/F 0.23TM/m³
 Capacidad del cono 110.8TM
 Alimento al sediment. 1.76TM/min
 Número de Sedimentadores 1
 TRETENCION 126min .



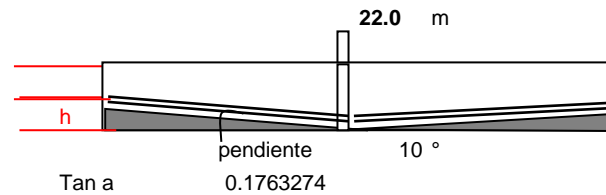
HDS 1 er ciclo

Cuadro 3.4.3 Capacidad de Almacenamiento

Wtotal Co gr gr/l 2.17 3.06 G.E. = 3 g/cc																
t	H	V	dias Tu	m Ho	TM/m ³ Co	Au m ² /TM/d	Au pie ² /tc/d	TM/d Q _{SOL}	m ² A	%Sol. C _{UF}	Cant. n	D m	Cant. n	D m	Cant. n	D m
0	25.2	710	0.0000	0.252	0.003			79		7.2						
5	6.2	170	0.0035	0.252	0.003	4.508	53.38	79	356	27.1	1	21.3	2	15.1	3	12.3
10	4.7	130	0.0069	0.252	0.003	9.016	106.76	79	712	34.1	1	30.1	2	21.3	3	17.4
15	4.1	110	0.0104	0.252	0.003	13.525	160.14	79	1068	39.1	1	36.9	2	26.1	3	21.3
20	3.7	100	0.0139	0.252	0.003	18.033	213.51	79	1425	42.1	1	42.6	2	30.1	3	24.6
30	3.4	90	0.0208	0.252	0.003	27.049	320.27	79	2137	45.7	1	52.2	2	36.9	3	30.1
80	2.9	75	0.0556	0.252	0.003	72.132	854.06	79	5698	52.5	1	85.2	2	60.2	3	49.2

Capacidad de almacenamiento U/F T=60'

Altura U/F 1.94 m
 Volumen U/F 491.54 m³
 Conc. U/F 49.8 % sólidos
 Conc. U/F 0.75 TM/m³
 Capacidad del cono 366.4 TM
 Alimento al sediment. 0.05 TM/min
 Número de Sedimentadores 1
 T_{RETENCION} 13356 min = 222.6 hrs



HDS

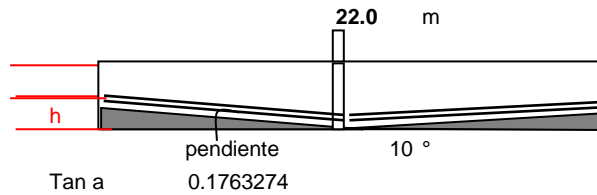
10 mo ciclo

Cuadro 3.4.4 Capacidad de Almacenamiento

										Wtotal		Co					
										gr		gr/l					
										4.85		6.6		G.E. = 3 g/cc			
t	H	V	dias Tu	m Ho	TM/m ³ Co	Au m ² /TM/d	Au pie ² /tc/d	TM/d Q _{SOL}	m ² A	%Sol. C _{UF}	Cant. n	D m	Cant. n	D m	Cant. n	D m	
0	25.8	730	0.0000	0.258	0.007			172		#jDIV/0!							
5	9.7	270	0.0035	0.258	0.007	2.026	23.98	172	348	#jDIV/0!	1	21.1	2	14.9	3	12.2	
10	6.4	170	0.0069	0.258	0.007	4.051	47.97	172	697	#jDIV/0!	1	29.8	2	21.1	3	17.2	
15	5.5	150	0.0104	0.258	0.007	6.077	71.95	172	1045	#jDIV/0!	1	36.5	2	25.8	3	21.1	
20	4.9	130	0.0139	0.258	0.007	8.103	95.94	172	1394	#jDIV/0!	1	42.1	2	29.8	3	24.3	
30	4.3	115	0.0208	0.258	0.007	12.154	143.91	172	2090	#jDIV/0!	1	51.6	2	36.5	3	29.8	
80	3.1	85	0.0556	0.258	0.007	32.411	383.75	172	5575	#jDIV/0!	1	84.2	2	59.6	3	48.6	

Capacidad de almacenamiento U/F T=60'

Altura U/F 1.94 m
 Volumen U/F 491.54 m³
 Conc. U/F #jDIV/0! % sólidos
 Conc. U/F #jDIV/0! TM/m³
 Capacidad del cono #jDIV/0! TM
 Alimento al sediment. 0.12 TM/min
 Número de Sedimentadores 1
 T_{RETENCION} #jDIV/0! min = #jDIV/0! hrs



3.5 Diseño de la Planta de Neutralización

- **Diagrama de Flujo**

El diagrama de flujo se ha diseñado para trabajar con poca energía debido a que el número de tanques en funcionamiento estará en función del caudal, además tiene un ahorro sustantivo, debido a que la neutralización se realiza solamente con los finos del relave. Este sistema consiste en un tanque común de agitación luego del cual pasa a un circuito en paralelo de 3 tanques cada uno, con un octavo tanque que nos servirá como tanque stand by en el caso de avería o mantenimiento de alguno de los demás; esto lo podemos observar en la figura 3.5.1.

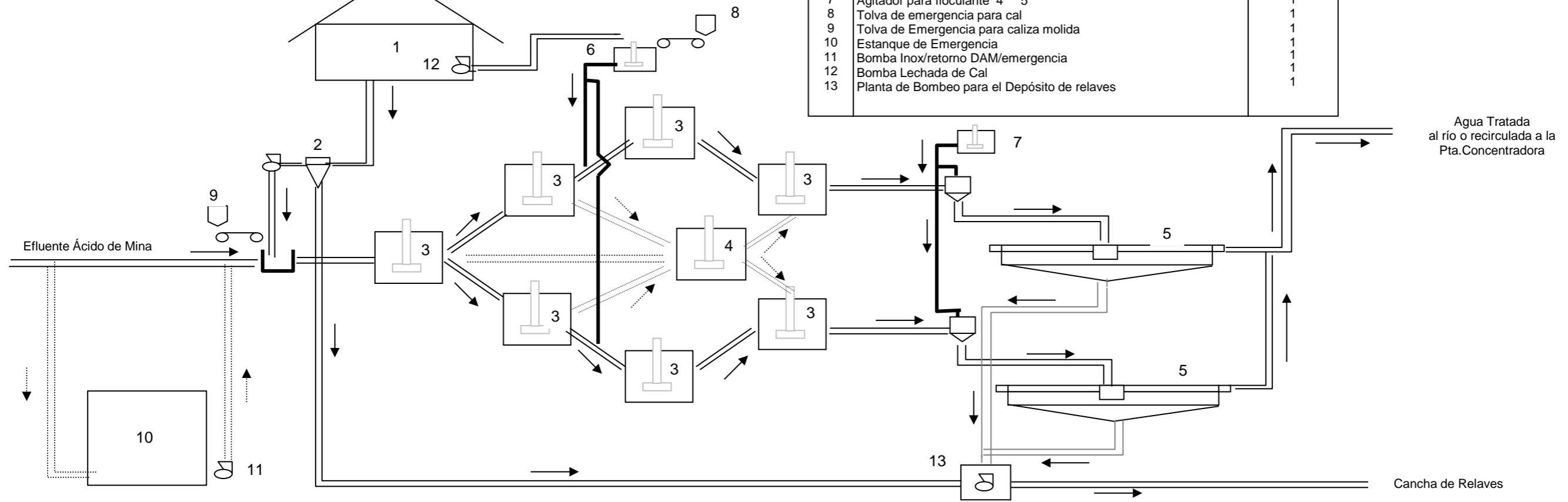
- **Neutralización dinámica con relaves**

La neutralización dinámica de efluentes ácidos con relaves como medio neutralizante y aglomerante, nos permite disminuir el consumo de cal y a su vez en el dimensionamiento del espesador, debido a la coagulación, aglomeración y sedimentación rápida, que se obtiene con el relave fino.

El relave, es separado mediante hidrociclones, para trabajar solamente con el over flow (pulpa de relave fino), la cual se mezcla con el efluente ácido durante 5 minutos, luego se agrega cal con la finalidad de alcanzar un pH de 8.5, valor donde se asegura que la presencia de iones metálicos en la solución se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles del Ministerio de Energía y Minas.

Figura 3.5.1.
DIAGRAMA DE FLUJO
Planta de tratamiento
de efluente ácido de mina con relave
fino

N°	Descripción	Cantidad
1	Planta Metalúrgica	1
2	Hidrociclón D-12	4
3	Tanque de Agitación 11' *11'	7
4	Tanque de Agitación 11' *11'- Stand By	1
5	Sedimentador 12 * 3 m	2
6	Agitador para cal $\phi 7$, 7m	1
7	Agitador para floculante 4' * 5'	1
8	Tolva de emergencia para cal	1
9	Tolva de Emergencia para caliza molida	1
10	Estanque de Emergencia	1
11	Bomba Inox/retorno DAM/emergencia	1
12	Bomba Lechada de Cal	1
13	Planta de Bombeo para el Depósito de relaves	1



Agua Tratada
al río o recirculada a la
Pta. Concentradora

Cancha de Relaves

Una vez que se haya separado la solución neutralizada y el material densificado (Hidróxidos metálicos precipitados y relave fino); la solución puede ser recirculada a la Planta Metalúrgica o enviarse al cauce de un río; con respecto al relave fino densificado, este puede mezclado nuevamente con la pulpa de relave grueso y ser bombeado a la cancha de relaves, con lo que mediante este proceso usamos la cancha de relaves como depósito de los lodos.

- **Criterios de Diseño Básico**

- * Se debe haber realizado un monitoreo de los efluentes, con las principales características físicas y químicas, a lo largo de un año, para poder realizar un análisis completo de la planta a diseñar.

- * Se usará la fracción fina del relave de la Planta Concentradora. Este material fino posee un poder neutralizante y colector. La neutralización se complementará con una adición de cal con lo cual precipitan los metales pesados e influyen con una velocidad mayor en la separación sólido líquido de los lodos de neutralización.

- * Para este efluente, el pH final de la reacción se encuentra en 8.5, con lo cual se llega a precipitar los metales por debajo de los límites máximos permisibles.

* Los tiempos de reacción tanto con el O/F del relave y con la cal son bajos, se encuentra entre 5 y 6 minutos.

- **Balance Metalúrgico**

En la figura 3.5.2 se presenta el diagrama balanceado de neutralización para un caudal de efluente ácido de 200l/s, con un factor de seguridad de 1.5(V efluente ácido =300l/s).

En una primera etapa se realiza la separación del relave mediante el hidrociclón, puesto que solo con los finos se realiza el proceso de neutralización y coagulación. En una segunda etapa, en los dos primeros tanques se inicia con la mezcla el over flow del relave y el efluente ácido de mina, con lo que se eleva hasta un pH de 6.1, con contenido de zinc en la solución de 130 ppm; en una tercera etapa consiste en la neutralización completa del efluente ácido de mina, a un pH de 8.5, con 0.5 ppm de Zn en la solución, con un consumo de cal de 0.7 g/l. En una cuarta etapa se procede a la separación de sólido-líquido mediante el sedimentador.

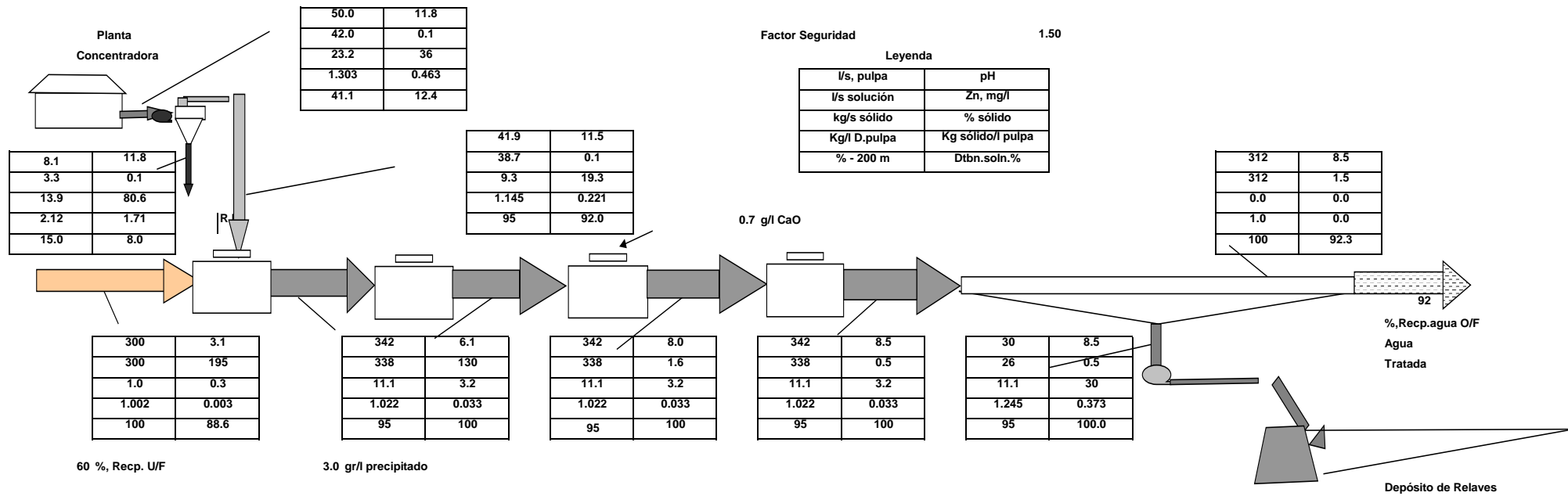


Figura 3.5.2 Diagrama de flujo balanceado con $R_{U/F}$ 60%

1pie:	0.3048	m
1pie3:	0.028316847	m3

- **Parámetros de diseño básico**

* El diseño de la planta de neutralización dinámica con relaves, toma los siguientes parámetros:

Q relave total	: 50 l/s
Q efluente ácido mínimo	: 150 l/s
Q efluente ácido Máximo	: 200 l/s

* Se tiene un factor de seguridad de 1.5 con respecto al volumen del drenaje ácido de mina con lo cual los parámetros que se han tomado para el estudio son los siguientes:

Q Relave total	: 50 l/s
Q efluente ácido mínimo	: 225 l/s
Q efluente ácido máximo	: 300 l/s

* Los tiempos de reacción son:

Neutralización con pulpa de relave (O/F)	: 5 minutos
Neutralización con lechada de cal	: 5 minutos

- **Selección de equipos principales**

Luego de realizar las pruebas en el laboratorio, y a partir de ella se puede seleccionar los equipos principales con los que se debe contar para obtener una Planta de Neutralización óptima. Dentro de los equipos principales se puede mencionar los siguientes:

- Tanques de Agitación
- Hidrociclones
- Espesadores
- Bombas
- Tanque de emergencia del efluente ácido de mina.

Teniendo en claro los equipos que son principales, se debe contar que esta selección y su posterior dimensionamiento se ha realizado siguiendo estrictamente el aspecto técnico con la finalidad de obtener un óptimo en el diseño de la Planta de Neutralización que se esta diseñando.

3.6 Tamaño de la Planta y Dimensionamiento del Equipo Principal

- **Alternativas**

Con respecto al dimensionamiento de los tanques de agitación son presentados en el Cuadro 3.6.1; con la capacidad de 6 tanques (11" * 11") podemos trabajar con caudal de hasta 296 l/s, mientras que si usamos los 7 tanques se puede recibir un caudal total de hasta 345 l/s, muy por encima de 242 l/s que tenemos como máximo, esto debido a que se esta trabajando con factor de seguridad de 1.5 .

Según las pruebas de neutralización con relave fino con el O/F del hidrociclón D-12, con un vortex de 4" y un apex de 1" como se muestra en el Cuadro 3.4.48, para ratios de 4 y 6, nos da consumos de 0.6 y 0.67 g/l, los cuales fueron excelentes resultados. De las mismas pruebas, en la sedimentación nos dan resultados a 15 minutos de agitación en porcentajes de sólidos 18.5 y 16.7 respectivamente. Se presenta los diámetros de los espesadores para los tiempos establecidos con sus porcentajes de sólidos según la formula $Au = Tu/HoCo$, pero este método no toma en cuenta los sólidos que se van acumulando durante el proceso de sedimentación y, para lo cual se ha realizado un cálculo de determinación del diámetro del espesador y el tiempo de retención, los cuales son presentados en el cuadro 3.6.2 y cuadro 3.6.3. Realizando los cálculos para usar 2 sedimentadores, y tomando como referencia el porcentaje de sólidos de 18.3 (relación =4) y

Cuadro 3.6.1 Consumo de energía por la Planta de Neutralización Dinámica con Relaves

	Q DAM(l/s)	Q TOTAL(l/s)	Ntqs
Caso A	#jREF!	#jREF!	#####
	275	275	7
	250	250	7
Caso B	225	225	7

Energía	Hp	A	B
		N	N
- Agitador 11' x 11'	10.0	6	7
- Sedimentador 12m x 3m	5	2	2
- Bomba de diafragma	5	2	2
- Agitador de lechada de cal	3	1	1
- Agitador de floculante	1	1	1
- Bomba Transporte Relave O/F	20	1	1
Total		0	0
Mkw-h/año		0.00	0.00
M\$/año		0.0	0.0

Caso A 6 TANQUES

Tanque:	11 pies	*	11 pies	
V tanq:	1045.3	pies ³	:	29.6 m ³
Número de Tanq.	6			
tiempo ret.(min):	10			
Caudal (l/s):	296.0			

Q _{TOTAL}	267	l/s
T _{TOTAL}	10	min
E _{TOTAL}	104.0	Hp
E _{ESP.NEUT.}	0.099	Kw-h/m ³

Caso B 7 TANQUES

Tanque:	11 pies	*	11 pies	
V tanq:	1045.3	pies ³	:	0.0 m ³
Número de Tanq.	7			
tiempo ret.(min):	10			
Caudal (l/s):	0.0			

Q _{TOTAL}	#jREF!	l/s
T _{TOTAL}	10	min
E _{TOTAL}	0.0	Hp
E _{ESP.NEUT.}	#jREF!	Kw-h/m ³

V tanque :	11" * 11" =								0.0	m ³
Número de Tanq.	4	5	5	6	6	7	7	8		
Q _{DAM}	150	175	200	225	250	275	300	354	l/s	
Q relave fino	42	42	42	42	42	42	42	42	l/s	
T retención	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	min.	

16.3 (relación =6) a los 15 minutos, se obtiene que el tiempo de retención en el under flow es de 107.7 y 90.6 minutos respectivamente; con lo cual se asegura que el porcentaje de sólidos que se obtendrá será mayor a 24.8 y 20.7 % de sólidos.

- **Selección del tamaño de la Planta**

Debido a que el tamaño de la Planta está en función del caudal que ingresará a la planta y ésta a su vez, está en función de la variación estacional por lo que la selección del tamaño de la planta se ha realizado en función 1.5 veces el caudal máximo de efluente ácido(200l/s), por lo que el tamaño de la planta se encuentra diseñada para tratar 300 l/s de efluente ácido, esto además se debe tener en cuenta que se tiene un estanque de emergencia de efluente ácido, con lo cual puede recepcionar durante 3.7 horas con un caudal de 300 l/s.

- **Dimensionamiento del Equipo Principal**

En el Cuadro 3.6.4, se presenta la relación de equipos y sus dimensiones que son necesarias para implementar la Planta de Neutralización Dinámica con relaves.

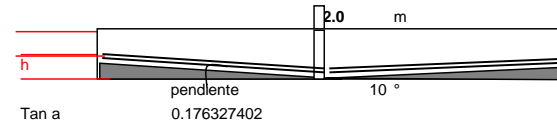
Cuadro 3.6.2

Capacidad de Almacenamiento

Ciclón D-12 O/F																
Apex= 1"																
Ratio 4																
			Wrel		Wppto		Wtotal		Co		G.E. = 2.9 g/cc					
			gr		gr		gr		gr/l							
			39.2		2.17		41.4		41.4							
t	H	V	dias Tu	m Ho	TM/m ³ Co	Au m ² /TM/d	Au pie ² /tc/d	TM/d Q _{SOL}	m ² A	%Sol. C _{UF}	Cant. n	m D	Cant. n	m D	Cant. n	m D
0	33.4	1000	0.0000	0.334	0.041			888		4.0						
1	28.2	840	0.0007	0.334	0.041	0.050	0.59	888	45	4.8	1	7.5	2	5.3	3	4.3
2	21.0	630	0.0014	0.334	0.041	0.100	1.19	888	89	6.3	1	10.7	2	7.5	3	6.2
3	13.9	420	0.0021	0.334	0.041	0.151	1.78	888	134	9.3	1	13.0	2	9.2	3	7.5
4	10.8	330	0.0028	0.334	0.041	0.201	2.38	888	178	11.6	1	15.1	2	10.7	3	8.7
5	9.4	289	0.0035	0.334	0.041	0.251	2.97	888	223	13.1	1	16.8	2	11.9	3	9.7
10	7.1	217	0.0069	0.334	0.041	0.502	5.95	888	446	17.0	1	23.8	2	16.8	3	13.8
15	6.4	199	0.0104	0.334	0.041	0.753	8.92	888	669	18.3	1	29.2	2	20.6	3	16.8
30	5.2	168	0.0208	0.334	0.041	1.507	17.84	888	1338	21.2	1	41.3	2	29.2	3	23.8
60	4.4	140	0.0417	0.334	0.041	3.013	35.68	888	2675	24.8	1	58.4	2	41.3	3	33.7

Capacidad de almacenamiento U/F T=15'

Altura U/F	1.06 m		
Volumen U/F	79.77 m ³		
Conc. U/F	18.3 % sólidos		
Conc. U/F	0.21 TM/m ³		
Capacidad del cono	16.6 TM		
Alimento al sediment.	0.31 TM/min		
Número de Sedimentadores	2		
T _{RETENCION}	107.7 min	=	1.8 hrs
Alimento al sediment.	0.62 TM/min		
Número de Sedimentadores	1		
T _{RETENCION}	53.8 min	=	0.9 hrs



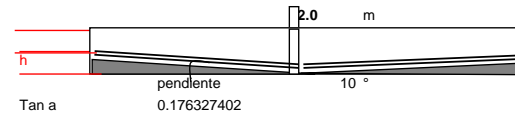
Cuadro 3.6.3

Capacidad de Almacenamiento

Ciclón D-12 O/F			Wrel	Wppto	Wtotal	Co		G.E. = 2.9 g/cc								
Apex= 1"			gr	gr	gr	gr/l										
Ratio 6			19.3	2.17	21.5	30.7										
t	H	V	días Tu	m Ho	TM/m ³ Co	Au m ² /TM/d	Au pie ² /tc/d	TM/d Q _{SOL}	m ² A	%Sol. C _{UF}	Cant. n	m D m	Cant. n	m D m	Cant. n	m D m
0	23.3	700	0.0000	0.233	0.031			924	90	3.0						
1	15.9	470	0.0007	0.233	0.031	0.097	1.15	924	90	4.4	1	10.7	2	7.6	3	6.2
2	8.6	257	0.0014	0.233	0.031	0.194	2.30	924	179	7.9	1	15.1	2	10.7	3	8.7
3	6.6	200	0.0021	0.233	0.031	0.291	3.45	924	269	10.0	1	18.5	2	13.1	3	10.7
4	5.9	180	0.0028	0.233	0.031	0.388	4.60	924	359	11.1	1	21.4	2	15.1	3	12.3
5	5.5	168	0.0035	0.233	0.031	0.485	5.74	924	448	11.8	1	23.9	2	16.9	3	13.8
10	4.3	138	0.0069	0.233	0.031	0.970	11.49	924	897	14.1	1	33.8	2	23.9	3	19.5
15	3.7	118	0.0104	0.233	0.031	1.456	17.23	924	1345	16.3	1	41.4	2	29.3	3	23.9
30	3.1	100	0.0208	0.233	0.031	2.911	34.47	924	2690	18.8	1	58.5	2	41.4	3	33.8
60	2.8	90	0.0417	0.233	0.031	5.822	68.94	924	5380	20.7	1	82.8	2	58.5	3	47.8

Capacidad de almacenamiento U/F T=15'

Altura U/F	1.06 m		
Volumen U/F	79.77 m ³		
Conc. U/F	16.3 % sólidos		
Conc. U/F	0.18 TM/m ³		
Capacidad del cono	14.5 TM		
Alimento al sediment.	0.32 TM/min		
Número de Sedimentadores	2		
T _{RETENCION}	90.6 min	=	1.5 hrs
Alimento al sediment.	0.64 TM/min		
Número de Sedimentadores	1		
T _{RETENCION}	45.3 min	=	0.8 hrs



Cuadro 3.6.4 Equipos para la Planta de Neutralización Dinámica con Relaves

Descripción	N°	HP	Dimensiones, m, pie.			
			ϕ	L	A	H
Tanque de Distribución recubierto con HDPE	1			8	8	8
Tanque de agitación de fierro con neoprene	3	12	<u>11</u>			<u>11</u>
Tanques de Agitación de fierro	4	12	<u>11</u>			<u>11</u>
Hidrociclones D-12	4					
Sedimentador de 12m diam. - 3m alto	2	5	12			3
Tanque Agitador para la lechada de cal	1	3	<u>6</u>			<u>6</u>
Estanque de Emergencia	1			40	40	2.5
Tanque de Floculante	1	3	<u>5</u>			<u>5</u>
Instrumentación						
Tubería HDPE 14"				200		
Bomba Inoxidable/retorno DAM/emergencia 2*21/2	1	9				
Bomba de Conducción del (O/F) 10*8	2	20				
Bomba de diafragma Denver 6" duplex	2	5				
Grupo Electrónico en caso de emergencia	1					
Instalación (Tuberías, Paredes, Conex. Electricas, etc.)						

3.7 Plan de Producción de la Planta

Si bien el rango normal de caudal de efluente ácido varía de 150 a 200 l/s, el dimensionamiento se ha realizado con un factor de seguridad de 1.5.

Es importante tener presente que el tiempo de retención de la planta de neutralización es de 10 minutos, tal que para un caudal mínimo de 150 l/s, solamente sería necesario trabajar con 4 tanques. En el cuadro 3.8.1, podemos observar, el número de tanques necesarios con respecto al caudal que se tiene en ese momento y estación, por lo que el caudal deber ser registrado mensualmente con sus respectivos análisis químicos, considerando a su vez las condiciones físicas que posee, con la finalidad de llevar un registro y control de las características de efluente ácido de mina.

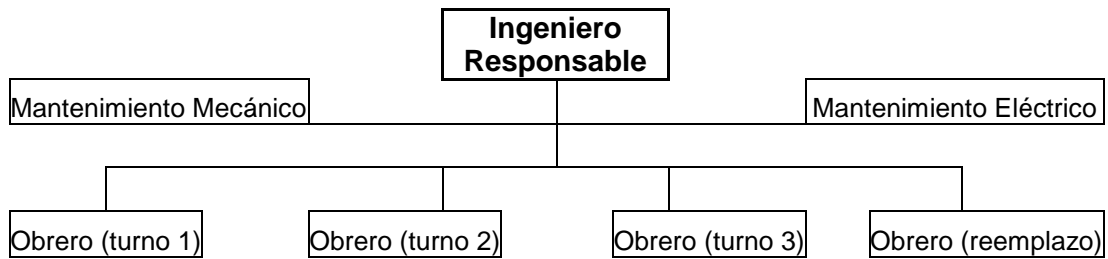
Cuadro 3.8.1

V tanque :	11" * 11" =		29.6 m ³						
Número de Tanques:	4	5	5	6	6	7	7	8	
Q DAM :	150	175	200	225	250	275	300	354	l/s
Q relave fino :	42	42	42	42	42	42	42	42	l/s
T retención :	10.3	11.4	10.19	11.086	10.14	10.9	10.1	10.0	min.

Se puede tratar hasta 354 l/s de efluente ácido de mina, con un tiempo de retención de 10 minutos, con la salvedad de que el under flow del espesador tendría una variación en el porcentaje de sólidos, el cual sería menor, pero que no sería inconveniente, para el proceso.

3.8 Organización.

La Planta de Neutralización estaría encabezada por un Ingeniero, él cual tendrá a su cargo 3 obreros, con un 4to obrero como reemplazo. El mantenimiento eléctrico así como el mantenimiento mecánico estará a cargo de las respectivas secciones en la Planta , pero estarán directamente relacionadas con el Ingeniero Responsable.



IV

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

4.1 Determinación de la Inversión

Lodos de Alta Densidad ó High Density Sludge(HDS)

En el Cuadro 4.1 se presenta los Costos de Inversión de las Plantas de Neutralización mediante Lodos de Alta Densidad, realizados en el Perú, teniendo en una columna el Costo de Inversión de la Planta de Neutralización con Relaves.

Para el caudal tratado de 300 l/s, el costo de una planta de neutralización con lodos de Alta Densidad sería de 3.3 millones de dólares, con un costo de inversión unitaria de 127 \$/m³/día, además a ésta cantidad se le debe agregar el costo de un depósito de lodos.

La Planta de Neutralización Dinámica con Relaves para un caudal de 300 l/s de efluente ácido, tiene un costo de inversión de 600,264 dólares, con un costo de inversión unitaria de 23 \$/m³/día.

Cuadro 4.3 Comparación de los costos de Inversión unitaria

Caudal de Diseño, l/s	Costo de Inversión unitaria, US\$/m ³ /día			
	Quiruvilca	Sta. Luisa	N.D.R	T. Kingsmill
83	558			
100		127		
300			23	
1730				84

4.2 Financiamiento de la Inversión

El financiamiento del proyecto se puede realizar con un préstamo, a una entidad bancaria, en nuestro caso tomaremos por ejemplo el Banco de Crédito, el cual nos ofrece un préstamo por la totalidad de la inversión con una tasa de interés del 12%, pagaderos a 7 años, a partir del sgte. año de la puesta en marcha de la planta de neutralización.

En el acápite 4.5 se hará una evaluación económica financiera.

4.3 Determinación del costo

Costo de Operación

En el Cuadro 4.4, se presenta una comparación entre los costos de operación de la Planta de Neutralización con Lodos de Alta Densidad y la Planta de Neutralización dinámica con relaves.

Lodos de Alta Densidad ó High Density Sludge(HDS)

Según las pruebas de Neutralización con Lodos de Alta densidad, los costos de operación se encuentran entre 0.511 a 0.530 \$/m³. Si tratamos un caudal de 150 l/s (4.73 Mm³/año), el costo de operación será de 2.464 millones de dólares por año.

Cuadro 4.4 Cuadro Comparativo en Costos Operativos entre Planta de Neutralización con Lodos de Alta Densidad y Planta de Neutralización con relaves Mineros

Elementos de Costo	R _{DAM/REL(O/F)} = 7.3		R _{DAM/REL(O/F)} = 6.7		R _{DAM/REL(O/F)} = 6.1		R _{DAM/REL(O/F)} = 5.5	
	Q _{DAM(l/s)} = 300		Q _{DAM(l/s)} = 275		Q _{DAM(l/s)} = 250		Q _{DAM(l/s)} = 225	
	HDS	NDR	HDS	NDR	HDS	NDR	HDS	NDR
Consumo CaO, kg/m ³	1.13	0.76	1.13	0.72	0.98	0.67	0.98	0.62
Floculante, gr/m ³	6.30	0.57	6.30	0.57	6.30	0.57	6.30	0.57
D=H, Tanques, pies	17	11	17	11	17	11	17	11
Cantidad Tanques	10	7	9	7	8	6	8	6
Vol. Tot. Tanques, m ³	1093	207	1002	207	911	178	819	178
Potencia total, Hp	506	114.0	464	114.0	422	104.0	380	104.0
Costo Cal, \$/m ³	0.153	0.103	0.153	0.097	0.132	0.090	0.132	0.084
Consumo Energía, kw-h/m ³	0.297	0.079	0.297	0.086	0.297	0.086	0.297	0.096
Costo Energía, \$/m ³	0.024	0.006	0.024	0.007	0.024	0.007	0.024	0.008
Costo Mantenimiento, \$/m ³	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001
Labor, \$/m ³	0.009	0.005	0.009	0.006	0.010	0.006	0.011	0.007
Floculante, \$/m ³	0.044	0.004	0.044	0.004	0.044	0.004	0.044	0.004
Costo Total, \$/m³	0.530	0.198	0.530	0.201	0.511	0.195	0.512	0.199
Costo relativo, %	100	37	100	38	100	38	100	39

Neutralización Dinámica con Relaves (NDR)

Para el Proceso de Neutralización con relaves, el costo total de operación (cuadro 4.4) fluctúa entre 0.195 y 0.201 \$/m³. Si tratamos un caudal de 150 l/s (4.73 Mm³/año), el costo de operación será de 0.939 millones de dólares por año. Entonces podemos concluir que mediante el uso de la Planta de Neutralización con relave fino y cal, se puede reducir costos de operación a solo 38% del proceso de Neutralización con lodos de alta densidad.

4.4 Determinación de Ingresos

En el Cuadro 4.5., se presenta los costos operativos tanto de los procesos HDS y NDR así como la diferencia entre ellos, el cual viene a ser ingresos, puesto que vienen a ser los ahorros que se obtendrían debido a que de todas maneras se debe realizar una planta de neutralización.

Cuadro 4.5. Comparación de Costos Operativos

NDR		HDS		Q Ingresos	
Q, l/s	M\$/año	Q, l/s	M\$/año	Q, l/s	M\$/año
300	1.88	300	4.93	300	3.05
225	1.41	225	3.70	225	2.29
200	1.25	200	3.29	200	2.03
175	1.10	175	2.87	175	1.78
150	0.94	150	2.46	150	1.52

4.5 Evaluación Económica Financiera

Antes de realizar la evaluación económica a continuación se presenta el escenario sobre el cual se ha realizado la evaluación económica.

Cuadro 4.6 Escenario de la Evaluación Económica

Inversión Total (\$)	600,264
Costo de operación (\$)	1'874,972
Vida Útil de las instalaciones (años)	10
Tipo de depreciación	Suma de Dígitos
Valor de salvamento (\$)	100000
Préstamo (\$)	600,264
Tasa de interés anual (%)	12
Beneficio anual(antes de impuesto, intereses, depreciación (\$)	3'053,484
Tasa de impuestos (%)	40
TMAR (%) anual(excluye inflación)	35
Inflación (%)	10

El costo de operación esta referida cuando la Planta de neutralización trate 300 l/s de efluente ácido. Debido a que una planta de neutralización de efluentes ácidos, no genera ingresos económicos pero si se obtendrían ahorros si es que se tratara el mismo efluente mediante el método HDS (High Density Sludge), por eso, tal ahorro anual se considera como el ingreso que obtendría la planta, puesto que si no aceptara la planta de neutralización con relave se tendría que adoptar el método HDS, con un costo mayor en tanto en el costo de inversión y en el costo de operación.

Tomando como referencia el promedio de la inflación de los últimos 3 años a la actualidad, se tendría que tomar una inflación de 4.2 % (Anuario 2000, Banco Central de Reserva), pero para la evaluación se considerará una inflación expectante del 10% anual durante los próximos 10 años.

El préstamo será por la totalidad del costo de inversión, con una tasa de interés del 12% anual, el cual se acordó liquidar en 7 años, mediante el pago de 7 anualidades cada fin de año, comenzando a pagar un año después de recibirlo.

La evaluación financiera económica se presenta en el cuadro 4.7. de la cual se puede decir lo siguiente.

Si bien en el cuadro 4.7, se presenta dos casos; en el primero de los cuales es con financiamiento y en el segundo es sin financiamiento, en ambos casos el VPN resulta positivos, con lo que nos indica que el proyecto es rentable.

Es importante destacar que el valor positivo del VPN, nos indica la ganancia extra que se obtendría luego de haber realizado los pagos del préstamo y los intereses que se originaron. Por lo que sí conviene invertir en este proyecto de neutralización de efluentes ácidos de mina con relaves, dada las expectativas de ganancias (ahorros) con respecto al método de neutralización con lodos de alta densidad.

Cuadro 4.7 Evaluación Financiera Económica

Inversión Total (\$) **600264**
 Costo de operación (\$) **1874972**
 Vida Util de las instalaciones (años) **10**
 Tipo de depreciación **Suma de Digitos**
 Valor de salvamento (\$) **100000**

Préstamo (\$) **600264 años**
 Tasa de interes anual (%) **12 %**

Beneficio anual(antes de impuesto, intereses,depreciación) (\$) **3053484**
 Tasa de impuestos (%) **40 %**
 TMAR (%) anual(excluye inflacion) **35 %**
 Inflación (%) **10 %**

Préstamo =	600264			
Tasa de int=	12			
n (años) =	7			
Pago anual:	131528.5			
Año	Interés	Anualidad	Pago Principal	Deuda luego del pago
1	72032	131528	59497	540767
2	64892	131528	66636	474131
3	56896	131528	74633	399498
4	47940	131528	83589	315909
5	37909	131528	93619	222290
6	26675	131528	104854	117436
7	14092	131528	117436	0

Opción 1
 Pagar una cantidad igual cada año a lo largo de **7** años comenzando a pagar un año después de obtener el financiamiento.

Opción 2

Sin Financiamiento

Con Financiamiento TMAR': 0.3535

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficio(+)	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484
Costo(-)	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972
Deprecia(-)	90957	81861	72766	63670	54574	45479	36383	27287	18191	9096
Interes (-)	72032	64892	56896	47940	37909	26675	14092			
U.A.I.	1015523	1031758	1048850	1066902	1086028	1106358	1128036	1151224	1160320	1169416
Impues(-)	406209	412703	419540	426761	434411	442543	451214	460490	464128	467766
Deprecia(+)	90957	81861	72766	63670	54574	45479	36383	27287	18191	9096
PagoPrinci(-)	59497	66636	74633	83589	93619	104854	117436			
FNE	640774	634280	627443	620222	612572	604440	595768	718022	714383	710745
FNE*Inflación	704851	697708	690187	682244	673829	664884	655345	789824	785822	781820

VPN = 1882892

Sin Financiamiento

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficio(+)	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484	3053484
Costo(-)	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972	1874972
Deprecia(-)	90957	81861	72766	63670	54574	45479	36383	27287	18191	9096
U.A.I.	1087554	1096650	1105746	1114841	1123937	1133033	1142129	1151224	1160320	1169416
Impues(-)	435022	438660	442298	445937	449575	453213	456851	460490	464128	467766
Deprecia(+)	90957	81861	72766	63670	54574	45479	36383	27287	18191	9096
FNE	743490	739851	736213	732575	728937	725298	721660	718022	714383	710745
FNE*Inflación	817839	813837	809834	805832	801830	797828	793826	789824	785822	781820

VPN = 1581018

V

ASPECTOS AMBIENTALES DEL SISTEMA

5.1 Diagnóstico Ambiental (pasivos y actuales)

Es de suma importancia caracterizar el relave que se está enviando a la cancha de relaves, por lo que a partir de ello es que se debe realizar un debido plan de cierre. En nuestro caso el relave posee un NNP negativo con lo que nos indica que es generador de ácido.

5.2 Elaboración del Plan de Contingencia durante la operación

La paralización de una Planta de Neutralización la cual trata un efluente ácido ocasionaría grandes daños al medio ambiente con una contaminación a gran escala por el caudal que se esta tratando, por lo cual es que en esta parte, el objetivo del Plan de Contingencias es el de mencionar las medidas que se

deben tomar en caso de que suceda algunos de los casos que se presenten más adelante.

En el caso de que por cualquier motivo, exista un **Corte de Energía** en la planta de neutralización; el flujo debe ser dirigido hacia el tanque de emergencia, el cual posee un volumen de 4000 m³, puede abastecer el efluente ácido durante 3.7 horas, para el caudal de 300 l/s (18m³/min); mientras que si esto sucede cuando el caudal sea de 225 l/s (13.5m³/min) el tanque de emergencia podría recibir el efluente ácido durante 4.9 horas. Este tiempo en el cual es derivado el efluente ácido al tanque de emergencia se debe poner en funcionamiento el grupo electrógeno y reiniciar la Planta. Con el corte energía, además no se podrá contar con pulpa de relave fino ni lechada de cal, para lo cual se debe de disponer 2 tolvas, en las cuales se deben tener almacenado 35 toneladas de caliza molida (-m200) y la otra tolva con 10 toneladas de cal, las cuales nos permite operar la planta durante de 12 horas con un caudal de 300l/s. Si la emergencia continúa mas de 12 horas, la caliza puede ser reemplazada por relave seco grueso (U/F) anteriormente separado cuando se encontraba funcionando el hidrociclón, mientras que la tolva de cal puede ser alimentado.

En el caso de que exista una **Parada Intempestiva en la Planta Concentradora**, es decir que no haya relave ni lechada de cal, en este caso se podría poner en funcionamiento los sistemas de alimentación de la caliza y de la cal actuando como aglomerante y neutralizante respectivamente.

Con respecto al **Mantenimiento de los Tanques**, se debe realizar continuamente, puesto que siempre existe un tanque(s) en Stand by, por ejemplo existirá un tanque en stand by (Tanque8) cuando se trate el pico más alto de 300 l/s, y si estuviese trabajando con un caudal de 225 l/s, tendríamos dos tanques en stand by, por los que en esos momentos se debe estar realizando inspección y mantenimiento a los tanques, en estos dos casos se debe tener presente que los caudales se encuentran con un factor de seguridad de 1.5

En el caso de **Falla de los Tanques de Agitación**, la planta esta diseñada para que siempre uno o dos tanques se encuentren en stand by dependiendo del caudal tratado, por lo cual se puede realizar puentes mientras se va arreglando la falla del tanque.

En caso ocurra un **Caudal Inesperado de 750 l/s**, se tendría que usar los 8 tanques y el tanque de emergencia, que presenta el sistema, tratando con tiempo de retención de 5 minutos incrementando el consumo de cal y floculante, con una menor densidad de pulpa en el U/F del espesador.

5.3 Plan de Cierre : Cronograma de actividades y financiamiento

Respecto al cierre de la mina, se debe considerar las diversas alternativas que se tiene para el cierre de las labores mineras con la finalidad de garantizar que

no ocurrirá drenaje ácido y que el efluente resultante reportará concentraciones de metales menores a los Límites Máximos Permisibles y que tampoco se afectará la calidad de las aguas subterráneas. A continuación se analiza una breve descripción de los diversos métodos de cierre de mina que en la actualidad son llevados a cabo.

Sellado Simple de todos los accesos a las labores subterráneas sin rellenar espacios vacíos, este método se refiere al sellado y cercado simple de las labores para impedir el acceso de personas y animales al interior de la mina, pero no restringe el ingreso de aire y/o agua ni la descarga de efluentes.

Este método de Cierre es muy simple y de costo reducido; se practica en el caso de minas pequeñas, con poco contenido de sulfuros y emplazadas en rocas consumidoras de ácido, o en lugares con climas áridos. Este método tendría que ser complementado con la instalación y operación permanente de una Planta de Tratamiento de efluente ácidos, cuyo costo supera al ahorro inicial de un método simple.

Sellado Competente de todos los accesos a las labores subterráneas sin rellenar espacios vacíos, este método se realiza construyendo tapones de concreto armado en todos los accesos, para evitar o inhibir el ingreso de aire y de ese modo reducir la oxidación y generación del drenaje de ácido. Como consecuencia de este sellado las labores de los niveles inferiores se inundan completamente.

La principal ventaja de este método es su simplicidad y costo relativamente bajo porque las obras de sellado se hacen cerca de superficie.

Las principales desventajas de este método son:

- La estabilidad física es limitada; puede ocurrir hundimiento y colapso de las labores
- La estabilidad química es también limitada porque el agua de infiltración transporta oxígeno, en el largo plazo los tapones pueden destruirse y permitir el acceso permanente de aire. Las labores son demasiado extensas para garantizar un cierre hermético. Las labores superiores al nivel freático son susceptibles de oxidación.
- La inundación de la mina crea una presión muy elevada que pone en riesgo la propia estabilidad física de las labores

Relleno de las labores con Relleno en Pasta Cementado, en esta opción se rellenan tanto los espacios vacíos creados durante la explotación actual como aquellos generados en el pasado; se rellenan también todas las galerías de servicio, piques, etc. Esta opción es posible con el empleo de Relleno en Pasta (RP) que en este caso se realizaría con el relave grueso sobrante que no se usaría para la elevación del dique de la cancha de relaves.

La única desventaja de este método es su alto costo de operación porque el emplazamiento de relave fino requiere la adición de cemento (de 1 a 2 %),

aunque en nuestro caso solamente usaríamos relaves grueso y el bombeo de pulpa de relave a lugares muy elevados. Puede argumentarse también que el relave sufrirá oxidación y generará ácido en el largo plazo.

Las ventajas de este método superan largamente los inconvenientes indicados arriba:

- Se mejora notablemente el sostenimiento de las labores porque se rellena los espacios con un material apropiado (relleno cementado)
- Se inhibe la generación de drenaje ácido porque el relleno en pasta cubre la gran extensión del área interna de la mina que de otro modo está expuesta al aire, agua con la consiguiente generación de ácido. Esta cobertura no depende de las variaciones estacionales del nivel freático y entonces garantiza, en forma permanente, la estabilidad química del relleno y de la mina.
- El relave emplazado en la mina goza de gran estabilidad química, gracias a su alcalinidad, humedad residual y baja permeabilidad, reduciendo proporcionalmente la generación de drenaje ácido que ocurriría de haberse emplazado en la presa de Relaves. Este método permite emplazar preferencialmente el relave piritoso y de ese modo evitar la generación de ácido en la Presa.
- El emplazamiento intensivo de relave en interior mina reduce el volumen del mismo que será emplazado en la Presa; se reduce entonces el costo de bombeo y emplazamiento del relave en superficie.

Por las ventajas directas que ofrece con respecto a la Estabilidad Física y Química de las labores subterráneas en el corto y largo plazo, y su influencia en el impacto ambiental, la Opción de Relleno Total con Relleno en Pasta resulta notablemente mejor que las otras opciones y será preferencialmente empleada para el Cierre; no se descarta que esta opción se complemente con relleno hidráulico convencional.

Con respecto a la estabilidad química de la presa de relaves se mencionan las siguientes opciones

Sumergimiento Parcial o Total, Esta posibilidad consiste en sumergir tanto el dique así como la zona de finos dependiendo este método de la localización de la cancha de relaves, así como el método de control extremo como es la sumergencia

Encapsulamiento Total con Coberturas Complejas, la práctica adoptada en otras latitudes para el Cierre de Presas de Relaves que generan ácido es la del encapsulamiento total (Dique y Zona de Finos) mediante coberturas de diseño complejo compuestas por 5 capas de diferentes materiales naturales con propiedades que van desde alta a baja permeabilidad y capacidad neutralizante (caliza); este tipo de coberturas implica un espesor adicional en el orden de 1.4 m (figura 5.1) y sin embargo pueden fallar en eventos sísmicos extremos, requiriendo una costosa reparación en el futuro, también requiere grandes

volúmenes de material de empréstito que ocasiona efectos ambientales negativos en otras áreas. El costo es del orden de 8 US\$/m²).

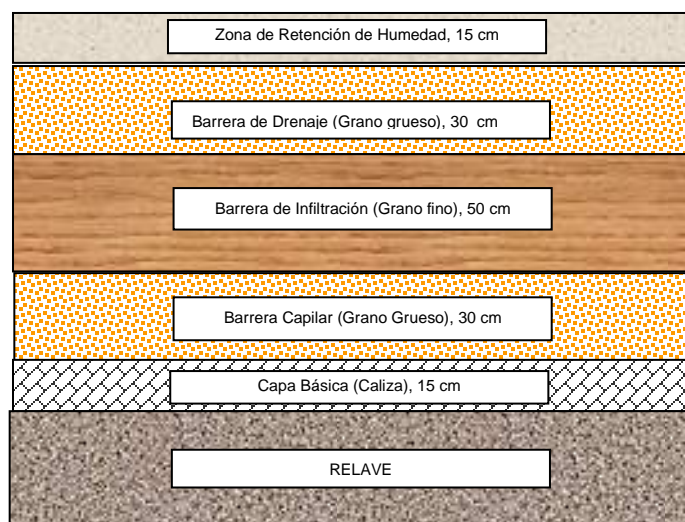


Figura 5.1 Encapsulamiento Total con Coberturas Complejas

El material sintético (geomembranas), en los últimos años ha reemplazado a los materiales naturales reduciendo notablemente el espesor de la cobertura (a 0.40 m) y garantiza un mejor comportamiento frente a eventos sísmicos que eliminan la necesidad de mantenimiento en el largo plazo. El costo de esta opción es sin embargo elevada, en el orden de 13 US\$/m². También puede considerarse una combinación de materiales naturales y sintéticos para reducir el costo sin perder su eficiencia.

Encapsulamiento Total o Parcial con Coberturas Simples, la caracterización adecuada del relave en las diferentes zonas de la presa permite considerar (C. Villachica, 1996, 1997) coberturas más simples en la zona de Finos en vista de las marcadas diferencias existentes entre su NNP y el del Dique. Esta opción

ha sido omitida en el pasado porque se ha asumido que todas las zonas del depósito de relaves tienen un comportamiento geoquímico similar. La cobertura simple solo consta de 2 capas, cobertura vegetal y material de suelo natural, con un costo unitario en el orden de 2 US\$/m². Otra ventaja de este tipo de cobertura es que en caso de falla su reparación es simple y de muy bajo costo, y las fallas no tienen en todo caso consecuencias graves porque el substrato de relaves tiene un NNP aceptable. Este tipo de coberturas no pueden ser aplicados directamente a la zona del dique cuando se tiene un alto valor negativo del NNP.

Empleo de Agentes Bactericidas para inhibir el Drenaje Ácido, el uso de bactericidas es un método preventivo para evitar el drenaje ácido y está documentado tanto en el ámbito internacional y ya ha sido aplicado en el Perú, precisamente en el Cierre de dos de los Depósitos de Relaves de Casapalca de CENTROMIN (Antuquito y Yauliyacu Antiguo).

Se ha comprobado que la oxidación de la pirita ocurre con una cinética moderada en ausencia de actividad bacterial, y en esas condiciones la extensión del drenaje ácido es tal que la dilución con el caudal del efluente minimiza su impacto negativo, especialmente en casos de relaves con contenido de bajo a medio de sulfuros. Cuando la actividad bacterial se desarrolla (por debajo de pH 3) la velocidad de oxidación de la pirita se incrementa de 500 mil a 1 millón de veces y el drenaje se vuelve muy difícil de controlar. ProMac es un agente bactericida que

tiene un doble efecto: el primero de ellos es inhibir el desarrollo de las bacterias oxidantes (*thiobacillus ferrooxidans*) mientras permite el desarrollo de las bacterias reductoras que fijan nutrientes en el suelo y permiten un desarrollo sostenido de la vegetación; este desarrollo crea a su vez condiciones reductoras que inhiben el drenaje ácido en forma definitiva. El ProMac es un agente sólido en forma de "pelets" que se adiciona junta con la cobertura de suelo, y actúa durante 6 a 7 años, tiempo considerado suficiente para el desarrollo de la vegetación.

La aplicación "estándar" del bactericida está en el orden de 0.15 Kg/m² de cobertura, a un costo estimado en 1.10 US\$/m². En nuestro caso donde su aplicación resulta conveniente tanto en la zona de fino como en el dique, complementado por una cobertura simple, de forma similar en el caso de la Presa de Chinchán. El Costo estimado en este caso es 2.6 US\$/m². Esta opción simplifica enormemente el manipuleo de materiales al reducir la complejidad de la cobertura y garantiza un desarrollo sostenido en el largo plazo que no requiere de mantenimiento ni supervisión independientemente de la ocurrencia de eventos extremos.

Habiéndose tratado los diversos métodos de cierre de mina y de la cancha de relaves pasaremos a continuación a tratar el cierre de la Planta de Tratamiento de Neutralización.

Debido a que la vida de la Planta de neutralización tiene la misma vida de la Planta Metalúrgica, tanto el desmantelamiento y traslado de la Planta de

Neutralización se puede realizar junto con el cierre de la Planta Metalúrgica; lo cual puede llevarse a cabo durante dos a tres años.

El equipo y la instrumentación usada en la Planta de Neutralización con relaves, pueden ser llevadas a otra unidad que tenga los mismos problemas ambientales con lo cual se puede aprovechar al máximo los equipos. La demolición de las instalaciones usadas puede llevarse a la par también con el cierre de la planta metalúrgica. El desarrollo agrícola en la zona de la planta de neutralización, puede darse hasta los dos años siguientes de haberse realizado el cierre de la planta.

Mencionaremos a continuación los monitoreos que se debe realizar dentro del plan de cierre de la Planta de Neutralización:

- Monitoreo de la Estabilidad Física y Química de las Labores Mineras
- Monitoreo de la Estabilidad Física y Química de la Cancha de relaves
- Monitoreo del éxito de la revegetación en el depósito de relaves

El Cronograma de actividades del cierre de la Planta de Neutralización se presenta en el cuadro 5.1 . La ejecución del cierre de la Planta de Neutralización debe darse luego de haberse culminado el proceso de producción de la Planta Concentradora por encontrarse tan íntimamente ligadas.

Respecto al financiamiento del plan de cierre, este debe estar considerado dentro de las acciones a tomar junto con la Planta Concentradora, con lo cual se tendrá un plan de cierre general.

VI

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado 191 Pruebas de Laboratorio y 285 Análisis Químicos, mis conclusiones son las siguientes:

- Se ha demostrado en pruebas de laboratorio y en planta piloto que el uso del relave minero de la flotación de zinc como medio neutralizante, coagulante y aglomerante de efluentes ácidos de mina es técnica y económicamente viable.
- El mayor poder neutralizante del relave lo contiene la granulometría fina.
- La tesis se ha realizado en función del contenido de zinc en la solución, debido a que este metal precipita a un mayor pH que los demás metales que se encuentran regulados por el Ministerio de Energía y Minas.

- En el efluente ácido de mina tratado, a un pH de 8.5, el contenido de zinc en la solución es de 0.8 ppm, lo que es aceptable, por que se encuentra debajo de los límites máximos permisibles.
- La granulometría fina se obtiene mediante el hidrociclón D-12, con el que se obtiene un d50 de 35 μm , con la que se consigue tener un buen poder neutralizante y aglomerante.
- El tiempo de retención necesario en los tanques de agitación es de 10 minutos; distribuidos en los primeros 5 minutos de agitación con el relave y luego los últimos 5 minutos para llegar a un pH de 8.5 con lechada de cal; la cantidad de tanques en funcionamiento dependerá directamente del caudal a tratar, lo cual debe variar según la estación.
- Para un caudal de 300l/s, la inversión que se tendrá que realizar mediante el proceso de Neutralización con Lodos de Alta Densidad(HDS) será de 3.30 M\$, y en el proceso de Neutralización con relave fino será de \$ 0.60M\$; mientras que en la parte operativa los costos serán de 4.93 M\$ y 1.87 M\$ respectivamente.
- La evaluación económica financiera determinó que el VPN es positivo, lo que nos indica, la ganancia extra que se obtendría luego de haber realizado los pagos del préstamo y los intereses que se originaron. Resulta por lo tanto conveniente invertir en este proyecto de

neutralización de efluentes ácidos de mina con relaves, dada las expectativas de ganancias (ahorros) con respecto al método de neutralización con lodos de alta densidad (HDS).

VII

RECOMENDACIONES

- Es conveniente indagar las posibilidades de separar, especialmente las aguas de mina de pH menores a 3.5 y las de pH neutro, con la finalidad de aprovechar más eficientemente su utilización como agua de proceso.
- Cada efluente tiene sus propias características físicas y químicas, por lo que se debe realizar un monitoreo mensual de los efluentes registrando sus características con la finalidad de que al momento de realizar el estudio de tratamiento se pueda contar con todos los elementos e información necesaria para realizar un buen estudio.
- Las pruebas de laboratorio siempre se deben llevar a un pilotaje con lo cual se verifica, corrige y modifica algunos puntos que pueden variar a nivel laboratorio.

- Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y de pilotaje, proponiendo una nueva alternativa en el tratamiento de efluentes ácidos de mina son muy alentadores, por lo que es necesario continuar con los trabajos de investigación.

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, L. Matijevic, E. Journal of Colloid and Interface Science, 33, 420-429.
2. Bonelli Julio, Ing Proyecto Minería y Medio Ambiente – Proyecto PALMA.
3. Brañes Henry, Pulpas en minería-Minas y Metalurgia, 1984
4. Castro, Ana Rosa Blga., Aspectos Microbiológicos presentes en los relaves mineros y sus efluentes.
5. Chopey Nicholas P., Handbook of Chemical Engineering Calculations, Second Edition
6. CONSULCONT S.A.C. Manual de Equipos de Metalurgia y Minas.,2000
7. CONSULCONT S.A.C. Cotizaciones de Equipos y Reactivos de Metalurgia y Minas, 2000
8. CONSULCONT S.A.C. Neutralización Dinámica con Relaves, 2000
9. De Lora Soria F.- Miro Echevarría, Técnicas de Defensa del Medio Ambiente, Editorial LABOR S.A., Bogota.
- 10.D.G.A.A. M.E.M. Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina, Mayo 1995
- 11.D.G.A.A. M.E.M. Guía para el manejo de relaves de minas y concentrados, Julio 1995.
- 12.Lawrence R. – Stephen Day , Chemical Prediction Techniques for ARD , Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Canada 1997
- 13.León Eleuterio, Curso : Diseño de Plantas II Universidad Nacional de Ingeniería, 1999
- 14.Martínez Armando A., Introducción a la Química de Superficies y Coloides Editorial ALAMBRA -España 1977.
- 15.Parks, George A., The Isoelectric Points of Solid Oxides, Solid Hydroxides, and Aqueous Hydroxo Complex Systems, Stanford University, 1964

16. Quiroz Iván, Curso : Concentración de Minerales III, Universidad Nacional de Ingeniería, 1999
17. Ramhalo R.S., Tratamiento de Aguas Residuales, Faculty of Science and Engineering Laval University – Québec Canadá 1996
18. Smallvill Multiservice S.A.C. Plan de cierre de mina Yauliyacu, Marzo 2000
19. Snoeyink, Vernon y David Jenkins, Química del agua, LIMUSA 1987
20. Toral, Maria Teresa, Físico-Química de Superficies y Sistemas Dispersos, Editorial URMO-España 1973
21. U.S. Environmental Protection Agency, Technical Document : Acid Mine drainage Prediction.
22. Vick Steven G., Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams, Tech Publishers LTD, 1990
23. Villachica L, Carlos -Systems for the control and prevention of acid drainage in Peruvian tailings dams.-International Mining and Environmental Congress / Lima-Peru, Julio 1999
24. Villachica L, Carlos -Electrokinetical Studies on Quartz, Ferberite and Siderite, Montana College of Mineral Science and Technology –USA 1976
25. Wasp E.- Kenny J.-Gandhi R., Solid-Liquid Flow - Slurry Pipeline Transportation. USA, 1979.
26. Zhenghe Xu-Fereshteh Rashchi and James A. Finch – Adsorption on silica in Pb-and Ca-SO₄-CO₃ systems. Department of mining and Metallurgical Engineering. McGill University, Montreal-Canada.

PANEL FOTOGRAFICO

Foto N° 1 Reducción del volumen ocupado por los lodos de neutralización después de mezclarse con la pulpa del relave de flotación.

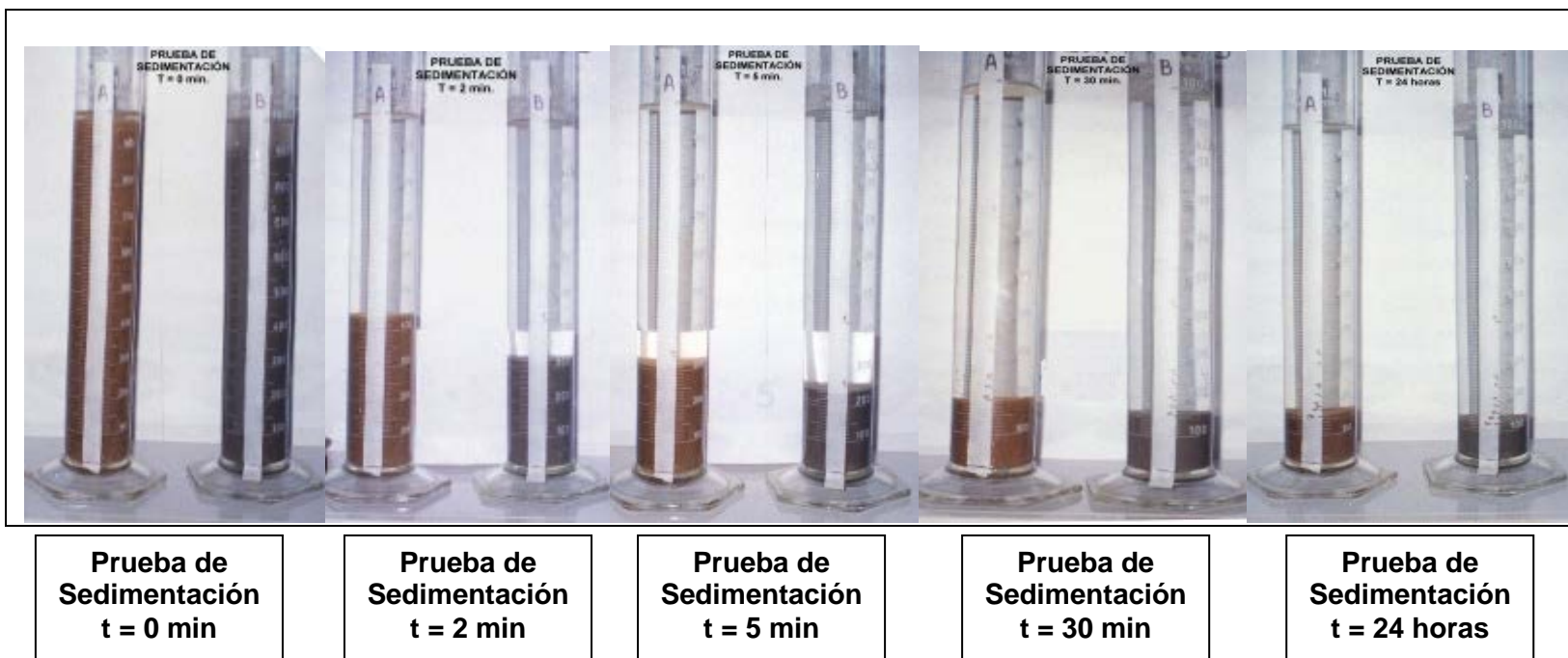




Foto 2 Río contaminado por efluente ácido de mina - Perú



Foto 3 Drenaje ácido de mina en los Andes - Perú



Foto 4 Drenaje ácido de mina en Clear Creek, Colorado - USA

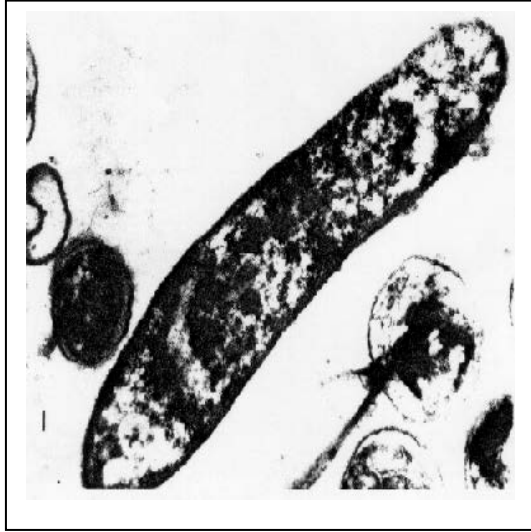


Foto 5
T. Ferrooxidans
observado mediante
un microscopio a un
aumento de 30000X



Foto 6
Medición del pH del
efluente ácido



Foto 7
Equipos usados en las
pruebas de neutralización
de efluente ácido de mina



Foto 8
Equipo de filtro al vacío

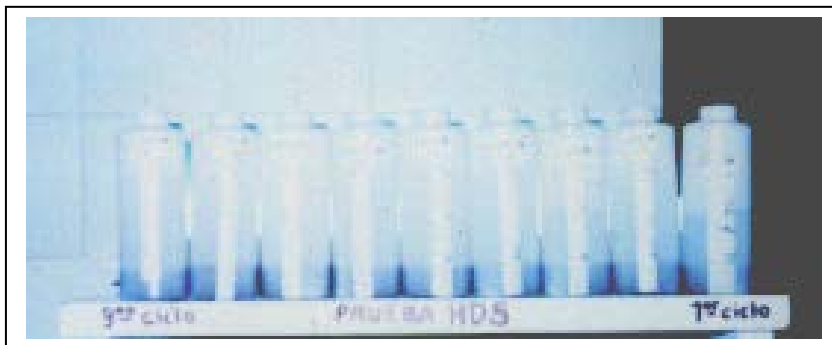


Foto 9 Prueba HDS - Desde el 1er ciclo hasta el 9no ciclo





Foto 11 Planta Piloto – Neutralización Dinámica con relaves



Foto 12 Espesador Piloto

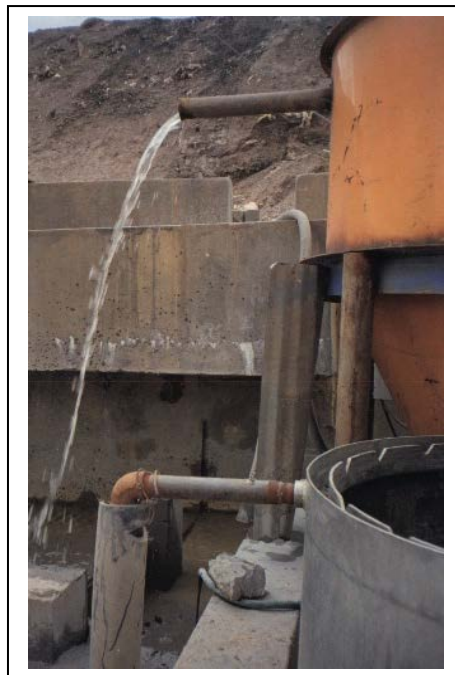


Foto 13 Sedimentador Piloto