

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**



**INGENIERIA PARA EL DISEÑO DE CONDICIONES  
OPERATIVAS DE FILTRO LAROX PF CON CONCENTRADOS  
DE Cu y Zn**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de  
INGENIERO METALURGISTA**

**RUTH NOEMI POLINARIO CASIMIRO**

**LIMA- PERU**

**2009**

## RESUMEN

La teoría de filtración es valiosa en la interpretación de análisis de laboratorio con el objeto de buscar condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales.

El objetivo de la Tesis es plantear una optimización del proceso de filtración aplicando la teoría, usando el filtro Larox PF 0.1 m<sup>2</sup> para la realización de todas las pruebas y así anticiparse a cualquier cambio de parámetros en el proceso que afecten las condiciones de trabajo. Así mismo el desarrollo de las pruebas ayudará a validar, desarrollar y/o completar fórmulas de filtración, sobre todo en la etapa de formación, analizando cada parámetro que intervenga en los modelos de filtrado seleccionados.

La filtración de concentrados, se sabe, es una operación complicada. Un estudio con cuatro tipos diferentes de pulpas nos lo confirmó, y con el objetivo de optimizar la filtración se hizo uso de ayudas filtrantes, tales como surfactantes, a fin de incrementar la capacidad del filtro y/o reducir la humedad en los concentrados de cobre.

Se usaron dos modelos, Concha y Holdich para la evaluación de la fase de formación del queque, los cuales fueron evaluados y mostraron el menor error comparado con la operación.

Durante el proceso de análisis se observó que las fórmulas de ambos modelos no brindan como resultados el peso de queque al final del proceso, en cambio ofrecen como resultado el peso de queque totalmente seco y establecen la humedad mediante otra fórmula. En este trabajo se ha calculado mediante el peso de queque con humedad residual con una fórmula modificada.

Para desarrollar la investigación se trabajó con pruebas y gráficos, y se notó que el presionado muestra un perfil de comportamiento lineal en una parte, lo que válida la correlación; por lo tanto, se usó el modelo de Concha para la etapa de formación y de esta manera se calcularon los valores de permeabilidad y resistencia en esta etapa y la de secado que fueron útiles para los cálculos y obtención de las fórmulas.

# **PREFACIO**

Yo, RUTH NOEMÍ POLINARIO CASIMIRO, declaro que este es mi Trabajo.

**Ruth Noemí Polinario Casimiro**

# AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento y aprecio a las siguientes personas y organizaciones por su contribución a este Trabajo:

A Larox Sucursal Perú y a todos quienes conforman su staff de Ingenieros; gracias por brindarme su apoyo teórico, práctico y prestarme sus instalaciones para las pruebas de filtración.

Ingeniero Aarón Morales Flores, por su orientación y dedicado apoyo.

A mis asesores de Tesis, por brindarme tiempo y apoyo.

A La Universidad Nacional de Ingeniería; por apoyarme y facilitarme el uso de sus Equipos de Laboratorio. Así mismo, le agradezco; por ser mi cuna de estudios y ayudarme incondicionalmente durante toda mi formación profesional.

A las diversas empresas mineras; por responder a mi solicitud con material para realizar pruebas.

A mi hija, mis padres y hermanos; por su paciencia.

# ÍNDICE

Lista de Gráficos	viii
Lista de Tablas	xi
Nomenclatura	xiv
Capítulo I: Fundamento de la Evaluación	1-1
1.1. Modelos Aplicables	1-1
1.2. Objetivos	1-2
1.3. Hipótesis	1-2
1.4. Justificación	1-3
Capítulo II: Resumen de Modelos Matemáticos	2-1
2.1 Comparación de Modelos Matemáticos Aplicados al Proceso de Filtrado	2-1
2.1.1 Modelo Hagen – Poiseuille's	2-1
2.1.1.1 influencia del tamaño de partícula.	2-2
2.1.1.2 influencia de la viscosidad.	2-3
2.1.1.3 influencia del espesor de queque.	2-3
2.1.1.4 influencia de la presión.	2-4
2.1.2 Modelo Tiller	2-6
2.1.2.1 teorías.	2-6
2.1.2.1.A análisis de procedimiento de filtrado por el método convencional.	2-6
2.1.2.1.B predicción teórica de la resistencia específica media del queque durante el periodo inicial.	2-7
2.1.2.1.C método de cálculo	2-10
2.1.3 Modelo Holdich	2-11
2.1.4 Modelo Concha	2-13
2.1.4.1 ecuaciones para la operación de filtrado	2-16
2.2 Comparación: Diferencias entre los Modelos	2-18

Capítulo III: Resumen De Las Teorías Utilizadas	3-1
3.1 Historia	3-1
3.2 Aspecto Teórico del Proceso	3-2
3.2.1 Mecanismo del Proceso de Filtrado	3-2
3.2.2 Proceso de Filtrado y Filtro	3-3
3.2.2.1 funcionamiento de un filtro.	3-3
3.2.2.2 filtrado a presión.	3-4
3.2.2.2.1 ayudas para el filtrado.	3-4
3.3 Variables Independientes	3-5
3.3.1 Variables de la Pulpa	3-5
3.3.1.1. características de pulpa.	3-5
3.3.1.2. porcentaje de sólidos en la pulpa.	3-5
3.3.1.3. granulometría.	3-6
3.3.1.4. pH de la pulpa.	3-6
3.3.1.5. temperatura de la pulpa.	3-7
3.3.1.6. viscosidad de la pulpa.	3-7
3.3.1.7 permeabilidad del queque.	3-7
3.3.2 Variables del Filtro	3-8
3.3.2.1. flujo de alimentación.	3-8
3.3.2.2. diferencial de presión.	3-9
3.3.3 Variables del Medio Filtrante	3-10
3.3.3.1. teorías sobre el medio filtrante.	3-10
3.3.3.2. espesor de la tela.	3-11
3.3.3.3. permeabilidad de la tela.	3-11
3.4 Variables Dependientes	3-12
3.4.1 Capacidad Unitaria	3-12
3.4.2 Tiempo de Filtrado	3-12
3.4.3 Tiempo de Secado	3-13
3.4.4 Volumen de Licor Filtrado	3-13
3.4.5 Masa del Queque	3-13
3.4.6 Espesor del Queque	3-13

3.4.7 <i>Humedad</i>	3-13
3.4.8 <i>Flujo del Licor de Filtrado</i>	3-14
Capítulo IV: Evaluación de un Ciclo de Filtrado en el Filtro Larox PF	4-1
4.1 <i>Fundamento Teórico</i>	4-1
4.2 <i>Descripción del Filtro Larox PF Industrial</i>	4-2
4.2.1 <i>Descripción del Filtro Automático de Presión Larox</i>	4-2
4.2.2 <i>Partes del Filtro Larox</i>	4-3
4.2.2.1 <i>estructura.</i>	4-3
4.2.2.2 <i>tela de filtración.</i>	4-4
4.2.2.3 <i>cámara.</i>	4-5
4.2.2.4 <i>adicionales.</i>	4-6
4.3 <i>Descripción del Ciclo de Filtrado</i>	4-6
4.3.1 <i>Secuencia de Operación</i>	4-7
4.3.1.1 <i>alimentación.</i>	4-7
4.3.1.2 <i>presionado .</i>	4-7
4.3.1.3 <i>lavado (opcional).</i>	4-9
4.3.1.4 <i>presionado II (opcional).</i>	4-9
4.3.1.5 <i>secado del queque</i>	4-10
4.3.1.6 <i>descarga del queque.</i>	4-11
4.4 <i>Descripción del Filtro Larox PF 0.1</i>	4-12
4.4.1 <i>Diagrama del Filtro PF 0.1</i>	4-12
4.4.2 <i>Sistema de Funcionamiento del Filtro Larox PF 0.1</i>	4-12
4.4.2.1 <i>requerimientos de la unidad.</i>	4-12
4.5 <i>Optimización del Funcionamiento del Filtro Larox</i>	4-15
Capítulo V: Selección de los Parámetros del Proceso	5-1
5.1 <i>Objetivo</i>	5-2
5.2 <i>Justificación</i>	5-2
Capítulo VI: Planificación de Pruebas	6-1
6.1 <i>Pruebas de Laboratorio</i>	6-1
6.1.1 <i>Teoría Involucrada en las Pruebas</i>	6-1
6.1.2 <i>Ensayes de Laboratorio</i>	6-3
6.1.2.1 <i>ensayes.</i>	6-3
6.2 <i>Problemas en la Toma de Datos en un Proceso de Filtrado</i>	6-5



6.3	<i>Cálculos Rápidos</i>	6-5
Capítulo VII: Datos y Resultados en Pruebas con Filtro Larox PF 0.1		7-1
7.1	<i>Presentación de Resultados en la Hoja de Prueba: concentrado de Cobre</i>	7-2
7.2	<i>Presentación de Resultados en la Hoja de Prueba: concentrado de Zinc I</i>	7-4
7.3	<i>Presentación de Resultados en la Hoja de Prueba: concentrado de Zinc II</i>	7-5
7.4	<i>Presentación de Resultados en la Hoja de Prueba: concentrado de Zinc III</i>	7-6
7.5	<i>Análisis de Resultados de las Pruebas con Concentrados de Cobre, Zinc I, Zinc II y Zinc III.</i>	7-7
7.6	<i>Resultados de las Pruebas usando Ayudas en el Proceso – Surfactante</i>	7-8
7.6.1	<i>Tendencias de las Variaciones a la Capacidad y Humedad en Muestra de Concentrados de Cobre con Diferentes Concentraciones de Reactivos</i>	7-9
7.7	<i>Optimización de Tiempos en Cada Etapa del Filtrado</i>	7-11
7.7.1	<i>Resultados de Optimización en Pruebas</i>	7-12
7.7.1.1	<i>para concentrado de cobre.</i>	7-12
7.7.1.2	<i>para concentrado de zinc I.</i>	7-14
7.7.1.3	<i>para concentrado de zinc II.</i>	7-16
7.7.1.4	<i>para concentrado de zinc III.</i>	7-18
Capítulo VIII: Fórmulas Modificadas - Aplicación		8-1
8.1	<i>Fórmula: Masa de Queque en Formación</i>	8-1
8.2	<i>Fórmula: Masa de Queque al Final del Ciclo de Filtrado</i>	8-5
8.2.1	<i>Cálculo de Masa del Queque al Final del Ciclo de Filtrado con la Determinación del Espesor Final</i>	8-6
8.3	<i>Resultados Utilizando los Modelos establecidos y las Fórmulas Modificadas</i>	8-8
8.3.1	<i>Resultados para Concentrado de Cobre</i>	8-8
8.3.2	<i>Resultados para Concentrado de Zinc I</i>	8-10

8.3.3 <i>Resultados para Concentrado de Zinc II</i>	8-11
8.3.4 <i>Resultados para Concentrado de Zinc III</i>	8-12
8.4 <i>Análisis e Interpretación de Resultados</i>	8-13
Capítulo IX: <i>Análisis Costo - Beneficio</i>	9-1
9.1 <i>Teoría</i>	9-1
9.2 <i>Selección del Equipo</i>	9-2
9.3 <i>Costos en el Filtrado de Concentrados</i>	9-3
9.3.1 <i>Ejemplo Caso C – Concentrado de Zinc II</i>	9-3
9.3.2 <i>Comparación Conceptual de Costos de Operación</i>	9-8
9.3.3 <i>Comparación Operativa Conceptual entre Filtros a Presión</i>	9-12
9.4 <i>Costos Directos de Inversión</i>	9-19
9.5 <i>Costos Directos de Operación</i>	9-19
Capítulo X: <i>Resultados</i>	10-1
10.1 <i>Determinación de la Densidad de Sólidos</i>	10-1
10.2 <i>Determinación de la Porosidad</i>	10-1
10.3 <i>Determinación de la Permeabilidad del Queque</i>	10-1
10.4 <i>Determinación de la Resistencia Específica del Queque</i>	10-2
10.5 <i>Determinación de la Resistencia de la Tela</i>	10-2
10.6 <i>Análisis de Regresión</i>	10-2
Capítulo XI: <i>Conclusiones</i>	11-1
11.1 <i>Conclusiones</i>	11-1
11.2 <i>Recomendaciones</i>	11-6
Bibliografía	12-1

## Apéndices

Apéndice A: Propiedades Físicas del Sistema Sólido - Líquido	A-1
<i>A.1 Densidad de Sólido</i>	A-1
<i>A.2 Densidad del Líquido</i>	A-2
<i>A.3 Viscosidad del Líquido</i>	A-2
Apéndice B: Propiedades Físicas del Queque	B-1
<i>B.1 Resultados de Pruebas para Determinar la Porosidad</i>	B-1
<i>B.1.1 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Cobre</i>	B-2
<i>B.1.2 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Zinc I</i>	B-3
<i>B.1.3 Resultados de la Porosidad - Concentrado de Zinc II</i>	B-3
<i>B.1.4 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Zinc III</i>	B-4
<i>B.2 Resultados de Pruebas Para Determinar la Permeabilidad del Queque</i>	B-4
<i>B.2.1 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Cobre</i>	B-5
<i>B.2.2 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc I</i>	B-6
<i>B.2.3 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc II</i>	B-6
<i>B.2.4 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc III</i>	B-7
<i>B.3 Resultados de Pruebas para Determinar la Resistencia Específica del Queque</i>	B-7
<i>B.3.1 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Cobre</i>	B-8
<i>B.3.2 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc I</i>	B-9
<i>B.3.3 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc II</i>	B-9
<i>B.3.4 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc III</i>	B-10
<i>B.3.5 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc I</i>	B-10
<i>B.3.6 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc II</i>	B-11
<i>B.3.7 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc III</i>	B-11
<i>B.4 Resultados de Pruebas para Determinar la Resistencia de la Tela</i>	B-11
<i>B.4.1 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Cobre</i>	B-12
<i>B.4.2 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Zinc I</i>	B-13
<i>B.4.3 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Zinc II</i>	B-13
<i>B.4.4 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Zinc III</i>	B-14
Apéndice C: Resultados de Pruebas en Filtro Larox PF 0.1	C-1
<i>C.1 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Cobre</i>	C-1
<i>C.2 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Zinc I</i>	C-3

<i>C.3 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Zinc II</i>	C-5
<i>C.4 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Zinc III</i>	C-7
Apéndice D: Herramienta Para Optimización de Pruebas con Filtro Larox PF 0.1	D-1
<i>D.1 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc I</i>	D-1
<i>D.2 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc II</i>	D-4
<i>D.3 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc III</i>	D-7
Apéndice E: Curva de Humedad y Filtrado	E-1
<i>E.1 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc I</i>	E-1
<i>E.2 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc II</i>	E-4
Apéndice F: Anexos	F-1
Apéndice G: Manual de Funcionamiento del Filtro	G-1

## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1.1	Representación del Proceso de Filtrado.	1-2
Gráfico 2.1	Representación del Tamaño de Partícula.	2-2
Gráfico 2.2	Representación del Espesor de Queque.	2-3
Gráfico 2.3	Presión en Filtrado.	2-4
Gráfico 2.4	Caída de Presión durante el Proceso de Filtración.	2-7
Gráfico 2.5	Filtración con Queque Plano.	2-13
Gráfico 3.1	Filtración por Queque.	3-2
Gráfico 3.2	Filtración en Lecho Profundo.	3-3
Gráfico 3.3	Efecto del Porcentaje de Sólidos de la Alimentación o en la Tasa de Filtración.	3-6
Gráfico 3.4	Resistencia de Queque vs Tamaño y Porosidad.	3-8
Gráfico 3.5	Caída Total de Presión en el Filtro.	3-9
Gráfico 3.6	Medio de Filtrante.	3-10
Gráfico 3.7	Materiales utilizados en Telas Filtrantes Tamfelt	3-11
Gráfico 3.8	Permeabilidad de Telas Tamfelt.	3-12
Gráfico 4.1	Esquema del Filtro Automático Larox.	4-2
Gráfico 4.2	Vista general del Filtro Automático Larox.	4-3
Gráfico 4.3	Disposición de la Tela de Filtrado.	4-4
Gráfico 4.4	Placas del Filtro.	4-5
Gráfico 4.5	Parrilla de Soporte.	4-6
Gráfico 4.6	Balance de Masa en un Proceso de Filtrado.	4-6
Gráfico 4.7	Etapa de Alimentación.	4-7
Gráfico 4.8	Etapa de Presionado: Presionado I.	4-8
Gráfico 4.9	Etapa de Lavado.	4-9
Gráfico 4.10	Etapa de Presionado II.	4-9
Gráfico 4.11	Etapa de Secado.	4-10
Gráfico 4.12	Descarga del Queque.	4-11
Gráfico 4.13	Vista General del Filtro Larox PF 0.1.	4-12
Gráfico 4.14	Funcionamiento en la Alimentación.	4-13

Gráfico 4.15	Funcionamiento en el Presionado.	4-14
Gráfico 4.16	Funcionamiento en el Lavado.	4-15
Gráfico 4.17	Funcionamiento en el Secado.	4-16
Gráfico 4.18	Sistema de Filtración Larox PF 0.1.	4-17
Gráfico 4.19	Plano del Filtro PF 0.1.	4-18
Gráfico 4.20	Determinación de las Condiciones Optimas de Filtrado haciendo uso del Método Gráfico.	4-21
Gráfico 5.1	Parámetros del Proceso.	5-1
Gráfico 6.1	Tiempo/volumen vs Volumen de Filtrado - Desviaciones.	6-2
Gráfico 7.1	Foto del Filtro Piloto Larox PF 0.1.	7-1
Gráfico 7.2	Concentración de Reactivo vs Humedad.	7-9
Gráfico 7.3	Capacidad vs Humedad.	7-10
Gráfico 7.4	Volumen de Filtrado vs Tiempo – Concentrado de Cobre.	7-10
Gráfico 7.5	Curva de Filtración - Concentrado Cobre.	7-10
Gráfico 7.6	Volumen de Filtrado vs Tiempo - Concentrado de Zinc I.	7-10
Gráfico 7.7	Curva de Filtración - Concentrado de Zinc.	7-10
Gráfico 7.8	Volumen de Filtrado vs Tiempo - Concentrado de Zinc II.	7-10
Gráfico 7.9	Curva de Filtración - Concentrado de Zinc II.	7-10
Gráfico 7.10	Volumen de Filtrado vs Tiempo - Concentrado Zinc III.	7-10
Gráfico 7.11	Curva de Filtración - Concentrado de Zinc III.	7-10
Gráfico 9.1	Inversión Relativa en Filtros y Espesadores respecto a su Tamaño.	9-2
Gráfico 9.2	Estructura del Costo Operacional.	9-6
Gráfico 9.3	Comparación de Costos de Adquisición del Equipo.	9-11
Gráfico A.1	Regresión Lineal para obtener la Densidad a 20 °C.	A-2
Gráfico C.1	Volumen de Filtrado vs Tiempo/Volumen de Filtrado - Concentrado de Cobre.	C-2
Gráfico C.2	Tiempo vs Volumen de Filtrado – Concentrado de Cobre.	C-2
Gráfico C.3	Volumen de Filtrado vs Tiempo/Volumen de Filtrado – Concentrado de Zinc I.	C-4
Gráfico C.4	Tiempo vs Volumen de Filtrado - Concentrado de Zinc I.	C-4
Gráfico C.5	Volumen de Filtrado vs Tiempo/Volumen de Filtrado – Concentrado de Zinc II.	C-6
Gráfico C.6	Tiempo vs Volumen de Filtrado – Concentrado de Zinc II.	C-6

Gráfico C.7 Volumen de Filtrado vs Tiempo/Volumen de Filtrado - Concentrado de Zinc III.	C-8
Gráfico C.8 Tiempo vs Volumen de Filtrado – Concentrado de Zinc III.	C-8
Gráfico D.1 Estructura del Queque de Concentrado de Zinc I.	D-2
Gráfico D.2 Radio Aire - Líquido Relativo al Volumen de Vacío.	D-2
Gráfico D.3 Humedad durante el Proceso de Filtrado.	D-3
Gráfico D.4 Flujo de Licor Filtrado en las Etapas del Proceso.	D-3
Gráfico D.5 Estructura del Queque de Concentrado de Zinc II.	D-5
Gráfico D.6 Radio Aire- Líquido Relativo al Volumen de Vacío del Concentrado de Zinc II.	D-5
Gráfico D.7 Humedad durante el Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc II.	D-6
Gráfico D.8 Flujos durante las Etapas del Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc II.	D-6
Gráfico D.9 Estructura del Queque de Concentrado de Zinc III.	D-8
Gráfico D.10 Radio Aire- Líquido relativo al Volumen de Vacío del Concentrado de Zinc III.	D-8
Gráfico D.11 Humedad durante el Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc III.	D-9
Gráfico D.12 Flujos durante las Etapas del Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc III.	D-9
Gráfico E.1 Curva de Humedad y Filtrado del Concentrado de Zinc I.	E-3
Gráfico E.2 Curva de Humedad y Filtrado del Concentrado de Zinc II.	E-6
Gráfico F.1 Pulpa Fresca facilitada para las pruebas.	F-1
Gráfico F.2 Concentrado en el Tanque de agitación.	F-2
Gráfico F.3 Concentrado de Zinc en Pulpa.	F-2
Gráfico F.4 Queque obtenido al final del ciclo de filtración.	F-3
Gráfico F.5 Queque obtenido al final del ciclo de filtración.	F-3
Gráfico F.6 Horno para el secado del Queque.	F-4
Gráfico F.7 Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc I.	F-5
Gráfico F.8 Análisis Granulométrico – Concentrado de Cobre.	F-6
Gráfico F.9 Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc II.	F-7
Gráfico F.10 Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc III.	F-8

## LISTA DE TABLAS

Tabla 7.1: Caso A: muestra de concentrado de cobre – parte I: pruebas N° 1-8.	7-2
Tabla 7.2: Caso A: muestra de concentrado de cobre – parte II: pruebas N° 9-16.	7-3
Tabla 7.3: Caso B: muestra de concentrado de zinc I.	7-4
Tabla 7.4: Caso C: muestra de concentrado de zinc II.	7-5
Tabla 7.5: Caso D: muestra de concentrado de zinc III.	7-6
Tabla 7.6: Medidas de tensión superficial.	7-8
Tabla 7.7: Humedad obtenida a diferentes concentraciones de reactivos.	7-8
Tabla 7.8: Humedad y capacidad – reactivo A.	7-9
Tabla 7.9: Humedad y capacidad – reactivo B.	7-9
Tabla 7.10: Humedad y capacidad – reactivo C.	7-10
Tabla 7.11: Humedad y capacidad – sin reactivo.	7-10
Tabla 7.12: Masa de queque y el tiempo en la etapa de alimentación: concentrado de cobre.	7-12
Tabla 7.13: Masa de queque y tiempo en la etapa de alimentación: concentrado de zinc I.	7-13
Tabla 7.14: Masa de queque y tiempo en la etapa de alimentación: concentrado de zinc II.	7-14
Tabla 7.15: Masa de queque y tiempo en la etapa de alimentación: concentrado de zinc III.	7-15
Tabla 8.1: Cuadro de resultados para concentrado de cobre.	8-9
Tabla 8.2: Cuadro de resultados para concentrado de zinc I.	8-10
Tabla 8.3: Cuadro de resultados para concentrado de zinc II.	8-11
Tabla 8.4: Cuadro de resultados para concentrado de zinc III.	8-12
Tabla 9.1: Resumen de las etapas de separación.	9-1
Tabla 9.2: Estimación de costos operacionales.	9-5
Tabla 9.3: Estimación de costos de los repuestos y componentes.	9-7
Tabla 9.4: Comparación de tecnologías empleadas con concentrados de zinc I.	9-8
Tabla A.1: Resultados de pruebas para la determinación de la densidad	A-1



del sólido - cobre.

Tabla A.2: Resultados de pruebas para la determinación de la densidad del sólido - zinc I.	A-2
Tabla B.1: Formas de calcular la porosidad en las distintas etapas de la filtración.	B-1
Tabla B.2: Resultados de la porosidad - prueba N°1 – concentrado de cobre.	B-2
Tabla B.3: Resultados de la porosidad - concentrado de cobre.	B-2
Tabla B.4: Resultados de la porosidad - concentrado de zinc I.	B-3
Tabla B.5: Resultados de la porosidad - concentrado de zinc II.	B-3
Tabla B.6: Resultados de la porosidad - concentrado de zinc III.	B-4
Tabla B.7: Resultados de la permeabilidad del queque - concentrado de cobre.	B-5
Tabla B.8: Resultados de la permeabilidad del queque - concentrado de zinc I.	B-6
Tabla B.9: Resultados de la permeabilidad del queque - concentrado de zinc II.	B-6
Tabla B.10: Resultados de la permeabilidad del queque - concentrado de zinc III.	B-7
Tabla B.11: Resultados de la resistencia específica del queque - concentrado de cobre.	B-8
Tabla B.12: Resultados de la resistencia específica del queque - concentrado de zinc I.	B-9
Tabla B.13: Resultados de la resistencia específica del queque - concentrado de zinc II.	B-9
Tabla B.14: Resultados de la resistencia específica del queque - concentrado de zinc III.	B-10
Tabla B.15: Resultados de la resistencia específica del queque (teoría de Tiller) – concentrado de zinc I.	B-10
Tabla B.16: Resultados de la Resistencia Específica del queque (teoría de Tiller) – concentrado de zinc II.	B-11
Tabla B.17: Resultados de la resistencia específica del queque (teoría de Tiller) – concentrado de zinc III.	B-11
Tabla B.18: Resultados de la resistencia de tela - concentrado de cobre.	B-12
Tabla B.19: Resultados de la resistencia de tela - concentrado de zinc I.	B-13

Tabla B.20: Resultados de la resistencia de tela - concentrado de zinc II.	B-13
Tabla B.21: Resultados de la resistencia de tela - concentrado de zinc III.	B-14
Tabla C.1: Resultados de pruebas con concentrado de cobre – prueba 9.	C-1
Tabla C.2: Resultados de pruebas con concentrado de zinc – prueba 2	C-3
Tabla C.3: Resultados de pruebas con concentrado de zinc II – prueba 3	C-5
Tabla C.4: Resultados de pruebas con concentrado de zinc III – Prueba 2	C-7
Tabla D.1: Balance de masa – prueba N° 1- concentrado de zinc I	D-1
Tabla D.2: Balance de masa – prueba N° 1- concentrado de zinc II	D-4
Tabla D.3: Balance de masa – prueba N° 6	D-7
Tabla E.1: Prueba N° 1 – concentrado de zinc I.	E-1
Tabla E.2: Prueba N° 2 - concentrado de zinc I.	E-1
Tabla E.3: Prueba N° 3 - concentrado de zinc I.	E-2
Tabla E.4: Prueba N° 4 – concentrado de zinc I.	E-2
Tabla E.5: Prueba N° 5 – concentrado de zinc I.	E-3
Tabla E.6: Prueba N° 1 – concentrado de zinc II	E-4
Tabla E.7: Prueba N° 2 – concentrado de zinc II	E-4
Tabla E.8: Prueba N° 3 – concentrado de zinc II	E-5
Tabla E.9: Prueba N° 4 – concentrado de zinc II	E-5
Tabla E.10: Prueba N° 5– concentrado de zinc II	E-6

## NOMENCLATURA

---

$R$	$=$	Resistencia específica de queque.
$v$	$=$	Volumen de queque producido por unidad de volumen de filtrado.
$q(t)$	$=$	Flujo de filtrado por unidad de área.
$\Delta P$	$=$	Presión a través del queque.
$Q$	$=$	Caudal de filtrado.
$R_m$	$=$	Resistencia de un medio filtrante.
$\alpha_{av}$	$=$	Resistencia específica media de queque.
$W$	$=$	Peso del sólido en el queque por unidad de área de filtración.
$dv/dt$	$=$	Tasa de filtrado.
$P_0$	$=$	Presión cuando $z=-l_m$ .
$P_{em}$	$=$	Presión cuando $z=0$ .
$P_e$	$=$	Presión cuando $z=l$ .
$K_m$	$=$	Permeabilidad del medio filtrante.
$l_m$	$=$	Espesor del medio filtrante.
$K_{(\epsilon_0)}$	$=$	Permeabilidad de queque.
$l(t)$	$=$	Espesor de queque.
$ms(t)$	$=$	Peso de queque producido.
$\varphi_0$	$=$	Fracción volumétrica de sólidos en la suspensión.
$N_{Re,p}$	$=$	Número de Reynolds calculado sin queque.
$P_{s,u}$	$=$	Presión compresión del sólido en la superficie.
$P_s$	$=$	Presión de compresión del sólido.
CPC	$=$	Celda de compresión y permeabilidad.
$a,n$	$=$	Representan características de queque.
$n$	$=$	Compresibilidad de queque.
$t$	$=$	Tiempo de filtración.
$V_f$	$=$	Volumen de filtrado producido en el tiempo $t$ .
$\mu_f$	$=$	Viscosidad del licor de filtrado.

$\Delta p_e$  = Caída de presión total.

$\varphi_0$  = Concentración de la suspensión a filtrar medida como fracción volumétrica de sólidos.

$\varepsilon$  = Porosidad del queque.

$\varphi_0 = \frac{\rho_0 - \rho_f}{\rho_s - \rho_f}$  = Fracción volumétrica.

$\chi = \frac{m_s}{m_s - m_f}$  = Porcentaje de sólidos en el queque.

$\varphi = \frac{\rho_f * \chi}{\rho_s(1 - \chi) + (\rho_f * \chi)}$  = Fracción de sólidos en el queque.

$\varepsilon = 1 - \varphi$  = Porosidad del queque.

$\alpha = \frac{1}{k(\varepsilon)}$  = Resistencia específica de queque.

$k(\varepsilon) = \left( \frac{\mu_f}{2S^2 \Delta p_e} \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0 - \varepsilon} \right) \frac{1}{b}$  = Permeabilidad del queque.

$R_m = \left( \frac{S \Delta p_e}{\mu_f} \right) a$  = Resistencia del medio filtrante.

$R_{e\ sp} = \frac{bx \ 2 \ xA^2 \ x \Delta P}{\mu x \ "C"}$  = Resistencia Específica de queque

$"C" = \frac{1}{\frac{(1 - \varphi_p)}{(\varphi_p \rho_l)} - \frac{(1 - \varphi_v)}{(\varphi_v \rho_s)}}$  = Queque seco por volumen de filtrado

$\varphi_p = \frac{X}{[\rho_s(1 - X) + X]}$  = Fracción de sólidos en peso de pulpa

# *Capítulo I*

## **FUNDAMENTO DE LA EVALUACIÓN**

La filtración de suspensiones líquidas es un proceso practicado en muchas industrias. El comportamiento de la filtración es afectado totalmente por las propiedades del coque formado por la acumulación de las partículas y/o las macromoléculas en la superficie del medio filtrante.

La filtración es la operación de separar una fase dispersada en un líquido utilizando un medio filtrante (tela) que permita el pasaje del líquido y a la vez retenga las partículas.

La importancia de las técnicas de filtrado ha sido acentuada por la exigencia creciente de protección del ambiente y por la necesidad cada vez más crítica de ahorrar suministros de energía.

Es muy importante que las decisiones industriales se ayuden con la teoría para desarrollar métodos sencillos y precisos para el proceso de filtrado.

### *1.1- Modelos Aplicables*

#### Viabilidad de la Aplicación de los Modelos

Operar un sistema de separación sólido – líquido requiere conocer los parámetros más importantes de su comportamiento. Para ello es necesario

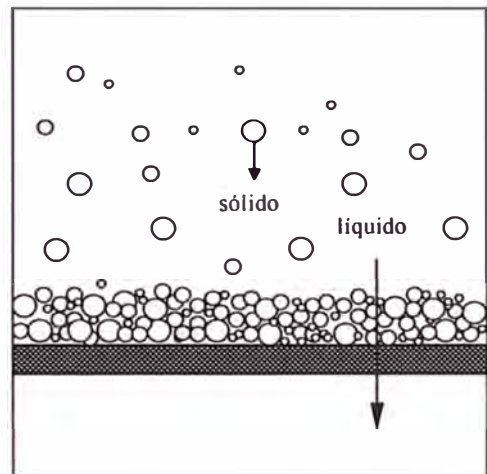
determinar estos parámetros en el laboratorio y formular las respectivas ecuaciones explicativas del fenómeno.

Al realizar estas pruebas, es necesario tener en cuenta las propiedades reológicas del material debido a que las suspensiones envejecen, por lo que es conveniente realizar los ensayos experimentales con pulpas frescas.

### 1.2- *Objetivos*

- Establecer las condiciones óptimas de operación del filtro Larox determinando las condiciones físicas y químicas del material para anticipar su filtrabilidad basándose en pruebas de filtrado.
- Presentar parámetros, factibles de intervenir en el proceso de filtrado, de tal forma que permitan evaluar la producción del queque.

**Gráfico 1.1** Representación del Proceso de Filtración



### 1.3- *Hipótesis*

Estudiaremos los siguientes parámetros: porosidad, permeabilidad, concentración, densidad y viscosidad de pulpa y licor de filtrado, para iniciar el proceso.

Todos estos parámetros se relacionan ya que, prácticamente, definen el desarrollo y resultado del proceso e influyen en el *out put* la capacidad de la operación. Este estudio se basa en los modelos existentes para la mejor comprensión del proceso de filtrado.

#### 1.4- *Justificación*

Existen diversos modelos establecidos para explicar el proceso de filtrado, pero, se tiene la necesidad de conocer más acerca de estas fórmulas, por lo tanto, se hace necesario crear mecanismos que permitan evaluar su utilidad, mediante la realización de pruebas de separación sólido/líquido para luego constatar si los resultados empíricos son similares a los teóricos.

Estudiaremos los parámetros que constituyen una fuente de información para evaluar el proceso de filtrado y la obtención de queque con humedad residual.

## *Capítulo II*

### RESUMEN DE MODELOS MATEMÁTICOS

---

#### *2.1 Comparación de Modelos Matemáticos Aplicados al Proceso de Filtrado*

##### *2.1.1.- Modelo Hagen- Poiseuille*

Se dice que la fórmula de Hagen-Poiseuille explica con mucha claridad el proceso.

***Ley de Poiseuille*** (Sutera, Salvatore P., "The history of Poiseuille's law,"):

Una manifestación simplificada del proceso de filtrado del queque es el manejo de la permeabilidad de un lecho de material poroso, en el cual el filtrado del queque se realiza por el pasaje del líquido a través de un lecho de sólidos que va incrementando su espesor en forma continua.

Poiseuille en 1842 publicó la siguiente relación: el flujo del volumen de un líquido, esta dado por:

$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi \times r^4 \times \Delta p}{8 \times \eta \times l} \quad \text{.....(1)}$$



Donde:

- Volumen de líquido filtrado en un	V (cantidad de filtrado/pulpa)
- Tiempo	t (tiempo de filtración)
- Diferencial de presión bajo la cual la suspensión es filtrada	$\Delta p$ (presión de filtración)
- Sección transversal de poros activos	$\pi \times r^4$ (tamaño de partícula)
- Viscosidad dinámica del líquido	$\eta$ (...)
- Longitud del capilar	l (espesor de queque)
- Funcionamiento	V/t Volumen por tiempo (o masa por tiempo).

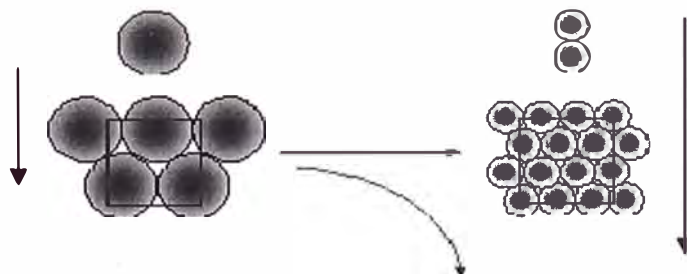
### 2.1.1.1 influencia del tamaño de partícula

El diámetro medio del área entre las partículas (el diámetro teórico del tubo capilar en el queque) está en relación al diámetro de las partículas. La disminución del área media (dado por el diámetro de la partícula) por donde el líquido circula incrementa la resistencia del flujo a la cuarta potencia.

Grandes partículas sólidas -> alto desempeño

Los sólidos finos -> bajo desempeño

**Gráfico 2.1** Tamaño de Partícula



$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi \times r^4 \times \Delta p}{8 \times \eta \times l}$$

### 2.1.1.2 influencia de la viscosidad

Dado el diámetro y la longitud teórica de los tubos capilares y la fuerza dada (presión diferencial) la viscosidad del líquido tiene influencia en la tasa de filtración.

Baja viscosidad -> alto desempeño

Alta viscosidad -> bajo desempeño

$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi \times r^4 \times \Delta p}{8 \times \eta \times l}$$

### 2.1.1.3 influencia del espesor de queque

La longitud teórica del tubo capilar está en relación al espesor del queque.

Queques finos -> alto desempeño

Queques gruesos -> bajo desempeño

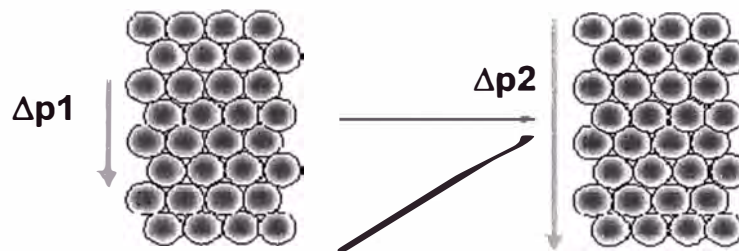
**Gráfico 2.2** Espesor de Queque



#### 2.1.1.4 influencia de la presión

Dado el diámetro y la longitud teórica de los tubos capilares y la viscosidad del líquido, la fuerza de empuje (la diferencia de presión entre la entrada al tubo capilar y la salida) influye en el caudal del licor de filtrado.

**Gráfico 2.3** Presión en Filtración



En la fórmula se describe el flujo de un líquido a través de un tubo capilar. La importancia de dicha ecuación es el factor que éste predice, el efecto poderoso del tamaño creciente del capilar (poro).

Continuando las investigaciones de Poiseuille (1842) y Darcy (1856), muchos de los trabajos posteriores fueron de naturaleza empírica o basados en investigaciones en esta.

Todo el trabajo dio origen a la siguiente fórmula:

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{K' AP}{\mu l} = \frac{(1) (AP)}{\alpha \mu l} \dots\dots(2)$$

Donde:

$\alpha$  Es la resistencia específica promedio del queque, luego:

$$\alpha = \frac{(AP) (d\theta)}{\mu l \quad dv} \quad \dots\dots\dots(3)$$

La cual determina la permeabilidad a través de un espesor fijo L, pero en la filtración del queque donde L es continuamente cambiado; este factor puede ser eliminado. Si se asume que cada capa del queque así depositado es idéntica, entonces L puede ser reemplazado como sigue:

$$\text{Volumen de queque} = LA = \nu v$$

Donde:

$\nu$  : Volumen de queque producido por unidad de volumen de filtrado.

$v$  : Volumen total del filtrado.

Entonces:

$$L = \frac{\nu v}{A} \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{AP}{\mu \nu v / A} \frac{(d\theta)}{d} \quad \dots\dots(4)$$

Reordenando la ecuación (6) se tiene:

$$\alpha = \frac{A^2 P (d\theta)}{\mu \nu v \quad d} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Para una filtración a presión constante, reordenando esta ecuación (5) e integrando se tiene:

$$\theta = \left( \frac{\alpha \mu \nu}{2PA^2} \right) V^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

La ecuación 6 correlaciona datos de filtración, tiempo y volumen del licor filtrado. Esta ecuación falla por no tomar en cuenta la resistencia del medio filtrante ( $R_m$ ).

## 2.1.2.- Modelo Tiller

### 2.1.2.1 teorías

Carman [1938] asumió que la resistencia media del filtrado incrementaba en el período inicial por la colmatación del medio filtrante durante la formación del queque, y luego cesaba cuando ya se había formado el queque. Tiller [1960] calculó la resistencia específica media inicial del queque mediante un análisis teórico de los fenómenos en el período inicial. El valor calculado de la resistencia específica media de queque en el período inicial era más pequeño que en el último período. Tiller [1990] analizó un resultado experimental exacto de una prueba de filtración con dos a ocho puntos de datos de la parte inicial, y él concluyó que la resistencia específica media e inicial del queque fue pequeña y que se acrecentó en el periodo final.

#### 2.1.2.1.A. análisis de procedimiento de filtrado por el método convencional.

La siguiente ecuación se deriva de la ecuación de Darcy [1856]:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu(\alpha_{av} W + R_m)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

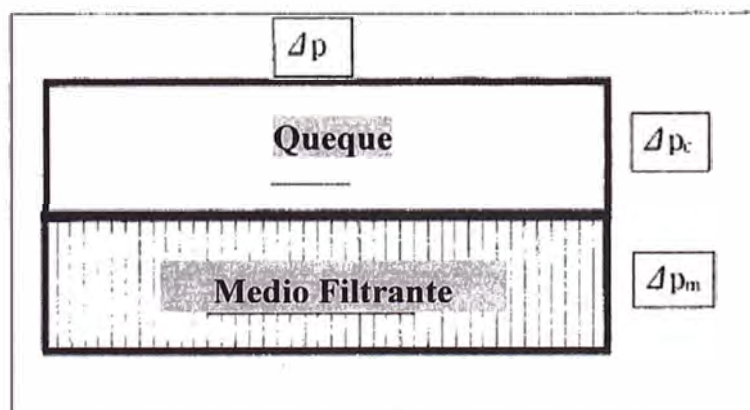
En el filtrado a presión constante se considera que la presión a través del queque y el diferencial de presión

entre el queque y el medio filtrante, la viscosidad del líquido ( $\mu$ ), son constantes. La separación de partículas sólidas en la suspensión se realiza en la superficie del queque, así que la resistencia de un medio filtrante,  $R_m$ , no varía durante la filtración del queque si no hay migración de partículas pequeñas en el queque. El valor de  $\alpha_{av}$  resistencia específica media de queque, no varía durante el proceso de filtración de acuerdo a la teoría convencional de filtración de queque. Así, una variable para el filtrado a presión constante es la masa  $W$  de sólidos en el queque por unidad de área de filtrado, dado en la ecuación (1).

En el momento de empezar la filtración no hay queque sobre el medio filtrante. La masa de queque incrementa de acuerdo al avance de la filtración, lo que disminuye la tasa de filtrado  $dV/dt$  por ecuación (1).

*2.1.2.1.B. predicción teórica de la resistencia específica media del queque durante el período inicial*

**Gráfico 2.4** Caída de Presión Durante la Filtración para la obtención del Queque



Tiller notó que la proporción de  $\alpha_{av}$ ,  $W$  y  $R_m$  en la ecuación (1) es muy diferente entre el inicial y último período de filtración. Al momento de comenzar la filtración, toda la presión actúa solo a través del medio filtrante ya que aún no hay queque formado.

Un queque muy delgado se muestra en el Gráfico 2.4. El valor de  $\alpha_{av}$ ,  $W$  llega a ser visiblemente mayor que la resistencia del medio filtrante ( $R_m$ ), y casi todos los diferenciales de presión actúan a través del queque. Durante todo el proceso de filtración, la presión total  $\Delta P$  es la suma de las presiones que pasan a través del queque  $\Delta P_c$  y a través del medio filtrante  $\Delta P_m$  como se muestra en la ecuación (2).

$$\Delta p_c + \Delta p_m = \Delta p \quad \dots(2)$$

Para resumir, la presión general  $\Delta P$  es constante durante todo el proceso de filtración. Al inicio del proceso, el  $\Delta P_c$  es cero y  $\Delta P_m$  es  $\Delta P$ .  $\Delta P_c$  aumenta casi a  $\Delta P$ , y las disminuciones de  $\Delta P_m$  casi a cero se darán dentro de un período relativamente corto.

Ruth [1946] inventó un aparato llamado celda de compresión-permeabilidad (CPC) que hizo posible el estudio teórico de la estructura interna del queque.

La celda de compresión permeabilidad, CPC, muestra la relación entre la resistencia específica del queque y la presión de compresión del sólido como sigue:

$$\alpha = a p_s^n \quad \dots(3)$$

Los valores de 'a' y 'n', son determinados en la celda CPC y representan las características del queque. Llamamos al valor de 'n' la compresibilidad de un queque; la  $P_s$ , es la presión de compresión del sólido, aplicada en las partículas sólidas de queque. El  $\alpha$  no es la resistencia específica media de queque medido por la filtración experimental sino la resistencia específica de un queque con porosidad uniforme. Una porosidad uniforme no puede ser obtenida por filtrado convencional excepto para un queque incompresible, muy raro en una operación real. La relación entre  $\alpha_{av}$  y  $\alpha$  es expresada convencionalmente por la ecuación (4), que se ha venido utilizando desde antes de 1950 para calcular la resistencia específica media del queque con datos de la celda CPC.

$$\alpha_{av} = \frac{\Delta p_c}{\int_0^{\Delta p_c} \frac{dp_s}{\alpha}} \quad \dots(4)$$

La ecuación (5) se obtiene sustituyendo  $\alpha$  de ecuación (3) en ecuación (4).

$$\alpha_{av} = \frac{\Delta p_c}{\int_0^{\Delta p_c} \frac{dp_s}{a p_s^n}} = a(1-n) \Delta p_c^n \quad \dots(5)$$



El análisis de Tiller [1960, 1990] sobre el período inicial se basó en la ecuación (5). El valor del  $\alpha_{av}$  calculado por la ecuación (5) con  $\Delta P_c$  pequeño, es menor que el calculado con  $\Delta P_c$  grande. Basado en este resultado, Tiller concluyó que el  $\alpha_{av}$ , la resistencia específica media del queque en el período inicial, es más pequeño que en el final.

#### 2.1.2.1.C. método de cálculo

La velocidad del líquido que pasa a través del medio filtrante es máxima en el inicio del filtrado, porque el valor de la masa  $W$  del queque en la ecuación (1) es cero. La velocidad del líquido filtrado,  $dV/dt$ ; se puede calcular con la resistencia del medio filtrante,  $R_m$ . Después del momento inicial, el queque formado es proporcional al volumen del líquido filtrado que pasó por el medio filtrante.

La resistencia del queque en el período inicial podría ser más pequeña que la del medio filtrante. Y la presión a través del queque filtrado es menor que la que cruza el medio filtrante. La resistencia específica media del queque en un instante “ $t$ ” se puede calcular por la ecuación (5) con una presión arbitraria menor  $\Delta P_c$ . Para determinar la masa del queque  $W$ , se usa las ecuaciones (7) y (8) las cuales toman la forma de la ecuación (1).

$$\frac{dV}{dt} = q = \frac{\Delta p_c}{\mu \alpha_{av} W} \quad \dots(7)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p - \Delta p_c}{\mu R_m} \quad \dots(8)$$

El mismo valor de  $dV/dt$  debe ser obtenido por la ecuación (1) que toma en cuenta el queque y el medio filtrante y por la ecuación (7) solo para la presión a través del queque y por la ecuación (8) para el medio filtrante. Así, la masa del queque por unidad de área del filtro ( $W$ ), se puede expresar de la siguiente manera:

De las ecuaciones (7) y (8).

$$W = \frac{\Delta p_c R_m}{(\Delta p - \Delta p_c) \alpha_{av}} \quad \dots(9)$$

El valor de  $W$  se calcula con la resistencia específica media del queque. Esto significa que ésta en cualquier punto de la masa del queque por unidad de área del filtro se puede obtener variando el valor de  $W$ .

### 2.1.3.- Modelo Holdich

Se asume que la ecuación básica de filtración deriva de la Ley de Darcy's. Ésta explica las bases de toda operación de Filtración.

Comenzamos con unas definiciones básicas:

#### **Porosidad y concentración de sólidos por fracción de volumen:**

La fracción volumétrica de sólidos que quedó en el medio poroso, después de filtrar la suspensión, se conoce como la concentración  $C$ .

Fracción en volumen (1): fracción de vacío ( $E$ ) + fracción de sólidos ( $C$ )

Constante en el filtrado de a presión:

$$\frac{t}{V} = \left( \frac{\mu \alpha_{av} \bar{c}}{2 \Delta p A^2} V + \frac{\mu R_m}{\Delta p A} \right)$$

Donde:

t = Tiempo de filtrado (s)

V = Volumen de filtrado (m<sup>3</sup>)

μ = viscosidad de filtrado (pa-s)

A = Área filtrante

ΔP= Presión en el filtrado

R<sub>m</sub>= Resistencia del medio filtrante (m<sup>-1</sup>)

α<sub>av</sub> = Resistencia específica promedio (mkg<sup>-1</sup>)

c̄ = Masa de queque seco por unidad de volumen filtrado (kgm<sup>-3</sup>)

C<sub>av</sub> = Fracción volumétrica de sólido en queque

Llevando la ecuación de filtración, a una forma cuadrática:

$$\left( \frac{\mu \alpha_{av} \bar{c}}{2 \Delta p A^2} V^2 + \frac{\mu R_m}{\Delta p A} V - t = 0 \right)$$

Calculando el volumen del licor filtrado para lo cual se usa la resistencia específica del queque

$$V_f = - \frac{A R_m}{\alpha \bar{c}} + \sqrt{\left( \frac{A^2 R_m^2}{\alpha^2 \bar{c}^2} + \frac{2 \Delta p A^2 t}{\mu \alpha \bar{c}} \right)}$$

Masa de queque seco depositada : cV<sub>f</sub>

Espesor del queque : cV<sub>f</sub>/AC<sub>av</sub>ρ<sub>s</sub>

### 2.1.4.- Modelo Concha

Según Concha el proceso de filtrado queda descrito por las siguientes variables de campo: la porosidad del queque  $\varepsilon(z,t)$ , la velocidad del filtrado  $q(z,t)$  y la presión en exceso a la hidrostática  $p_e(z,t)$ ; si cumplieran las siguientes condiciones:

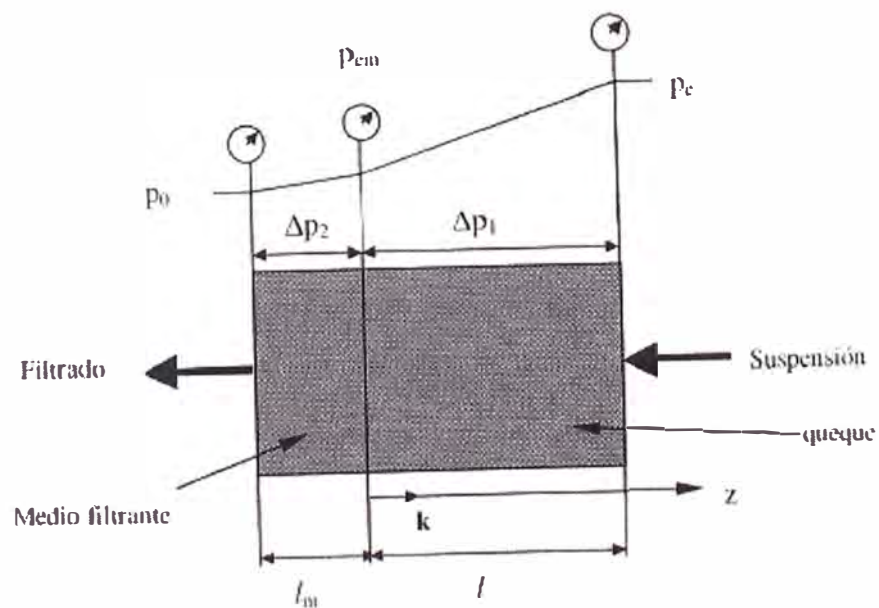
$$\varepsilon(z,t) = \varepsilon_0 \quad \text{.....(1)}$$

$$q(z,t) = q(t) \quad \text{.....(2)}$$

$$\bar{V} p_e = -\frac{\mu}{\kappa(\varepsilon_0)} q \quad \text{.....(3)}$$

Donde  $\varepsilon_0$  es constante y  $q$  es una función del tiempo solamente.

**Gráfico 2.5** Filtración con Queque Plano



$$\Delta p_1 = p_e - p_{em} > 0 \quad \text{y} \quad \Delta p_2 = p_{em} - p_0 > 0.$$

Siendo las condiciones:

$$p_e(-\ell_m) = P_0 \quad \dots\dots(4)$$

$$p_e(\ell(t)) = p_e \quad \dots\dots(5)$$

Donde  $P_e$  es el valor de la presión en exceso a la hidrostática en la interfaz entre el queque y la suspensión  $z=l(t)$ , y  $P_0$  es el valor en la interfaz entre el filtrado y el medio filtrante  $z=-l_m$

Se denomina proceso de filtrado simple a un proceso de filtración con queque incompresible. El término simple se refiere a que, en este caso, las ecuaciones de campo son las más simples a utilizar. Analizando el caso del filtrado a presión constante. Se designa por  $P_0$  la presión en  $z=-l_m$ , por  $P_{em}$  la presión  $z=0$  y por  $P_e$  la presión en  $z=l(t)$ , con  $\Delta p_1 = p_e - p_{em} > 0$  y  $\Delta p_2 = p_{em} - p_0 > 0$ , de modo que:

$$\Delta p_e = p_e - p_0 = \Delta p_1 + \Delta p_2 > 0 \quad \dots\dots(6)$$

Cada una de estas caídas de presión es constante y positiva, por lo que integrando la ecuación (3) con  $q(t) = -q(t)k$ , y  $q > 0$ , y  $\bar{V} p_e = (dp_e/dz)k$ , se obtiene:

$$\begin{aligned} \nabla p_e \cdot \mathbf{k} &= -\frac{\mu}{k} \mathbf{q} \cdot \mathbf{k} \\ \int_{p_{em}}^{p_0} dp_e &= \int_0^{-\ell_m} \frac{\mu}{k} q(t) dz \\ p_0 - p_{em} &= \frac{\mu}{k_m} (-\ell_m) q(t) \\ \Delta p_2 &= \frac{\ell_m}{k_m} \mu q(t) \quad \dots\dots(7) \end{aligned}$$

Donde  $K_m$  y  $l_m$  son la permeabilidad y el espesor del medio filtrante respectivamente y  $q(t)$  es el flujo de filtrado por unidad de área (velocidad de percolación). Integrando la ecuación (3) resulta:

$$\int_{p_{em}}^{p_e} dp_e = \int_0^{\ell(t)} \frac{\mu}{k} q(t) dz$$

$$p_e - p_{em} = \frac{\mu}{k(\epsilon_0)} \ell(t) q(t)$$

$$\Delta p_l = \frac{\mu}{k(\epsilon_0)} \ell(t) q(t) \quad \dots\dots(8)$$

Donde  $k(\epsilon_0)$  y  $l(t)$  son la permeabilidad y espesor de queque respectivamente. Reemplazando las ecuaciones (7) y (8) en el gradiente total de presión a través del queque y del medio filtrante (6) resulta:

$$\Delta p_e = \mu \left( \frac{\ell_m}{k_m} + \frac{\ell(t)}{k(\epsilon_0)} \right) q(t) \quad \dots\dots(9)$$

El caudal de filtrado  $Q(t)$  se puede expresar en términos de la velocidad de percolación  $q$  y del volumen filtrado  $V_f(t)$ :

$$Q(t) = q(t)S = \frac{dV_f(t)}{dt} \quad \dots\dots(10)$$

Donde  $S$  es el área de filtración. Reemplazando la ecuación (10) en la ecuación anterior se obtiene:

$$\Delta p_e S = \mu \left( \frac{\ell_m}{k_m} + \frac{\ell(t)}{k(\epsilon_0)} \right) \frac{dV_f(t)}{dt} \quad \dots\dots(11)$$

### 2.1.4.1 ecuaciones para la operación de filtrado

Para obtener una ecuación práctica que relacione el espesor  $l(t)$ , la masa  $m_s(t)$  de queque producido y el volumen de licor filtrado obtenido  $V_f(t)$  con el tiempo de filtración, observamos que el contenido de sólidos del queque es igual al contenido de los sólidos de la suspensión asociados al filtrado en el tiempo  $t$ . Por lo tanto:

Fracción volumétrica de sólidos en la suspensión:

$$\Phi_0 = \frac{\text{volumen de sólido}}{\text{volumen de suspensión}}$$

El volumen de líquido es igual al volumen de licor filtrado producido más el líquido retenido en el queque. Entonces, la concentración  $\Phi_0$  será:

$$\Phi_0 = \frac{m(\epsilon_0, t) / \rho_s}{(V_f(t) + S l(t) \epsilon_0) + m(\epsilon_0, t) / \rho_s} \quad \dots\dots(12)$$

Por otra parte, la masa de queque es igual al volumen de queque por la densidad del sólido:

$$m(\epsilon_0, t) = \rho_s (1 - \epsilon_0) S l \quad \dots\dots(13)$$

De lo cual resulta la siguiente expresión:

$$l(t) = \frac{\Phi_0}{1 - \Phi_0 - \epsilon_0} \frac{V_f(t)}{S} \quad \dots\dots(14)$$

$$m(\epsilon_0, t) = \frac{\Phi_0 (1 - \epsilon_0)}{1 - \Phi_0 - \epsilon_0} \rho_s V_f(t) \quad \dots\dots(15)$$

$$\frac{S\Delta p_c}{\mu} t = \frac{\ell_m}{k_m} V_f + \frac{1}{2S} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)k(\varepsilon_0)} V_f^2 \quad \dots(16)$$

Reemplazando  $V_f$  en la ecuación 14 y 16, se obtiene:

$$\ell(t) = k(\varepsilon_0) \left\{ \left[ \left( \frac{\ell_m}{k_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_c}{\mu k(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t \right]^{1/2} - \frac{\ell_m}{k_m} \right\} \quad \dots(17)$$

Y usando las relaciones entre  $l(t)$ ,  $V_f(t)$  y  $m(\varepsilon_0, t)$  en la última ecuación:

$$m(\varepsilon_0, t) = \rho_s S (1 - \varepsilon_0) k(\varepsilon_0) \left\{ \left[ \left( \frac{\ell_m}{k_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_c}{\mu k(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t \right]^{1/2} - \frac{\ell_m}{k_m} \right\} \quad \dots(18)$$

$$V_f(t) = S k(\varepsilon_0) \frac{1 - \varphi_0 - \varepsilon_0}{\varphi_0} \left\{ \left[ \left( \frac{\ell_m}{k_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_c}{\mu k(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t \right]^{1/2} - \frac{\ell_m}{k_m} \right\} \quad \dots(19)$$

$$t = \left\{ \left( \frac{m_s}{\rho_s S (1 - \varepsilon) k(\varepsilon)} + R_m \right)^2 - R_m^2 \right\} \left\{ \frac{2\Delta p_c}{\mu k(\varepsilon)} \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0 - \varepsilon} \right\}^{-1} \quad \dots(20)$$

Las ecuaciones desarrolladas son válidas para el filtrado en el estado estacionario: una vez que se ha formado el queque. Esto significa que solamente son válidas para el tiempo final de la



formación de queque y son perfectamente válidas para el lavado de queque.

### *2.2 Comparación: Diferencias entre los Modelos*

**Hagen - Poiseuille:** Como ya se mencionó, la ecuación 8, correlaciona datos de filtración, tiempo y volumen en la descarga de queque.

Dicha fórmula falla en sus resultados, debido a que no toma en cuenta la resistencia del medio filtrante ( $R_m$ ). Con esta fórmula los datos experimentales deben ser precisos ya que un leve incremento en algún parámetro produce resultados totalmente inexactos. Por esa razón no se le tuvo en cuenta para las pruebas.

**Tiller:** La fórmula de Tiller, se refiere a la teoría unificada de la separación sólido/líquido. Tiller se basa en la importancia que tiene el cálculo de la resistencia específica del queque y su aumento en valor en cada etapa continua a la formación, es decir presionado y secado. En tablas más adelante se muestra los valores obtenidos de la resistencia y la tendencia creciente que presenta.

**Concha:** muestra resultados muy cercanos a los experimentales en los diversos tipos de concentrados ensayados en este trabajo. Sus fórmulas toman en cuenta la resistencia del medio filtrante, calculan el volumen de licor filtrado y el espesor del queque en la formación, más no calcula la masa del queque en formación.

**Holdich:** Este modelo incluye un factor llamado “c”, el mismo que tiene relación con la fracción volumétrica de los sólidos en pulpa y queque, junto con la densidad del sólido. Este modelo se probó, dando resultados útiles para diferentes tipos de concentrados.

## *Capítulo III*

### **RESUMEN DE LAS TEORÍAS UTILIZADAS**

#### *3.1 Historia*

La industria minera en general se vio forzada a mejorar sus procesos de producción y buscó ahorros que permitieran compensar el incremento en los costos de energía.

Para compensar la situación se buscaron yacimientos con mejores contenidos que permitiesen un balance económico favorable.

La eficiencia en el proceso de tratamiento no fue ya una simple expresión metalúrgica de leyes y recuperación sino una ecuación financiera.

Los ahorros buscados podían alcanzarse utilizando sistemas ahorradores de energía sobre ciertas etapas del proceso.

Por ejemplo la operación de filtrado y secado fue rediseñada buscando la eliminación de las etapas finales del secado por utilizaban calor. Así, se extendió el empleo de filtros de presión (filtro Larox).

### 3.2 Aspecto Teórico del Proceso

Se define filtración como la separación mecánica de los sólidos contenidos en una suspensión sólido – líquido. El material a filtrar pasa a través de un medio permeable (tela), por ese motivo la calidad del medio es esencial.

Se define, también, como la remoción de partículas sólidas, desde un medio fluido, por el paso del líquido a través del medio filtrante en el cual son depositados los sólidos.

Un filtro está compuesto de un medio filtrante el cual, puede ser descrito como una membrana porosa, a través de la cual el líquido fluye quedando acumulado el sólido. El flujo del licor filtrado a través del medio filtrante es el resultado de la aplicación de una fuerza impulsora, la presión (P). La cantidad de presión aplicada depende sobre todo de la resistencia de la filtración (R), la cual resulta de la obstaculización friccional en el fluido a medida que éste pasa a través del medio filtrante y los sólidos acumulados.

#### 3.2.1 Mecanismo del Proceso de Filtrado

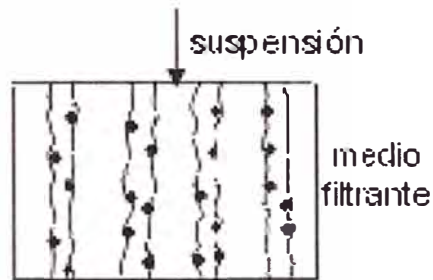
- Filtración por queque: Si la proporción de sólidos es muy elevada, las partículas quedan retenidas en la superficie del medio filtrante, estableciéndose gradualmente un queque de espesor creciente, con lo cual, en realidad, la filtración se realiza a través del queque. Por tanto, la mayor parte de las partículas se recogen en el queque filtrante para posteriormente ser separadas del medio.

**Gráfico 3.1** Filtración por Queque



- Filtración en lecho profundo: la proporción de partículas sólidas es muy pequeña en relación al volumen total. El diámetro de la partícula es menor que la abertura del medio filtrante por lo que las partículas penetran hasta una profundidad considerable en la tela antes de ser atrapadas.

**Gráfico 3.2** Filtración en Lecho Profundo



### 3.2.2 Proceso de Filtrado y Filtro

#### 3.2.2.1 funcionamiento de un filtro

El funcionamiento de todo filtro se basa en la existencia de una diferencia de presión que obliga a la suspensión a atravesar el medio filtrante. Los sólidos presentes se acumulan en la superficie del medio filtrante formando el queque a través del cual debe seguir circulando la pulpa mineral a filtrar.

Los factores principales que afectan la filtrabilidad son:

- Naturaleza de la suspensión.
- Fuerza impulsora aplicada.
- Resistencia del queque producto del filtrado.
- Temperatura de la suspensión.
- Tamaño de partículas.
- Concentración de sólidos en suspensión.
- Efecto de la utilización de reactivos (floculantes, coadyuvantes, surfactantes, etc.) y de la agitación.
- Naturaleza del medio filtrante.

### *3.2.2.2 filtrado a presión*

Este proceso, se lleva a cabo en etapas. Por lo menos se distinguen las siguientes fundamentales en el proceso.

- a) La formación del queque, que incluye el bombeo de la suspensión al filtro y la compresión de la suspensión sobre el medio filtrante (por medio de aire a presión, de un diafragma o embolo) se medirá hasta el momento en que desaparece la suspensión y es aquí donde el queque se encuentra totalmente saturado.
- b) Desaguado del queque, que se lleva a cabo succionando o soplando aire a través del queque y de esta forma desplazando agua por aire. Filtraciones más sofisticadas incluyen etapas adicionales.
- c) El presionado, aquí se presiona el queque ya saturado mediante una membrana o émbolo impermeable eliminando parte del agua remanente por reducción de la porosidad del queque. Esta etapa solamente es útil en materiales compresibles.
- d) Una última etapa, podría ser, el Lavado que permite eliminar los materiales indeseables o recuperar materiales valiosos del queque.

#### *3.2.2.2.1 ayudas para el filtrado*

Si los sólidos de la suspensión son muy finos o viscosos, forman un queque denso e impermeable y obstruyen el medio filtrante. Esto hace necesario añadir ciertos aditivos que proporcionen

algunas características a la pulpa, una de las cuales puede ser el aumento de la porosidad del queque.

Estos aditivos reciben el nombre de coadyuvantes de filtración. Se emplean cuando el material a filtrar es valioso y el residuo puede desecharse. Otra posible aplicación es como pre-capa, depositando una pequeña cantidad del coadyuvante sobre el medio filtrante antes de comenzar el proceso.

### *3.3 Variables Independientes*

#### *3.3.1. Variables de la Pulpa*

##### *3.3.1.1 características de pulpa*

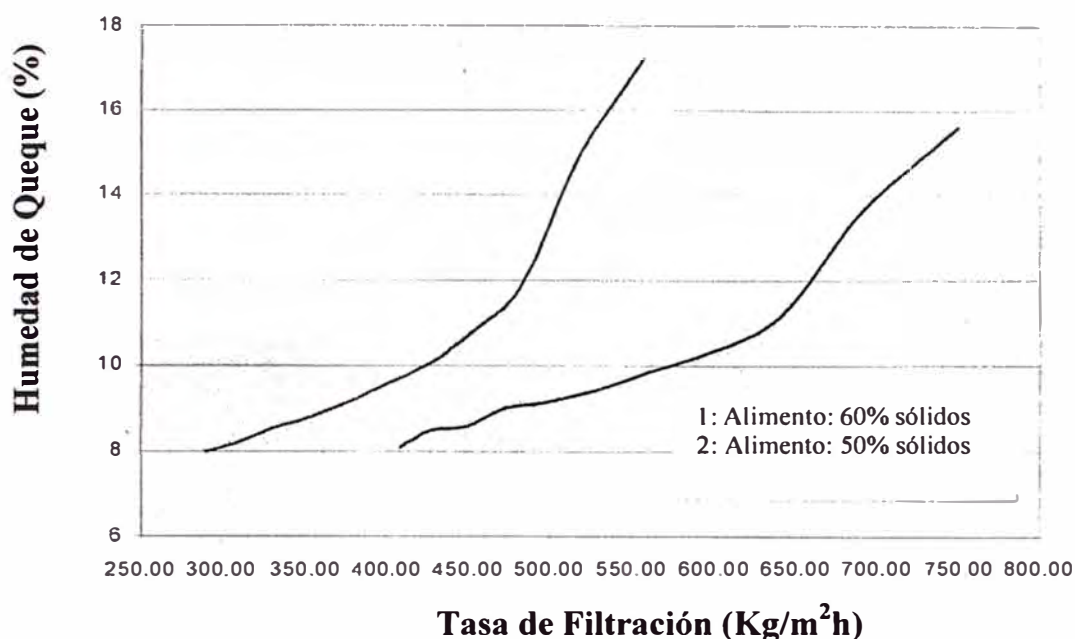
Están dadas por los siguientes parámetros físico-químicos: gravedad específica, pH, temperatura y porcentaje de sólidos; los que varían de acuerdo al tipo de concentrado.

##### *3.3.1.2 porcentaje de sólidos en la pulpa*

Generalmente cuando se tiene una alta densidad o un alto grado de porcentaje de sólidos suspendidos en las pulpas, la velocidad de filtración es alta. Se deberá usar, en planta, una densidad tan alta como sea posible. Si existieran muchas variaciones en los parámetros operacionales, se recomienda hacer pruebas simulando la peor condición, es decir la más baja densidad de pulpa.

La pulpa puede ser espesa o densa y aunque la fluidización puede ser retardada, debe permitirse que fluya y pueda ser bombeada. Los límites son el costo y el tamaño del filtro.

**Gráfico 3.3** Efecto de la concentración de sólidos en el alimento con respecto a la tasa de filtración



### 3.3.1.3 granulometría

A un mayor tamaño de partícula, se obtiene una alta velocidad de filtrado y una baja humedad del queque. Un tamaño de partícula mayor, generalmente favorece la tasa de filtrado, sin embargo, cuando se tienen partículas gruesas de sílice en el queque tiende a formarse costras sobre la tela que obstruyen las aberturas reduciendo la eficiencia de filtrado.

La formación del queque está influenciada por el tamaño de las partículas y se debe tener especial cuidado cuando se tienen materiales muy finos de alrededor al micrón. Los análisis de las muestras de concentrados se encuentran en el Apéndice G.

### 3.3.1.4 pH de la pulpa

El pH de la pulpa y la dispersión de partículas están estrechamente relacionados; en tal sentido, si el pH cambia,

puede decrecer la dispersión o incrementar la floculación pero no es una regla general.

Las limitaciones serian: un alto costo por materiales de alta resistencia a la corrosión en el filtro y accesorios cuando se usan agentes ácidos, y el costo en sí de éstos. Esta elevación de costos puede tener alguna compensación debido al incremento del rendimiento del filtro.

#### *3.3.1.5 temperatura de la pulpa*

Se determinó en general que tanto la viscosidad como la temperatura están relacionadas en la operación de filtrado. A medida que la temperatura aumenta la viscosidad se reduce y aumenta la velocidad del flujo y como resultado una alta capacidad de filtración.

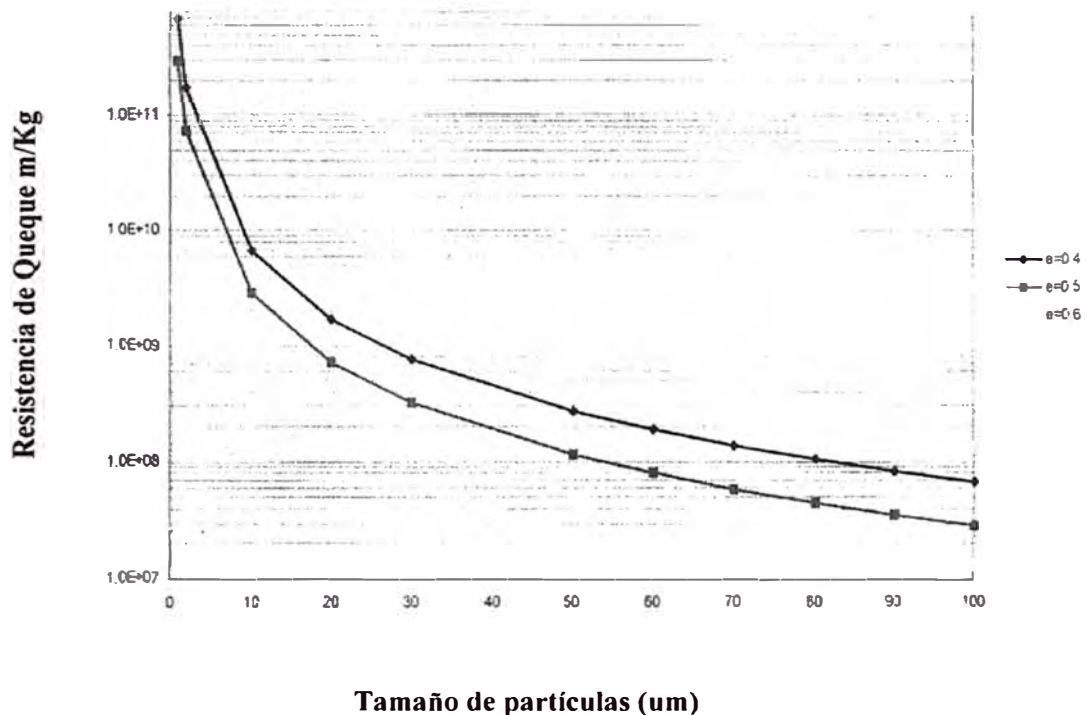
#### *3.3.1.6 viscosidad de la pulpa*

La viscosidad es usualmente una función de la temperatura, algunos productos no pueden ser alimentados y se deberá buscar la reducción de la viscosidad adicionando aditivos apropiados.

#### *3.3.1.7 permeabilidad del queque.*

Es la velocidad con el cual el líquido fluye a través del sistema. A menudo se usa el término R (Resistencia a la filtración) como recíproco de la permeabilidad. La resistencia que ofrecen los sólidos y que no se debe al medio filtrante se llama resistencia del queque y es cero al inicio del proceso, posteriormente a causa de la depositación continua de los sólidos sobre el medio, esta resistencia va aumentando con el tiempo de filtrado.



**Gráfico 3.4** Resistencia del Queque vs Tamaño y Porosidad

### 3.3.2 Variables del Filtro

#### 3.3.2.1 flujo de alimentación.

Un filtro es un sistema de flujo que trabaja por medio de una diferencia de presión aplicada en la entrada de la suspensión y la salida del licor filtrado; la suspensión circula a través del medio filtrante, en el cual se depositan los sólidos formando un lecho de partículas por el que debe seguir circulando la suspensión a filtrar. El filtrado pasa a través de tres clases de resistencias en serie:

1. Las resistencias de los canales que llevan la suspensión hasta la cara anterior del queque y luego hasta que sale del medio filtrante.
2. La resistencia correspondiente al queque.
3. La resistencia correspondiente al medio filtrante.

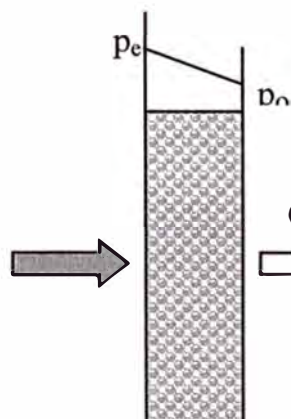
En la formación del queque el flujo de alimentación es de régimen laminar y la velocidad del fluido es lineal en cualquier instante ( $V$ ), lo anterior es importante ya que:

- Para una presión de filtrado cualquiera, la velocidad de flujo será inicialmente mayor al no existir una obstrucción mínima.
- Una velocidad de filtración inicial elevada, puede provocar la obstrucción de los poros de la tela filtrante.

### 3.3.2.2 diferencial de presión.

Con respecto a la distribución de la caída global de presión, se observa que por ser éste un flujo en serie, la diferencia de presión total en el filtro puede ser igual a la suma de las diferencias de presión individuales. El diseño del sistema de filtrado ayuda a que las resistencias de las conexiones de entrada y salida sean pequeñas y puedan ser despreciadas en comparación con la resistencia del queque y del medio filtrante.

La caída total de presión en el filtro es equivalente a la suma de las presiones generadas por el filtro, el queque y el medio filtrante. Al despreciar la resistencia de las conducciones, la caída total de presión del filtro en cualquier momento, es igual a la suma de las diferencias de presiones sobre el medio y el queque.



**Gráfico 3.5** Caída total de presión en el filtro

$$\Delta p_e = p_e - p_o > 0$$

- Es la diferencia de presión entre los lados de un medio poroso.
- Se mide en Pascales Pa ( $N/m^2$ ), bares, dinas/cm<sup>2</sup>, mm de Hg o en psi (lb/pie<sup>2</sup>).

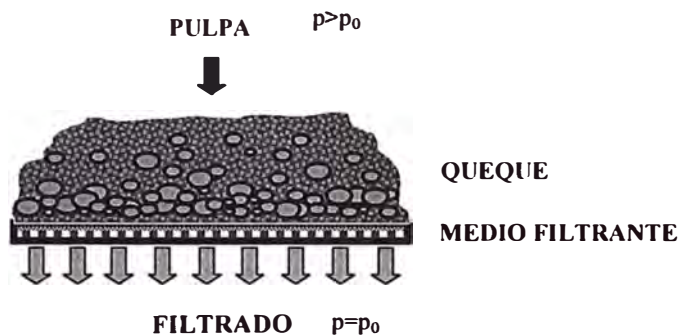
### 3.3.3. Variables del Medio Filtrante

#### 3.3.3.1 teorías sobre el medio filtrante.

La base de la teoría del flujo a través de un medio poroso está fundamentada en una experiencia que desarrolló Darcy en el siglo XIX.

El medio de filtración, de cualquier filtro, debe cumplir con los siguientes requisitos:

**Gráfico3.6** Medio de filtración



1. Retener los sólidos que han de filtrarse con rapidez después de iniciada la alimentación, dando como resultado un licor de filtrado suficientemente claro.
2. No debe obstruirse, o sea, mostrar una velocidad baja de arrastre de sólidos dentro de sus intersticios.
3. Presentar resistencia mínima al flujo de filtrado.
4. Ser químicamente resistente
5. Tener la suficiente consistencia física para resistir las condiciones del proceso (suficiente resistencia para sostener la presión de filtrado)
6. Mostrar una resistencia aceptable al desgaste mecánico.
7. Permitir la descarga limpia y completa del queque formado.
8. Poder conformarse mecánicamente al tipo de filtro en el cual se utilizará.

9. Permitir que el costo que sea amortizado por los ahorros logrados en el proceso (ciclo de uso extenso).

En relación a la resistencia que ofrece el medio filtrante, esta puede ser afectada por la diferencia de presión y tal vez por la velocidad de flujo. Tener en cuenta que un medio filtrante usado presenta una resistencia mayor al paso del fluido comparado con uno nuevo y limpio.

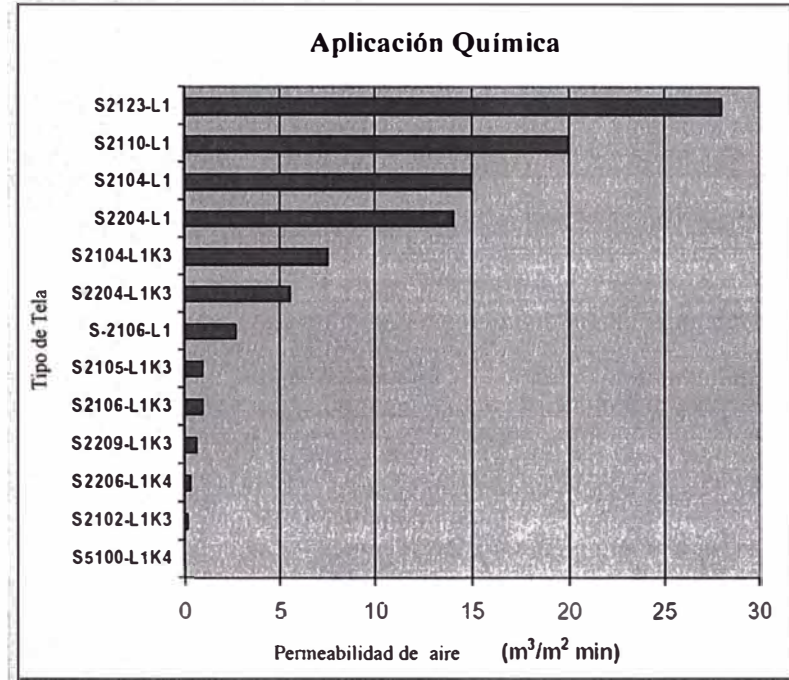
Esta resistencia del medio es considerada constante porque generalmente sólo es importante en los primeros instantes del proceso; después de su formación el queque actúa como medio filtrante y la tela sólo como soporte.

#### *3.3.3.2 espesor de la tela.*

Distancia medida entre la cara inferior y superior bajo una presión específica. Un aumento en el espesor provocará un aumento en la diferencia de presión antes y después de atravesar la tela.

#### *3.3.3.3 permeabilidad de la tela.*

En general, no es sencillo relacionar la permeabilidad con las características del medio poroso o medio filtrante. En general la tela solo es permeable al paso de líquido y aire, no permitiendo o siendo casi impermeable al paso de soluciones con alta viscosidad.

**Gráfico 3.7** Permeabilidad de Telas Tamfelt

### 3.4 Variables Dependientes

#### 3.4.1 Capacidad Unitaria

Como en los procesos de filtrado, las partículas son removidas desde la suspensión por el medio permeable. El incremento del espesor del queque llega gradualmente a incrementar la resistencia y decrece la permeabilidad.

La capacidad puede ser expresada en unidades de tiempo, de volumen de líquido alimentado o de cantidad del sólido.

#### 3.4.2 Tiempo de Filtrado

El tiempo total de un ciclo es la suma de los tiempos de filtrado y el no operativo, entendiendo como tiempo no operativo el de lavado (si fuera el caso) y un tiempo complementario, que es el tiempo

necesario para la descarga, limpieza, montaje y lista para empezar una nueva etapa de filtrado (*setting up*).

$$t_c = t + t' = t + t_L + t''$$

### 3.4.3 Tiempo de Secado

El espesor del queque (l) permanece constante y la cantidad de agua contenida (saturación inicial 1) al inicio de este periodo se va reduciendo con el transcurrir de cada instante t.

Este tiempo de secado dependerá de la humedad deseada en el queque.

### 3.4.4 Volumen de Licor Filtrado

Es el volumen total de líquido que se obtuvo durante la etapa de alimentación, presionado y secado. Este volumen puede contener sólidos en suspensión en cantidades mínimas, medible en ppm.

### 3.4.5 Masa del Queque

Es el peso en kilos de queque húmedo que quedó depositado sobre el medio filtrante (tela) al terminar el ciclo de filtrado

### 3.4.6 Espesor del Queque

Es la altura de masa de queque que quedó depositado sobre el medio filtrante al término de la última etapa del ciclo de filtrado.

### 3.4.7 Humedad

La humedad del queque es la razón de masa de agua a masa total, expresado en porcentaje, por lo que la relación entre humedad h y saturación s es:

$$h = 100 \frac{\rho_f \varepsilon_0 s}{\rho_f \varepsilon_0 s + \rho_s (1 - \varepsilon_0)}$$

donde:

$s$ : (vol. líquido antes del secado/vol. líquido después del secado)

$\rho_f, \epsilon_o, \rho_s$ : Nomenclatura.

#### *3.4.8 Flujo del Licor de Filtrado*

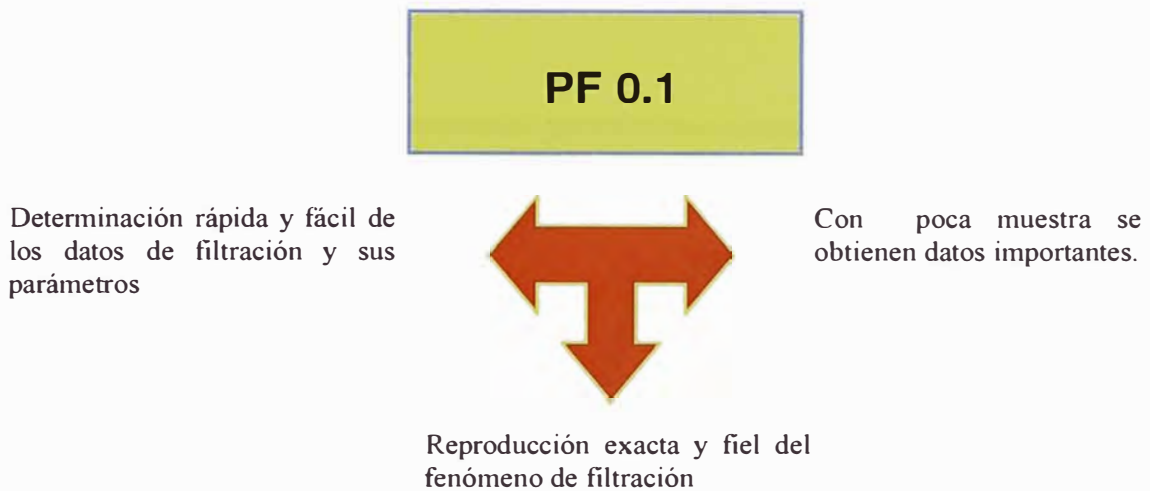
Cuando la bomba inicia su acción el medio filtrante ofrece poca resistencia existiendo una baja presión por lo tanto el caudal es alto y el flujo de licor filtrado relativamente constante. Luego la resistencia se incrementa a medida que crece el queque, y la presión se eleva haciéndose asintótica en un determinado valor máximo, mientras que disminuye el caudal según la curva característica.

## *Capítulo IV*

### **EVALUACIÓN DE UN CICLO DE FILTRADO EN EL FILTRO LAROX PF**

---

#### *4.1 Fundamento Teórico*



- \* Los filtros automáticos Larox, se utilizan extensamente en minería, en operaciones metalúrgicas de flotación, lixiviación, etc.
- \* Los filtros automáticos Larox, ofrecen el beneficio de obtener un queque seco, cuentan con alta eficiencia de lavado y brindan resultados coherentes aún cuando las propiedades mineralógicas o de proceso se muestren cambiantes.
- \* Los filtros automáticos Larox, ofrecen eficiencia garantizada a un mínimo costo de operación.

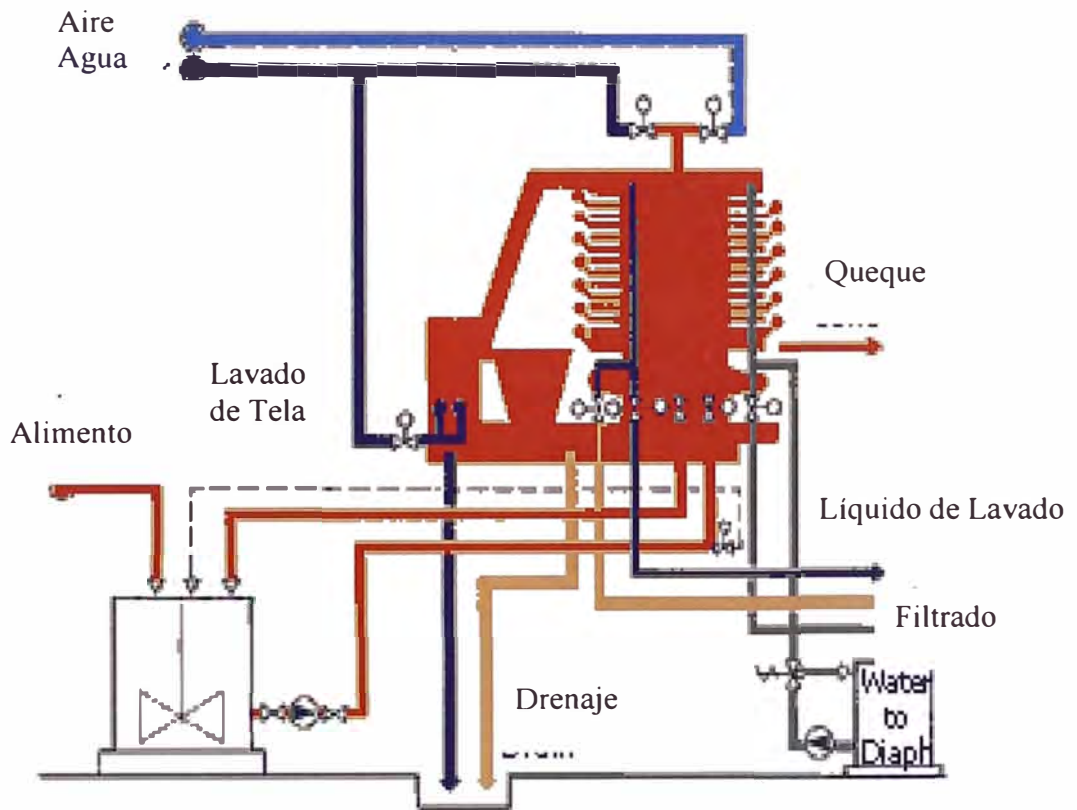


- \* Una aplicación principal de dichos filtros es la de permitir la filtración de partículas finas hasta grados de humedad residual igual o menor que las obtenidas con mayores granulometrías.

#### 4.2 Descripción del Filtro Larox PF Industrial

##### 4.2.1 Descripción del Filtro Automático de Presión Larox

**Gráfico 4.1** Esquema del Filtro Automático Larox



Los materiales para su fabricación son acero inoxidable y polipropileno, conveniente para aplicaciones corrosivas. Los diafragmas en la cámara están hechos de caucho natural.

Clasificación según el material de fabricación:

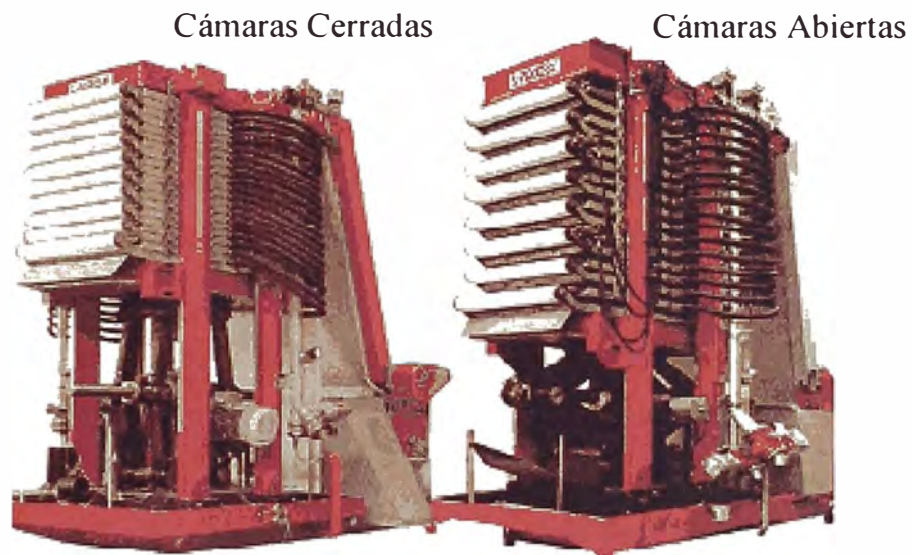
1 = Acero Inoxidable AISI 304 (pH = 4-14) PF 144 AI 60

Los filtros quizás pueden ser ensamblados y transportados en tamaños menores a 80 m<sup>2</sup>, pero para filtros más grandes se requieren su ensamblaje in situ.

#### 4.2.2 Partes del Filtro Larox

Los filtros automáticos de presión consisten de las siguientes partes:

**Gráfico 4.2** Vista General de Filtros Automáticos Larox



##### 4.2.2.1 estructura.

Es muy firme, sostiene los platos y los dos accesos aleatorios hidráulicos que mantienen a estos cerrados durante el ciclo entero de filtración y los abren antes de la descarga de queque. Para máxima seguridad, las cuñas especiales aseguran que los platos se cierren positivamente durante el ciclo de filtración y luego sean liberados automáticamente permitiendo el movimiento hacia abajo de los accesos aleatorios para la descarga del queque. La estructura sostiene también la tela tensionada y alinea los

rodillos, así como la tela de lavado múltiple que usa altos impactos para desprender las partículas de ambos lados de la tela.

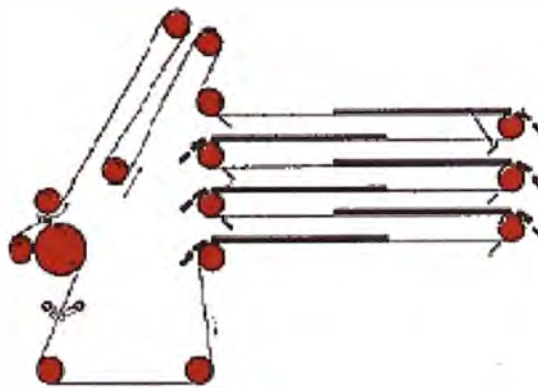
#### 4.2.2.2 tela de filtración.

Sirve para filtrar y descargar el queque al final del ciclo. Este normalmente es suministrado con 1,5 - 2,0 mm. de grosor, hecho de polipropileno la cual se teje densamente y es lo suficientemente fuerte con énfasis en la parte longitudinal ya que ésta es sometida a mayores esfuerzos de tracción. La densidad de la tela no sólo asegura resistencia y durabilidad sino también licores de filtrados limpios.

Se tienen:

- Un cinturón interminable y largo de tela que se enhebra en todos los rodillos y cámaras de descarga del queque a recipientes posicionados en ambos terminales.
- Un cinturón individual de tela para cada cámara en la descarga de queque a un recipiente posicionado en un terminal.

**Gráfico 4.3** Disposición de la Tela de Filtrado

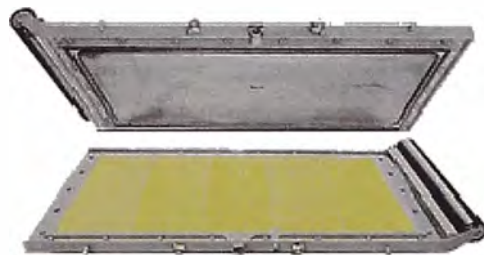


#### 4.2.2.3 cámara.

Tiene dos partes:

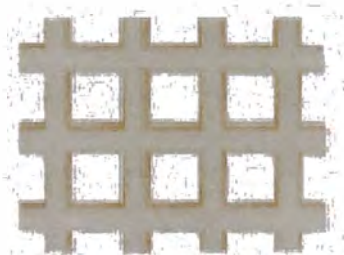
1. Un plato superior con un diafragma de caucho conectado y que descarga en un solo sitio. A su vez el plato tiene dos conexiones separadas:
  - Uno para alimento de pulpa y agua de lavado.

**Gráfico 4.4** Placas del Filtro



- Y el otro para presionar el queque por inyección de agua bajo presión encima del diafragma.
2. Un plato en la parte inferior con una cuadrícula de polipropileno en su interior que sostiene la tela filtrante y el queque formado. Este plato tiene una zona de descarga al final. Existen diseños de cámaras que proporcionan doble área de filtrado (doble cara de filtración de la tela) y en este caso hay dos diafragmas de polipropileno que van juntos con el plato.

**Gráfico 4.5** Parrilla de Polipropileno o Soporte



Los filtros de 150 m<sup>2</sup> tienen 24 platos de 1.5 m x 4.0 m con una profundidad de cámara de 60 mm.

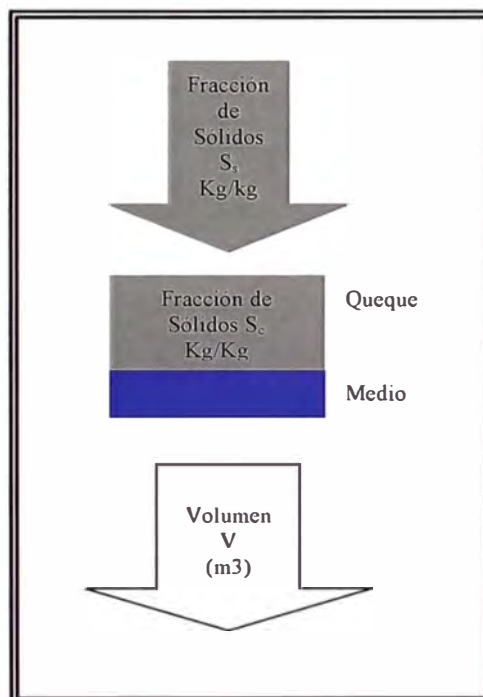
#### 4.2.2.4 adicionales.

El mayor adicional requerido para el funcionamiento del sistema de filtrado a presión es una bomba que lleve el aire a los diafragmas de las cámaras a la presión de 16 bares.

#### 4.3. Descripción del Ciclo de Filtrado

La filtración se realiza dentro de cámaras formadas por dos placas horizontales, la superior y la inferior. La pulpa es bombeada al interior de éstas a una zona que está limitada por un diafragma (parte superior) y una tela filtrante (parte inferior) que actúa como correa extractora del queque.

**Gráfico. 4.6** Balance de masa en un Proceso de filtrado.



### 4.3.1 *Secuencia de Operación*

#### 4.3.1.1 *alimentación.*

Una vez cerrado el conjunto de placas, la pulpa es alimentada simultáneamente a cada una de las cámaras. El queque se forma tan pronto como empieza el flujo de licor filtrado. El tiempo de la alimentación al filtro es generalmente entre 1 y 3 minutos a una presión de 6 bar. y se controla automáticamente.

**Gráfico. 4.7** Etapa de Alimentación



Durante el periodo de formación del queque se elimina la mayor parte del líquido de la suspensión. Finalizada esta etapa, que se caracteriza porque la superficie del queque se ve seca, los poros aún están llenos de líquido, esto es; saturados. Este líquido solamente se puede eliminar utilizando presionado, secado ó con la combinación de estos.

#### 4.3.1.2 *presionado.*

El aire presurizado entra por detrás del diafragma de caucho. El diafragma presiona el queque contra la superficie de la tela, provocando un flujo mayor de filtrado. El aire comprimido ingresa generalmente entre 1 a 6 minutos, y las presiones varían entre 6 a 16 bar., y se controlan automáticamente.

Para los filtros con áreas menores de  $30\text{m}^2$ , se utiliza agua para inflar los diafragmas que comprimen el queque después de bombear la pulpa de alimentación.

**Gráfico. 4.8** Etapa de Presionado: Presionado I

El presionado constituye un sistema cerrado. El agua se bombea del tanque para inflar los diafragmas, y retorna al tanque una vez completada la operación. El tanque de agua está situado debajo del filtro para permitir su drenaje de regreso al tanque. La tubería debe ser tan corta como posible.

Para los filtros con áreas mayores de  $30\text{m}^2$ , el aire comprimido se utiliza para inflar los diafragmas y de esta forma reducir los tiempos de llenado y vaciado. Un sistema de aire exclusivo se debe utilizar para el filtro para evitar las pérdidas inesperadas de presión, común en un sistema compartido de recirculación de aire.

El presionado incompleto del queque puede conducir a que se agriete. El presionado es un procedimiento totalmente diferente, en el que se aplica presión mediante una superficie impermeable.

Aunque el queque puede ser considerado incompresible, en la etapa de formación se comprime por la alta presión ejercida por esta superficie, que remueve el líquido desde su interior.

#### 4.3.1.3 lavado (opcional).

**Gráfico. 4.9** Etapa de lavado



El líquido de lavado se bombea hacia las cámaras del filtro (parte superior del queque) y se utiliza en el lavado del queque. El aspecto del queque debe ser plano y sin resquebrajaduras.

#### 4.3.1.4 presionado II (opcional).

**Gráfico. 4.10** Etapa de Presionado II



El líquido de lavado que permanece en la cámara es presado produciéndose un desplazamiento casi total del licor de lavado, con lo que se aumenta la eficiencia del filtrado.



#### 4.3.1.5 secado del queque.

El aire presurizado entra a la cámara y levanta el diafragma. El aire que pasa a través del queque reduce el contenido de agua hasta el punto óptimo y vacía las cámaras de filtrado.

**Gráfico. 4.11** Etapa de secado



La presión del aire soplado a través del queque para alcanzar la humedad final requerida varía entre 6 y 10 bar. En el comienzo el aire se sopla a alta presión, necesario para desplazar el agua residual contenida en los espacios (poros). El caudal de aire es en este instante, bajo, aunque no continúa así durante todo el secado.

En este punto, el caudal de aire aumenta, y fomenta la salida de agua (humedad) de la superficie de los sólidos. El queque puede contraerse mientras que se seca y las grietas pueden crear una línea de menos resistencia para el aire de secado. En este punto, la inyección de aire llega a ser ineficaz y debe ser cancelada.

Los filtros automáticos de presión pueden ajustar el flujo de aire y la presión, con el objetivo de optimizar su uso en esta etapa intensiva. El consumo de aire para hacer eficiente el secado del queque se ve influenciado por etapas anteriores del ciclo de filtrado.

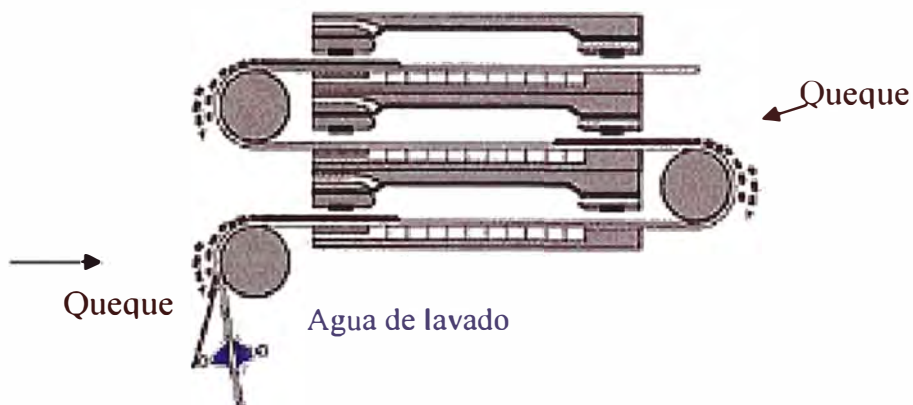
El consumo de aire de secado para concentrados de flotación es de 0,5 a 0,8 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. El tiempo normal de secado es de 1 a 4 minutos.

#### 4.3.1.6 descarga del queque.

Una vez secado el queque, el conjunto de placas se abre y se pone en marcha el mecanismo de movimiento de la tela, descargándose el queque a ambos lados.

La descarga del queque ocurre de ambos extremos de la tela y se termina entre 10 y 30 segundos por ciclo.

**Gráfico. 4.12** Descarga del Queque

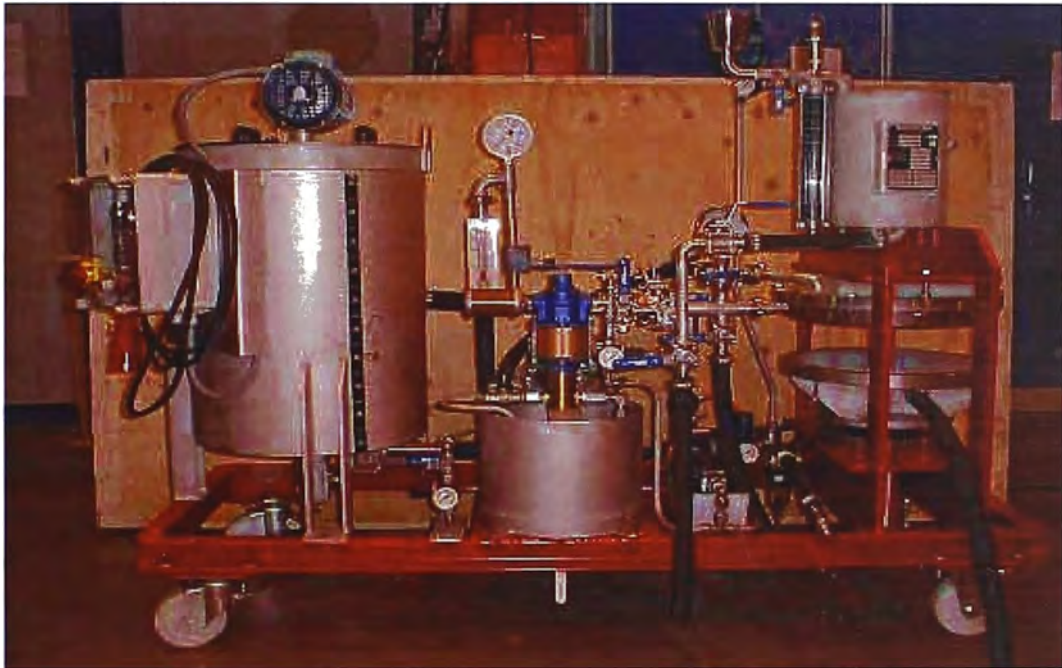


Aunque los filtros pueden descargar directamente sobre depósitos ubicados bajo estos, el transporte del queque seco a un almacén es una mejor opción.

#### *4.4 Descripción del Filtro Larox PF 0.1*

##### *4.4.1 Diagrama del Filtro PF 0.1*

**Gráfico 4.13** Vista General del Filtro Larox PF0.1



##### *4.4.2 Sistema de Funcionamiento del Filtro Larox PF 0.1*

###### *4.4.2.1 requerimientos de la unidad*

Aire            6 bar mínimo, seco y limpio.

Energía        220 V/ 60 Hz / 2  $\phi$

La unidad posee filtros de humedad en aire, no obstante se debe verificar la humedad y limpieza del aire, pues estos parámetros afectan negativamente el funcionamiento de la unidad.

**Gráfico 4.18** Representación del Sistema de Filtración Larox PF 0.1

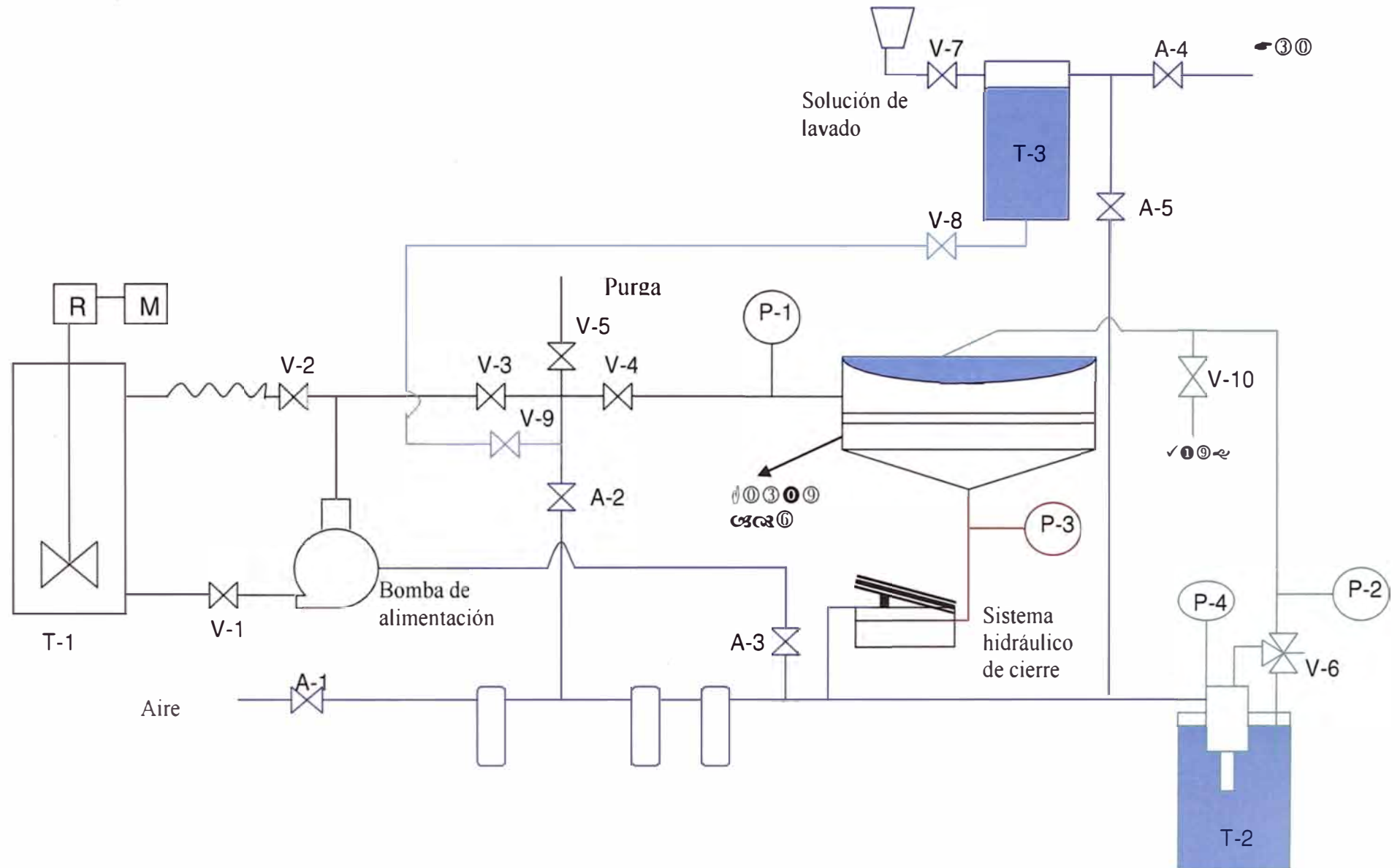
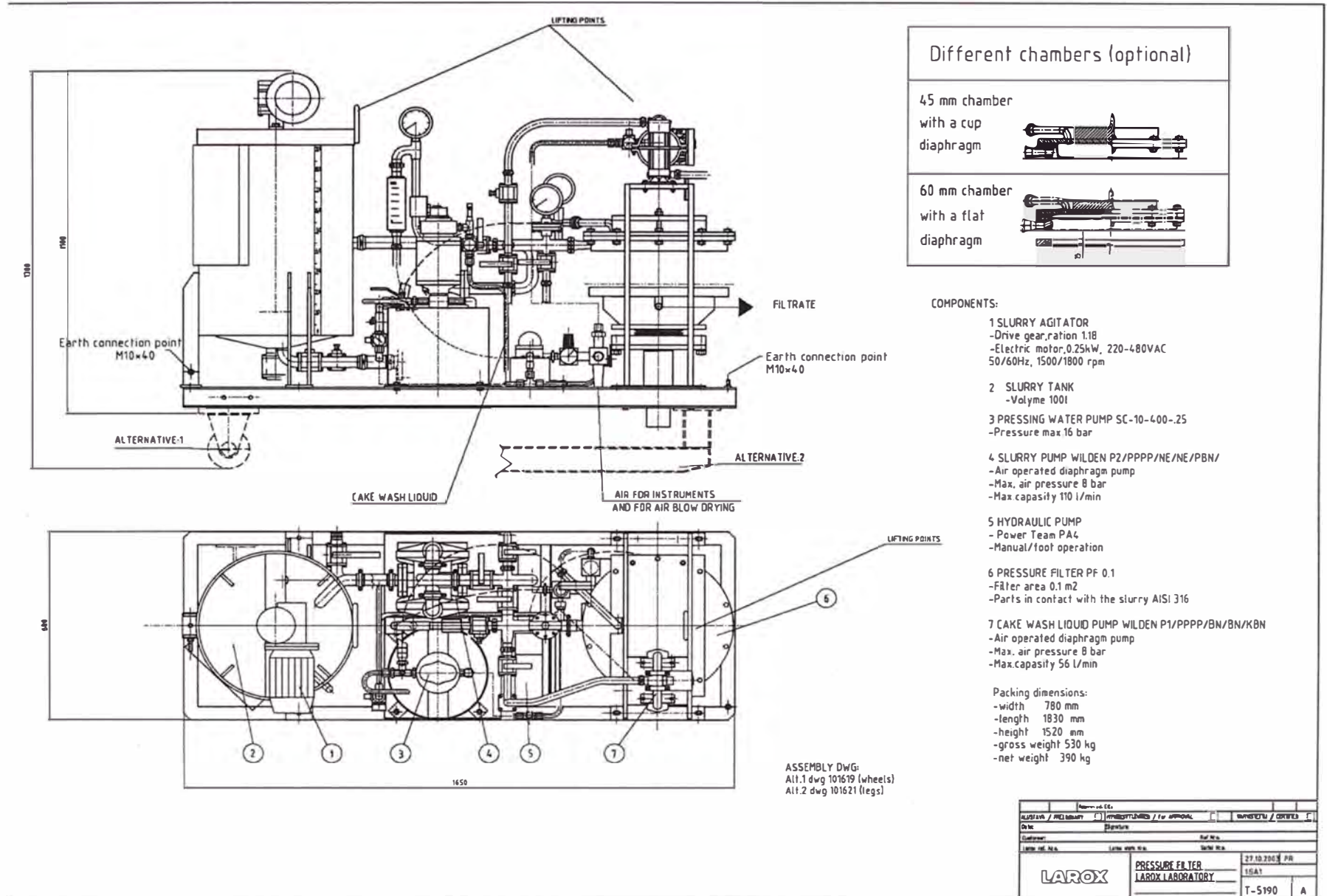


Gráfico 4.19 Plano del Filtro Larox PF 0.1



#### 4.5 Optimización del Funcionamiento del Filtro Larox

Para poder optimizar el funcionamiento del filtro Larox, se debe realizar lo siguiente:

- Recolectar Información, para lo cual se debe tener un estudio de antecedentes históricos (por lo menos del último mes) del proceso y del funcionamiento del equipo.
- Realizar ensayos de filtración, la realización de las pruebas de filtración es un paso muy importante para optimizar el rendimiento del equipo. Con las pruebas se determinará los parámetros del proceso. Ver capítulo V y VI.
- Analizar la información y proponer mejoras.
- Implementar los cambios que sean propuestos.
- Entregar sistema optimizado.

Se puede optimizar los ensayos, ya que es evidente que en los procesos de filtrado a presión constante, a medida que transcurre el tiempo de filtración, el caudal de licor filtrado es menor. Es por ello, que deberá existir un momento en que la continuación del proceso de filtrado no será rentable, por lo que existe un óptimo que es el que siempre se debe buscar. Este óptimo se cumple para el tiempo en que la capacidad de filtración es máxima.

Las condiciones óptimas de filtración se obtendrán al maximizar la función capacidad de filtración, es decir:

$$\frac{dF(c)}{dV} = 0$$

que es la condición de máximo. Al igualar a cero la derivada de la capacidad de filtración con respecto al volumen filtrado será posible obtener volumen óptimo. De igual modo puede obtenerse el tiempo óptimo de filtración si la derivada se realiza con respecto al tiempo. La diferencia radica en que para el primer caso el tiempo debe expresarse en función del volumen de filtrado, mientras que en el segundo es el volumen el que debe expresarse en función del tiempo de filtrado.

Para el caso concreto que el tiempo no operativo, “t’”, sea un valor determinado, el modo de obtener el óptimo se describe a continuación.

El tiempo de filtración en función del volumen filtrado, es:

$$t = K_1 V^2 + K_2 V$$

con lo que la capacidad de filtración se puede expresar como:

$$F(c) = \frac{V}{(K_1 V^2 + K_2 V) + t'}$$

El óptimo se encuentra derivando la expresión anterior e igualando a cero:

$$\frac{dF(c)}{dV} = \frac{d}{dt} \left[ \frac{V}{(K_1 V^2 + K_2 V) + t'} \right] = 0$$

Operando se obtiene:

$$t' = K_1 V^2$$

que es el tiempo no operativo para que el volumen de filtrado resulte óptimo.

Si se da un tiempo no operativo determinado, el volumen de filtrado para que la capacidad de filtración sea óptima será:

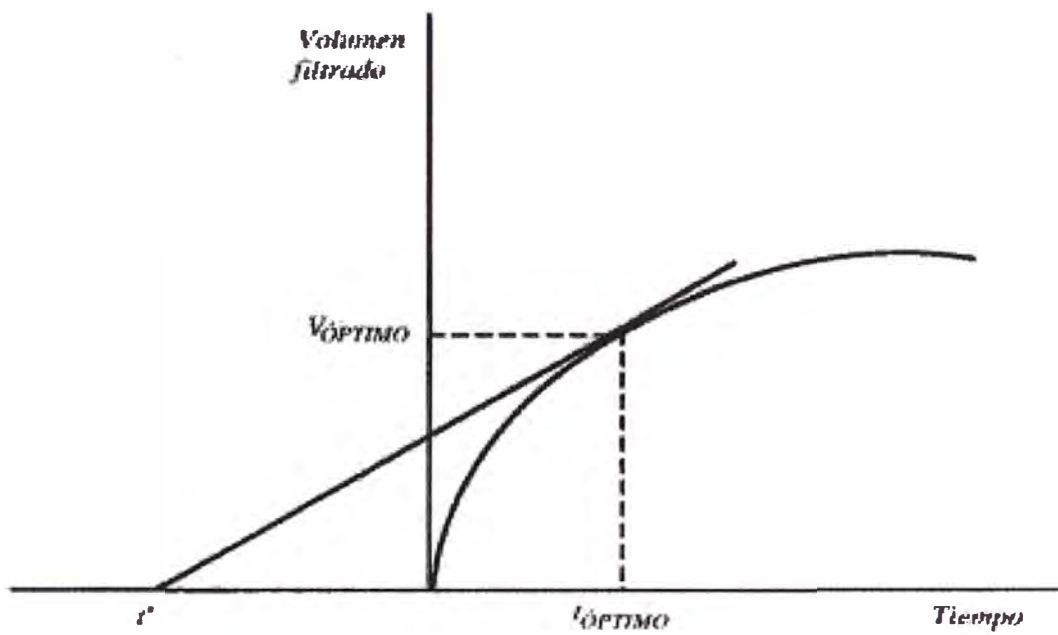
$$V_{OPTIMO} = \sqrt{\frac{t'}{K_1}}$$

El tiempo óptimo se obtendrá al sustituir este valor del volumen en la ecuación anterior:

$$t_{OPTIMO} = t' + K_2 \sqrt{\frac{t'}{K_1}}$$

El método gráfico de Sbarbaugh, permite obtener directamente los valores de volumen y tiempo óptimos, a partir de la curva del volumen de filtrado en función del tiempo. Para obtener volumen óptimo y tiempo óptimo desde el punto de coordenadas (-t',0) se traza la tangente a la curva de filtración. El punto de tangencia posee como coordenadas los valores del tiempo y volumen de filtrado óptimos.

**Gráfico 4.20:** Determinación de las Condiciones Óptimas de Filtrado haciendo uso del Método Gráfico.





## Capítulo V

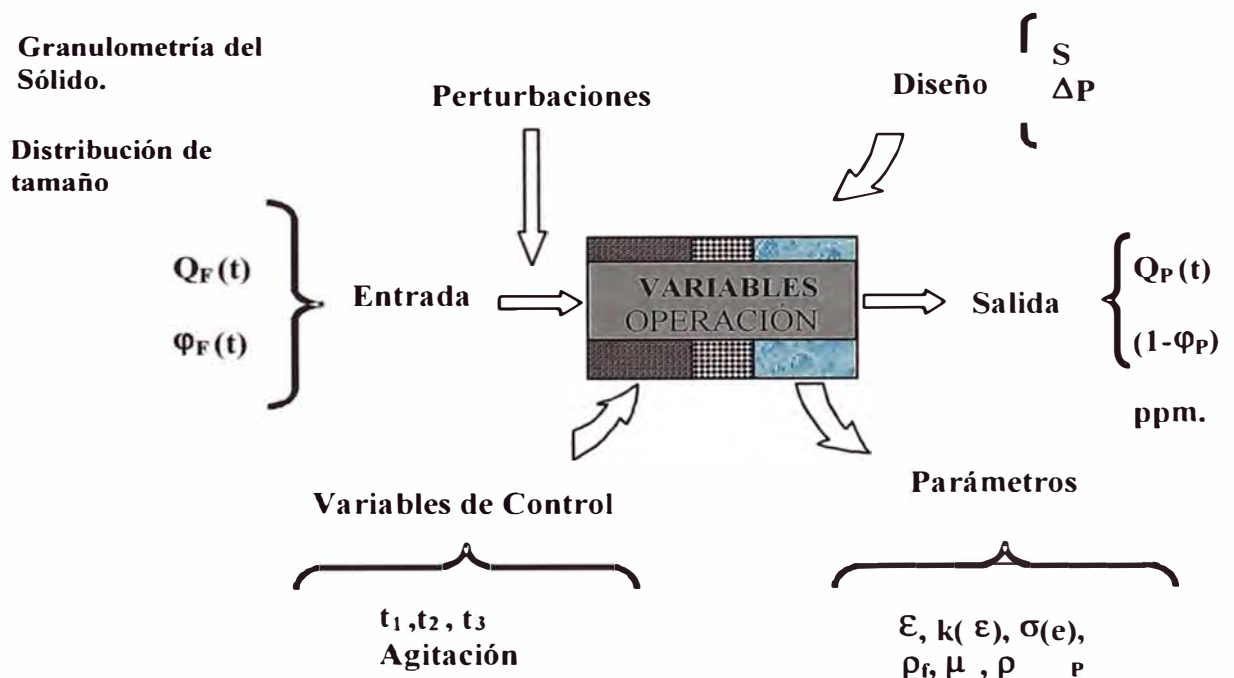
### SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO

Parámetros que permitan evaluar el proceso de filtrado.

Primero, considerar la factibilidad de que estos parámetros formen parte importante en el proceso de filtrado.

Segundo, asociar estos parámetros con la producción del queque, la baja humedad a obtenerse y el proceso mismo. Dichas asociaciones deben estar en función de los costos de operación y de adquisición.

Gráfico 5.1 Parámetros del Proceso



### *5.1 Objetivo*

- Presentar parámetros, factibles de intervenir en el proceso de evaluación de la filtración.
- Seleccionar los parámetros que permitan evaluar la producción del queque.
- Presentar dichos parámetros de tal forma que hagan posible la evaluación antes mencionada.

### *5.2 Justificación*

No existe uniformidad de criterios para la selección de parámetros. Por lo tanto, se hace necesario crear mecanismos que permitan dicha evaluación, a fin de que los seleccionados puedan ayudar en el estudio.

En este estudio se presenta una serie de parámetros (ver Gráfico 5.1) a través de los cuales se puede evaluar la filtración. El problema planteado se resume en selección de aquellos elementos considerados como parámetros que intervienen en el proceso de filtrado.

Además se presenta una serie de elementos seleccionados como parámetros y variables, para intervenir en la evaluación del proceso. Dichos elementos se relacionaron con los factores que afectan la producción del queque. En consecuencia, se consideró como producto al queque que se obtiene al final del ciclo de filtración. La selección de los parámetros fue posible por las diferentes pruebas que se realizaron con los diversos tipos de material con carácter experimental.

Los parámetros elegidos se constituyeron en soporte para la obtención de información con el fin de evaluar la producción de queque con humedad residual (queque de apariencia seco). Los parámetros especificados son concentración de pulpa, densidad del sólido, viscosidad de pulpa, medio filtrante, presión en las 3 etapas, porosidad y permeabilidad, con los cuales comenzaremos el estudio del fenómeno.

## *Capítulo VI*

### **PLANIFICACIÓN DE PRUEBAS**

La disposición general del equipo de prueba se muestra en el Gráfico. 4.13 y 7.1. El material utilizado para las pruebas fue pulpa fresca (concentrado) de densidades variables (ver la hoja de datos).

Dichas muestras se procesaron en el laboratorio de Larox. El material fue homogenizado en el tanque de alimentación del filtro PF0.1 con agitación constante. El área de filtración 0.1 m<sup>2</sup>.

#### *6.1 Pruebas de Laboratorio*

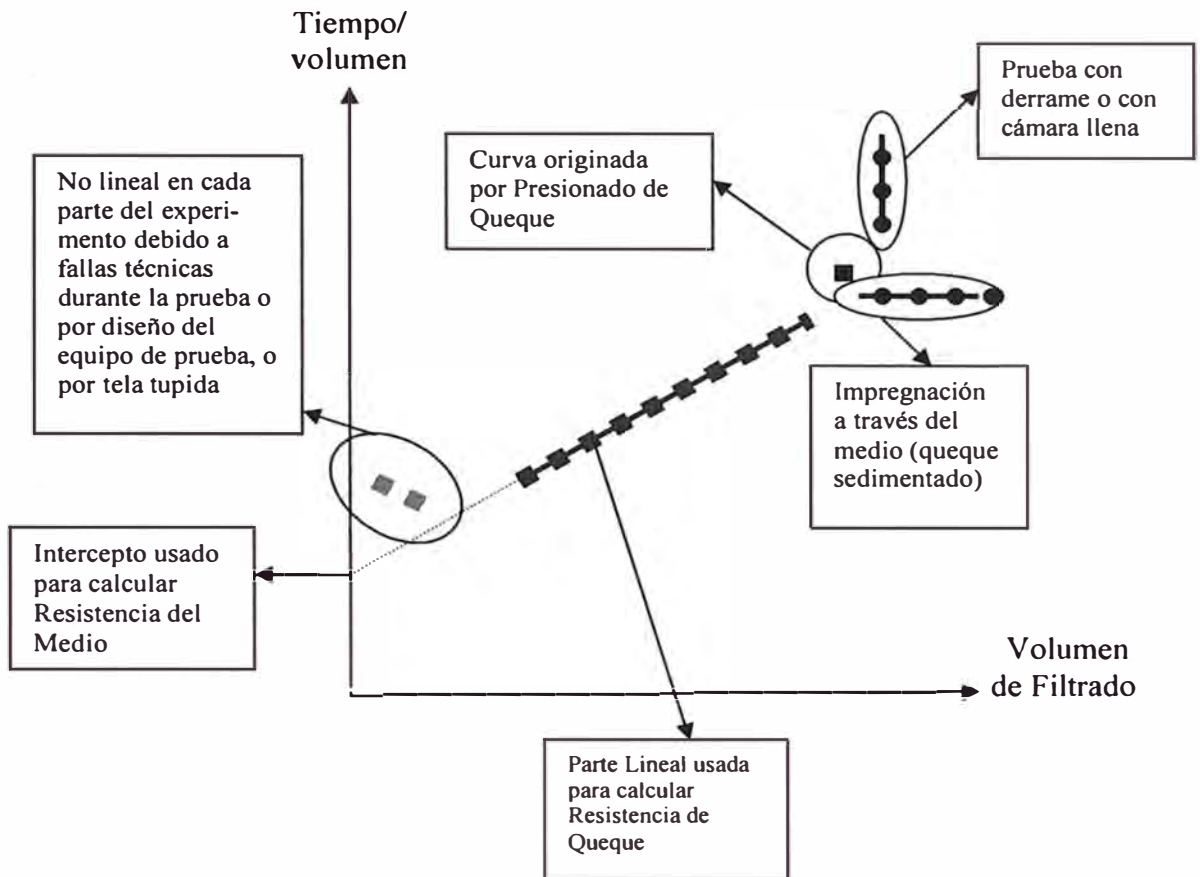
##### *6.1.1 Teoría Involucrada en las Pruebas*

La prueba de filtración a presión constante es el método normalmente utilizado para obtener datos de laboratorio para el desarrollo de un filtro a escala, los diferentes arreglos experimentales son bastante parecidos.

Éstas consisten en la práctica convencional de registrar el tiempo y volumen acumulativos de filtrado y convertirlos en un gráfico del tiempo/volumen versus el volumen.

Idealmente se produce una línea recta desde la cual se pueden calcular la resistencia del queque y la resistencia del medio filtrante.

Sin embargo en realidad, se observan con frecuencia desviaciones de este ideal, como se muestra en el Gráfico 6.1.

**Gráfico 6.1** Tiempo/volumen vs. Volumen de Filtrado - Desviaciones

La falta de linealidad al comienzo de la filtración se debe a las interacciones entre el medio filtrante y las capas iniciales de las partículas que forman el queque y/o a pobres características de drenaje que pueda tener el filtro de laboratorio.

La falta de linealidad hacia el final del filtrado puede ocurrir debido a:

- Si la filtración se lleva a cabo en un filtro con una cámara fija de volumen, entonces cuando la cámara está repleta con el queque, el volumen de licor filtrado que se obtiene en cada intervalo de tiempo se reduce.

- Cuando el queque se encuentra formado y es de gran altura dentro del diafragma y se continúa inyectando pulpa al interior de la cámara, entonces el diferencial de presión aplicado solo sirve para desaguar el queque y la tasa de flujo de licor filtrado se hace menor.
- Si ha ocurrido un asentamiento de sólidos durante la realización de la prueba, traerá como consecuencia que los datos tiendan a asumir una meseta horizontal como avance de penetración (antes que filtrar).

Cualquiera de las desviaciones sobre de la linealidad puede conducir a errores significativos al calcular la resistencia del queque y el medio filtrante así como la humedad final del queque. Para obtener un mejor análisis de los datos con un escalamiento seguro, se recomienda lo siguiente:

1. Observar al detalle todo el experimento, especialmente al final, para que la condición final del queque quede definida.
2. Aplicar las correcciones convenientes para justificar la pérdida de líquido del queque final debido a cualquier pérdida de volumen
3. Escoger muy cuidadosamente la región lineal del tiempo/volumen versus el volumen.

### 6.1.2 Ensayes de Laboratorio

#### 6.1.2.1 ensayes.

- Análisis granulométrico por vía húmeda en mallas finas y método de Decantación en Beaker.
- Obtención de la gravedad específica por el método del picnómetro. Todos los resultados se encuentran en el Apéndice A.

$$Ge = \frac{PM - P}{PH_2O + M - PMH_2O}$$

Donde:

PM : peso del picnómetro y mineral

P : peso del picnómetro

PH<sub>2</sub>O : peso de picnómetro + agua

M : peso de mineral

PMH<sub>2</sub>O : peso del picnómetro + mineral + agua

- Pruebas en el filtro piloto de presión horizontal Larox.
- Secado y pesado de muestras.
- Pruebas complementarias necesarias para obtener los datos requeridos.

#### *6.1.2.2 materiales e instrumentos.*

- ✓ Filtro de presión Larox PF0.1
- ✓ Viscosímetro
- ✓ Manómetro
- ✓ Horno de secado
- ✓ Pie de Rey
- ✓ Termómetro
- ✓ Mallas ASTM finas
- ✓ Ciclosizer \*
- ✓ Medidor de acidez
- ✓ Probetas
- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Cilindro graduado
- ✓ Picnómetro
- ✓ Carbonato de calcio
- ✓ Balanza digital
- ✓ Balanza mecánica
- ✓ Cronómetro

- ✓ Recipientes de muestras
- ✓ Hoja de control de Larox

**Nota: (\*)** Las pruebas con el ciclosizer se realizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería – Escuela de Metalurgia.

### *6.2 Problemas en la Toma de Datos en un Proceso de Filtrado*

La dificultad que tienen las empresas para modificar en forma reiterada y consecutiva las condiciones de operación de sus sistemas o equipos de filtrado.

La escasa información que permita conocer el efecto que provoca en el proceso de filtración, la variación de los diversos parámetros involucrados.

Puede haber diferencias significativas en las características de filtrado entre los concentrados debido a la mineralogía, a la distribución de tamaño, a la temperatura e incluso a la salinidad del agua de proceso. La manera más confiable de seleccionar los filtros de presión es realizar pruebas de filtración: una muestra representativa del concentrado puede anticipar la gama de condiciones de filtrado que se tendrán.

Las pruebas de filtración medirán la relación entre el índice de filtrado y la humedad del queque, e identifican el rango de operación óptimo.

### *6.3 Cálculos Rápidos*

Las diversas pruebas de filtración discontinuas han sido realizadas contando con el conocimiento de todo lo anterior expuesto, lo que comprende los diversos cálculos para dimensionar equipos.

La compañía Larox (una de las empresas más importantes en separación sólido – líquido, ya que ofrece al mercado una de las últimas innovaciones en equipos

de filtrado), ha desarrollado uno de los métodos modernos en cuanto a pruebas de nivel laboratorio y su escalamiento para una producción elevada de sólidos secos.

La evaluación de los datos de la hoja de prueba es pre-requisito para dimensionar la producción del filtro. Por consiguiente, la metodología de registro de datos y evaluación de resultados es lo de mayor importancia.

Al final todos los datos de la hoja de pruebas están dirigidos a establecer la capacidad (sólidos secos) en Kg/m<sup>2</sup>h.

El valor del tiempo total de filtrado esta dado por:

$$T_{\text{ciclo}} : T_{\text{alimentación}} + T_{\text{presionado}} + T_{\text{lavado}} + T_{\text{secado}} + T_{\text{descarga}}$$

$$H : \% \text{ humedad} \qquad A_{\text{filtro}} : \text{m}^2$$

$$W_{\text{sólidos secos}} (\text{Kg}) : \left[ \frac{(100 - H)}{100} \times W_{\text{quequehu medo}} \right]$$

El tamaño del filtro se basa en la tasa de filtración expresada en kg secos de sólidos por metro cuadrado de área de filtración por hora (kg/m<sup>2</sup>/h). Los datos de filtración no son representados por un solo punto y hay una relación entre la capacidad del filtro y la humedad del queque. La humedad baja se puede sacrificar para elevar la capacidad y viceversa.

Entonces se calcula la tasa de filtración de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de filtración (kg/m}^2\text{h)} : \left[ \frac{W_{\text{sólidossecos}}}{A_{\text{filtro}} \times \frac{T_{\text{ciclo}}}{60}} \right]$$



Conociendo este valor y las toneladas por hora que se producen en la Planta, se podrá conocer el área del filtro requerida, teniendo conocimiento que el filtro Larox tiene 0.9 de disponibilidad y el área de filtración usada para pruebas fue 0.1 m<sup>2</sup>.

Las pruebas permiten una evaluación total de las variaciones en los parámetros de filtración, el desempeño del filtro, la optimización del ciclo de filtración, la selección del filtro más conveniente (o filtros) y el equipo adicional.

Si no se dispusiera de muestras para las pruebas, será necesaria una rápida estimación, se aproxima el filtro y los equipos adicionales desde datos típicos en aplicaciones semejantes.

Si la producción de la planta y las horas de operación fueran conocidas, es posible calcular el área requerida de filtrado utilizando una tasa estimada de filtración tomada de Tablas, con la fórmula:

$$A = \frac{W * 1000}{C_E * t * f}$$

Donde

- A = Área de filtración requerida [m<sup>2</sup>]
- W = Capacidad anual [toneladas de sólidos secos por año]
- C<sub>E</sub> = Tasa de filtración estimada de Tablas [kg/m<sup>2</sup>/h]
- t = Horas de operación anual [h]
- f = Factor de disponibilidad para PF  
(normalmente 90% = 0.9)

Todos los filtros pueden ser expandidos. Esto debe ser tenido en cuenta si fuera posible incrementar la producción o si se anticipan cambios en la mineralogía.

## *Capítulo VII*

### **DATOS Y RESULTADOS EN PRUEBAS CON FILTRO LAROX PF 0.1**

En la foto se aprecia la forma en que se coloca el medio filtrante para comenzar una prueba de Filtración.

**Gráfico. 7.1** Foto de filtro Larox PF 0.1



Las variables de operación fueron tomadas de acuerdo a la hoja de trabajo y son presentadas en los cuadros continuos.

Los cuadros muestran datos obtenidos de las pruebas con los diversos tipos de concentrados.











### *7.5 Análisis de Resultados de las Pruebas con Concentrados de Cobre, Zinc I, Zinc II y Zinc III*

#### Pruebas con concentrado de cobre: Caso A

Según observamos en las Tablas, los tiempos de filtración probados fueron, el más largo 11 minutos y el más corto 8.7 minutos. El tiempo de alimentación fue 2 minutos, 0.7 minutos de presionado y 2 minutos de secado. Del total de pruebas que se hicieron cabe mencionar que la menor humedad que se obtuvo fue 6.9 y que la tasa de filtración mayor fue 828.4 kg/m<sup>2</sup>h. La altura de cámara fue 60mm. La prueba N° 9 será usada como ejemplo para otros cálculos.

#### Pruebas con concentrado de zinc I: Caso B

Los tiempos de filtrado estuvieron entre 7.1 y 8.5 minutos. La prueba N°2, se explicará detalladamente más adelante, aquí se usó 1.5 minutos de alimentación, 0.5 minutos de presionado y 2 minutos de secado, obteniéndose 8.7% de humedad y 657.0 kg/m<sup>2</sup>h con cámara de 60mm.

#### Pruebas con concentrado de Zinc II: Caso C

Los tiempos de filtrado estuvieron entre 7.0 y 9.5 minutos, las humedades alcanzadas entre 6.00 % y 9.33%, las tasas de filtración entre 444.1-523.9kg/m<sup>2</sup>h, altura de cámara 60 mm.

#### Pruebas con concentrado de Zinc III: Caso D

Esta pulpa tenía baja densidad, por lo tanto, se trabajó con densidades variables hasta llegar a obtener una densidad alta.

En la prueba N°2, 3 minutos de alimentación, 1.5 minuto de presionado y 1.5 minutos de secado, obteniéndose 8.91% de humedad y 460.2 kg/m<sup>2</sup>h. Se usó igual altura de cámara que en los anteriores.



### 7.6 Resultado de las Pruebas usando ayudas en el Proceso - Surfactante

Muestra: concentrado de cobre

Reactivos utilizados:

- reactivo A
- reactivo B
- reactivo C

Condiciones de filtración:

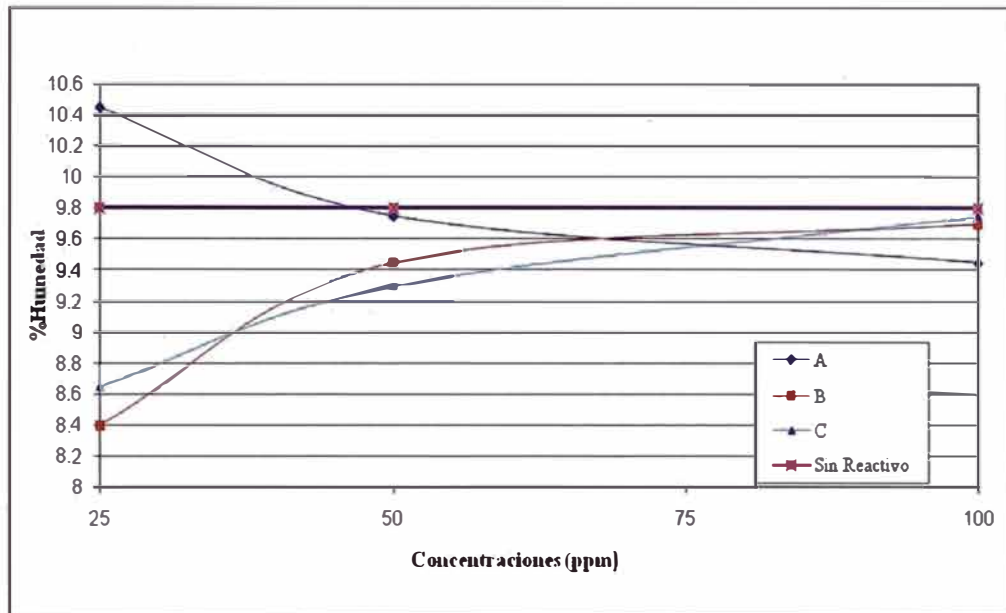
- tiempo de alimentación      2 min
- tiempo de presionado      40 seg
- tiempo de secado      2 min

Tabla 7.6: Medidas de tensión superficial (mN/cm)

[C] reactivo		Muestra + reactivo A	Muestra + reactivo B	Muestra + reactivo C	Muestra (sin reactivo)
<b>25 ppm</b>	Tension superf icial	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>62</b>	<b>63</b>
	Humedad	<b>10.45</b>	<b>8.4</b>	<b>8.65</b>	<b>9.7</b>
<b>50 ppm</b>	Tension superficial	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>62</b>	
	Humedad	<b>9.75</b>	<b>9.45</b>	<b>9.3</b>	
<b>100 ppm</b>	Tension superf icial	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>62</b>	
	Humedad	<b>9.45</b>	<b>9.7</b>	<b>9.75</b>	

Tabla 7.7: Humedad obtenida a diferentes concentraciones de reactivos

[ C ]	A	B	C	sin reactivo
25	10.45	8.4	8.65	9.8
50	9.75	9.45	9.3	9.8
100	9.45	9.7	9.75	9.8

**Gráfico 7.2: Concentración de Reactivo vs Humedad**

*7.6.1 Tendencias de las Variaciones a la Capacidad y Humedad en Muestra de Concentrados de Cobre con Diferentes Concentraciones de Reactivos*

**Tabla 7.8: humedad y capacidad – reactivo A**

A		
[ C ]	Humedad	Capacidad
25	10.45	685.9
50	9.75	718.89
100	9.45	725.11

**Tabla 7.9: humedad y capacidad – reactivo B**

B		
[ C ]	Humedad	Capacidad
25	8.4	752.94
50	9.45	698.89
100	9.7	657.35

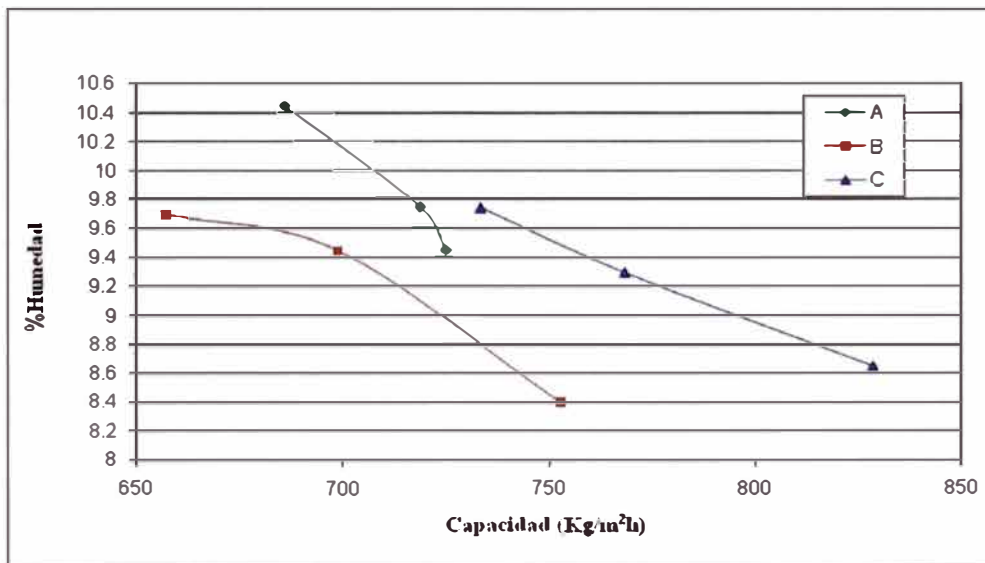
Tabla 7.10: humedad y capacidad – reactivo C

C		
[ C ]	Humedad	Capacidad
25	8.65	828.35
50	9.3	768.23
100	9.75	733.44

Tabla 7.11: humedad y capacidad – sin reactivo

Sin Reactivo		
[ C ]	Humedad	Capacidad
25	9.8	737.62
50	9.8	737.62
100	9.8	737.62

Gráfico 7.3: Capacidad vs Humedad



### 7.7 Optimización de Tiempos en Cada Etapa del Filtrado

De acuerdo a las pruebas realizadas, analizaremos que tiempo de alimentación hubiera sido lo óptimo, para lo cual recurriremos a la teoría puesta en el capítulo 4.5 y lo establecido por Fernando Concha.

El tiempo óptimo se cumple cuando la capacidad de filtración es máxima.

El tiempo de filtración en función del volumen filtrado, es:

$$t = K_1 V^2 + K_2 V$$

Operando se obtiene:

$$t' = K_1 V^2$$

que es el tiempo no operativo para que volumen de filtrado resulte óptimo.

Si se da un tiempo no operativo determinado, el volumen de filtrado para que la capacidad de filtración sea óptima será:

$$V_{\text{OPTIMO}} = \sqrt{\frac{t'}{K_1}}$$

El tiempo óptimo se obtendrá al sustituir este valor del volumen en la ecuación anterior:

$$t_{\text{OPTIMO}} = t' + K_2 \sqrt{\frac{t'}{K_1}}$$

En el periodo de formación de queque el flujo de filtrado no es constante. Inicialmente, la filtración es muy rápida cuando hay muy poco solido depositado en el medio filtrante a medida que el queque empieza a engrosar el flujo de filtrado disminuye.

Cuando la cantidad de sólido que se deposita por unidad de tiempo es pequeña en comparación al espesor del queque, el flujo de filtrado se hace constante.

El volumen de filtrado aumenta inicialmente en forma proporcional al tiempo y más tarde esta proporcionalidad disminuye.

### 7.7.1.- Resultados de Optimización en Pruebas

#### 7.7.1.1 para concentrado de cobre.

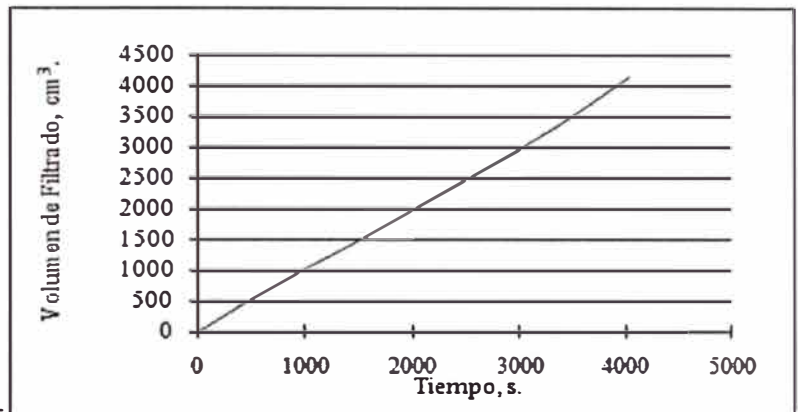
Tiempo óptimo de alimentación al filtro

Concentrado de Cobre

Etapa de formación de queque

tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )
0	0
15	720
30	1425
45	1980
60	2490
75	2965
90	3375
105	3720
120	4040

Gráfico 7.4 Volumen de Filtrado vs Tiempo - Cobre



Constant (K2) 0.017711045

X Coefficient(s)(K1) 2.74737E-06

Tabla 7.12: Masa de queque y tiempo

Tiempo	masa de queque	incrementos de masa	masa (gr/seg)	Espesor
0	0	0	0	0
15	2450.670	2450.670	163.378	3.133
30	4504.292	2053.622	136.908	4.430
45	6307.716	1803.424	120.228	5.426
60	7934.825	1627.110	108.474	6.265
75	9429.021	1494.195	99.613	7.005
90	10818.369	1389.348	92.623	7.673
105	12122.262	1303.893	86.926	8.288
120	13354.762	1232.500	82.167	8.860

Según fórmula para optimización en filtración y teniendo en cuenta lo establecido por Fernando Concha; diremos que lo óptimo es:

$t'$  30

$V_{opt}$  3304.5

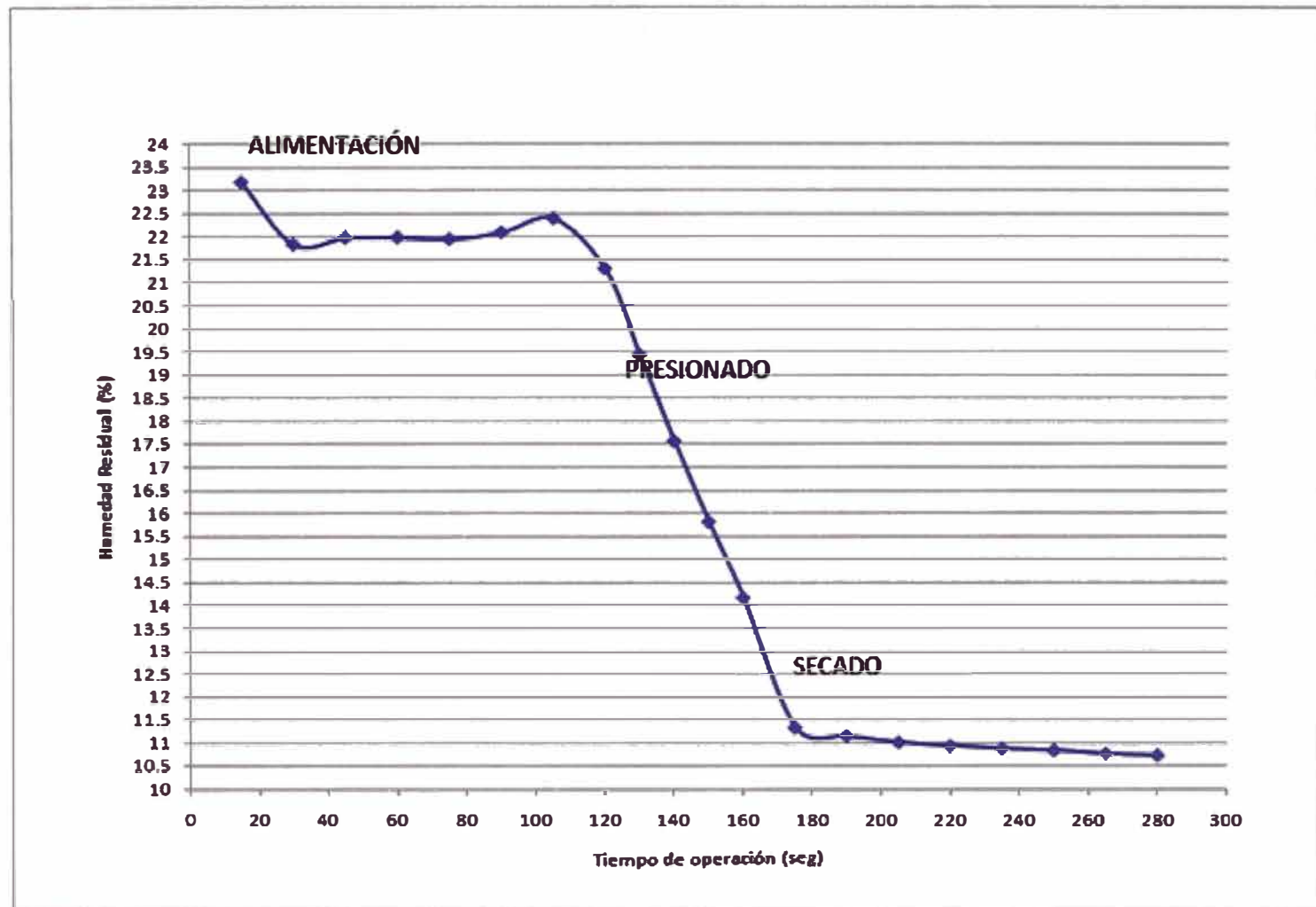
$T_{opt}$  88.5 Tiempo óptimo de alimentación de acuerdo a fórmula

En el gráfico siguiente también se observa que lo óptimo en tiempo de alimentación es 90 segundos. Así mismo podemos notar cómo se comporta el queque durante el presionado y secado.

Tiempo      humedad

15	23.16
30	21.82
45	21.97
60	21.97
75	21.94
90	22.08
105	22.39
<b>120</b>	<b>21.30</b>
130	19.43
140	17.56
150	15.81
<b>160</b>	<b>14.16</b>
175	11.34
190	11.15
205	11.02
220	10.94
235	10.88
250	10.84
265	10.77
280	10.73

**Gráfico 7.5: Curva de Filtración - Concentrado de Cobre**



## 7.7.1.2 para concentrado de zinc I.

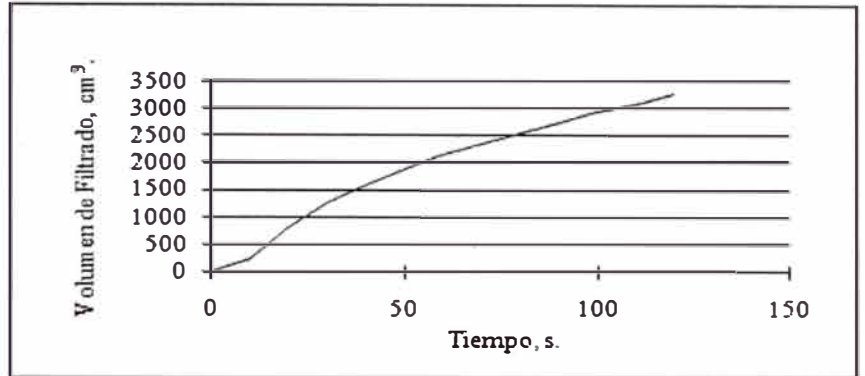
Tiempo óptimo de alimentación al filtro

Concentrado de Zinc I

Etapa de formación de queque

tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )
0	0
10	245
20	790
30	1265
40	1590
50	1885
60	2145
70	2355
80	2560
90	2755
100	2955
110	3095
120	3285

Gráfico 7.6 Volumen de Filtrado vs Tiempo - Zinc I



Constant (K1) 0.017940649  
 X Coefficient(s)(K2) 5.3036E-06

Tabla 7.13: Masa de queque y tiempo

Tiempo	masa de queque	incrementos masa	masa (gr/seg)	Espesor
0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1786.211	1786.211	178.621	2.144
20	3235.842	1449.632	144.963	3.031
30	4490.247	1254.405	125.440	3.713
40	5611.914	1121.667	112.167	4.287
50	6635.754	1023.840	102.384	4.793
60	7583.622	947.868	94.787	5.250
70	8470.276	886.653	88.665	5.671
80	9306.235	835.959	83.596	6.063
90	10099.313	793.078	79.308	6.431
100	10855.501	756.188	75.619	6.778
110	11579.514	724.013	72.401	7.109
120	12275.139	695.625	69.562	7.425

t' 30

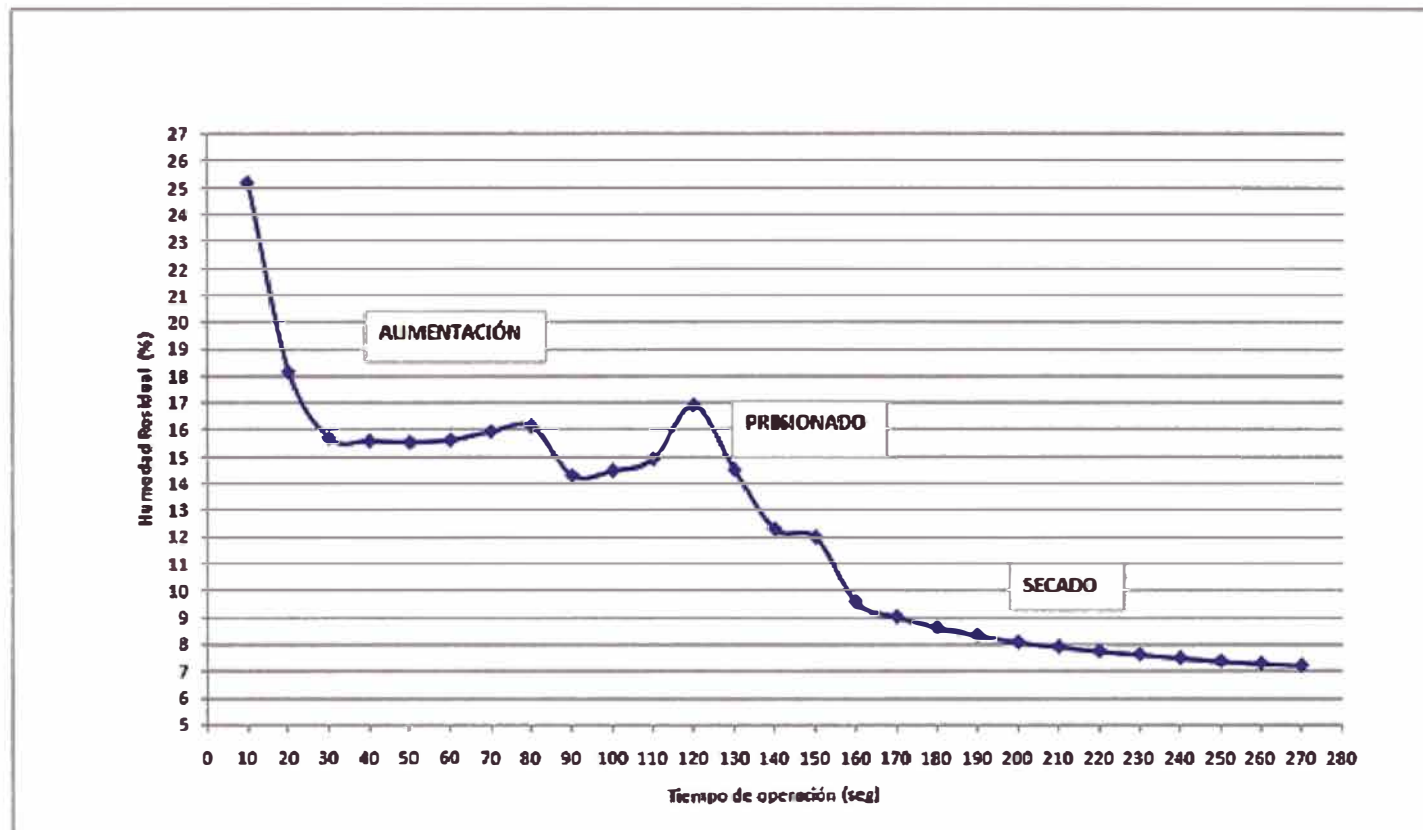
Vopt 2378.34

Topt 72.66 Tiempo óptimo de alimentación de acuerdo a fórmula

tiempo      humedad

10	25.21
20	18.17
30	15.70
40	15.59
50	15.54
60	15.62
70	15.94
80	16.14
90	14.31
100	14.49
110	14.93
120	16.92
130	14.52
140	12.31
150	12.01
160	9.59
170	9.03
180	8.62
190	8.33
200	8.08
210	7.92
220	7.75
230	7.63
240	7.50
250	7.37
260	7.29
270	7.21

**Gráfico 7.7: Curva de Filtración - Concentrado de Zinc I**





## 7.7.1.3 para concentrado de zinc II.

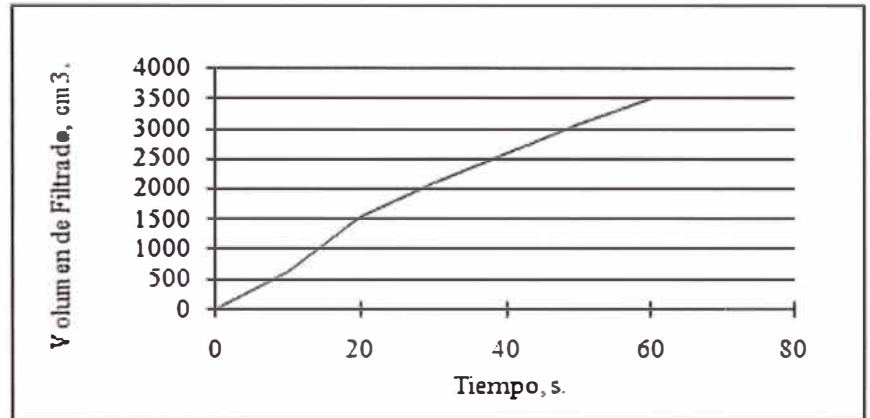
Tiempo óptimo de alimentación al filtro

Concentrado de Zinc II

Etapa de formación de queque

tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )
0	0
10	640
20	1535
30	2105
40	2605
50	3080
60	3515

Gráfico 7.8 Volumen de Filtrado vs Tiempo - Zinc II



Constant (K1) 0.009943169

X Coefficient(s)(K2) 2.04235E-06

Tabla 7.14: Masa de queque y tiempo en alimentación

Tiempo	masa de queque	incrementos masa	masa (gr/seg)	Espesor
0	0	0	0	0
10	2464.577	2464.577	246.458	3.500
20	4409.224	1944.647	194.465	4.950
30	6067.908	1658.684	165.868	6.063
40	7538.745	1470.837	147.084	7.000
50	8873.992	1335.247	133.525	7.827
60	10105.406	1231.414	123.141	8.574
68.1				

$t'$  30

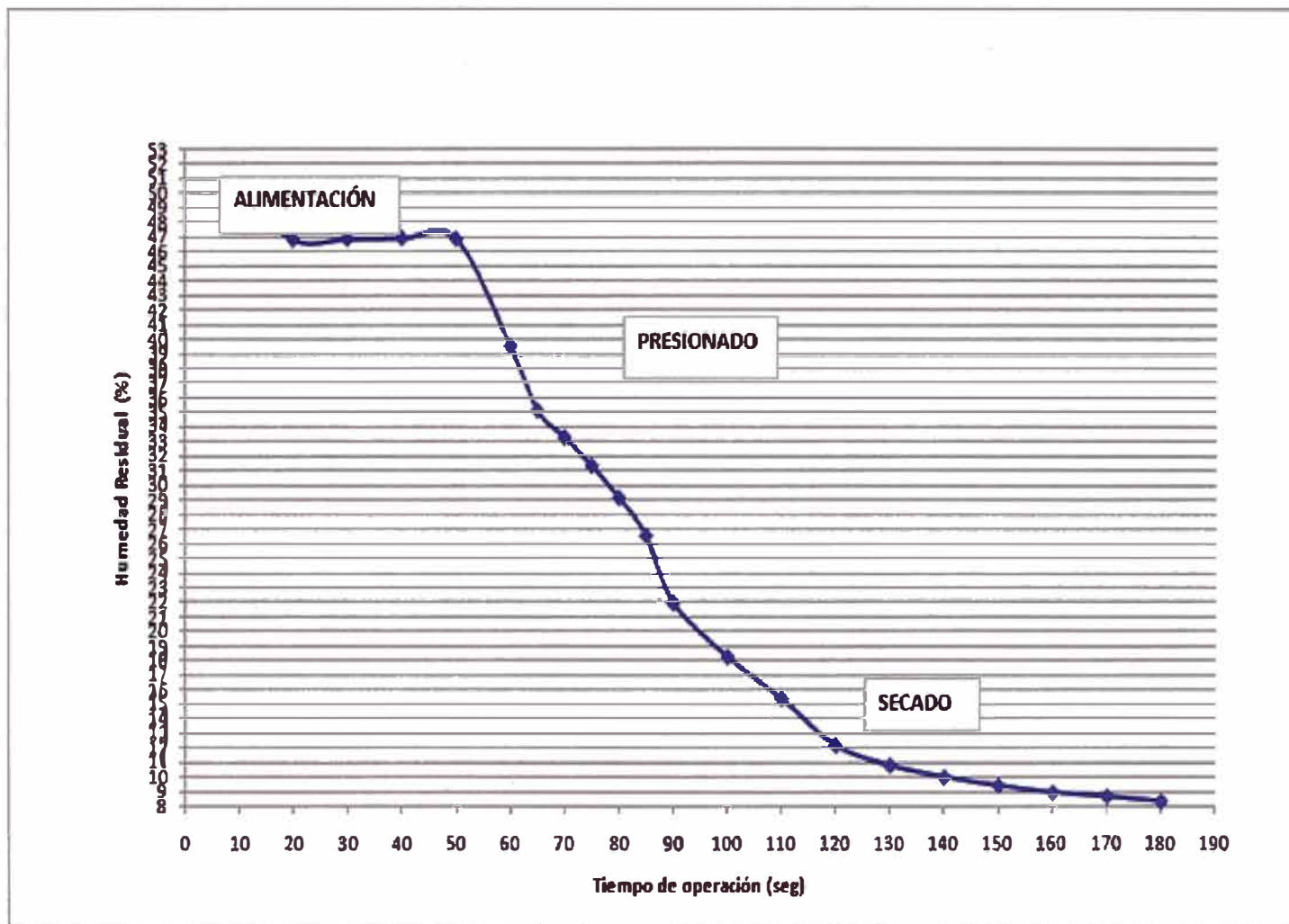
$V_{opt}$  3832.618

$T_{opt}$  68.108

Tiempo      humedad

10	50.32
20	46.83
30	46.88
40	46.93
50	46.87
60	39.51
65	35.12
70	33.28
75	31.33
80	29.14
85	26.54
90	21.94
100	18.23
110	15.35
120	12.12
130	10.77
140	9.99
150	9.39
160	8.91
170	8.64
180	8.30

Gráfico 7.9 Curva de Filtración - Concentrado de Zinc II



## 7.7.1.4 para concentrado de zinc III.

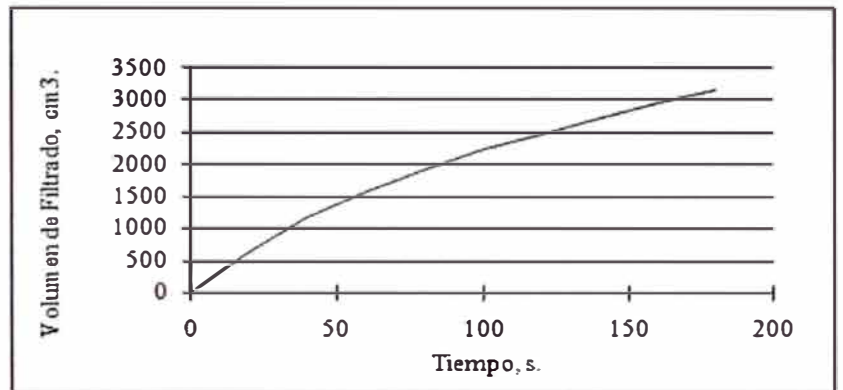
Tiempo óptimo de alimentación al filtro

Concentrado de Zinc III

Etapas de formación de queque

tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )
0	0
20	635
40	1190
60	1580
80	1920
100	2250
120	2485
140	2730
160	2955
180	3165

Gráfico 7.10 Volumen de Filtrado vs Tiempo - Zinc III



Constant (k1) 0.014707572

X Coefficient(s) (k2) 1.336E-05

Tabla 7.15: Masa de queque y tiempo en alimentación

Tiempo	masa de queque	incrementos masa	masa (gr/seg)	Espesor
0	0	0	0	0
20	3265.798	3265.798	163.290	2.080
40	5213.237	1947.439	97.372	2.941
60	6748.419	1535.182	76.759	3.602
80	8057.320	1308.902	65.445	4.160
100	9217.722	1160.401	58.020	4.651
120	10270.995	1053.274	52.664	5.095
140	11242.263	971.268	48.563	5.503
160	12148.136	905.873	45.294	5.883
180	13000.277	852.141	42.607	6.240

$t'$  30

Vopt 1498.502

Topt 52

## *Capítulo VIII*

### FÓRMULAS MODIFICADAS - APLICACIÓN

No se hizo ningún tipo de corrección a los modelos que se utilizaron como base. Se comprobó lo establecido por estos y además se desarrolló dos nuevas fórmulas para el proceso de filtración, basándonos en el modelo de Concha. Una de estas fórmulas calcula la masa de queque en la etapa de formación, la otra fórmula calcula la masa de queque al final del ciclo de filtración (humedad residual).

#### *8.1 Formula: Masa de Queque en Formación*

Base: resultados experimentales.

Se halló la forma de calcular el peso de queque, al terminar la primera parte del proceso de filtrado, es decir, la alimentación de pulpa (ciclo de alimentación).

El peso que se obtiene con Concha es el del queque seco, el cual viene a ser la **“masa de queque”**, al terminar el ciclo completo de filtrado y a cuyo peso se le ha restado el porcentaje de humedad residual que contenía mediante aplicación de temperaturas altas para secarlo. Es decir este modelo calcula el peso de sólido seco.

La fórmula con la que se obtiene el peso real del queque una vez que se concluye el ciclo de alimentación será explicado a continuación. En primer lugar se calcula una nueva densidad aparente de pulpa.

**Definición de términos:**

Densidad: masa/volumen (densidad)(área)(espesor) : masa

Igualando lo siguiente, ya que es lo mismo decir:

masa de queque: (densidad de queque)(volumen de queque) ó

masa de queque: (densidad de pulpa en queque)(volumen de queque)

A base de las formulas de porosidad y concentración de pulpa se obtiene los siguientes datos:

Al termino de formación de queque

$$\text{Porosidad: } \frac{\text{V. Líquido restante}}{\text{V. queque}} = \varepsilon$$

Sabemos:

V. líquido total: V. líquido filtrado en esta etapa + V. líquido restante

$$\text{Concentración de pulpa: } \frac{\text{V. Sólido en queque}}{(\text{V. Sólido en queque} + \text{V. Líquido total})} = \varphi$$

$$= \frac{\text{V. Sólido en queque}}{(\text{V. Sólido en queque} + \text{V. Líquido filtrado en esta etapa} + \text{V. Líquido restante})}$$

Cálculo de densidad de queque

$$\rho_{\text{ de queque}} = \frac{(\text{V. Sólido en queque} * \text{densidad del sólido} + \text{masa líquido restante})}{\text{V. queque}}$$

Aquí asumiremos que masa del líquido restante es igual a volumen del líquido restante.

$$\text{masa del líquido restante} = \text{volumen del líquido restante}$$

Por lo tanto:

$$\rho_{\text{ de queque}} = \frac{(\text{V. Sólido en queque} * \text{densidad del sólido} + \text{V. líquido restante})}{\text{V. queque}}$$

Asumiendo variables para hacer los cálculos más sencillos:

V. sólido en queque : (a)      V. líquido restante : (c)  
 V. líquido filtrado : (b)      V. queque : (d)

Entonces: porosidad =  $\frac{c}{d}$  .....(1)       $a + c = d$  .....(2)

Concentración de pulpa =  $\frac{a}{(a + b + c)}$  .....(3)

Poniendo la relación (3) en función de (a)

$$a = \varphi a + \varphi b + \varphi c$$

$$a = \frac{\varphi (b + c)}{(1 - \varphi)} \text{ .....( 4 )}$$

Ó reemplazando la ecuación (2) en (3):

$$\varphi = a / (d + b) \text{ .....(5)}$$

La ecuación de la densidad será:

$$\rho_n = (a * \rho_s + c) / d \text{ .....(6)}$$

Reemplazando la relación (1) en la ecuación (5):

$$\varphi = a / (d + b)$$

$$\varphi * d + \varphi * b = a \text{ .....(7)}$$

$$\varphi * \frac{c}{\varepsilon} + \varphi * b = a$$

Y siendo (4) : (7)

$$\varphi * \frac{c}{\varepsilon} + \varphi * b = \frac{\varphi (b + c)}{(1 - \varphi)}$$

$$\varphi \left( \frac{c}{\varepsilon} + b \right) = \frac{\varphi (b + c)}{(1 - \varphi)}$$

Eliminando y despejando variables,

$$\frac{c}{\varepsilon} - \frac{c}{(1-\varphi)} = \frac{b}{(1-\varphi)} - b$$

$$c \left[ \frac{1}{\varepsilon} - \frac{1}{(1-\varphi)} \right] = b \left[ \frac{1}{(1-\varphi)} - 1 \right]$$

$$c \left[ \frac{(1-\varphi) - \varepsilon}{\varepsilon(1-\varphi)} \right] = b \left[ \frac{1 - (1-\varphi)}{(1-\varphi)} \right]$$

De aquí resulta la siguiente ecuación:

$$c = \frac{b \varphi \varepsilon}{(1-\varphi-\varepsilon)}$$

Reemplazando este resultado en la relación (1)

$$\varepsilon = \frac{c}{d} = \frac{b \varphi \varepsilon}{(1-\varphi-\varepsilon)d}$$

Resulta: 
$$d = \frac{b \varphi}{(1-\varphi-\varepsilon)} \dots\dots(8)$$

Reemplazando la ecuación (4) en (6) y luego la ecuación (1) y (7)

$$\rho_n = \frac{\left[ \frac{\varphi(b+c)}{(1-\varphi)} \right] * \rho_s + c}{d}$$

$$\rho_n = \left[ \rho_s \left( \frac{(1-\varphi-\varepsilon)}{(1-\varphi)} + \frac{\varphi \varepsilon}{(1-\varphi)} \right) + \varepsilon \right]$$

Entonces el cálculo de la masa de queque será:

$$m = (\text{densidad})(\text{área})(\text{espesor de queque})$$

Donde el espesor es conocido por el cálculo de la fórmula de Fernando Concha

$$m = \left( \left( \frac{1 - \varphi_0 - \varepsilon_0}{1 - \varphi_0} \right) + \left( \frac{\varphi_0 \varepsilon}{1 - \varphi_0} \right) \right) \rho_s + \varepsilon) SK_e \left\{ \left[ \left( \frac{l_m}{k_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_e}{\mu k_e} \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0 - \varepsilon_0} t \right]^{1/2} - \frac{l_m}{k_m} \right\}$$

### 8.2 Fórmula: Masa de Queque al Final del Ciclo de Filtrado

Los datos graficados de presionado y secado, no siguen una recta. En este trabajo se grafica estos datos en forma muy parecida a los datos de formación de queque de tal manera que se acerquen a una recta. Debemos resaltar que de estas dos, la que presenta menor correlación lineal son los datos de presionado.

Se utiliza el modelo Concha que calcula el volumen de filtrado en formación, para obtener el volumen de filtrado en presionado y secado, pero con algunas variantes.

Graficar los datos de presionado, hallando el valor de permeabilidad de queque y resistencia del medio filtrante. Con estos datos se calcula el volumen de filtrado en presionado, para este caso se usará la porosidad del queque después de presionar y el tiempo de presionado.

En la etapa de presionado determinaremos la altura en que se va reducir el espesor de queque (espesor de la etapa de formación), sabemos que el líquido saliente es agua. Entonces el espesor de reducción en presionado es:

$$E_{\text{presionado}}: \text{Volumen de filtrado en presionado} / \text{Área del filtro}$$

Para la etapa de secado, se trabajará de igual forma que en el presionado. Se determinará el volumen de filtrado generado por el ingreso de aire a presión, se trabajara con la porosidad “aparente”, asumiendo que al salir agua en secado no



ingresa aire, por lo tanto se reduce más la porosidad. Así determinaremos el  $E_{\text{secado}}$ .

Por lo tanto, habiendo determinado los espesores en las tres etapas de este proceso de filtrado; se determinará el espesor final.

$$E_{\text{final}}: E_{\text{formación}} - E_{\text{presionado}} - E_{\text{secado}}$$

Determinación de la densidad final con la fórmula deducida anteriormente.

$$\rho_n = \left[ \rho_s \left( \frac{(1 - \varphi - \varepsilon)}{(1 - \varphi)} + \frac{\varphi \varepsilon}{(1 - \varphi)} \right) + \varepsilon \right]$$

En este caso para determinar la densidad final se usará la porosidad en el secado. Entonces el peso del queque al terminar el ciclo completo de filtrado es:

peso de queque: (densidad)(área)(espesor de queque)

$$m = \left( \left( \frac{1 - \varphi_0 - \varepsilon_0}{(1 - \varphi_0)} + \frac{\varphi_0 \varepsilon}{(1 - \varphi_0)} \right) \rho_s + \varepsilon \right) S(\text{espesor final})$$

### 8.2.1 Cálculo de Masa del Queque al Final del Ciclo de Filtrado con la Determinación del Espesor Final

De los datos obtenidos en las pruebas se hará los gráficos mediante regresión lineal. Observar los cálculos a continuación:

cálculos

**FORMACIÓN DE QUEQUE**

Volumen de sólido en queque	1739.869 cm <sup>3</sup>
volumen de filtrado en formación de queque	4211.577 cm <sup>3</sup>
volumen de líquido en queque saturado	4067.513 cm <sup>3</sup>
volumen de queque	5807.382 cm <sup>3</sup>
espesor de queque	5.807 cm
porosidad de queque antes de prensar(e)	0.700

**PRENSADO**

Volumen de sólido en queque	1739.869 cm <sup>3</sup>
volumen de filtrado en prensado	3128.743 cm <sup>3</sup>
volumen de líquido en queque despues de prensar	938.770 cm <sup>3</sup>
volumen total de queque despues de prensar	2678.640 cm <sup>3</sup>
espesor de queque despues de prensar	2.679 cm
porosidad de queque despues de prensar(e)	0.350

**SOPLADO**

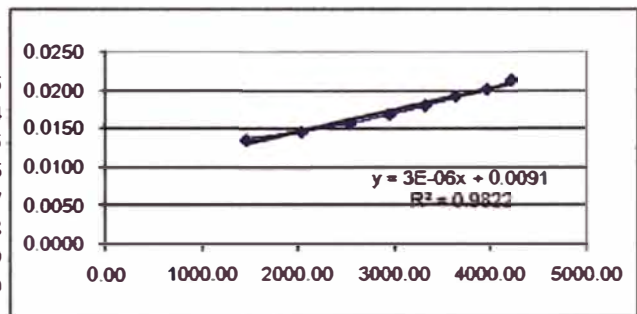
volumen de líquido en queque saturado a. de soplar	938.770 cm <sup>3</sup>
volumen de filtrado en soplado	369.261 cm <sup>3</sup>
volumen de líquido y aire en queque d. de soplar	938.770 cm <sup>3</sup>
volumen total de queque despues de soplar	2678.640 cm <sup>3</sup>
espesor de queque	2.679 cm
porosidad de queque (e)	0.350
líquido total	8279.090 cm <sup>3</sup>
concentración pulpa	0.174
humedad final	7.743 %
saturación final	0.607

938.770
369.261
569.509
2309.378
2.309
0.247

**comentario:**  
Este valor resultaría si asumimos que al salir agua en soplado no entra aire y por lo tanto el espesor y porosidad disminuyen. Estos valores nos sirven para calcular el peso húmedo de queque al culminar la filtración.

**Etapas de formación de queque**

tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )	Vsimulacion	t/Vf
0	0		
10	668.663	866.599	
20	1457.086	1502.378	
30	2035.928	2029.487	
40	2534.930	2489.790	
50	2944.112	2903.655	
60	3313.373	3282.820	
70	3632.735	3634.777	
80	3962.076	3964.660	
90	4211.577	4276.164	



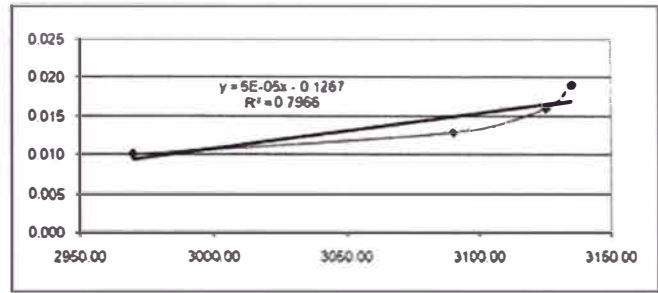
**Salida de datos :**

constante	0.009122859
coeficiente X	2.78849E-06
R <sup>2</sup>	0.982182245

90	
k(e)	4.12084E-10 cm <sup>2</sup>
R(m)	5473715546 cm <sup>-1</sup>
Espesor en Formación	5.89644231 cm

Etapa de presionado			
tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )	Vsimulacion	t/Vf
10	1497.006	3008.545	
20	2305.389	3034.681	
30	2964.072	3060.382	
40	3083.832	3085.668	
50	3118.762	3110.560	
60	3128.743	3135.075	

0.007  
0.009  
0.010  
0.013  
0.016  
0.019



Salida de datos :

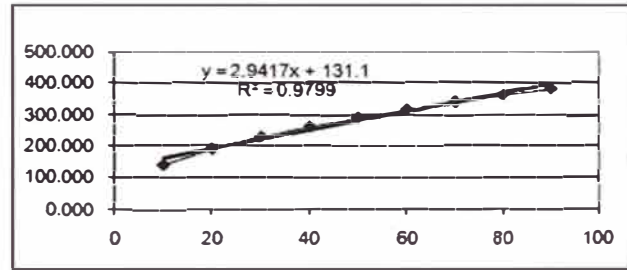
constante	-0.1266821
coeficiente X	0.0000459
R <sup>2</sup>	0.7966103

60	
k(e)	2.48273E-12 cm <sup>2</sup>
R(m)	-2.02691E+11 cm-1

Volumen de Filtrado	3174.910858 cm <sup>3</sup>
Espesor en Presionado	3.174910858 cm

Etapa de secado			
tiempo(s)	Vf(cm <sup>3</sup> )	Vsimulacion	t/Vf
10	124.750	138.860	
20	189.621	188.930	
30	239.521	227.450	
40	274.451	259.959	
50	294.411	288.615	
60	319.361	314.532	
70	334.331	338.371	
80	354.291	360.564	
90	369.261	381.411	

0.080  
0.105  
0.125  
0.146  
0.170  
0.188  
0.209  
0.226  
0.244



Salida de datos :

constante	-0.02184734
coeficiente X	0.000675947
R <sup>2</sup>	0.948411927

90	
k(e)	3.8562E-13 cm <sup>2</sup>
R(m)	-15293138112 cm-1

Volumen de Filtrado	381.410857 cm <sup>3</sup>
Espesor en secado	0.381410857 cm

Por lo tanto:	
Espesor Final :	2.346461069 cm
Densidad de Queque :	3.184839605
Masa de Queque Húmedo	7473.102146 gr
Masa de Queque Húmedo	7355.00 gr
% de error	1.6057

Calculado  
Real

### 8.3 Resultados Utilizando los Modelos Establecidos y las Fórmulas Modificadas

#### 8.3.1 Resultados para Concentrado de Cobre

Tabla 8.1: Cuadro de resultados para concentrado de cobre

PRUEBA 2								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4109.54	4109.54		4099.00	0.26	0.26	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13326.17	13292.00			0.26
Espesor de Queque en Formación	cm	5.24	5.24		5.23	0.26	0.26	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10673.64	10673.64		10646.27	0.26	0.26	
PRUEBA 3								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3852.94	3852.94		3840.82	0.32	0.32	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	12971.81	12931.00			0.32
Espesor de Queque en Formación	cm	5.45	5.45		5.43	0.32	0.32	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	9931.00	9931.00		9899.75	0.32	0.32	
PRUEBA 4								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4555.99	4555.99		4515.60	0.89	0.89	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13638.92	13518.00			0.89
Espesor de Queque en Formación	cm	5.71	5.71		5.66	0.89	0.89	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10468.86	10468.86		10376.04	0.89	0.89	
PRUEBA 5								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3981.85	3981.85		3963.83	0.45	0.45	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13620.66	13559.00			0.45
Espesor de Queque en Formación	cm	5.66	5.66		5.63	0.45	0.45	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10513.36	10513.36		10465.77	0.45	0.45	
PRUEBA 6								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4044.19	4044.19		4013.18	0.77	0.77	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	14030.57	13923.00			0.77
Espesor de Queque en Formación	cm	5.74	5.74		5.69	0.77	0.77	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10951.39	10951.39		10867.42	0.77	0.77	

continuación de la Tabla 8.1: Cuadro de resultados para concentrado de cobre

PRUEBA 7

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3715.77	3715.77		3700.94	0.40	0.40	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13405.49	13352.00			0.40
Espesor de Queque en Formación	cm	5.74	5.74		5.71	0.40	0.40	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10127.68	10127.68		10087.27	0.40	0.40	

PRUEBA 8

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3834.18	3834.18		3800.77	0.88	0.88	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	12750.11	12639.00			0.88
Espesor de Queque en Formación	cm	5.50	5.50		5.45	0.88	0.88	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	9571.23	9571.23		9487.82	0.88	0.88	

PRUEBA 9

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4780.36	4780.36		4741.84	0.81	0.81	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	14063.32	13950.00			0.81
Espesor de Queque en Formación	cm	5.84	5.84		5.79	0.81	0.81	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10846.49	10846.49		10759.09	0.81	0.81	

PRUEBA 10

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4065.41	4065.41		4040.45	0.62	0.62	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	14359.15	14271.00			0.62
Espesor de Queque en Formación	cm	5.72	5.72		5.68	0.62	0.62	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	11396.50	11396.50		11326.54	0.62	0.62	

PRUEBA 11

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4513.70	4513.70		4453.63	1.35	1.35	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13686.14	13504.00			1.35
Espesor de Queque en Formación	cm	5.58	5.58		5.51	1.35	1.35	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10683.51	10683.51		10541.33	1.35	1.35	

PRUEBA 12

	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4459.42	4459.42		4432.46	0.61	0.61	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	14391.01	14304.00			0.61
Espesor de Queque en Formación	cm	5.53	5.53		5.50	0.61	0.61	
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	11675.82	11675.82		11605.23	0.61	0.61	

## 8.3.2 Resultados para Concentrado de Zinc I

TABLA 8.2: Cuadro de resultados para concentrado de zinc I

PRUEBA 1								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3357.09	3357.09		3285.00	2.19	2.19	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	12544.36	12275.00			2.19
Espesor de Queque en Formación	cm	5.24	5.24		5.13	2.19	2.19	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	11067.30	10990.00			0.70
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10422.52	10422.52		10198.72	2.19	2.19	
PRUEBA 2								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	2437.42	2437.42		2370.00	2.84	2.84	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11436.32	11120.00			2.84
Espesor de Queque en Formación	cm	5.12	5.12		4.98	2.84	2.84	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	9719.50	9595.00			1.30
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	9009.43	9009.43		8760.24	2.84	2.84	
PRUEBA 4								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	1480.05	1480.05		1474.00	0.41	0.41	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11943.84	11895.00			0.41
Espesor de Queque en Formación	cm	6.01	6.01		5.99	0.41	0.41	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	9260.73	9165.00			1.04
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	8466.42	8466.42		8431.80	0.41	0.41	
PRUEBA 5								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	2064.44	2064.44		2025.00	1.95	1.95	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	12427.42	12190.00			1.95
Espesor de Queque en Formación	cm	5.93	5.93		5.81	1.95	1.95	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	9762.60	9815.00			0.53
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	9275.72	9275.72		9098.51	1.95	1.95	
PRUEBA 6								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	1235.00	1235.00		1235.00	0.00	0.00	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11970.00	11970.00			0.00
Espesor de Queque en Formación	cm	5.98	5.98		5.98	0.00	0.00	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	8997.59	9115.00			1.29
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	8549.87	8549.87		8549.87	0.00	0.00	

## 8.3.3 Resultados para Concentrado de Zinc II

TABLA 8.3: Cuadro de resultados para concentrado de zinc II

PRUEBA 3								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4284.72	4284.72		4220.00	1.53	1.53	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11026.54	10860.00			1.53
Espesor de Queque en Formación	cm	5.90	5.90		5.81	1.53	1.53	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	7473.10	7355.00			1.61
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	6889.55	6889.55		6785.49	1.53	1.53	
PRUEBA 4								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3507.42	3507.42		3515.00	0.22	0.22	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	10083.22	10105.00			0.22
Espesor de Queque en Formación	cm	5.55	5.55		5.56	0.22	0.22	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	6760.70	6665.00			1.44
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	6098.94	6098.94		6112.11	0.22	0.22	
PRUEBA 5								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3411.32	3411.32		3415.00	0.11	0.11	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	10653.51	10665.00			0.11
Espesor de Queque en Formación	cm	5.99	5.99		6.00	0.11	0.11	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	6827.43	6845.00			0.26
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	6273.28	6273.28		6280.04	0.11	0.11	
PRUEBA 8								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	5568.22	5568.22		5485.00	1.52	1.52	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	10872.50	10710.00			1.52
Espesor de Queque en Formación	cm	5.64	5.64		5.55	1.52	1.52	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	7744.44	7650.00			1.23
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	7041.77	7041.77		6936.53	1.52	1.52	
PRUEBA 9								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	4113.84	4113.84		4045.00	1.70	1.70	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	13948.41	13715.00			1.70
Espesor de Queque en Formación	cm	6.00	6.00		5.89	1.70	1.70	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	11627.38	11550.00			0.67
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10695.60	10695.60		10516.62	1.70	1.70	

## 8.3.4 Resultados para Concentrado de Zinc III

TABLA 8.4: Cuadro de resultados para concentrado de zinc III

PRUEBA 1								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	8354.99724	8355.00		8335.00	0.24	0.24	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11487.495	11460.000			0.24
Espesor de Queque en Formación	cm	5.94832	5.95		5.934	0.24	0.24	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	8167.89	8170.000			0.03
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	7420.69283	7420.69		7402.93	0.24	0.24	
PRUEBA 3								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	7841.56551	7841.57		7800.00	0.53	0.53	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	11611.549	11550.000			0.53
Espesor de Queque en Formación	cm	5.80054	5.80		5.770	0.53	0.53	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	8445.77	8525.000			0.93
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	7784.85997	7784.86		7743.60	0.53	0.53	
PRUEBA 5								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	3161.17201	3161.17		3165.00	0.12	0.12	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	12984.277	13000.000			0.12
Espesor de Queque en Formación	cm	5.37370	5.37		5.380	0.12	0.12	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	11280.57	11300.000			0.17
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	10195.68839	10195.69		10208.03	0.12	0.12	
PRUEBA 7								
	UN.	F.CONCHA	R. HOLDICH	FORMULA MODIFICADA	DATO REAL	DIFER.1 (%)	DIFER.2 (%)	DIFER.3 (%)
Volumen de Filtrado en Formación	cm <sup>3</sup>	1604.46793	1604.47		1590.00	0.91	0.91	
Masa de Queque en Formación	gr	NO	NO	9601.580	9515.000			0.91
Espesor de Queque en Formación	cm	4.11068	4.11		4.074	0.91	0.91	
Masa de Queque final del ciclo de filtracion	gr	NO	NO	8056.87	7980.000			0.96
Masa de Queque Seco (Sin humedad)	gr	7356.01983	7356.02		7289.69	0.91	0.91	



#### *8.4 Análisis e Interpretación de Resultados*

##### **Pruebas realizadas con concentrados de cobre:**

Los resultados obtenidos según el modelo de Concha muestran poco margen de error para todos sus cálculos, tales como, volumen de filtrado en formación, espesor de queque en formación y masa de queque seco. Este error es igual para los tres cálculos.

Los resultados obtenidos según el modelo de Holdich, muestran iguales porcentajes de errores a los obtenidos mediante el modelo de Concha.

Los resultados obtenidos con la fórmula modificada (basado en modelo de Concha), para el cálculo de la masa de queque en formación; nos da errores muy pequeños, similares a los presentados por otras fórmulas y modelos en otra etapa del proceso.

##### **Pruebas realizadas con concentrados de Zinc I, II y III:**

Los resultados obtenidos según el modelo de Concha, son satisfactorios para los tres cálculos en cada prueba desarrollada.

Los resultados obtenidos según el modelo de Holdich, presentan errores iguales en porcentaje a los obtenidos con el anterior modelo.

Los resultados obtenidos con las fórmulas modificadas (basado en modelo de concha) que serán para el cálculo de la masa de queque y la masa de queque (fin de ciclo) nos dan errores muy pequeños. El primero presenta un porcentaje de error similar al dado por el modelo de Concha y la masa de queque húmedo presenta errores no mayores a 1.61%.

## *Capítulo IX*

### ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

---

Al comparar la filtración a nivel industrial con la de nivel laboratorio la gran diferencia es en el volumen de material utilizado y en la necesidad de realizarlo dentro de una restricción de costos.

La selección del equipo de filtrado depende básicamente de la economía.

#### *9.1 Teoría*

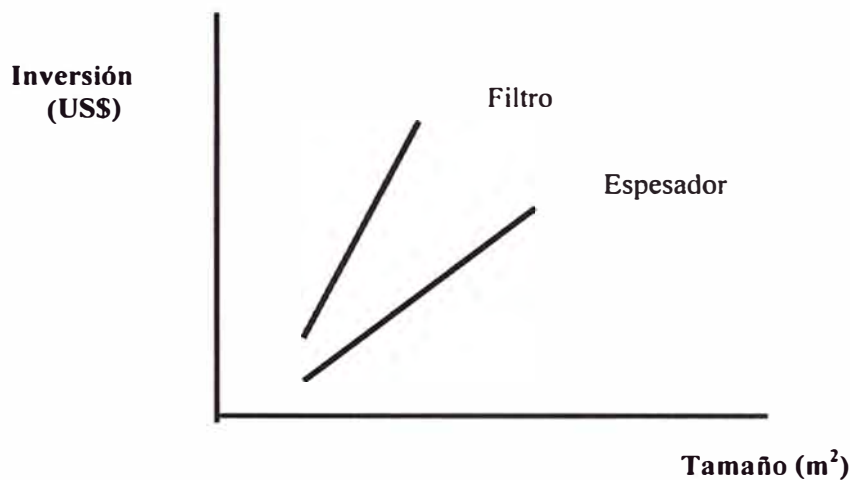
Como parte de la introducción se puede efectuar un resumen diciendo que hay cuatro etapas en separación sólido líquido y que no necesariamente todas están presentes en un mismo proceso metalúrgico. A continuación una tabla resumen.

Tabla 9.1: Resumen de las etapas de separación

<b>PRETRATAMIENTO</b>	A mayor tamaño de partículas, menor viscosidad		
<b>CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS</b>	Reducción del Volumen del material de Proceso		
	CLARIFICACIÓN	ESPESAMIENTO	
<b>SEPARACIÓN DE SÓLIDOS</b>	Separación del Sólido desde el líquido, la forma de Queque con Sólidos Secos ó producción de partículas libre de líquido		
	CLARIFICACIÓN	FILTRACIÓN	CENTRIFUGACIÓN
<b>POST - TRATAMIENTO</b>	Para remover solubles, reducir la humedad, disminuir la porosidad del queque o preparar material para los procesos.		

Los filtros en general son más costosos comparados con los Espesadores, pero tienen la ventaja de un queque final de menor humedad. Por eso, el interés de usar los filtros para que trabajen en serie con otros equipos.

**Gráfico 9.1:** Inversión Relativa de Filtros y Espesadores respecto a su Tamaño.



### 9.2 Selección del Equipo

Debemos notar que para seleccionar el filtro adecuado para cierto material debemos tener claramente definidas las características esperadas de los productos (queque y licor de filtrado) de nuestro material a tratar. Al realizar pruebas de laboratorio deben observar la claridad del licor filtrado, dificultad para lavar el queque formado (si aplicara) y sequedad del queque.

El costo es un concepto difícil de definir, porque depende de la calidad de la pulpa, por más que se trate de materiales similares; al costo de operación habrá que agregarle los costos por depreciación, por uso del espacio, por dispositivos auxiliares del medio filtrante y por el gasto en ayudas filtrantes.

Debido al mineral complejo que generalmente se procesa, a veces la operación se obliga a moler más fino, lo que hace la filtración más difícil.

Una operación de planta generalmente busca:

- Tratar tonelajes más altos, obviamente con equipos más grandes.
- Pocas líneas de producción paralelas quizás sólo una.
- Mayor automatización, es decir, menos personal en operación.
- Menos dependencia en unidades de reserva (stand by) y mantener una alta disponibilidad del o los equipos.

### 9.3 Costos en el Filtrado de Concentrados

#### 9.3.1 Ejemplo Caso C – Concentrado de Zinc II

##### **Características de trabajo en planta:**

Producción: 1050 TMSPD

Gravedad Específica: 3.9 g/cc

% Humedad deseada: 10.4 %

Tres turnos de trabajo de 8 horas cada uno.

##### **Datos obtenidos:**

Tonelaje por hora: 43.75 Tn/h.

Capacidad: 773.3 K/m<sup>2</sup>h. (formato de prueba zinc).

Disponibilidad del Filtro: 90%.

Con esta información se calcula el área de filtro necesaria y se busca en Tablas de diseño Larox, el equipo de tamaño más cercano a lo calculado.

##### **Datos Técnicos del Filtro Larox:**

Modelo: **M60 SERIES**

Área de filtración: 72 m<sup>2</sup>

Número de cámaras: 12 EA

Espesor máximo de queque: 47 mm

**Placas:**

Datos Técnicos:

Tamaño:	1500 x 4010	mm
Volumen de cámara (60 mm)	4.32	m <sup>3</sup>

**Tela Filtrante:**Datos Técnicos: **S2106-L1**

Material:		mm
Anchura:	1.7	mm
Longitud:	73.5	m

**Área de Piso:**

Área de piso requerido:	110	m <sup>2</sup>
-------------------------	-----	----------------

Los cálculos de costo de equipo de filtrado y repuestos de acuerdo al caso presentado se muestran en las Tablas siguientes.

Tabla 9.2: Estimación de costos operacionales

<b>DATOS</b>					
* TASA DE FILTRACIÓN (en sólidos secos)	kg/m <sup>2</sup> h		773.3		
* HUMEDAD DE QUEQUE	% H <sub>2</sub> O		10.4		
* ÁREA FILTRANTE	m <sup>2</sup>		72		
* NUMERO DE FILTROS	pcs		1		
* ÁREA TOTAL DE FILTRACIÓN	m <sup>2</sup>		72		
* CAPACIDAD NOMINAL DE PLANTA	t D.S. / y		438,962		
* HORAS DE OPERACIÓN	h/Y		7,884		
* CAPACIDAD (INSTALADA CON 100 % DE DISPONIBILIDAD)	t D. S. / h		55.7		
* DISPONIBILIDAD DE LA PLANTA	%		90		
* CAPACIDAD NOMINAL CON DISPONIBILIDAD	t D. S. / h		50.1		
* CICLOS POR HORA	pcs		6.3		
* TIEMPO DEL CICLO	min.		9.5		
- TIEMPO DE ALIMENTACIÓN	min.		2.5		
- TIEMPO DE PRESIONADO (I)	min.		1.0		
- TIEMPO DE LAVADO	min.		0.0		
- TIEMPO DE PRESIONADO (II)	min.		0.0		
- TIEMPO DE SECADO	min.		1.5		
- TIEMPO TÉCNICO	min.		4.5		
* PRESIÓN DE PRESIONADO	bar.		16		
* ESPESOR DE CÁMARA	mm		60		
* ESPESOR DE QUEQUE	mm		47		
* ÁREA DE PLACA FILTRANTE	m <sup>2</sup>		6		
<b>CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO</b>			Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /T DS.	
* CONSUMO DE AIRE DE PRESIONADO			121	2	
* CONSUMO DE AIRE DE SECADO			341	6	
<b>TOTAL</b>			<b>462</b>	<b>8</b>	
<b>CONSUMO DE LÍQUIDOS</b>			m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /T DS.	
* LAVADO DE TELA FILTRANTE			2.2	0.04	
* LAVADO DE TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN			6.3	0.11	
<b>CONSUMO DE ENERGÍA</b>		MOTOR		kWh/h	kWh/T DS.
* BOMBA DE ALIMENTACIÓN		90		23.7	0.43
* FILTROS					
- UNIDAD HIDRÁULICA		110		46.0	0.83
- DESPLAZAMIENTO DE TELA		0.55		0.1	0.00
- ENFRIADOR DE ACEITE		0.55		0.0	0.00
- CALENTADOR DE ACEITE		2		0.0	0.00
* PRESIONADO DE QUEQUE		16		15.6	0.28
* SOPLADO CON AIRE COMPRIMIDO		58		57.7	1.04
* BOMBA BOOSTER PARA LAVADO DE TELA		18.5		1.9	0.03
* BOMBA PARA LAVADO DE TUBERÍA		90		4.7	0.09
<b>TOTAL</b>				<b>149.8</b>	<b>2.69</b>

Tabla 9.2: Estimación de costos operacionales (continuación)

COSTO DE OPERACIÓN POR TONELADA DE SÓLIDOS SECOS			
<b>DATOS BÁSICOS</b>			
* CAPACIDAD	DMTPY	438962	
* HORAS DE OPERACIÓN	h/Y	7884	
* TASA DE FILTRACIÓN	kg/m <sup>2</sup> h	773.3	
* HUMEDAD DE QUEQUE	% H <sub>2</sub> O	10.4	
* TIEMPO DEL CICLO	min.	9.5	
* PRECIO DE LA ENERGÍA	USD/kWh	0.04	
* PRECIO DEL AGUA	USD/m <sup>3</sup>	0.1	
* COSTO DE MANO DE OBRA	USD/h	3.2	
<b>CONSUMO DE ENERGÍA</b>			
* FILTROS	kWh/T DS.	0.83	0.03
* AIRE COMPRIMIDO	kWh/T DS.	1.32	0.05
* OTROS	kWh/T DS.	0.55	0.02
<b>TOTAL</b>	<b>kWh/T DS.</b>	<b>2.69</b>	<b>0.11</b>
<b>OTROS CONSUMOS</b>			
* LAVADO DE TELA FILTRANTE	m <sup>3</sup> /T DS.	0.04	0.00
* LAVADO DE TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN	m <sup>3</sup> /T DS.	0.11	0.00
<b>TOTAL</b>			<b>0.00</b>
<b>REPUESTOS Y COMPONENTES DE DESGASTE</b>			
* COMPONENTES DE DESGASTE			0.33
* REPUESTOS INESPERADOS			0.01
<b>TOTAL</b>			<b>0.34</b>
<b>MANTENIMIENTO</b>			
	h/Y	N° DE HOMBRES	
* REEMPLAZO DE COMPONENTES USADOS	143	2	0.00
* MANTENIMIENTO PREVENTIVO	260	2	0.00
<b>TOTAL</b>			<b>0.01</b>
<b>GRAN TOTAL</b>			<b>0.46 USD/T DS.</b>

Gráfico 9.2: Estructura del Costo Operacional

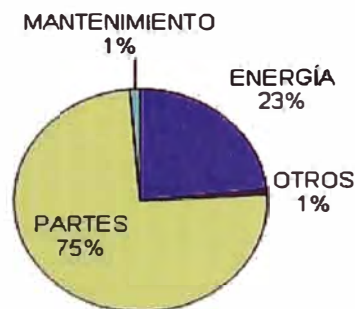


Tabla 9.3: Estimación de costos de los repuestos y componentes

DATOS BÁSICOS						
* CAPACIDAD	DMTPY			438,962		
* HORAS DE OPERACIÓN	h/Y			7,884		
* CAPACIDAD	DMTPH			55.7		
* CICLOS POR HORA	PCS			6.3		
* NUMERO DE FILTROS	PCS			1		
* TASA DE FILTRACIÓN	kg/m2h			773.3		
* HUMEDAD DE QUEQUE	% H <sub>2</sub> O			10.4		
* TIEMPO DE CICLO	min.			9.5		
COMPONENTES DE DESGASTE POR TN.	COSTO UNITARIO USD	TIEMPO DE VIDA (ciclo)	UNIDAD/PF (pcs)	COSTOS USD/T D.S.	REEMPLAZO (hrs)	MANTENIMIENTO (hrs/y)
* TELA FILTRANTE TIPO S2106-L1	5841	6000	1	0.110	1	8
* DIAFRAGMA DE PRESIÓN NR	2847	75000	12	0.052	2	16
* PARRILLAS DE POLIPROPILENO	1805	100000	12	0.025	0.5	3
* SELLOS DE PLACAS	1301	75000	12	0.024	2	16
* MANGUERAS DE PULPAS	253	45000	48	0.031	0.3	16
* MANGUERAS DE AIRE DE PRESIONADO	253	90000	12	0.004	0.25	2
* RASPADORES DE TELA FILTRANTE	252	45000	12	0.008	0.5	7
* RASPADORES DE RODILLO	503	45000	12	0.015	0.5	7
* PIEZAS GUÍA DE PLACAS	75	45000	48	0.009	0.25	13
* SELLOS DE ANILLOS COLECTORES	47	45000	48	0.006	0.2	11
* MANGA DE VÁLVULA PINCH DN 50/25 bar.	328	30000	2	0.002	1.5	5
* MANGA DE VÁLVULA PINCH DN 100/16 bar.	323	15000	1	0.002	2	7
* MANGA DE VÁLVULA PINCH DN 125/16 bar.	383	15000	3	0.009	2	20
* MANGA DE VÁLVULA PINCH DN 150/16 bar.	415	15000	2	0.006	2	13
<b>COSTOS TOTALES</b>				<b>0.30</b>		<b>143</b>
*AIRE COMPRIMIDO etc AUXILIARES	10	%		0.03		
REPUESTOS INESPERADOS / FILTRO	5000	USD		0.01		
<b>GRAN COSTO TOTAL</b>				<b>0.34</b>		
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		5	h/wk			<b>260</b>
<b>HORAS DE MANTENIMIENTO TOTAL</b>						<b>403</b>



### 9.3.2 Comparación Conceptual de Costos de Operación

A continuación se muestra una Tabla con la comparación de tecnologías; la Tabla 9.4, muestra la estimación de costos operacionales para los distintos modelos de filtros mencionados en el gráfico 9.3.

Tabla 9.4: Comparación de tecnologías empleadas con concentrados de zinc I

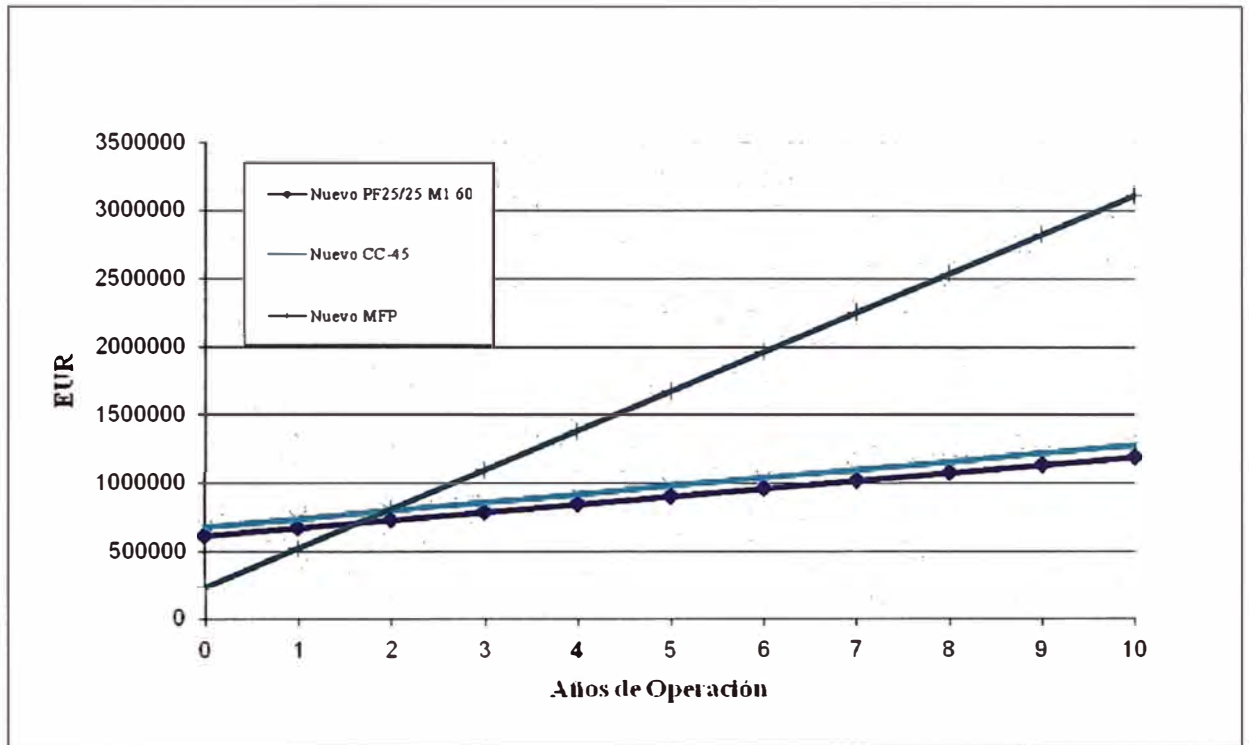
<b>CONCENTRADO DE ZINC</b>			
	<b>PF</b>	<b>CERAMEC</b>	<b>MFP</b>
	Nuevo - alt 1	Nuevo	
<b>FACTORES COMUNES</b>			
Descripción de alimento	Zn Concentrado de Flotación		
Alimentación a Planta (tDS/mes)	3250 tDS/mes (CASO 1) + 2000 tDS/mes (CASO 2) + 750 tDS/mes (otras fuentes) = 6000 tDS/total mes		
Horas de Operación (hrs/mes)	28,5 días x 20 hrs = 570 hrs/mes		
Alimentación de Diseño (tDS/hr)	10,5 tDS/h		
Humedad residual objetivo (wt%)	9-10 % (optimo 8,5 wt%)		
Concentración de sólidos en Pulpa (wt%)	60 wt%		
Pulpa pH	5,5-7,0		
Temperatura de Pulpa (Celsius)	15-19		
	<b>CASO 1</b>	<b>CASO 2</b>	
Tamaño de Partículas (en CC hoja de pruebas 24.-25.10.2005)	10% < 1,0 µm 25% < 4,0 µm 50% < 9,7 µm 75% < 21,3 µm 90% < 46,6 µm		
<b>FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO</b>			
Bases para el Dimensionamiento	PF0.1 prueba 10.-13.9.2002	CC Hoja de Prueba 24.-25.10.2005	PF0.1 prueba 10.-13.9.2002 & Experiencia de Larox
Humedad de Queque (wt%)	< 9,0 (constante)	< 9,5 (constante)	9,0-11,0 (Mayor cuando la tela se tupe)
Modelo de Filtro	PF25/25 (M12) 1 60	CC-45	MFP 1200 x 1200, 44 placas
Notas	Placas de Acero Inox.	-	-
Numero de Filtros (pcs)	1		
Espesor de Cámara (mm)	60	No es aplicable	
Espesor de Queque (mm)	33	2	
Tiempo de Alimentación (min.)	3.0	Tiempo de formación de Queque	4.5
Tiempo de Presionado (min.)	1.75	8-10 segundos	2.0
Tiempo de Secado (min.)	1.0	Tiempo de Secado 16-18	2.0
Tiempo Técnico (min.)	3.0	4 segundos	10.9
Tiempo Total del Ciclo (min.)	8.75	0.5	19.4
Tasa promedio de Filtración (kgDS/m2h)	469	259	138
Disponibilidad (%)	90		80
Área Filtrante necesaria (m2)	24.8	45.0	84
Área de Filtración elegida (m2)	25	45	92.4
<b>FACTORES TÉCNICOS</b>			
Numero de Placas / discos (pcs)	16	15	44
Material de Placa	AISI 304L	Discos Cerámicos	PP
Numero de Cámaras (pcs)	16	No es aplicable	
Área de Filtración por cámara / disco (m2)	1.60	3.00	2.10
Volumen de Cámara por Placa (m3)	0.096	No es aplicable	
Volumen de Cámara por Filtro (m3)	1.536	2.196	

Tabla 9.4(continuación): Comparación de tecnologías empleadas  
con concentrados de zinc I

	PF	CERAMEC	MFP
	Nuevo - alt 1	Nuevo	
<b>CONSUMO DE AIRE DE SECADO</b>			
Flujo de aire durante el secado(Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min.)	0.8	No es aplicable	1.2
Ciclos por año (pcs)	46903	820800	21155
Tiempo de aire de secado por año (min.)	46903	no es aplicable	42309
Uso de aire por año(Nm <sup>3</sup> )	938057		4691253
Uso de aire por tonelada (Nm <sup>3</sup> /tDS)	13.0		65.2
<b>CONSUMO DE ELEMENTOS</b>			
Tipo de Filtración Media	Tela continua	Discos Cerámicos	Tela para cada placa
Número de elementos por Filtro (pcs)	1	180	44
Vida útil del Medio Filtrante (ciclos)	7000	4 años	2000
Número de cambio de elementos por año (pcs)	6.7	0.33	10.6
Número de elementos a cambiar por año (pcs)	6.7	45	465
Tiempo para cambiar un elemento (min.)	20	15	20
Número de personas requeridas para cambiar un elemento (pcs)		1	
Horas-hombre por año utilizadas en cambiar elementos (horas hombre)	2.2	11.3	155
El medio filtrante es lavado cada ciclo? (sí/no)	si	si	no
El medio se lava por ambas caras? Sí/no	si	No aplicable, si los sólidos no atraviesan los elementos	no
Hay retro-lavado? Sí/no)	si	si	no
Se puede monitorear la condición del medio filtrante sin parar el filtro (sí/no)	no	si	no
<b>CONSUMO DE ELEMENTOS</b>			
Tipo de medio de Presionado	Diafragma de goma, de forma plana	No es aplicable	Diafragma de caucho
Número de elementos por Filtro(pcs)	16		44
Vida útil de los elementos (ciclos)	60000		25000
Cambios de elementos por año – filtro completo (pcs)	0.78		0.8
Número de elementos a reemplazar por año (pcs)	12.5		37.2
Tiempo para reemplazar un elemento (min.)	60	60	
Número de personas requeridas para cambiar un elemento (pcs)	2	No es aplicable	2
Horas-hombre utilizadas para cambiar elementos por año (horas-hombre)	25.0		74.5
<b>CONSUMO DE ENERGÍA (SOLAMENTE EL FILTRO)</b>			
Potencia instalada – incluyendo bomba de vacío (kW)	34.0	30	52.0
Potencia utilizada, incluyendo la bomba de vacío (kW)	23.0	17	35.0
Consumo de energía por tonelada (kWh/tDS)	2.2	1.6	3.3



Tabla 9.4(continuación.) : Comparación de tecnologías empleadas  
con concentrados de zinc I

	PF	CERAMEC	MFP
	Nuevo - alt 1	Nuevo	
<b>REQUERIMIENTO DE ESPACIO</b>			
Dimensión ocupada (largo x ancho x	4250 x 3800	7040 x 3300	13400 x 930
Área de la instalación (m2)	16.15	23.2	12.5
Área requerida con accesos (m2)	39.5	44.0	60.0
Altura del equipo (mm)	4100	2750	2000
<b>FACTORES OPERACIONALES</b>			
Es siempre automática la descarga de la torta? (si/no)	si		no, requiere inspección visual
Flexibilidad para acomodar cambios en la pulpa alimentada	Excelente, ciclo y parámetros totalmente ajustables con lavado	Medio, nivel de pulpa y velocidad de rotación regulable	Buena, sin lavado continuo de tela
<b>COSTO DE PROPIEDAD (gráfico)</b>			
Presupuesto / precio ex-fábrica sin embalaje (Euros)	570200	679600	150000
Precio estimado de los equipos auxiliares (compresores, bombas, tanques; Euros)	45000	2500	85000
Precio total ex-fábrica del equipo sin embalaje (Euros)	615200	682100	235000
Vida útil del proyecto (años)	10		
Costo de operación estimado – incluyendo equipo auxiliar (Euros/t SS)	0.80	0.83	4.00
Costo de Propiedad	1191200	1279700	3115000
<b>OTROS</b>			
Tiempo de entrega (meses)	5-6	4-5	5-6
NOTAS ADICIONALES:	Filtro nuevo con placas de acero inoxidable. No expandible	La humedad real se estima en aproximadamente 0.5% menor. No expandible	

**Gráfico 9.3:** Comparación de Costos de Adquisición del Equipo

**NOTA:** los costos de instalación y transporte no son tomados en cuenta en esta comparación.

### 9.3.3 Comparación Operativa Conceptual entre Filtros a Presión

<b>Criterio</b>	<b>PF</b>	<b>CFP</b>
<b>Estudio del caso</b> <b>Concentrado de flotación</b> <b>PF 72/96 M1 45</b> Versus <b>Filtro de cámaras</b> (con placas perforadas)		
<b>Factores en común</b>		
Descripción de alimento	Concentrado de flotación Au/Pirita	
Alimentación de diseño tds/h	50,2 Tn/h	
Horas de Operación por año (hrs/año)	5840 (usado 16 horas/día)	
Humedad residual objetivo (%)	11% (nunca encima de 12%)	
Tamaño de Partículas	62% <38 micrones	
<b>Factores de dimensionamiento</b>		
Numero de Filtros (pcs)	2	2
Modelo de filtros	1 x PF 72/96 M1 45 Filtro a presión totalmente automatizado	1 x CFP 2000 x 2000 / 30 mm / 50 cámaras Filtro a presión semi-automático
Área Filtrante (m <sup>2</sup> ) por filtro	72	320
Cantidad de placas y/o cámaras por filtro	12 placas = 12 cámaras por filtro	51 placas = 52 cámaras por filtro
Tamaño de placa filtrante (l x a x alt.)	4010mm x 1500mm x 45mm	2000mm x 2000mm x approx.85 mm.
Área de placa filtrante ó cámara	6 m <sup>2</sup>	Área de queque 3,2 m <sup>2</sup> / 6,4 m <sup>2</sup> de área de filtración
Altura de placa por cámara	45 mm	30 mm
Volumen de cámara por placa	0,27 m <sup>3</sup>	0,096 m <sup>3</sup>
Volumen de cámara por filtro	3,24 m <sup>3</sup>	4,8 m <sup>3</sup>
Volumen total de cámara utilizado.	6,48 m <sup>3</sup>	9,6 m <sup>3</sup>
Área total de filtración utilizada	<b>144 m<sup>2</sup></b>	<b>640 m<sup>2</sup></b>
<b>Factores de adaptabilidad</b>		
Disponibilidad de filtro	> 95%	< 90% (con 16 horas de funcionamiento)

		continuo).
Tiempo del Ciclo (min.)	7,5	18.5 con el sistema de abertura normal de la cámara. (ninguna abertura rápida)
Humedad de Queque (%)	11% (siempre bajo 12%) el operador puede "subir el dial" cualquier humedad requerida entre 11-14% ajustando parámetros del ciclo.	Estimación del 12% con tiempo de secado de 3 min. Variantes aleatorias fuertes en el tiempo. Dificultad para obtener un nivel constante de humedad sobre la longitud entera del filtro.
Tasa promedio de Filtración	406 (kgDS/m <sup>2</sup> h)	88 (kgDS/m <sup>2</sup> h)
<b>Ciclo de filtrado</b>		
Alimentación (tiempo, presión)	90 segundos, 6,5 bar	360 segundos , 8 bar
Presionado (tiempo, presión)	53 segundos, 13,5 bar	No es posible
Secado (tiempo, presión)	60 segundos, 7,2 bar	180 segundos
Descarga (tiempo, presión)	178 segundos (100% automático, no necesita observación visual)	570 segundos (requiere observación del operador, especialmente cuando son queques muy húmedos debido a que la tela se taponea al final de su vida útil)
Tiempo total del ciclo	450 segundos (7,5 min.)	1110 segundos (18,5 min.)
<b>Consumo de aire</b>		
Flujo de aire durante el secado(Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min.)	0,5	0,5(bajo condición óptima de la tela filtrante)
Tiempo de aire de secado por ciclo (min.)	<b>30 segundos para alcanzar 11% de humedad</b>	180 segundos para alcanzar 12% de humedad (estimación, no probada por Larox. Podía ser menos o aún más alto)
Tiempo de aire de secado por año (min.) por filtro	46720 x 30 / 60 = 23369 min/año	18940 x 180 / 60 = 56820 min /año
Normal m <sup>3</sup> de aire por año	0,5 x 72 x 23369 = 841284 Nm <sup>3</sup> /año	0,5 x 320 x 56820 = 9091200 Nm <sup>3</sup> /año
Normal m <sup>3</sup> aire por tonelada de residuos sólidos secos	841284/130000 = <b>6,47 Nm<sup>3</sup>/ton</b>	9091200/130000 = <b>70 Nm<sup>3</sup>/ton</b>
Costo de aire comprimido Nm <sup>3</sup>	0,02 USD	
Costo de aire comprimido/ton.	<b>USD 0.13 / tonDS</b>	<b>USD 1,4 / tonDS</b>

Costo de aire comprimido/año	<b>USD 16900 / año</b>	<b>USD 182000 / año</b>
Complejidad/ Costo de tela		
Cantidad de telas filtrantes (total por el filtro)	1	51
Ciclos por año / filtro	46720 ciclos / filtro	18940 ciclos / filtro
Precio de tela (solo) (USD)	USD 3288 / tela	USD 95 / tela
Tiempo de vida de tela [ciclos anuales/tiempo de vida de tela]	8000 (promedio)	3000 (promedio)
Precio por cambio de tela (completa) para todo el filtro	USD 3288 / cambio	51 x 95 = USD 4845/cambio
Cambios de tela por año/filtro	46720 ciclos pa 8000 ciclos/tela = 5,8 tela	18940 ciclos pa 3000 ciclos/tela = 6,3 cambio completo
Costo anual de tela /filtro	USD 19070 / año	USD 30588 / año
Número de telas individuales a cambiar por año/filtro	1 x 7,4 = 7,4 telas a cambiar por año	51 x 6,3 = 321,3 telas a cambiar por año
Tonelaje de producción	130000 ton/año/filtro	130000 ton/año/filtro
Costo de tela por ton. de conc.	<b>USD 0,14 / ton</b>	<b>USD 0,24 / ton</b>
Tiempo para cambiar una tela (min)	30 minutos	25 minutos
Número de personas requeridas para cambiar una tela (pcs)	1 x filtro	2 x filtro
Horas-hombre por año utilizadas en cambiar una tela/filtro (horas hombre)	174 minutos <b>2,9 Horas Hombre por año</b>	8033 minutes 134 x 2 = <b>268 Horas Hombre por año</b>
Costo de hora hombre USD	5	5
Costo del trabajo / año / filtro por reemplazo de tela	5 x 2,9 = 14,5 USD	5 x 268 = 1340 USD
Son las telas lavadas cada ciclo? (si/no)	Sí, con alta presión (10 bar). En ambos lados. Lavado automático durante la operación (sin detenerse)	No, filtros no pueden funcionar cuando se lava la tela. Lavado ocasionalmente. Operación manual o lavado especial.
Consumo por lavado de tela	300 l/hr	desconocido (alto) debido a intervalos desiguales.
Son las telas lavadas por ambas caras? Si/no	Si	No
Hay retro-lavado? Si/no) ¿Se lavan los paños parte posterior? es decir ¿la filtración ocurre en dos direcciones a través de la tela?	Si. La tela se invierte cada ciclo.	No. Una cara filtra
Quedan sólidos en la superficie cuando el filtro es cerrado (riesgo en las placas y daños en la tela? Sí /No	No (100% de descarga)	Sí, a menos que esté lavado después de cada ciclo (que disminuiría la disponibilidad del filtro dramáticamente).

<p>Se puede monitorear la condición de la tela sin parar el filtro (si/no)</p> <p>La supervisión de condiciones es la llave para una alta disponibilidad de planta. El uso y deterioro pueden ser supervisados, y las paradas pueden ser planeadas.</p>	<p>Sí. La tela pasa entre la estación de lavado y rodillo superior.</p> <p>Puedes examinar la condición de la tela cada 3 ciclos, durante la operación normal. (22.5 minutos) no tiempo muerto.</p>	<p>No. La cámaras deberán ser abiertas para inspeccionar las telas.</p> <p>Cada tela se debe examinar individualmente, de ambos lados del filtro. Toma por lo menos 3 minutos por cámara. (2.5 horas de tiempo muerto total por la inspección). Debido al daño de las telas, el líquido filtrado contendrá sólidos; aumentarán el desgaste y rasgará las placas PP durante el secado; aumentando la humedad residual.</p>
<p>¿Es la tela filtrante en cada cámara, idéntica en términos de permeabilidad, para el tiempo de vida de la tela?</p>	<p>Sí. 200% de la tela consigue ser usado: - La longitud entera de la tela en ambos lados. El desgaste es distribuido uniformemente. La tela entera tiene la misma permeabilidad. Resultado tasas de filtración homogéneas en todas las cámaras, cada ciclo.</p>	<p>No. Solamente un lado de la tela consigue ser usado. Los agujeros comienzan a aparecer aleatoriamente en esquinas y alrededor de los bordes de la tela. El resultado, las telas son continuamente substituidas al azar en cualesquiera cámara. Algunas viejas telas, algunas nuevas telas = desigual permeabilidad.</p>
<p>¿La tasa de filtración es idéntica en todas las cámaras, incluso con las telas viejas?</p>	<p>Sí. Solo la tela viaja a través de todas las cámaras. La tela es en ambos lados limpiada a fondo, e invertido en relación a la dirección del flujo de filtrado cada ciclo.</p>	<p>No. Las telas son diferentes en cada cámara. Hay siempre algunas telas nuevas y pocas telas viejas, y pocas telas con agujeros. Las telas nunca se lavan a fondo ni en ambos lados. La dirección de la filtración siempre es igual.</p>
<p>¿Es el producto de filtración totalmente homogéneo en toda la longitud y anchura, y en cada cámara?</p>	<p>Sí. A veces levemente de menor espesor en placas superiores (Variación solo de 1-3 mm) Todo el queque es seco, friable y no pegajoso.</p>	<p>No. Áreas húmedas y pegajosas alrededor de puertos de alimentación. Algunas cámaras pueden tener solamente pulpa, entonces esto no es realmente un queque.</p>
<p>¿Es la descarga del queque totalmente automática?</p>	<p>Si</p>	<p>No</p>
<p>¿Es la descarga del queque totalmente confiable (no necesita observación visual)? Sí /no</p>	<p>Si</p>	<p>No</p>
<p>¿La totalidad del queque cae fuera del filtro cada ciclo?</p>	<p>Si</p>	<p>No. Necesita inspección manual y raspar de vez en cuando.</p>



¿Cuánto tiempo toma para descargar 1 filtro totalmente?	60 – 90 segundos/ciclo Todas las cámaras simultáneamente Totalmente automático.	Variable 10 – 30 minutos. Empuje y raspado manual. Hombre con raspador de plástico. Duración de ciclo basada en mínima intervención manual. Cuando el queque es pegajoso la capacidad disminuirá.
¿Es la duración del ciclo del filtro idéntico en cada ciclo con las condiciones de alimentación constantes?	Si	No. Agujeros en la tela causados constantemente por ciclos extensos. El tiempo de descarga esta en función de la condición de la tela.
¿Es el tiempo de descarga constante? Es decir, la misma cantidad de tiempo en cada ciclo	Si	No. Depende de la humedad y consistencia del queque. Cansancio del trabajador, tiempo del té, tiempo del almuerzo.
<b>Diagrama de presionado</b>		
¿El filtro tiene diafragmas para presionado?	Si	No
¿Es posible acomodar cambios de la pulpa ajustando la presión y la duración de presionado?	Si	No aplicable
Tiempo de vida del diafragma (ciclos)	60000 (promedio)	No aplicable
¿Tiempo para cambiar el diafragma?	1 hora (no necesita remoción de la placa)	No aplicable
¿Tiempo para inspeccionar o detectar daños en el diafragma?	10 minutos	No aplicable
<b>Requerimiento de espacio</b>		
Dimensión ocupada (largo x ancho x altura)	7495 x 5273	Approx. 6900 x 2800 sin el equipo de seguridad
Área de la instalación (m <sup>2</sup> )/filtro	39,5 m <sup>2</sup>	19,4 m <sup>2</sup>
Área requerida con accesos LxA	12900 x 7000	10400 x 6800
Área requerida con accesos (m <sup>2</sup> )	90,3 m <sup>2</sup>	70,7 m <sup>2</sup>
Altura del equipo (mm)	5167	2800 (Sin mecanismo de lavado de tela)
<b>Seguridad integral</b>		
Material de construcción de la placa	304 acero inox. Acero suave pintado con epoxy	Polipropileno. Acero suave pintado con epoxy

<b>Factores de automatización</b>		
¿El filtro funciona constantemente, después de cada ciclo, sin ninguna intervención humana, a menos detenido por un operador?	Si	No. Los cambios del proceso (lo cual sucede pronto o tarde en cada operación ) causaran demoras, cuando la intervención manual es necesaria durante descarga del queque.
¿Si está parado, por alguna razón, este reinicia automáticamente de donde fue parado, si lo deseas?	Si	Si
¿Si está parado por mantenimiento, el filtro se limpio por sí mismo y está listo para entrar en operación?	Si	No. Operación manual para parar, arrancar y abrir para limpiar
Puede el filtro dar un aviso de alarma para las condiciones siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de presión de aire.</li> <li>• Falta de bombeo de pulpa</li> <li>• Baja presión de la alimentación de pulpa.</li> <li>• Bajo nivel de pulpa en el tanque de alimentación.</li> <li>• Falta del transportador de descarga.</li> <li>• Válvulas no cerradas (todas las válvulas)</li> <li>• Depósito lleno con filtrado</li> <li>• La tela dañada /mal colocada.</li> </ul>	Sí, Todos los parámetros son monitoreados y con alarma. Funciones autodiagnósticas.	Depende de grado de automatización del PLC.
¿Si existe una condición de alarma, el filtro diagnostica la alarma y dice al operador cómo arreglarlo?	Si	Depende de grado de automatización del PLC. El operador debería entender que sucedió.
¿Sin parar la producción y simplemente mirando el panel de control del filtro, puedes tú determinar cualquiera de los siguientes, que son pertenecientes a mantenimiento y producción? ¿Toneladas desaguadas hoy? ¿Ciclos completados hoy? ¿Ciclos totales desde el inicio? ¿Etapa del ciclo (secado etc. )? ¿Presión de pulpa, aire y agua? Condición de todo el equipo incluyendo los auxiliares? Manual completo del Operador y guía para encontrar averías incluyendo condiciones de autodiagnóstico?	Si a todo. Filtro es una máquina humana, que mide todos parámetros, y lleva una historia y alarma incluida en la pantalla. Todos los datos en línea están disponibles para SCADA y los dispositivos de la adquisición de datos, con datos abiertos de la conexión con cable, el profibus, o la red obediente.	Depende del grado de automatización del PLC.

<p>Sin parar la unidad de producción u obtaculizar el ciclo de filtrado; por cualquier razón, puedes tú, hacer cualquiera de lo siguiente;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Seleccionar uno de diez programas, definidos por el operador, para varias condiciones de pulpa? (El filtro automáticamente cambia en el ciclo siguiente)</li> <li>• Aumentar, disminuir y cambiar cualquier parámetro de funcionamiento.</li> <li>• Supervisar la condición de la tela.</li> <li>• Ajustar la velocidad de descarga del queque.</li> <li>• Ajustar el lavado de la tela</li> <li>• Ajustar la humedad del queque.</li> <li>• Ajustar el espesor de queque.</li> <li>• Ajustar la tasa de filtración de 0 - 100%</li> </ul>	Si	No
<p>Puede el filtro ser equipado para ajustar automáticamente sus propios parámetros de funcionamiento para dar humedad constante de queque, con independencia de condiciones de pulpa.</p>	<p>Si. Cargar el sistema ajustando el tiempo de bombeo en punto de ajuste total. El ajuste del punto – G, ajusta el tiempo de presionado al óptimo.</p>	No
<p>Inversamente, puede el filtro ser equipado para ajustar automáticamente sus propios parámetros de funcionamiento para dar un rendimiento de masa constante, con independencia de condiciones de pulpa.</p>	Si	No

#### *9.4 Costos Directos de Inversión*

Se refiere al costo inicial por adquisición del equipo, para lograr una inversión inicial reducida es recomendable adquirir un solo filtro con suficiente área, pero el costo también dependerá del material de composición y el área filtrante.

La inversión inicial es el desembolso por la adquisición e instalación del equipo.

La automatización total, la flexibilidad de la operación, el rendimiento, la humedad y la capacidad probada, todo lo anterior optimizado hacen que el equipo opere con un costo bajo por tonelada.

#### *9.5 Costos Directos de Operación*

Se refiere al costo de la operación de filtrado que a su vez pueden ser clasificados en cargas de inversión, cargas de depreciación, costos de energía, costos de mano de obra directa y costos de mantenimiento y accesorios.

Parámetros de cálculo:

Depreciación	: 5 a 10 % por año
Personal	: un hombre para “n” filtros (filtro PF)
Costos de mantenimiento por año	: 5% de la inversión

## *Capítulo X*

### **RESULTADOS**

Los métodos de obtener datos necesarios para nuestros cálculos son presentados:

#### *10.1 Determinación de la Densidad de Sólidos*

Los resultados de las Pruebas para determinar la densidad de los sólidos en la Pulpa son presentados en el Apéndice A.

La densidad promedio para el concentrado de cobre fue 3,9996 g/cc

La densidad promedio para el concentrado de zinc 1 fue 3,342 g/cc

La densidad promedio para el concentrado de zinc 2 fue 3,900 g/cc

La densidad promedio para el concentrado de zinc 3 fue 3,944 g/cc

#### *10.2 Determinación de la Porosidad*

Los resultados de las pruebas para determinar la porosidad en las distintas etapas de la Filtración se muestran en el Apéndice B.

La porosidad se ha calculado en diferentes etapas del proceso de filtración, pero una regla práctica es hacerlo en la etapa final de la filtración, después del secado.

#### *10.3 Determinación de la Permeabilidad del Queque*

La permeabilidad de queque se calcula en las diferentes etapas de la filtración. Los resultados de estos cálculos se presentan en el Apéndice B.

Este valor se pudo calcular con el conocimiento previo de la constante y el coeficiente de la variable, los mismos que resultan de la regresión lineal de los valores de  $v(\text{cm}^3) - t/v (\text{s}/ \text{cm}^3)$ , obtenidos en las pruebas.

#### *10.4 Determinación de la Resistencia Específica del Queque*

Para calcular este valor debemos conocer la constante y el coeficiente de la variable, los mismos que resultan de la regresión lineal de los valores de  $v(\text{cm}^3) - t/v$  ( $\text{s}/\text{cm}^3$ ), obtenidos en las pruebas. Los resultados se observan en el Apéndice B.

#### *10.5 Determinación de la Resistencia de la Tela*

Los resultados de las Pruebas para determinar la resistencia de la tela, son presentados en Apéndice B.

Este valor al igual que el anterior se calcula conociendo previamente la constante y el coeficiente de la variable, los mismos que resultan de la regresión lineal de los valores de  $v(\text{cm}^3) - t/v$  ( $\text{s}/\text{cm}^3$ ), obtenidos en las pruebas.

#### *10.6 Análisis de Regresión*

La regresión de datos reales de la filtración, proporciona una alternativa para determinar los parámetros empíricos de la correlación tales como permeabilidad de queque y resistencia de medio filtrante.

# *Capítulo XI*

## CONCLUSIONES

### *11.1 Conclusiones*

#### **Grupo 1: Acerca de las bases teóricas**

- ☞ La formación del queque y el cambio rápido del índice del líquido filtrado en el período inicial de la filtración, es demasiado veloz para ser medido con precisión.
- ☞ Tomando como referencia la fórmula de Tiller, se ha comprobado que la teoría sobre la resistencia específica de queque varia en forma creciente y en cada etapa siguiente a la formación de queque por lo tanto, es válida. Los resultados se muestran en las Tablas B.15, B.16 y B.17.
- ☞ Se observó la mejora en el flujo del filtrado durante la formación del queque, si comparamos pruebas con ayuda y sin ayuda de filtración; que indica un efecto positivo. Los resultados se muestran en las Tablas 7.7, 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11.
- ☞ En las pruebas con concentrados de cobre, se intentó obtener una mayor tasa de filtración con menor humedad. Por tal motivo, los tiempos de filtración fueron incrementados hasta de 2 minutos en alimentación, 0.7 minutos de presionado y 2 minutos de secado. Más adelante se comprueba que el tiempo requerido fue menor.
- ☞ Con los resultados obtenidos en las pruebas donde se usó ayuda de filtración (surfactantes), se concluye que estos reactivos cumplieron con su función, es

decir, aumentaron la capacidad de carga y disminuyeron la humedad. En algunas pruebas con concentrados de cobre, se usó ayuda de filtración. Ver Tabla 8.1.

- œ Si se aplicara la fórmula de optimización en filtrado, para la alimentación al filtro Larox con los concentrados de cobre (caso A), sugerimos que es mejor alimentar un tiempo máximo de 90 segundos, según los resultados mostrados en 7.7.1.1. Esta idea es válida para pulpas entre 60 - 62.5% de sólidos, densidad del sólido entre 4.1- 4.15 gr/cc.
- œ También se observa en los datos obtenidos para presionado y secado que el tiempo adecuado para presionar es de 45 a 60 segundos y no es necesario secar hasta 2 minutos ya que con 1 minuto basta para este tipo de concentrados de cobre, no se justifica secar 1 minuto adicional. Observar Gráfico 7.5.
- œ Los resultados de las pruebas con concentrados de cobre, bajo el modelo de Concha muestran poco margen de error para todos sus cálculos: llámese volumen de filtrado en formación, espesor de queque en formación y masa de queque seco. Este error varía de 0.2% hasta 2.3% lo que demuestra la eficiencia del modelo. El error se vuelve mayor cuando el factor de correlación de la línea no es cercano a 1.
- œ Los resultados de las pruebas con concentrados de cobre, donde se aplicó el modelo de Holdich, muestran porcentajes de error iguales a los obtenidos con el modelo de Concha. Holdich utiliza en sus fórmulas la concentración volumétrica de pulpa y queque, que para el caso vendrían a ser similares a concentración de pulpa y porosidad.
- œ Si aplicamos la fórmula de optimización al proceso de filtrado para la etapa de alimentación al filtro Larox con los concentrados de Zinc I (caso B), sugerimos que es mejor alimentar un tiempo máximo de 75 segundos, según



resultados mostrados en 7.7.1.2. Tener en cuenta que esto es válido para pulpas con las siguientes características entre 63 - 66% de sólidos, densidad del sólido entre 3.3- 3.4 gr/cc.

- ☞ También se observa en los datos obtenidos para presionado y secado, que el tiempo adecuado para presionar es 1 minuto y que con 1 minuto de secado se obtiene humedades bajas. Observar Gráfico 7.7.
- ☞ Si aplicamos la fórmula de optimización al proceso de filtrado para la etapa de alimentación al filtro Larox con los concentrados de Zinc II (caso C), sugerimos que es mejor alimentar un tiempo entre 60-70 segundos, según resultados mostrados en 7.7.1.3. Tener en cuenta que esto es válido para pulpas con las siguientes características entre 52 - 60% de sólidos, densidad del sólido 3.9 gr/cc.
- ☞ También se observa en los datos obtenidos para presionado y secado, que el tiempo óptimo de presionado es 1 minuto y 1 minuto para secado. Observar Gráfico 7.9.
- ☞ Si aplicamos la fórmula de optimización al proceso de filtrado para la etapa de alimentación al filtro Larox con los concentrados de Zinc III (Caso D), sugerimos que es mejor alimentar un tiempo de 60 segundos, según resultados mostrados en 7.7.1.4. Tener en cuenta que esto es válido para pulpas con las siguientes características entre 60 - 63% de sólidos, densidad del sólido entre 3.9 – 4.0 gr/cc.
- ☞ También se observa en los datos obtenidos para presionado y secado, que el tiempo óptimo de presionado es 1 minuto y 1 minuto para secado. Observar Gráfico 7.11.
- ☞ De acuerdo a los resultados con las fórmulas obtenidas en esta tesis: fórmula “masa de queque en formación” y fórmula “masa de queque al final del ciclo de filtrado”, se observan que las diferencias porcentuales que estos presentan

con los valores experimentales varían entre 0.02% hasta el 1.61%. Por lo tanto se valida y comprueba su eficacia. Ambas fórmulas fueron aplicadas y comprobadas con concentrados de cobre y de zinc.

- œ Los resultados del cálculo “masa de queque en formación” y “masa de queque” final del ciclo, con concentrados de Zinc I, II y III; se muestran en Tablas 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4.
- œ Los resultados de las pruebas con concentrados de zinc I, II y III; donde se aplicó el modelo de Concha, muestran resultados satisfactorios para sus tres cálculos en cada prueba desarrollada. El error varía entre 0.4% y 3.0%. Ver Tabla 8.2.
- œ Los resultados de las pruebas con concentrados de zinc I, II y III; donde se aplicó el modelo de Holdich, presentan resultados satisfactorios para sus tres cálculos: volumen de filtrado, espesor en formación y peso de queque seco.
- œ Las pruebas de filtración con el filtro Larox PF 0.1 m, se realizaron con los siguientes parámetros: presión de alimentación (máximo 6 bar), presión de presionado (máximo 16 bar) y presión de secado (máximo 7 bar).
- œ La viscosidad tiene influencia considerable en el filtrado, pero puede variar significativamente de un proceso a otro; influenciado en ocasiones por las diferencias de temperatura.
- œ Si el filtrado se lleva a cabo a presión constante, la velocidad se incrementa con el aumento de la temperatura, como consecuencia de la disminución de la viscosidad.
- œ Realizar pruebas es conveniente ya que permite evaluar el total de cambios en los parámetros de filtrado tales como el desempeño del filtro y la

optimización del ciclo de filtrado ó la selección del filtro y equipo adicional más conveniente.

- ☞ Las variaciones en la mineralogía, molienda, densidad de pulpa, temperatura, adiciones de reactivos, calidad de agua y otras condiciones de proceso causan diferencias significativas en las características de filtrado entre materiales de similar apariencia.
- ☞ La importancia de las técnicas de filtración ha sido acentuada por la exigencia creciente de protección ambiental.
- ☞ Se usaron en las pruebas telas Tamfelt, tipo monofilamento de peso aproximado 200 gramos.

## **Grupo 2: Económica**

- ☞ Los filtros son costosos si se les compara con un espesador, la ventaja del filtro radica en que este entrega un queque con humedad residual (7-10%). Por lo tanto no se tiene que gastar en secado térmico, lo cual convierte a este equipo en tecnología limpia.
- ☞ El sistema de filtrado con filtro Larox PF, al ser totalmente automático, permite al operador dedicarse a otras actividades, sin necesidad de que esté las 24 horas observando al filtro.
- ☞ El mayor consumo de aire comprimido en el filtro Larox se da durante la etapa de secado. El tiempo de secado optimizado no pasa del minuto (30-60 seg). Por lo tanto los costos por uso de aire comprimido son mínimos comparados con cualquier otra alternativa. El uso de aire representa entre el 10-20% del total requerido por otros sistemas.

- ∞ El filtro Larox PF, usa una sola tela para todo el filtro (tela continua), la cual encarece la inversión pero garantiza largo tiempo de vida (ciclos de uso), lo que a la vez da ventaja frente a otras alternativas, ya que con estas telas se puede ofrecer hasta el doble de ciclos de uso comparado con otras y así el costo de la inversión será competitivo, a lo que se agrega el tiempo de “setting up” de pocos minutos y solo 1 persona en la operación.
- ∞ El filtro Larox PF consume agua a presión para el lavado de tela y tubería de alimentación. La operación de lavado no dura más de 3 minutos.
- ∞ El filtro Larox consume energía para: el motor de la bomba de alimentación, los filtros, el presionado del queque, soplado con aire comprimido, bomba para el lavado de tela y tubería; el mayor consumo se tiene en el soplado con aire y la unidad hidráulica.
- ∞ En conclusión el costo por la energía usada en la operación con el filtro Larox PF es poco más del 25% del costo operativo.
- ∞ En muchas plantas se está reemplazando el secado térmico por filtros Larox PF con lo que se está contribuyendo con el cuidado del medio ambiente, al no emitir aire contaminado.
- ∞ La utilización de las variables eficiencia, capacidad y caída de presión posibilitan la determinación del nivel de desempeño del filtro.

## **11.2 Recomendaciones**

- ∞ Un requisito previo para el mejor funcionamiento del filtro es el diseño de la instalación total. La comprensión de los principios de funcionamiento del filtro asegurará la selección y clasificación correcta de equipos auxiliares.

- ☞ Sugerimos realizar suficiente cantidad de pruebas para hallar la dosificación exacta del reactivo adecuado para su concentrado, nos referimos a algún tipo de ayuda de filtración, si el caso lo requiriese.
- ☞ Se recomienda mantener agitación constante para evitar la sedimentación de los sólidos de la pulpa en el tanque del filtro. En pulpas con presencia de muchos finos y de alta gravedad específica se recomienda agitación constante y un sistema de recirculación continuo a fin de alimentar pulpa de densidad constante en todas las pruebas.
- ☞ Es muy importante conocer las características físicas, químicas y granulométricas del material a filtrar para definir el medio filtrante (tela); con el objetivo de no permitir que partículas de tamaños mayores o iguales al poro de la tela se queden en estos, obstaculizando el paso de filtrado.
- ☞ Para elegir la tela adecuada para el filtro debemos tener en cuenta lo siguiente: la temperatura, el pH y el tamaño de la partícula que va ser removida.
- ☞ La investigación y desarrollo del medio filtrante continúa siendo muy dinámica para asegurar que sean satisfechas las necesidades de los sistemas de filtrado.
- ☞ Es muy importante que los puntos de vista tanto teórico como industrial desarrollen métodos sencillos y precisos para las pruebas de filtrado. La mayoría de las pruebas comúnmente usadas definen las características generales del proceso filtración y las estructuras internas del queque; la porosidad en el equilibrio y la resistencia específica, el flujo de filtrado del queque en la compresión, permeabilidad se define experimentalmente. Sin embargo, esta técnica puede ser bastante tediosa y el tiempo consumido lo hace impráctico para su uso industrial.

- ☞ Las bombas centrífugas son la solución más común de bombeo. Las bombas de diafragma se pueden utilizar para filtros pequeños. Las bombas de desplazamiento positivo no se recomiendan salvo en el caso de alta concentración de sólidos, si no, no valdría la pena recomendarlos por su alto costo de operación en comparación con las centrífugas.
  
- ☞ Para filtros pequeños, el aire de secado se puede tomar a veces directamente de la planta de suministro general con el control de on/off. El diseño óptimo es un compresor y un receptor de aire individual con regulador de presión y un control PID del caudal de aire.
  
- ☞ Los factores principales a considerar al elegir un tipo de filtro son la cantidad a filtrar y la humedad residual que se desea en el queque y lo que se pueda recuperar mediante lavado (si aplica) Otra de las características del filtro a tener en cuenta es la facilidad de descarga del queque.

## *Bibliografía*

- E.S.Tarleton and R.J.Wakeman, *Filtration & Separation* June 1994 - Elsevier Science “Simulation, Modelling and Sizing of pressure filters”, pag.(393 – 397).
- Fernando Concha, “Manual de Filtración & Separación” - Chile - Capítulo 9 (2001).
- Inchon, Division of Environmental and Geosystem Engineering, Inha University, pag. 402-751, Korea (Received 21 July 1999 • accepted 20 September 1999).
- Jarkko Hakkarainen and Bjarne Ekberg, *Larox News – Modern Technologies and Equipment for fine iron ore dewatering*.
- Ruth, B. F., “Correlating Filtration Theory With Industrial Practice,” *Ind. Eng. Chem.*, **38**(6), 564 (1946).
- R.G. Holdich A. Rushton and A. S. Wards *Solid liquid filtration and separation technology* 1996
- Sutura, Salvatore P., "The history of Poiseuille's law," *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 25, 1993, pp. 1-19
- Tamfelt magazine - Dedicated to filtration quality pag 2 – 7 Volumen 3 - 2002.
- Tiller, F. M., “Tutorial: Interpretation of Filtration Data, I,” *Fluid/ParticleSep. J.*, **3**, 85 (1990).
- Tiller, F. M., “The role of Porosity in Filtration, Numerical Methods for Constant Rate and Constant Pressure Filtration Based on Kozeny’s Law,” *Chem. Eng. Progr.*, **49**, 467-479 (1953).
- Tiller, F. M., “The Role of Porosity in Filtration. Part 2. Analytical Equations for Constant Rate Filtration,” *Chem. Eng. Progr.*, **51**, 282-290 (1955).
- Victor Delmont, Darcy, H. P.G., “Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon”, Paris (1856).
- Yim, S. S., “A Theoretical and Experimental Study on Cake Filtration with Sedimentation,” *Korean J. Chem. Eng.*, **16**, 308 (1999). E-mail: [yimsungsam@inha.ac.kr](mailto:yimsungsam@inha.ac.kr)

## *Apéndice A*

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL SISTEMA SÓLIDO-LÍQUIDO

#### A.1 Densidad del Sólido

Tabla A.1 : Resultados de pruebas para la determinación de la densidad del sólido - cobre

<b>muestra concentrado de cobre</b>	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3
Volumen calibrado de vaso (cm <sup>3</sup> )	50	50	50
Peso de muestra	19	19,5	19,6
Peso de picnómetro vacío (seco) (gr)	21,7	21,7	21,7
Peso de picnómetro lleno con agua (gr)	69,9	70	70
Peso de picnómetro + muestra (gr)	41,6	42,1	42,3
Peso de picnómetro+muestra+agua (gr)	84,8	85,3	85,5
Densidad del agua	0.9983	0.9983	0.9983
Peso real de muestra	19,9	20,4	20,6
Volumen real de muestra (cm <sup>3</sup> )	3,973234	3,9932	4,0323

Densidad promedio de sólidos: 3,9996 g/cc

Tabla A.2: Resultados de pruebas para la determinación de la densidad del sólido – zinc I

<b>Muestra concentrado de zinc</b>	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3
Volumen calibrado de vaso (cm <sup>3</sup> )	50	50	50
Peso de muestra	20	20	20
Peso de picnómetro vacío (seco) (gr)	21,7	21,7	21,7
Peso de picnómetro lleno con agua (gr)	70	70.1	70
Peso de picnómetro + muestra (gr)	41,9	42,3	42,2
Peso de picnómetro+ muestra + agua (gr)	84	84,6	84,5
Densidad del agua	0.9983	0.9983	0.9983
Peso real de muestra	20,165	20,565	20,465
Volumen real de muestra (cm <sup>3</sup> )	3,253	3,371	3,411

Densidad promedio de sólidos: 3,34 g/cc



*A.2 Densidad del Líquido*

**Se trabajó a temperatura de 20°C**

Densidad del agua a 22 °C : 997.770 kg/m<sup>3</sup> (Perry's, 1984)

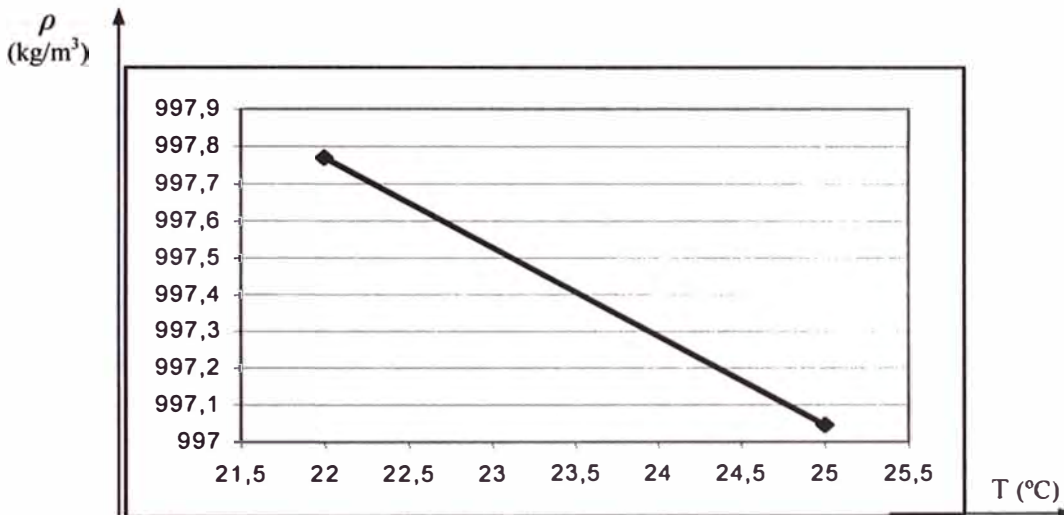
Densidad del agua a 25 °C : 997.045 kg/m<sup>3</sup> (Perry's, 1984)

**Extrapolar para saber la densidad a 20°C**

**REGRESIÓN**

22	997,77	
25	997,045	<b>Y= -0,2417X + 1003,1</b>
<b>20</b>	<b>998,266</b>	

Gráfico A.1: Regresión Lineal para obtener la densidad a 20°C



Entonces la densidad del agua resulta: 0.9983 g/cc

*A.3 Viscosidad del Líquido*

Atkins (1991), dio la siguiente expresión para la viscosidad del agua, esto es dado en función de la temperatura:

$$\mu = \mu_{20} \left[ 1 - \left[ \left( 1.37023(\phi - 20) + 0.000836(\phi - 20)^2 \right) / (\phi + 109) \right] \right] \dots \dots \dots (A.1)$$

Donde

$\phi$  = Temperatura, (°C) .

$\mu_{20}$  = Viscosidad del agua a 20 °C, (Pa.s)

La enciclopedia de química industrial de Ullman (1996), muestra la viscosidad del agua a 20°C:

$$\mu_{20} = 1.002 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

## *Apéndice B*

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL QUEQUE

#### *B.1 Resultados de Pruebas para Determinar la Porosidad*

Fórmula para hallar la porosidad, cuando se tiene muestra colectada en forma cilíndrica:

$$\varepsilon = 1 - \frac{(W_{\text{seco}}) / \rho_s}{(A_{\text{circulo}}) * l_{\text{esp.}}} \quad \mathbf{0.8317}$$

#### Datos que se emplearon:

- Muestra cilíndrica    8.4 cm diámetro
- $W_{\text{seco muestra}}$     148.2 gr
- $L_{\text{muestra tomada}}$     4.0 cm
- Área de círculo        55.41 cm<sup>2</sup>

Tabla B.1: Formas de calcular la porosidad en las distintas etapas de filtración

<b>Porosidad</b>	<b>Cálculo</b>
Porosidad de queque antes de prensar	= volumen de liquido en queque saturado/ volumen de queque
Porosidad de queque después de prensar	= volumen de liquido en queque después de prensar/ (Volumen de sólido en queque + volumen de liquido en queque después de prensar)
Porosidad de queque (secado)	= volumen de liquido en queque saturado antes de soplar/volumen total de queque después de soplar
Porosidad final	=volumen real de liquido en queque después de soplar/ volumen total de queque después de soplar  = 1-((A*B)/(C*(1-A)+B*A)) A= %sólido en peso de queque B= Densidad de filtrado C= Densidad sólido

Tabla B.2 : Resultados de la porosidad - prueba N°1 – concentrado de cobre

<b>Porosidad</b>	<b>Cálculo</b>
Porosidad de queque antes de prensar	0.542
Porosidad de queque después de prensar	0.355
Porosidad de queque (secado)	0.355
Porosidad final	0.2330 0.2307

*B.1.1 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Cobre*

Tabla B.3: Resultados de la porosidad - concentrado de cobre

<b>Prueba N°</b>	<b>Porosidad</b>				
	Porosidad de queque antes de prensar	Porosidad de queque después de prensar	Porosidad de queque (secado)	Porosidad final	
<b>1</b>	0.542	0.355	0.355	0.2330	0.2307
<b>2</b>	0.506	0.380	0.380	0.324	0.321
<b>3</b>	0.558	0.412	0.412	0.325	0.3249
<b>4</b>	0.555	0.398	0.398	0.308	0.3084
<b>5</b>	0.549	0.399	0.399	0.3007	0.3011
<b>6</b>	0.529	0.382	0.382	0.2684	0.2686
<b>7</b>	0.564	0.378	0.378	0.2945	0.2948
<b>8</b>	0.571	0.383	0.383	0.3005	0.3008
<b>9</b>	0.551	0.385	0.385	0.2790	0.2791
<b>10</b>	0.518	0.364	0.364	0.2712	0.2714
<b>11</b>	0.538	0.385	0.385	0.2942	0.2944
<b>12</b>	0.491	0.333	0.333	0.2908	0.2911
<b>13</b>	0.504	0.378	0.378	0.2819	0.2822
<b>14</b>	0.526	0.381	0.381	0.2983	0.2986
<b>15</b>	0.543	0.382	0.382	0.3093	0.3097
<b>16</b>	0.536	0.372	0.372	0.2758	0.2758
<b>17</b>	0.527	0.405	0.405	0.3317	0.3317

*B.1.2 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Zinc I*

Tabla B.4 : Resultados de la porosidad - concentrado de zinc I

<b>Prueba N°</b>	<b>Porosidad</b>				
	Porosidad de queque antes de prensar	Porosidad de queque después de prensar	Porosidad de queque (secado)	Porosidad final	
<b>1</b>	0.405	0.313	0.313	0.2059	0.2055
<b>2</b>	0.473	0.317	0.317	0.2415	0.2411
<b>3</b>	0.514	0.328	0.328	0.2204	0.2200
<b>4</b>	0.578	0.375	0.375	0.2252	0.2248
<b>5</b>	0.531	0.284	0.284	0.2083	0.2080
<b>6</b>	0.572	0.276	0.276	0.1809	0.1806
<b>7</b>	0.583	0.286	0.286	0.2010	0.2006

*B.1.3 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Zinc II*

Tabla B.5 : Resultados de la porosidad - concentrado de zinc II

<b>Prueba N°</b>	<b>Porosidad</b>				
	Porosidad de queque antes de prensar	Porosidad de queque después de prensar	Porosidad de queque (secado)	Porosidad final	
<b>1</b>	0.658	0.357	0.357	0.2311	0.2307
<b>2</b>	0.684	0.376	0.376	0.2359	0.2355
<b>3</b>	0.700	0.350	0.350	0.2466	0.2462
<b>4</b>	0.718	0.523	0.523	0.2608	0.2604
<b>5</b>	0.731	0.406	0.406	0.2597	0.2593
<b>6</b>	0.719	0.338	0.338	0.1960	0.1956
<b>7</b>	0.692	0.355	0.355	0.2257	0.2253
<b>8</b>	0.679	0.362	0.362	0.2863	0.2858
<b>9</b>	0.542	0.354	0.354	0.2770	0.2766
<b>10</b>	0.447	0.349	0.349	0.3106	0.3101

*B.1.4 Resultados de la Porosidad – Concentrado de Zinc III*

Tabla B.6: Resultados de la porosidad - concentrado de zinc III

Prueba N°	Porosidad				
	Porosidad de queque antes de prensar	Porosidad de queque después de prensar	Porosidad de queque (secado)	Porosidad final	
1	0.680	0.361	0.361	0.2901	0.2860
2	0.680	0.371	0.371	0.2783	0.2779
3	0.659	0.368	0.368	0.2847	0.2842
4	0.540	0.375	0.375	0.2897	0.2892
5	0.519	0.378	0.378	0.2967	0.2962
6	0.585	0.379	0.379	0.2858	0.2853
7	0.546	0.364	0.364	0.2719	0.2715
8	0.561	0.369	0.369	0.2698	0.2693
9	0.567	0.382	0.382	0.2502	0.2498
10	0.573	0.365	0.365	0.2512	0.2508

*B.2 Resultados de Pruebas Para Determinar la Permeabilidad del Queque*

La permeabilidad de queque se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{Permeabilidad} : (1/2) * (1/A) * (B / ((C^2) * D)) * (E / (1-E-F))$$

Donde:

A: Coeficiente de "X"

B: Viscosidad del líquido ( $\mu$ )

C: Área del filtro

D: Presión (Pa)

E: Concentración de pulpa ( $\theta$ )

F: Porosidad de queque ( $\theta$ )

k(e) : Permeabilidad

*B.2.1 Resultados de Permeabilidad del Queque - Concentrado de Cobre*

Tabla B.7: Resultados de la permeabilidad del queque -  
concentrado de cobre

Prueba N°	Variables						k(e) (cm <sup>2</sup> )
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Φ de pulpa	μ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Θ de queque	Coe- ficiente “X”	
2	1000	0.278	0.001	600000	0.506	1.5551E	6.9062E
3	1000	0.259	0.001	600000	0.558	8.6554E	1.36083E
4	1000	0.247	0.001	600000	0.555	1.6887E	6.17339E
5	1000	0.264	0.001	600000	0.549	3.2701E	3.61449E
6	1000	0.277	0.001	600000	0.529	3.2985E	3.62783E
7	1000	0.266	0.001	600000	0.564	3.0505E	4.26412E
8	1000	0.254	0.001	600000	0.571	1.9515E	6.19502E
9	1000	0.247	0.001	600000	0.551	8.7547E	1.16131E
10	1000	0.281	0.001	600000	0.518	2.0483E	5.71233E
11	1000	0.255	0.001	600000	0.538	1.5363E	6.70109E
12	1000	0.282	0.001	600000	0.491	1.9778E	5.21643E
13	1000	0.280	0.001	600000	0.504	2.3413E	4.60637E
14	1000	0.268	0.001	600000	0.526	1.9047E	5.71961E
15	1000	0.261	0.001	600000	0.543	2.2151E	5.00512E
16	1000	0.274	0.001	600000	0.536	2.4701E	4.86798E
17	1000	0.271	0.001	600000	0.527	2.7473E	4.06637E

*B.2.2 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc I*

Tabla B.8: Resultados de permeabilidad de queque -  
concentrado de zinc I

Prueba N°	Variables						k(e) (cm <sup>2</sup> )
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Φ de pulpa	μ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Θ de queque	Coefi- ciente “X”	
1	1000	0.363	0.001	600000	0.405	5.3248E	2.44665E
2	1000	0.357	0.001	600000	0.473	6.9027E	2.54078E
3	1000	0.358	0.001	600000	0.514	3.8630E	6.03443E
4	1000	0.339	0.001	600000	0.578	2.7486E	1.23261E
5	1000	0.348	0.001	600000	0.531	6.0004E	3.99208E
6	1000	0.355	0.001	600000	0.572	2.7728E	1.45634E
7	1000	0.346	0.001	600000	0.583	8.4443E	4.81484E

*B.2.3 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc II*

Tabla B.9: Resultados de la permeabilidad del queque -  
concentrado de zinc II

Prueba N°	Variables						k(e) (cm <sup>2</sup> )
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Φ de pulpa	μ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Θ de queque	Coefi- ciente “X”	
1	1000	0.169	0.001	600000	0.658	2.9011E	2.78726E
2	1000	0.169	0.001	600000	0.684	2.9432E	3.2402E
3	1000	0.174	0.001	600000	0.700	2.7884E	4.12084E
4	1000	0.173	0.001	600000	0.718	2.0505E	6.43341E
5	1000	0.171	0.001	600000	0.731	2.4561E	5.96077E
6	1000	0.174	0.001	600000	0.719	1.7702E	7.67113E
7	1000	0.171	0.001	600000	0.692	3.0757E	3.39025E
8	1000	0.161	0.001	600000	0.679	3.8271E	2.20602E
9	1000	0.272	0.001	600000	0.542	8.3205E	1.46143E
10	1000	0.371	0.001	600000	0.447	1.1649E	1.464E



*B.2.4 Resultados de Permeabilidad del Queque – Concentrado de Zinc III*

Tabla B.10: Resultados de la permeabilidad del queque -  
concentrado de zinc III

Prueba N°	Variables						k(e) (cm <sup>2</sup> )
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Φ de pulpa	μ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Θ de queque	Cofi- ciente “X”	
1	1000	0.134	0.001	600000	0.680	2.1657E	2.76386E
2	1000	0.139	0.001	600000	0.680	1.8631E	3.45082E
3	1000	0.145	0.001	600000	0.659	1.6755E	3.68244E
4	1000	0.273	0.001	600000	0.540	8.3642E	1.45862E
5	1000	0.303	0.001	600000	0.519	1.3413E	1.05754E
6	1000	0.304	0.001	600000	0.585	7.951E	2.88178E
7	1000	0.327	0.001	600000	0.546	8.4286E	2.5362E
8	1000	0.321	0.001	600000	0.561	8.1568E	2.79373E
9	1000	0.339	0.001	600000	0.567	4.0481E	7.43992E
10	1000	0.335	0.001	600000	0.573	1.3934E	2.18014E

*B.3 Resultados de Pruebas para Determinar la Resistencia Específica del Queque*

La Re(queque) se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia del queque} : (A*2*(E^2)*D)/(B**C)$$

Donde:

A : Coeficiente de “X”

B : Viscosidad del líquido

“C”: Queque seco por volumen de filtrado

D : Presión (Pa)

E : Área del filtro

*B.3.1 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Cobre*

**Tabla B.11: Resultados de resistencia específica de queque -  
concentrado de cobre**

Prueba N°	Variables					Resistencia del queque cm/g
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	$\mu$ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	"C"	Coficiente "X"	
2	1000	0.001	600000	0.4065	1.5551E	4.59E+09
3	1000	0.001	600000	0.4122	8.6554E	2.52E+09
4	1000	0.001	600000	0.4113	1.6887E	4.93E+09
5	1000	0.001	600000	0.4107	3.2701E	9.56E+09
6	1000	0.001	600000	0.4325	3.2985E	9.15E+09
7	1000	0.001	600000	0.4349	3.0505E	8.42E+09
8	1000	0.001	600000	0.4355	1.9515E	5.38E+09
9	1000	0.001	600000	0.4252	8.7547E	2.47E+09
10	1000	0.001	600000	0.4248	2.0483E	5.79E+09
11	1000	0.001	600000	0.4267	1.5363E	4.32E+09
12	1000	0.001	600000	0.4050	1.9778E	5.86E+09
13	1000	0.001	600000	0.4043	2.3413E	6.95E+09
14	1000	0.001	600000	0.4056	1.9047E	5.63E+09
15	1000	0.001	600000	0.4065	2.2151E	6.54E+09
16	1000	0.001	600000	0.3753	2.4701E	7.90E+09
17	1000	0.001	600000	0.3728	2.7473E	8.84E+09

*B.3.2 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc I*

Tabla B.12: Resultados de resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc I

Prueba N°	Variables					Resistencia del queque cm/g
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	$\mu$ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	“C”	Coefficiente “X”	
1	1000	0.001	600000	0.6003	5.3248E	1.06E+10
2	1000	0.001	600000	0.6067	6.9027E	1.37E+10
3	1000	0.001	600000	0.6028	3.8630E	7.69E+09
4	1000	0.001	600000	0.5418	2.7486E	6.09E+09
5	1000	0.001	600000	0.5395	6.0004E	1.33E+10
6	1000	0.001	600000	0.5358	2.7728E	6.21E+09
7	1000	0.001	600000	0.5384	8.4443E	1.88E+09

*B.3.3 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc II*

Tabla B.13 : Resultados de resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc II

Prueba N°	Variables					Resistencia del queque cm/g
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	$\mu$ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	“C”	Coefficiente “X”	
1	1000	0.001	600000	0.1541	2.9011E	2.26E+10
2	1000	0.001	600000	0.1541	2.9432E	2.29E+10
3	1000	0.001	600000	0.1685	2.7884E	1.99E+10
4	1000	0.001	600000	0.1687	2.0505E	1.46E+10
5	1000	0.001	600000	0.1687	2.4561E	1.75E+10
6	1000	0.001	600000	0.1679	1.7702E	1.26E+10
7	1000	0.001	600000	0.1683	3.0757E	2.19E+10
8	1000	0.001	600000	0.1691	3.8271E	2.72E+10
9	1000	0.001	600000	0.2964	8.3205E	3.37E+10
10	1000	0.001	600000	0.4898	1.1649E	2.85E+10

*B.3.4 Resultados de Resistencia del Queque – Concentrado de Zinc III*

Tabla B.14: Resultados de la resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc III

Prueba N°	Variables					Resistencia del queque cm/g
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	μ de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	“C”	Coficiente “X”	
1	1000	0.001	600000	0.0820	2.1657E	3.17E+10
2	1000	0.001	600000	0.0888	1.8631E	2.52E+10
3	1000	0.001	600000	0.0888	1.6755E	2.26E+10
4	1000	0.001	600000	0.2620	8.3642E	3.83E+10
5	1000	0.001	600000	0.4016	1.3413E	4.01E+10
6	1000	0.001	600000	0.4007	7.951E	2.38E+10
7	1000	0.001	600000	0.4211	8.4286E	2.40E+10
8	1000	0.001	600000	0.4209	8.1568E	2.33E+10
9	1000	0.001	600000	0.4338	4.0481E	1.12E+09
10	1000	0.001	600000	0.4339	1.3934E	3.85E+10

*B.3.5 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc I*

Tabla B.15: Resultados de la resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc I

N°	FORMACIÓN (cm/g)	PRESIONADO (cm/g)	SECADO (cm/g)	
PRUEBA 1	1.30E+09	5.73E+10	3.08E+11	↑
PRUEBA 2	9.41E+08	1.11E+10	6.93E+11	↑
PRUEBA 3	5.17E+08	1.48E+10	4.10E+11	↑
PRUEBA 4	3.90E+08	2.23E+10	2.34E+11	↑
PRUEBA 5	9.83E+08	2.37E+10	4.29E+11	↑
PRUEBA 6	4.59E+08	2.98E+10	3.88E+11	↑
PRUEBA 7	1.38E+08	2.95E+10	3.89E+11	↑

*B.3.6 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc II*

Tabla B.16: Resultados de resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc II

Nº	FORMACIÓN (cm/g)	PRESIONADO (cm/g)	SECADO (cm/g)	
PRUEBA 1	1.36E+09	1.40E+11	2.08E+11	↓
PRUEBA 2	1.37E+09	1.26E+11	1.46E+11	↓
PRUEBA 3	1.19E+09	3.31E+11	4.30E+11	↓
PRUEBA 4	7.88E+08	2.74E+10	7.41E+10	↓
PRUEBA 5	1.02E+09	1.98E+10	4.59E+11	↓
PRUEBA 6	7.62E+08	7.82E+11	5.27E+11	↓
PRUEBA 7	1.31E+09	4.29E+11	3.78E+11	↓
PRUEBA 8	1.63E+09	9.77E+10	1.85E+11	↓
PRUEBA 9	1.90E+09	3.96E+10	4.16E+11	↓
PRUEBA 10	1.48E+09	4.19E+11	2.14E+12	↓

*B.3.7 Resultados de Resistencia del Queque (Teoría de Tiller) - Zinc III*

Tabla B.17: Resultados de resistencia específica del queque -  
concentrado de zinc III

Nº	FORMACIÓN (cm/g)	PRESIONADO (cm/g)	SECADO (cm/g)	
PRUEBA 1	1.72E+09	1.25E+12	8.42E+11	↑
PRUEBA 2	1.53E+09	1.79E+12	6.76E+11	↑
PRUEBA 3	1.38E+09	1.38E+10	4.70E+11	↑
PRUEBA 4	2.13E+09	1.80E+11	4.25E+11	↑
PRUEBA 5	2.04E+09	7.53E+11	3.96E+11	↑
PRUEBA 6	1.21E+09	5.38E+10	3.22E+11	↓
PRUEBA 7	1.22E+09	1.39E+12	5.96E+11	↓
PRUEBA 8	1.18E+09	1.94E+12	6.17E+11	↓
PRUEBA 9	1.56E+09	4.44E+11	2.44E+11	↓
PRUEBA 10	1.94E+09	3.54E+11	3.14E+11	↓

*B.4 Resultados de Pruebas para Determinar la Resistencia de la Tela*

La R(m) se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia: } (A*B*D)/C$$

Donde:

A: Constante de la regresión

B: Área del filtro

C: Viscosidad del líquido ( $\mu$ )

D: Presión (Pa)

*B.4.1 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Cobre*

TABLA B.18: Resultados de resistencia de tela - Concentrado de Cu

Prueba N°	Variables				Resistencia de tela cm <sup>-1</sup>
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Viscosidad de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Constante de regresión	
2	1000	0.001	600000	0.023165679	1.39E+10
3	1000	0.001	600000	0.02777569	1.67E+10
4	1000	0.001	600000	0.018577039	1.11E+10
5	1000	0.001	600000	0.017029215	1.02E+10
6	1000	0.001	600000	0.016259098	9.76E+09
7	1000	0.001	600000	0.020885528	1.25E+10
8	1000	0.001	600000	0.023749047	1.42E+10
9	1000	0.001	600000	0.020888353	1.25E+10
10	1000	0.001	600000	0.021133282	1.27E+10
11	1000	0.001	600000	0.019601145	1.18E+10
12	1000	0.001	600000	0.018017982	1.08E+10
13	1000	0.001	600000	0.015864739	9.52E+09
14	1000	0.001	600000	0.018979177	1.14E+10
15	1000	0.001	600000	0.018954157	1.14E+10
16	1000	0.001	600000	0.019404982	1.16E+10
17	1000	0.001	600000	0.017711045	1.06E+10

*B.4.2 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Zinc I*

Tabla B.19: Resultados de resistencia de tela - concentrado de zinc

Prueba N°	Variables				Resistencia de tela cm <sup>-1</sup>
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Viscosidad de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Constante de regresión	
1	1000	0.001	600000	0.01797653	1.08E+10
2	1000	0.001	600000	0.020206826	1.21E+10
3	1000	0.001	600000	0.021607428	1.30E+10
4	1000	0.001	600000	0.023020118	1.38E+10
5	1000	0.001	600000	0.016758921	1.01E+10
6	1000	0.001	600000	0.020922407	1.26E+10
7	1000	0.001	600000	0.024570153	1.47E+10

*B.4.3 Resultados de Resistencia de la Tela – Concentrado de Zinc II*

Tabla B.20: Resultados de resistencia de tela - concentrado de zinc II

Prueba N°	Variables				Resistencia de tela cm <sup>-1</sup>
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Viscosidad de líquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Constante de regresión	
1	1000	0.001	600000	0.007468371	4.48E+09
2	1000	0.001	600000	0.008758137	5.25E+09
3	1000	0.001	600000	0.009122859	5.47E+09
4	1000	0.001	600000	0.009963055	5.98E+09
5	1000	0.001	600000	0.009261854	5.56E+09
6	1000	0.001	600000	0.010879195	6.53E+09
7	1000	0.001	600000	0.006783247	4.07E+09
8	1000	0.001	600000	0.005724526	3.43E+09
9	1000	0.001	600000	0.00237418	1.42E+09
10	1000	0.001	600000	0.025408637	1.52E+10

## B.4.4 Resultados de Resistencia de Tela – Concentrado de Zinc III

Tabla B.21: Resultados de resistencia de tela - concentrado de zinc III

Prueba N°	Variables				Resistencia de tela cm <sup>-1</sup>
	Área de filtro (cm <sup>2</sup> )	Viscosidad de liquido (Pa-s)	Presión (Pa)	Constante de regresión	
1	1000	0.001	600000	0.004235002	2.54E+09
2	1000	0.001	600000	0.00798437	4.79E+09
3	1000	0.001	600000	0.00988769	5.93E+09
4	1000	0.001	600000	0.013513536	8.11E+09
5	1000	0.001	600000	0.014736987	8.84E+09
6	1000	0.001	600000	0.025074317	1.50E+10
7	1000	0.001	600000	0.023973831	1.44E+10
8	1000	0.001	600000	0.02707876	1.62E+10
9	1000	0.001	600000	0.044305859	2.66E+10
10	1000	0.001	600000	0.026320104	1.58E+10



## *Apéndice C*

### RESULTADOS DE PRUEBAS EN FILTRO LAROX PF0.1

*C.1 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Cobre*

Fecha: 24/11/2005

Datos experimentales

Pulpa: 62.875 % sólidos  
 Presión: 6 bar  
 Densidad sólido: 4.138 g/cm<sup>3</sup>  
 Peso de queque húmedo: 11765.00 g  
 Peso de queque seco: 10759.09 g  
 Calculo del espesor final: 4.229 cm

Tabla C.1: Resultados de pruebas con concentrado de cobre – prueba N° 9

Tiempo de filtración (s)	Presión de filtración (bar)	Volumen de filtrado (cm <sup>3</sup> )	Tiempo sobre volumen (s/cm <sup>3</sup> )	Presión de formación de queque (Pa)	Calculado t/V (s/cm <sup>3</sup> )
15	6	688.29	0.02179	32729	0.0215
30	6	1374.80	0.02182	62000	0.0221
45	6	1990.56	0.02261	85798	0.0226
60	6	2602.24	0.02306	107442	0.0232
75	6	3163.54	0.02371	125760	0.0237
90	6	3728.13	0.02414	142860	0.0242
105	6	4290.73	0.02447	158715	0.0246
120	6	4746.59	0.02528	170778	0.0250
Promedio:	6	bar	-		

Gráfico C.1: Volumen de Filtrado vs (Tiempo (f)/ Volumen del filtrado)  
 Concentrado de Cobre

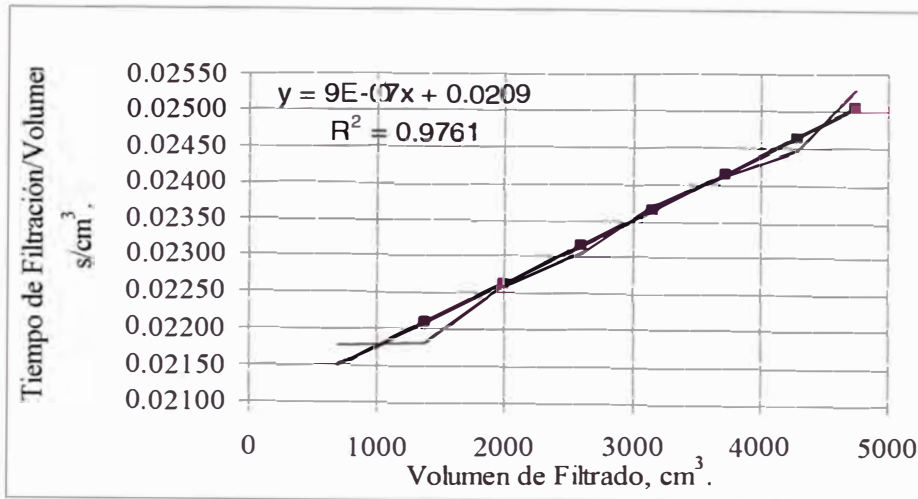
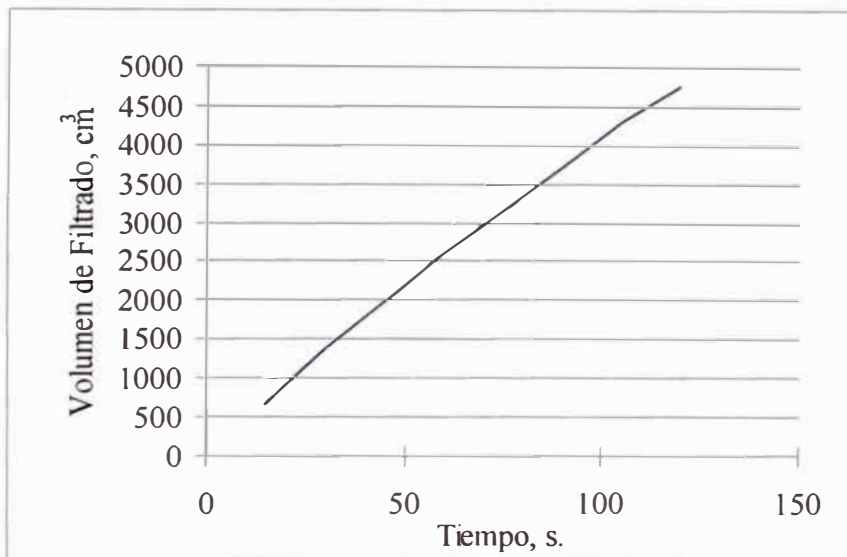


Gráfico C.2: Tiempo vs Volumen de Filtrado - Concentrado de Cobre



*C.2 Resultados con Filtro Larox PF0.1/ Concentrado de Zinc I*

Fecha: 06/02/2006

Datos experimentales

Pulpa: 65.674 % sólidos  
 Presión: 6 bar  
 Densidad sólido: 3.342 g/cm<sup>3</sup>  
 Peso de queque húmedo: 9595.00 g  
 Peso de queque seco: 8760.24 g  
 Calculo del espesor final: 3.840 cm

Tabla C.2: Resultados de pruebas con concentrado de zinc I – prueba N° 2

Tiempo de filtración (s)	Presión de filtración (bar)	Volumen de filtrado (cm <sup>3</sup> )	Tiempo sobe volumen (s/cm <sup>3</sup> )	Presión de formación de queque (Pa)	Calculado t/V (s/cm <sup>3</sup> )
10	6	204.59	0.049	73582	0.0216
20	6	738.52	0.027	201214	0.0253
30	6	1092.81	0.027	256480	0.0278
40	6	1392.22	0.029	292493	0.0298
50	6	1661.68	0.030	319006	0.0317
60	6	1856.29	0.032	335477	0.0330
70	6	2050.90	0.034	350125	0.0344
80	6	2215.57	0.036	361308	0.0355
90	6	2365.27	0.038	370640	0.0365
Promedio:	6	bar			

Gráfico C.3: Volumen de Filtrado vs (Tiempo (f)/ Volumen de filtrado)  
 Concentrado de Zinc I

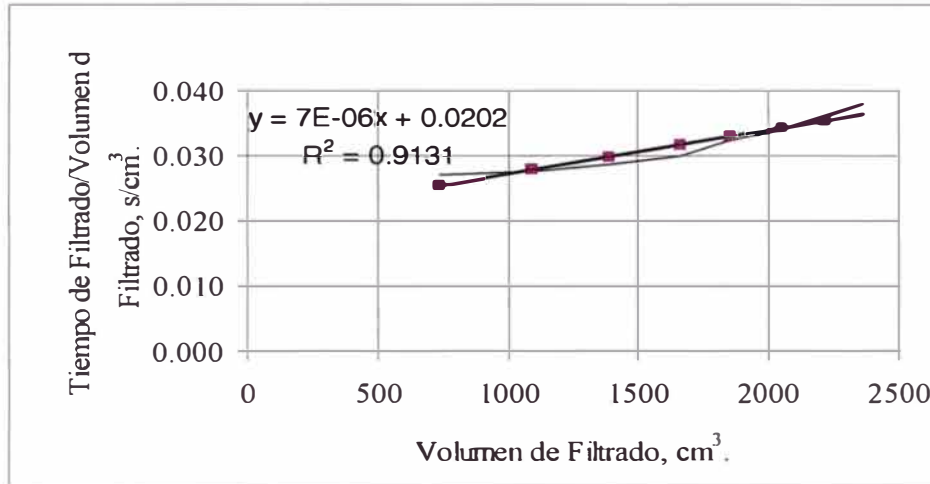
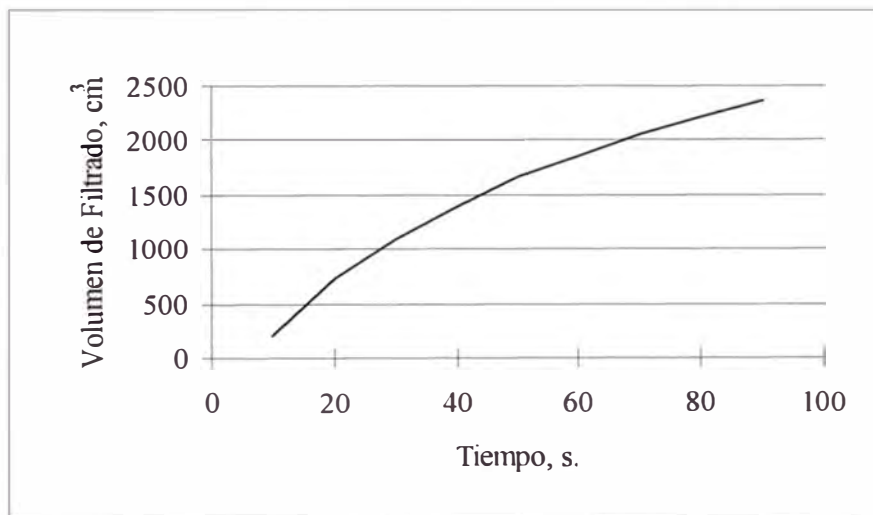


Gráfico C.4: Tiempo vs Volumen de Filtrado – Concentrado de Zinc I



*C.3 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Zinc II*

Fecha: 26/03/2006

Datos experimentales

Pulpa: 39.279 % sólidos

Presión: 6 bar

Densidad sólido: 3.90 g/cm<sup>3</sup>

Peso de queque húmedo: 7355.00 g

Peso de queque seco: 6785.49 g

Calculo del espesor final: 2.679 cm

Tabla C.3: Resultados de pruebas con concentrado de zinc II – prueba N° 3

Tiempo de filtración (s)	Presión de filtración (bar)	Volumen de filtrado (cm <sup>3</sup> )	Tiempo sobre volumen (s/cm <sup>3</sup> )	Presión de formación de queque (Pa)	Calculado t/V (s/cm <sup>3</sup> )
10	6	668.66	0.015	174095	0.0110
20	6	1457.09	0.014	282665	0.0132
30	6	2035.93	0.015	332692	0.0148
40	6	2534.93	0.016	364674	0.0162
50	6	2944.11	0.017	385698	0.0173
60	6	3313.37	0.018	401688	0.0184
70	6	3632.73	0.019	413709	0.0193
80	6	3962.08	0.020	424669	0.0202
90	6	4211.58	0.021	432150	0.0209
Promedio:	6	bar			

Gráfico C.5: Volumen de Filtrado vs (Tiempo (f)/ Volumen de Filtrado)  
 Concentrado de Zinc II

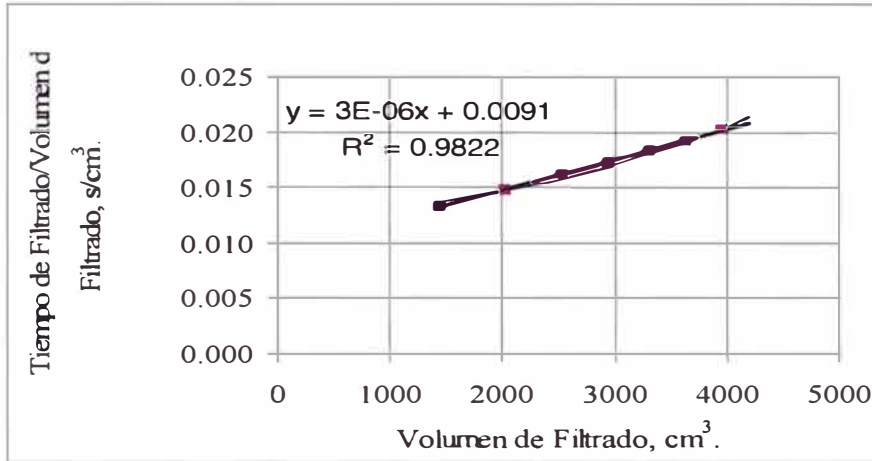
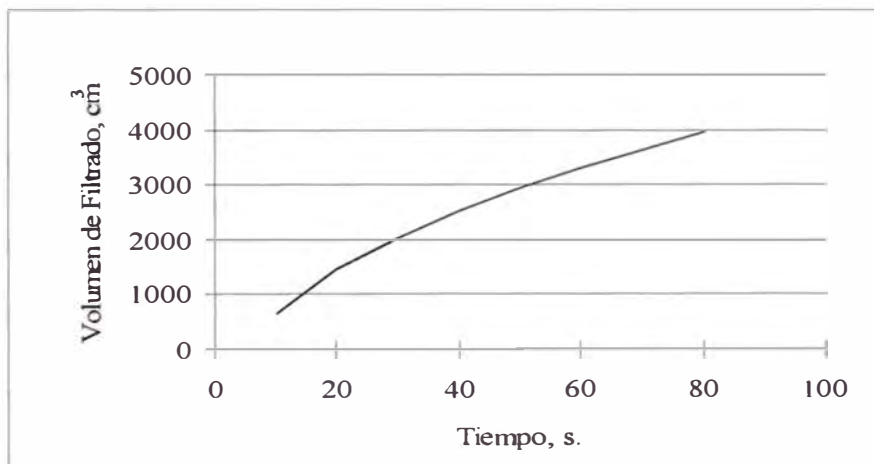


Gráfico C.6: Tiempo vs Volumen de filtrado - Concentrado de Zinc II



*C.4 Resultados con Filtro Larox PF 0.1/ Concentrado de Zinc III*

Fecha: 01/04/2006

Datos experimentales

Pulpa: 25.73 % sólidos

Presión: 6 bar

Densidad sólido: 3.944 g/cm<sup>3</sup>

Peso de queque húmedo: 8420.00 g

Peso de queque seco: 7670.04 g

Calculo del espesor final: 3.094 cm

Tabla C.4: Resultados de pruebas con concentrado de zinc III – prueba N°2

Tiempo de filtración (s)	Presión de filtración (bar)	Volumen de filtrado (cm <sup>3</sup> )	Tiempo sobre volumen (s/cm <sup>3</sup> )	Presión de formación de queque (Pa)	Calculado t/V (s/cm <sup>3</sup> )
20	6	1601.80	0.012	256664	0.0110
40	6	2904.19	0.014	345265	0.0134
60	6	3962.08	0.015	389408	0.0154
80	6	4790.42	0.017	414568	0.0169
100	6	5513.97	0.018	432092	0.0183
120	6	6177.64	0.019	445485	0.0195
140	6	6786.43	0.021	456020	0.0206
160	6	7350.30	0.022	464572	0.0217
180	6	7884.23	0.023	471783	0.0227
Promedio:	6	bar			

Gráfico C.7: Volumen de Filtrado vs (Tiempo / Volumen de Filtrado)  
 Concentrado de Zinc III

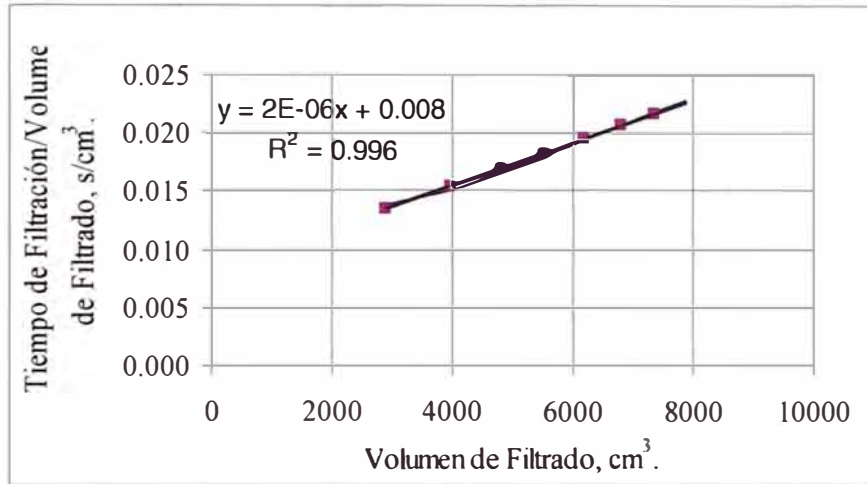
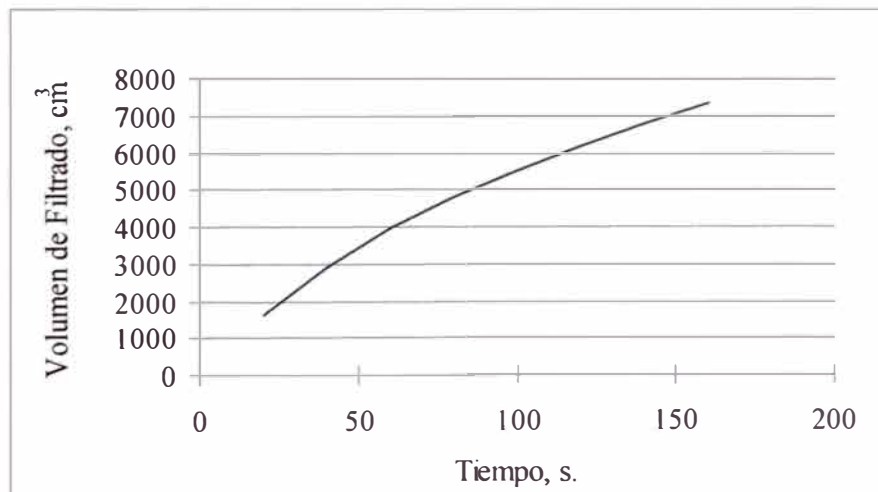


Gráfico C.8: Tiempo vs Volumen de Filtrado - Concentrado de Zinc III





# Apéndice D

## HERRAMIENTA PARA OPTIMIZACIÓN DE PRUEBAS CON FILTRO

### LAROX PF0.1

#### D.1 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc I

Tabla D.1: Balance de masa – Prueba N° 1

<b>Datos base</b>		
* Tasa de filtración (o estimado)	kg/m <sup>2</sup> /h	719.9
* Medida / estimación de espesor de queque	mm	40
<b>Datos de operación</b>		
* Tiempo del ciclo	min.	8.5
- bombeo	min.	2.0
- presionado I	min.	0.0
- lavado	min.	0.0
- presionado II	min.	0.5
- aire de soplado	min.	2.0
- tiempo técnico	min	4.0
* Ciclos/hr	pcs	7.1
* Cálculo de fracción de sólidos en queque	%	76.3
* Humedad de queque	% H <sub>2</sub> O	7.0
* Sólidos en alimento	% D.S w/w	65.7
* G.E de sólidos	kg/dm <sup>3</sup>	3.3
* G.E. de líquido	kg/dm <sup>3</sup>	1.0
* Densidad de pulpa	g/dm <sup>3</sup>	1.856
* Sólidos en alimento (volumen por volumen)	% D.S v/v	36.5
* Sólidos en filtrado	g/l	0.2
* Tamaño de partícula	microns	39% -400
* Peso de queque seco / ciclo	kg	10.199
* Peso de solución / ciclo	kg	0.769
* Peso de queque húmedo / ciclo	kg	10.966
* Peso de sólidos en filtrado / ciclo	g	0.910
* Peso de pulpa a ser filtrada / ciclo	kg	15.523
* Volumen de pulpa a ser filtrada / ciclo	dm <sup>3</sup>	8.365
* Volumen de sólidos en queque húmedo / ciclo	dm <sup>3</sup>	3.818
* Volumen de queque seco / ciclo	dm <sup>3</sup>	3.052
* Volumen de solución / ciclo	dm <sup>3</sup>	0.766
* Volumen de filtrado / ciclo (sin solución de lavado!!!)	dm <sup>3</sup>	4.548
* Volumen real de queque / ciclo	dm <sup>3</sup>	4.000
* Volumen total de vacío en queque	dm <sup>3</sup>	0.948
* Volumen de aire en queque	dm <sup>3</sup>	0.182
* Peso de queque húmedo / m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	109.7
* G.E. de sólidos en queque húmedo	kg/m <sup>3</sup>	2.872.4
* G.E. del queque real	kg/m <sup>3</sup>	2.7
* Espesor de queque- sólidos secos	mm	30.5
* Espesor de queque húmedo "sólidos"	mm	38.2
* Medida / estimación de espesor de queque	mm	40.0
* Radio de sólidos en el queque (sin aire ni líquido)	%	76.3
* Radio de vacío en el queque (volumen capilar)	%	23.7
* Radio de líquido en el queque (en volumen)	%	19.2
* Líquido en el queque vs volumen de vacío	%	80.8
* Aire en queque vs volumen de vacío	%	19.2
* Radio de queque seca	%	95.4
* Aire en la queque relacionada con el volumen de queque	%	4.6
<b>Alimentación vs formación de queque</b>		
Volumen de la cámara de filtración	dm <sup>3</sup>	6.00
Volumen de pulpa a bombear	dm <sup>3</sup>	8.37
Radio de llenado	%	97
Volumen eficiente de cámara	dm <sup>3</sup>	5.82
Flujo durante el llenado	dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s	0.7
Tiempo requerido para llenar las cámaras	s	83.1
Volumen adicional de pulpa a bombear	dm <sup>3</sup>	2.55
Espesor de queque después de llenar las cámaras	mm	27.8
Tasa de bombeo calculada después del llenado	ml/m <sup>2</sup> /s	69.1
Volumen de filtrado durante la alimentación	dm <sup>3</sup>	2.55
Humedad después de la alimentación	%	21.4

Gráfico D.1: Estructura del Queque de Concentrado de Zinc I

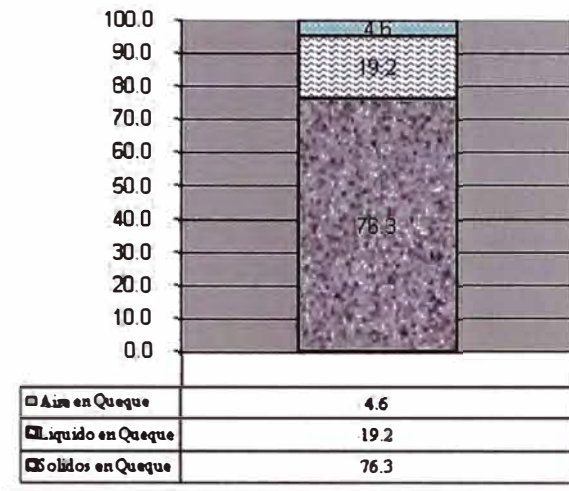


Gráfico D.2: Radio Aire – Líquido Relativo al Volumen de Vacío

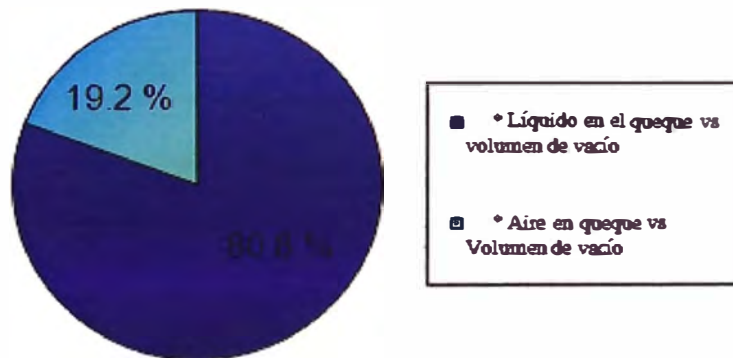


Gráfico D.3: Humedad durante el Proceso de Filtrado

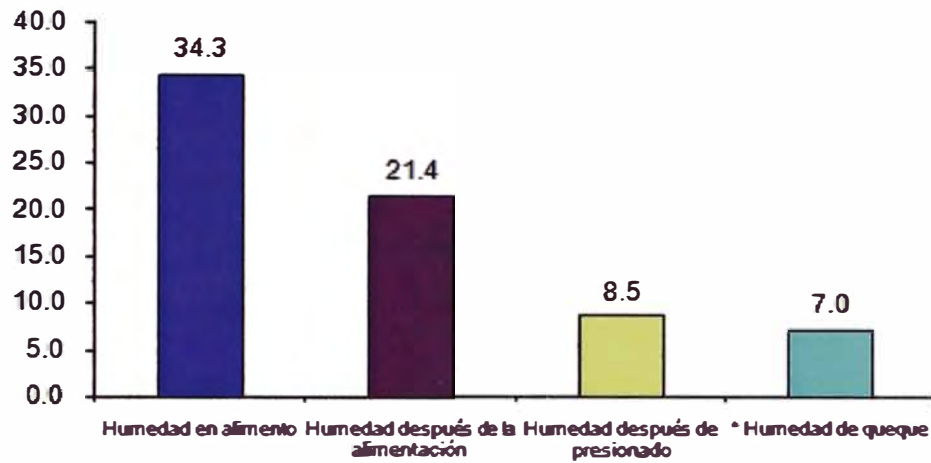


Gráfico D.4: Flujo de Licor Filtrado en las Etapas del Proceso

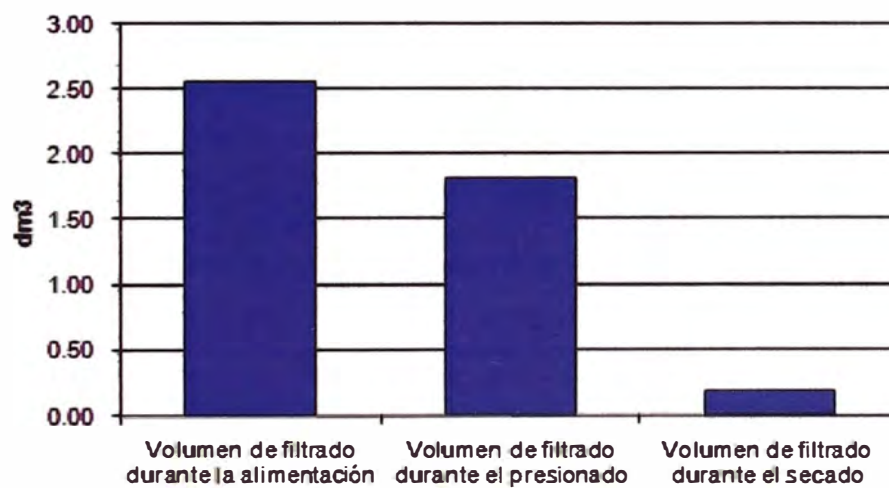


Gráfico D.7: Humedad durante el Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc II

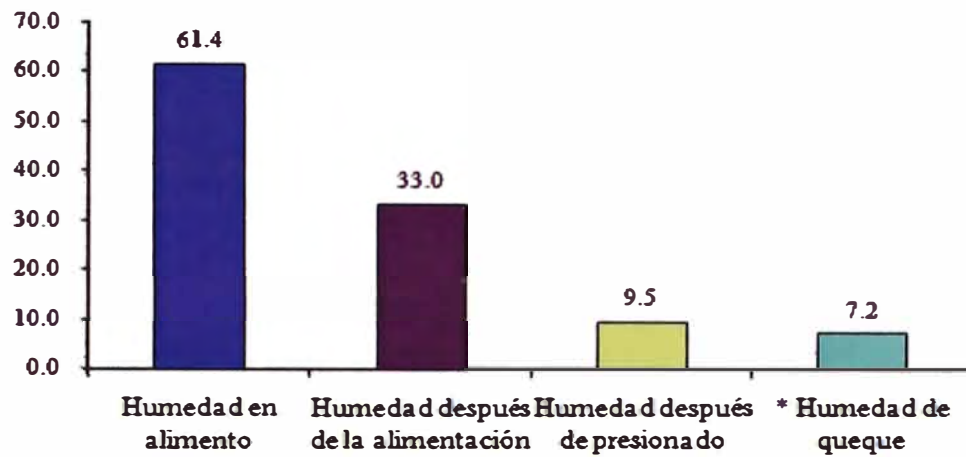
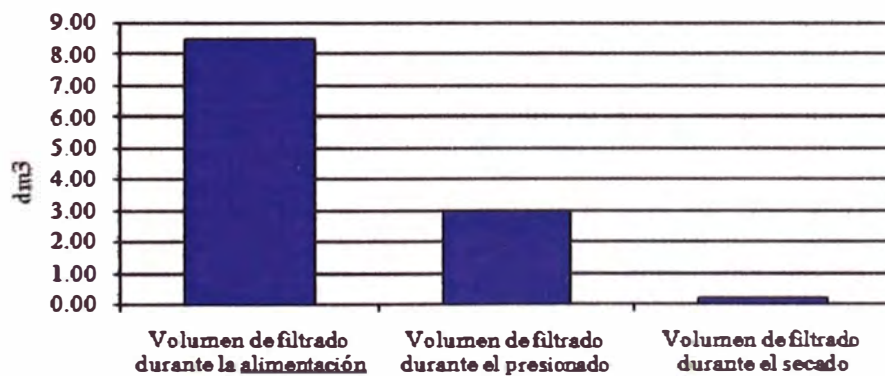


Gráfico D.8: Flujos durante las Etapas del Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc II



## D.3 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc III

Tabla D.3: Balance de masa – Prueba N° 6

<b>Datos Base</b>		
* Tasa de filtración (o estimado)	kg/m <sup>2</sup> ·h	709.2
* Medida / estimación de espesor de queque	mm	38
<b>Datos de Operación</b>		
* Tiempo del ciclo	min.	8.0
- bombeo	min.	1.5
- presionado I	min.	0.0
- lavado	min.	0.0
- presionado II	min.	1.0
- aire de soplado	min.	1.5
- tiempo técnico	min.	4.0
* Ciclos/hr	pcs	7.5
* Cálculo de fracción de sólidos en queque	%	63.1
* Humedad de queque	% H <sub>2</sub> O	9.2
* Sólidos en alimento	% D.S w/w	60.3
* G.E de sólidos	kg/dm <sup>3</sup>	3.9
* G.E. de líquido	kg/dm <sup>3</sup>	1.0
* Densidad de pulpa	g/dm <sup>3</sup>	1.820
* Sólidos en alimento (volumen por volumen)	% D.S v/v	27.8
* Sólidos en filtrado	g/l	0.2
* Tamaño de partícula	microns	65%-400
* Peso de queque seco / ciclo	kg	9.456
* Peso de solución / ciclo	kg	0.959
* Peso de queque húmedo / ciclo	kg	10.414
* Peso de sólidos en filtrado / ciclo	g	1.054
* Peso de pulpa a ser filtrada / ciclo	kg	15.694
* Volumen de pulpa a ser filtrada / ciclo	dm <sup>3</sup>	8.623
* Volumen de sólidos en queque húmedo / ciclo	dm <sup>3</sup>	3.354
* Volumen de queque seco / ciclo	dm <sup>3</sup>	2.398
* Volumen de solución / ciclo	dm <sup>3</sup>	0.956
* Volumen de filtrado / ciclo (sin solución de lavado!!!)	dm <sup>3</sup>	5.269
* Volumen real de queque / ciclo	dm <sup>3</sup>	3.800
* Volumen total de vacío en queque	dm <sup>3</sup>	1.402
* Volumen de aire en queque	dm <sup>3</sup>	0.446
* Peso de queque húmedo / m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	104.1
* G.E. de sólidos en queque húmedo	kg/m <sup>3</sup>	3,105.2
* G.E.del queque real	kg/m <sup>3</sup>	2.7
* Espesor de queque- sólidos secos	mm	24.0
* Espesor de queque húmedo "sólidos"	mm	33.5
* Medida /estimación de espesor de queque	mm	38.0
* Radio de sólidos en el queque (sin aire ni líquido)	%	63.1
* Radio de vacío en el queque (volumen capilar)	%	36.9
* Radio de líquido en el queque (en volumen)	%	25.2
* Líquido en el queque vs volumen de vacío	%	68.2
* Aire en queque vs volumen de vacío	%	31.8
* Radio de queque seca	%	88.3
* Aire en la queque relacionada con el volumen de queque	%	11.7
<b>Alimentación vs formación de queque</b>		
Volumen de la cámara de filtración	dm <sup>3</sup>	6.00
Volumen de pulpa a bombear	dm <sup>3</sup>	8.62
Radio de llenado	%	95
Volumen eficiente de cámara	dm <sup>3</sup>	5.70
Fujo durante el llenado	dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s	1.0
Tiempo requerido para llenar las cámaras	s	57.0
Volumen adicional de pulpa a bombear	dm <sup>3</sup>	2.92
Espesor de queque después de llenar las cámaras	mm	25.1
Tasa de bombeo calculada después del llenado	ml/m <sup>2</sup> /s	88.6
Volumen de filtrado durante la alimentación	dm <sup>3</sup>	2.92
Humedad después de la alimentación	%	25.9

Gráfico D.9: Estructura del Queque de Concentrado de Zinc III

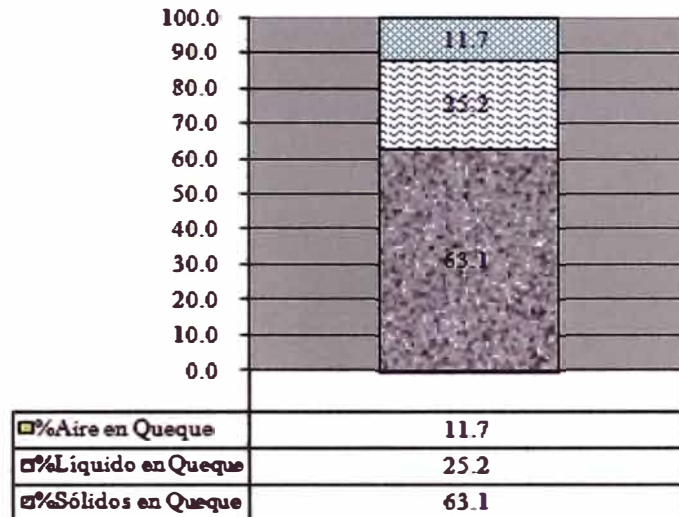


Gráfico D.10: Radio Aire – Líquido relativo al Volumen de Vacío del Concentrado de Zinc III.

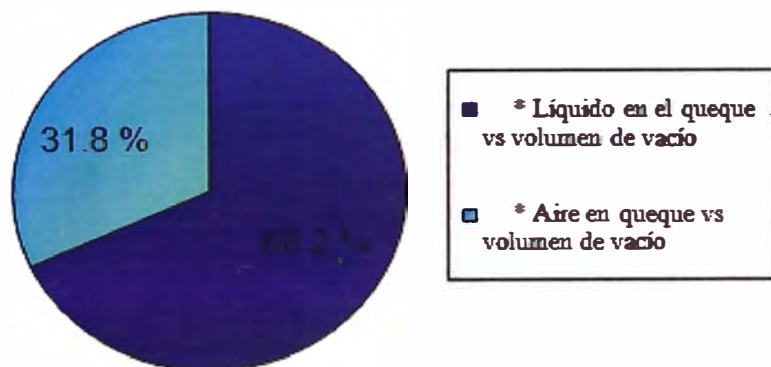


Gráfico D.11: Humedad durante el Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc III.

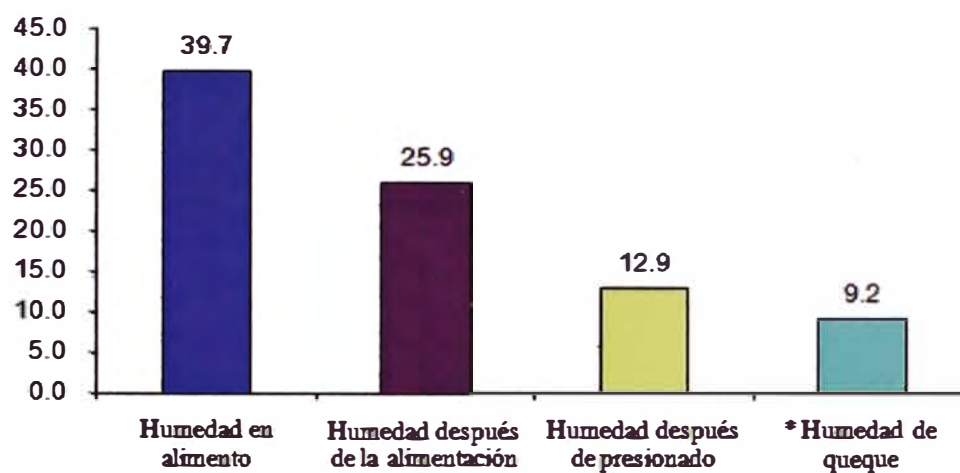
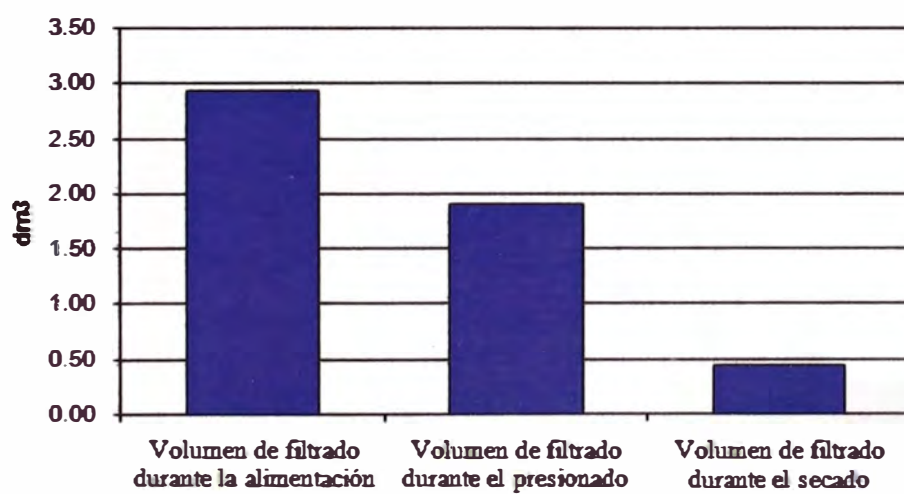


Gráfico D.12: Flujos durante las Etapas del Proceso de Filtrado del Concentrado de Zinc III.



## *Apéndice E*

### CURVA DE HUMEDAD Y FILTRADO

#### *E.1 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc I*

Tabla E.1: Prueba N° 1- concentrado de zinc I

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	5.93	36.8
0.5	4.67	31.4
1.0	3.79	27.1
1.5	3.18	23.7
2.0	2.65	20.6
2.5	2.64	20.6
3.0	2.64	20.6
3.5	1.96	16.1
4.0	1.96	16.1
4.5	1.96	16.1
5.0	0.97	8.7
5.5	0.88	8.0
6.0	0.83	7.5
6.5	0.79	7.2
7.0	0.79	7.2
7.5	0.79	7.2
8.0	0.79	7.2
8.5	0.79	7.2
9.0	0.79	7.2
9.5	0.79	7.2
10.0	0.79	7.2

Tabla E.2: Prueba N° 2 – concentrado de zinc I

Tiempo [min]	Líquido en Queque [kg]	Humedad %
0.0	4.73	35.1
0.5	3.62	29.3
1.0	2.86	24.6
1.5	2.36	21.2
2.0	2.36	21.2
2.5	2.36	21.2
3.0	1.22	12.2
3.5	1.22	12.2
4.0	1.22	12.2
4.5	0.96	9.9
5.0	0.90	9.4
5.5	0.87	9.0
6.0	0.83	8.7
6.5	0.83	8.7
7.0	0.83	8.7
7.5	0.83	8.7
8.0	0.83	8.7
8.5	0.83	8.7
9.0	0.83	8.7
9.5	0.83	8.7
10.0	0.83	8.7



Tabla E.3: Prueba N° 3 – concentrado de zinc I

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	4.82	34.9
0.5	3.68	29.1
1.0	2.84	24.1
1.5	2.84	24.1
2.0	2.84	24.1
2.5	1.31	12.7
3.0	1.30	12.7
3.5	1.30	12.7
4.0	0.96	9.7
4.5	0.89	9.0
5.0	0.83	8.5
5.5	0.79	8.1
6.0	0.76	7.8
6.5	0.76	7.8
7.0	0.76	7.8
7.5	0.76	7.8
8.0	0.76	7.8
8.5	0.76	7.8
9.0	0.76	7.8
9.5	0.76	7.8
10.0	0.76	7.8

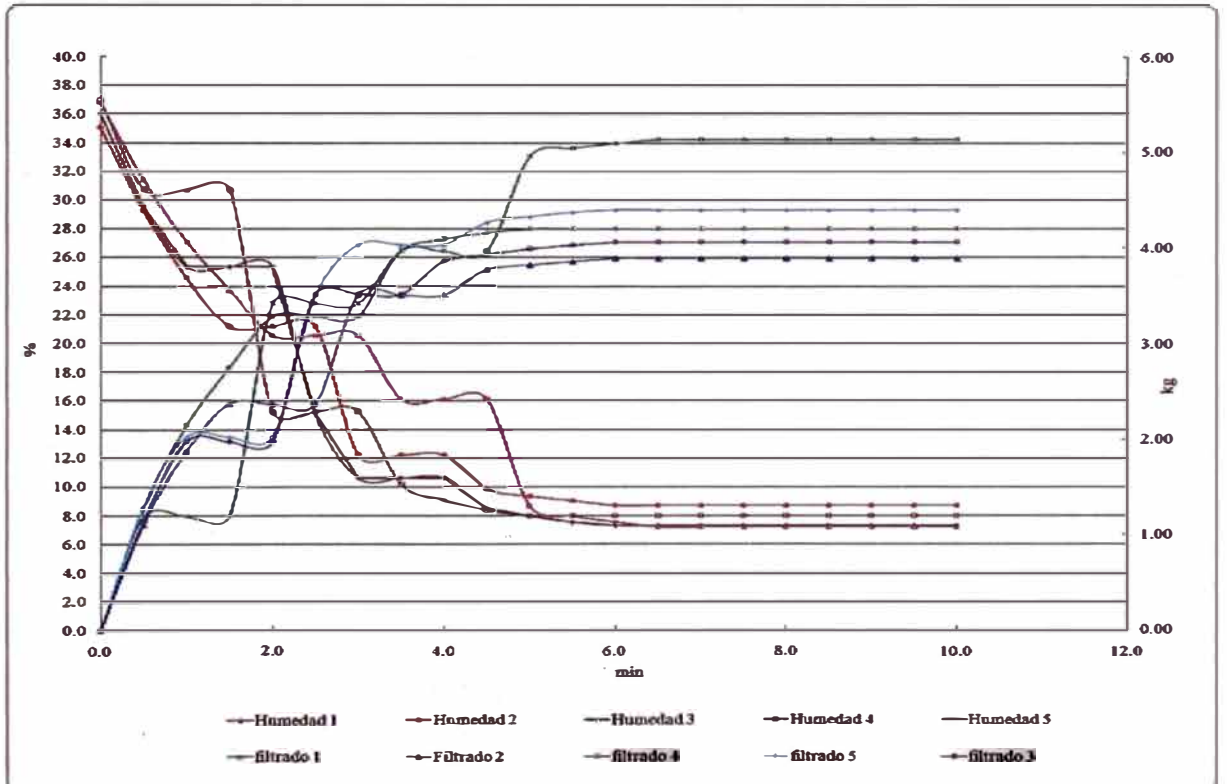
Tabla E.4: Prueba N° 4 – concentrado de zinc I

Tiempo [min]	Líquido en Queque [kg]	Humedad %
0.0	4.94	36.9
0.5	3.74	30.7
1.0	3.74	30.7
1.5	3.74	30.7
2.0	1.52	15.3
2.5	1.52	15.3
3.0	1.52	15.3
3.5	0.96	10.2
4.0	0.84	9.1
4.5	0.77	8.4
5.0	0.73	8.0
5.5	0.73	8.0
6.0	0.73	8.0
6.5	0.73	8.0
7.0	0.73	8.0
7.5	0.73	8.0
8.0	0.73	8.0
8.5	0.73	8.0
9.0	0.73	8.0
9.5	0.73	8.0
10.0	0.73	8.0

Tabla E.5: Prueba N° 5 – concentrado de zinc I

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	5.12	36.0
0.5	3.83	29.6
1.0	3.09	25.4
1.5	3.09	25.4
2.0	3.09	25.4
2.5	1.62	15.1
3.0	1.08	10.6
3.5	1.08	10.6
4.0	1.08	10.6
4.5	0.85	8.5
5.0	0.79	8.0
5.5	0.74	7.5
6.0	0.72	7.3
6.5	0.72	7.3
7.0	0.72	7.3
7.5	0.72	7.3
8.0	0.72	7.3
8.5	0.72	7.3
9.0	0.72	7.3
9.5	0.72	7.3
10.0	0.72	7.3

Gráfico E.1: Curva de Humedad y Filtrado del Concentrado de Zinc I



## E.2 Hoja de Cálculo – Concentrado de Zinc II

Tabla E.6: Prueba N° 1 – concentrado de zinc II

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	9.31	54.6
0.5	7.12	47.9
1.0	5.83	42.9
1.5	4.84	38.4
2.0	4.03	34.2
2.5	3.32	30.0
3.0	3.32	30.0
3.5	3.32	30.0
4.0	1.33	14.6
4.5	0.60	7.2
5.0	0.60	7.2
5.5	0.60	7.2
6.0	0.28	3.5
6.5	0.16	2.0
7.0	0.09	1.2
7.5	0.60	7.2
8.0	0.60	7.2
8.5	0.60	7.2
9.0	0.60	7.2
9.5	0.60	7.2
10.0	0.60	7.2

Tabla E.7: Prueba N° 2 – concentrado de zinc II

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	8.98	55.9
0.5	6.94	49.5
1.0	5.66	44.4
1.5	4.76	40.2
2.0	3.94	35.7
2.5	3.94	35.7
3.0	3.94	35.7
3.5	2.18	23.5
4.0	1.10	13.4
4.5	1.10	13.4
5.0	1.10	13.4
5.5	0.82	10.3
6.0	0.67	8.7
6.5	0.62	8.1
7.0	0.56	7.3
7.5	0.56	7.3
8.0	0.56	7.3
8.5	0.56	7.3
9.0	0.56	7.3
9.5	0.56	7.3
10.0	0.56	7.3

Tabla E.8: Prueba N° 3 – concentrado de zinc II

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	8.29	55.0
0.5	6.25	48.0
1.0	4.97	42.3
1.5	4.07	37.5
2.0	4.07	37.5
2.5	4.07	37.5
3.0	1.10	14.0
3.5	0.94	12.2
4.0	0.94	12.2
4.5	0.94	12.2
5.0	0.70	9.3
5.5	0.62	8.4
6.0	0.57	7.7
6.5	0.57	7.7
7.0	0.57	7.7
7.5	0.57	7.7
8.0	0.57	7.7
8.5	0.57	7.7
9.0	0.57	7.7
9.5	0.57	7.7
10.0	0.57	7.7

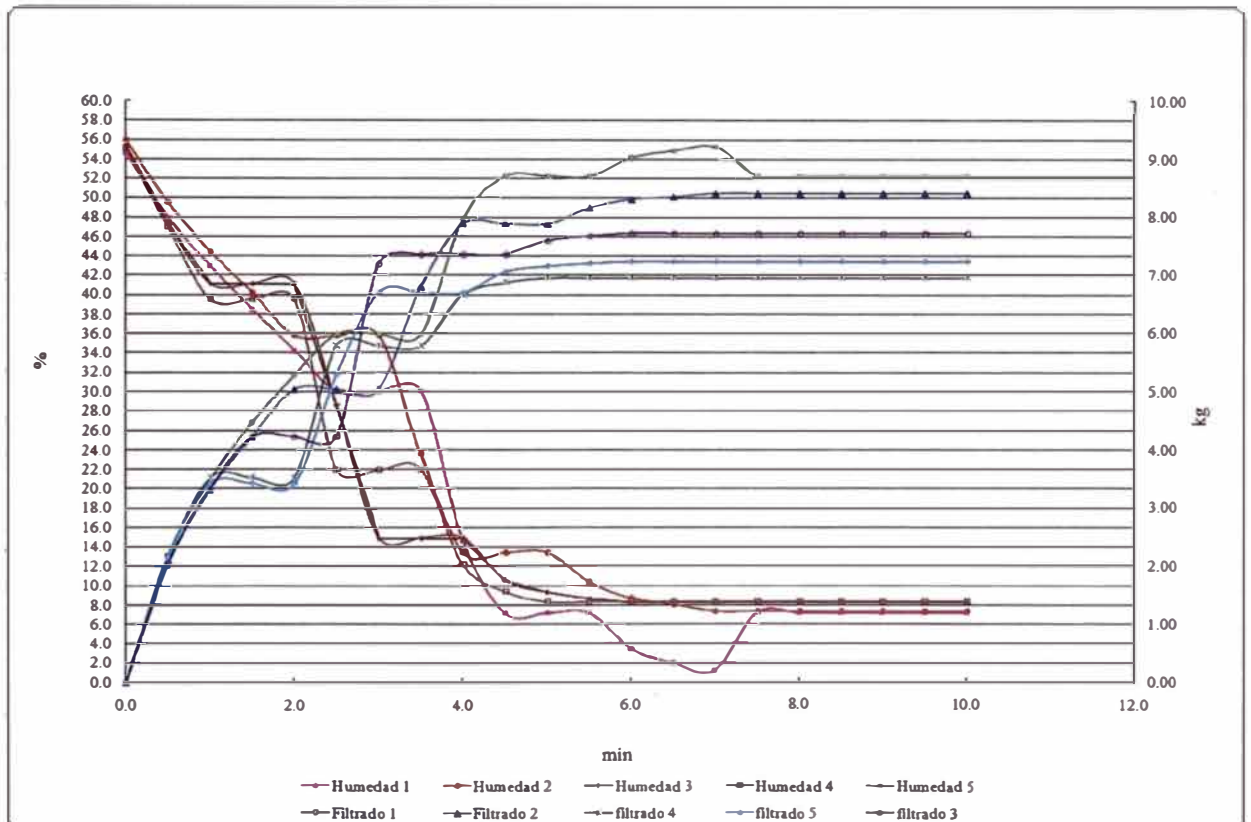
Tabla E.9: Prueba N° 4 – concentrado de zinc II

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	7.51	55.1
0.5	5.40	46.9
1.0	3.99	39.5
1.5	3.99	39.5
2.0	3.99	39.5
2.5	1.72	21.9
3.0	1.72	21.9
3.5	1.72	21.9
4.0	0.84	12.1
4.5	0.63	9.4
5.0	0.55	8.3
5.5	0.55	8.3
6.0	0.55	8.3
6.5	0.55	8.3
7.0	0.55	8.3
7.5	0.55	8.3
8.0	0.55	8.3
8.5	0.55	8.3
9.0	0.55	8.3
9.5	0.55	8.3
10.0	0.55	8.3

Tabla E.10: Prueba N° 5 – concentrado de zinc II

Tiempo [min]	Líquido en queque [kg]	Humedad %
0.0	7.80	55.4
0.5	5.64	47.3
1.0	4.38	41.1
1.5	4.38	41.1
2.0	4.38	41.1
2.5	2.51	28.6
3.0	1.10	14.9
3.5	1.10	14.9
4.0	1.10	14.9
4.5	0.74	10.5
5.0	0.64	9.3
5.5	0.59	8.7
6.0	0.56	8.3
6.5	0.56	8.3
7.0	0.56	8.3
7.5	0.56	8.3
8.0	0.56	8.3
8.5	0.56	8.3
9.0	0.56	8.3
9.5	0.56	8.3
10.0	0.56	8.3

Gráfico E.2: Curva de Humedad y Filtrado del Concentrado de Zinc II



## *Apéndice F*

### ANEXOS

Gráfico F.1: Pulpa Fresca facilitada para las pruebas



Gráfico F.2: Concentrado en el tanque de agitación



Gráfico F.3: Concentrado de zinc en pulpa

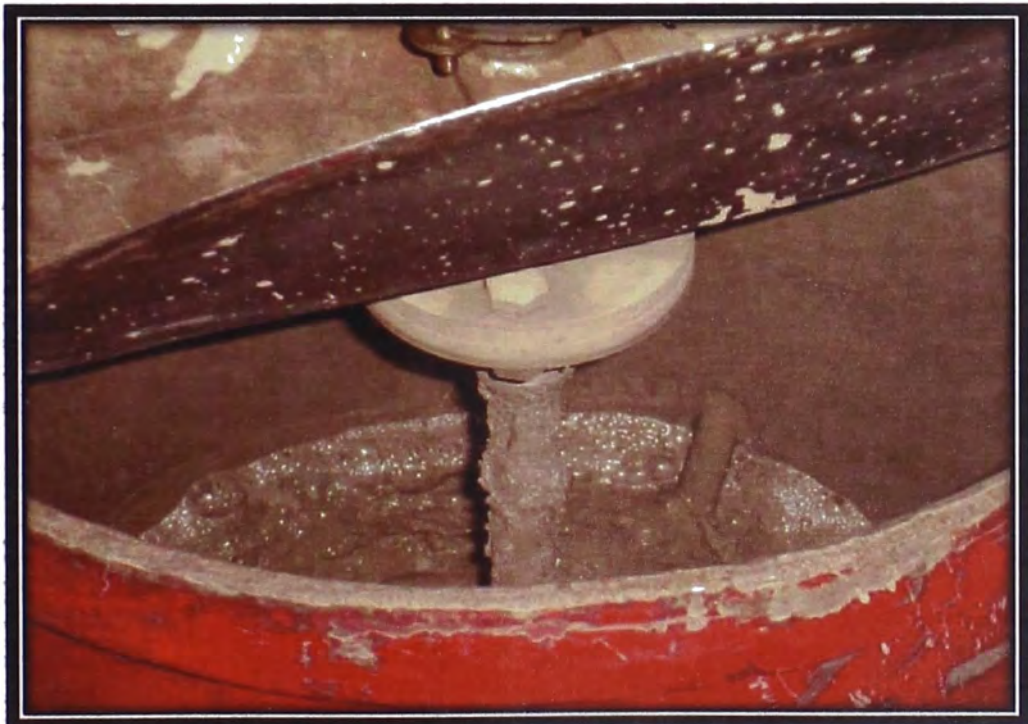


Gráfico F.4: Queque obtenido al final d l ciclo d filtración





Gráfico F.6: Horno para el secado del queque



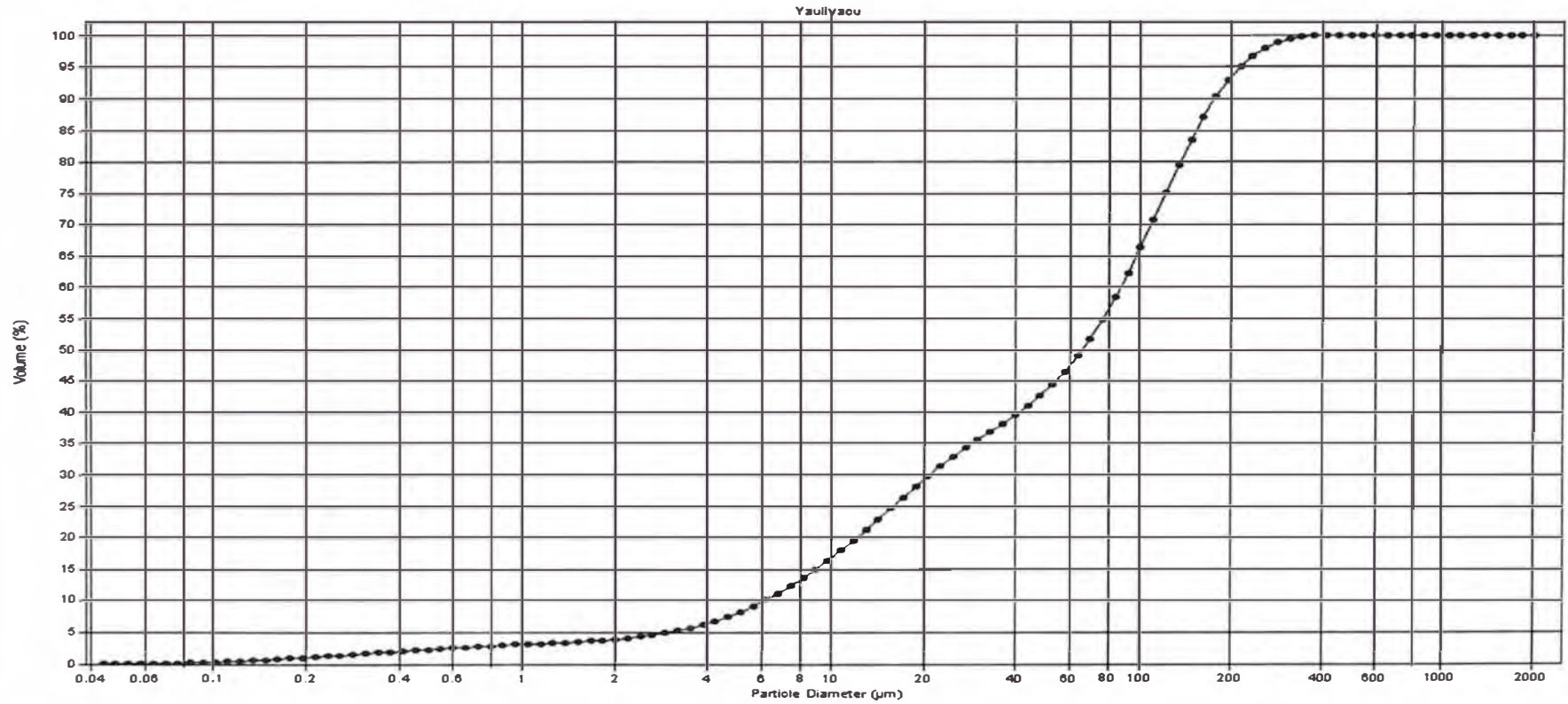
Gráfico F.7: Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc I

COULTER® LS Particle Size Analyzer

COULTER LS

9:24 7 Mar 2006

Muestra: Zn

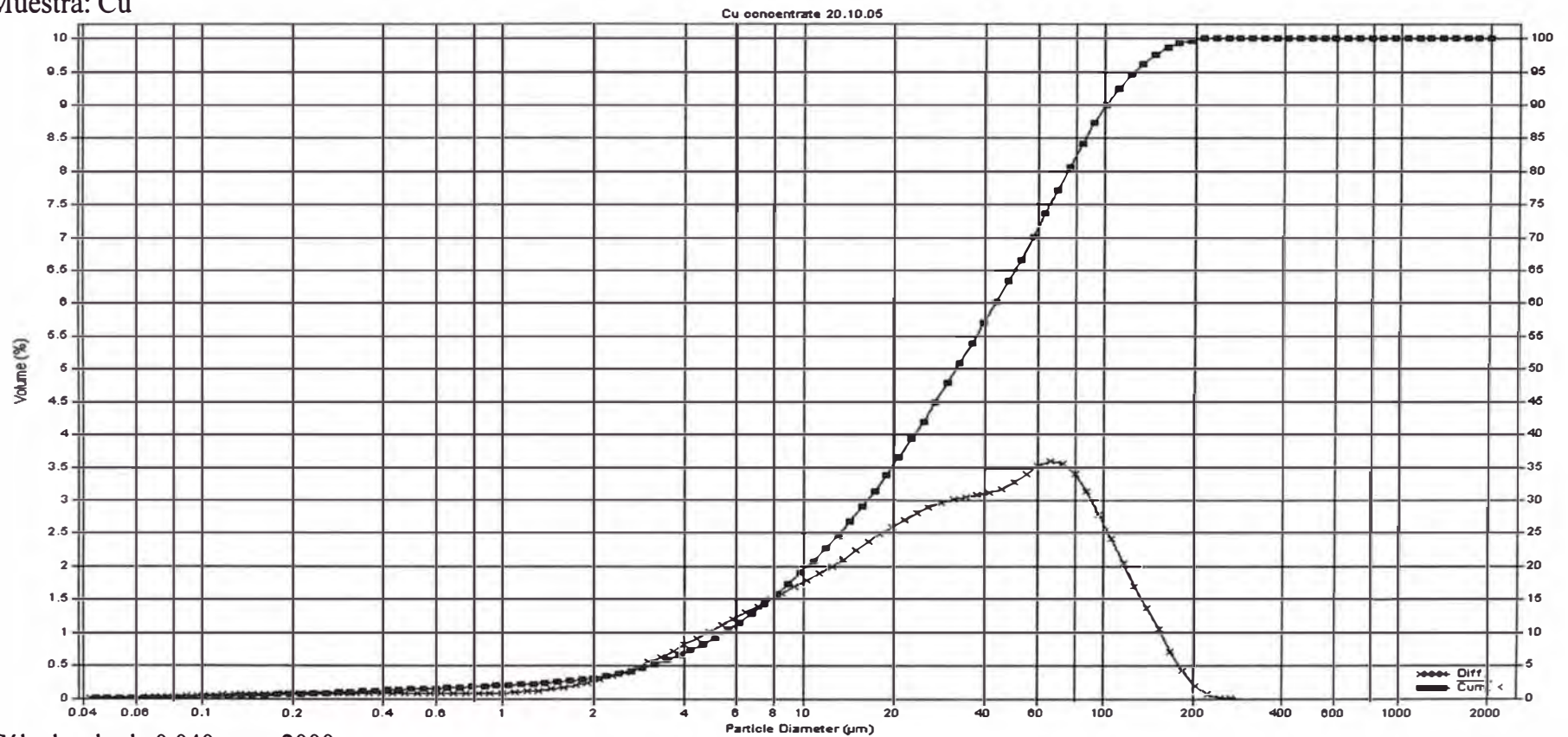


From	0.0400	To	2000	Volume	100.0
Mean:	40.10	Median:	65.71	Mode:	116.3
% <	10	25	50	75	90
Size μm	6.065	15.94	65.71	121.5	175.2

Gráfico F.8: Análisis Granulométrico – Concentrado de Cobre

COULTER LS 7:56 11

Muestra: Cu

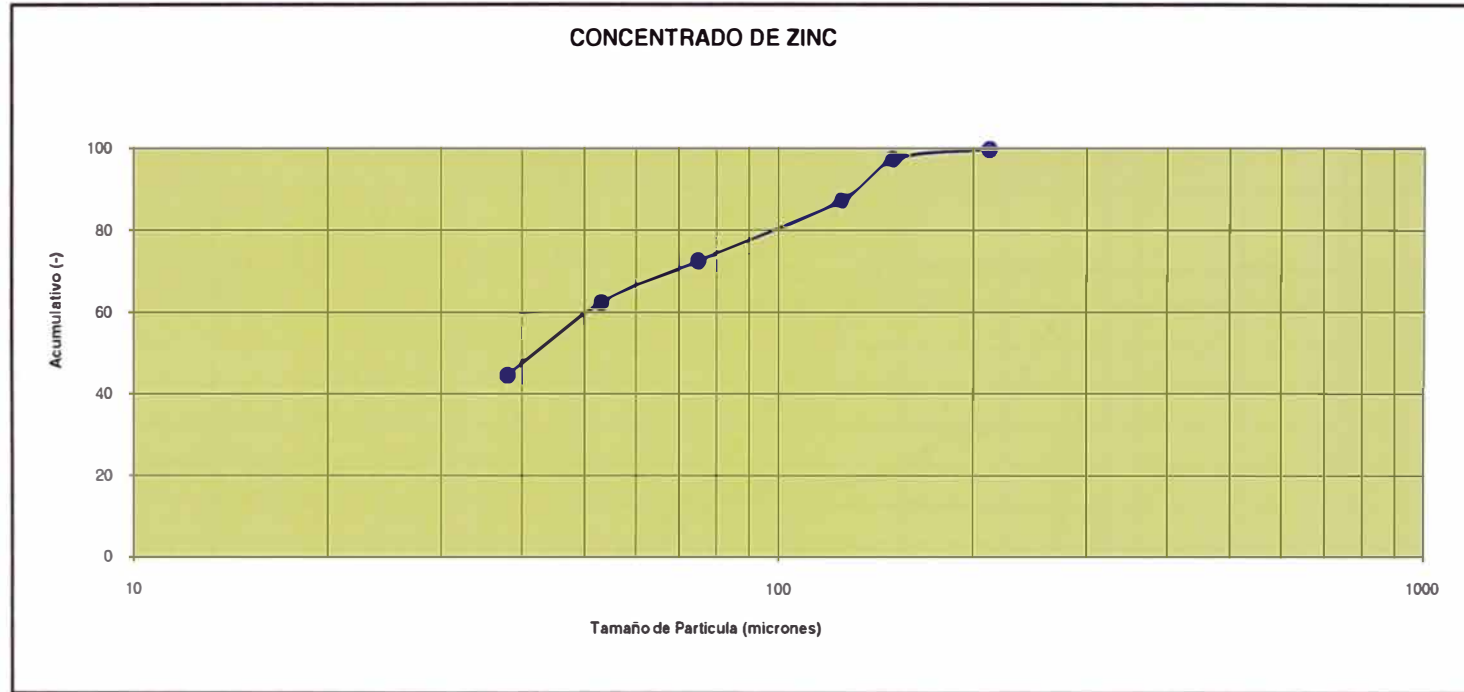


Cálculos desde 0.040 µm a 2000 µm

Volume	100.0 %	Mean:	26.14 µm	Median:	32.10 µm	Mode:	66.44 µm
%<		10	25	50	75	90	
Size µm		5.439	13.15	32.10	65.86	100.9	

Gráfico F.9: Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc II

Ensayos:	% Pb	%Zn	gAg-t	% Fe	%SiO2	%Cd
	1.2	49.0	100	11.5	0.80	0.10



Granulometría

	%peso	Acum.(-)
+65	0.32	99.68
+100	2.57	97.11
+150	9.97	87.14
+200	14.67	72.47
+270	10.28	62.19
+400	17.71	44.48
-400	44.48	

D50 : 45 micrones

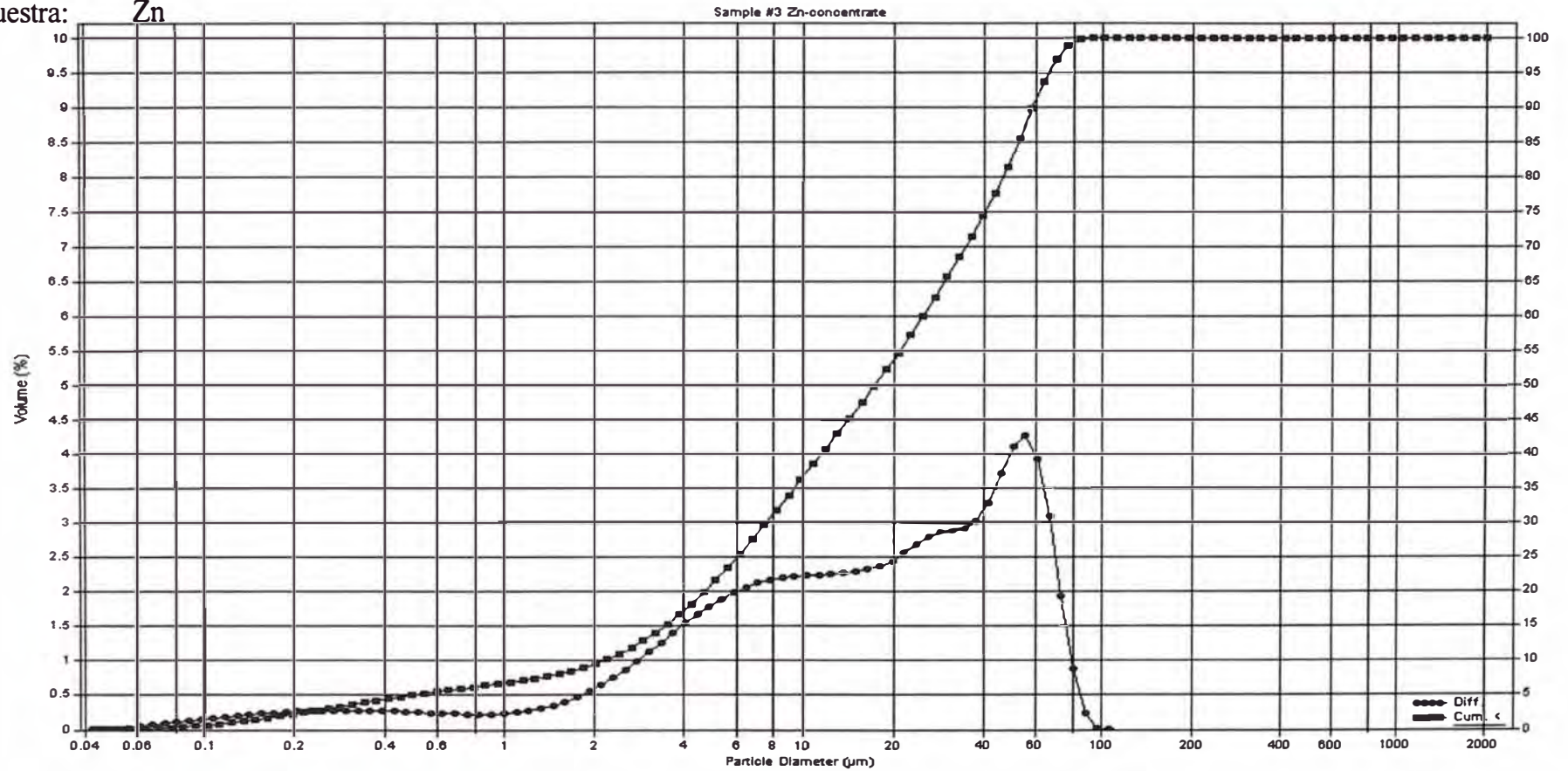
Gráfico F.10: Análisis Granulométrico – Concentrado de Zinc III

COULTER® LS Particle Size Analyzer

COULTER LS

14:26 7 Jun 2006

Muestra: Zn



From	0.0400	To	2000	Volume	100.0
Mean:	12.70	Median:	17.22	Mode:	55.14
% <	10	25	50	75	90
	2.137	6.019	17.22	40.39	57.96

## *Apéndice G*

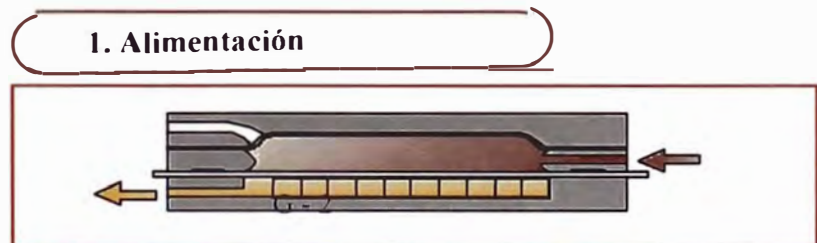
### MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO

Antes de arrancar el sistema purgue la línea de aire, abra las válvulas de purga de los filtros de aire instalados a la entrada del sistema o abriendo las válvulas A-2 y V-5 el tiempo suficiente hasta que observe que el aire sale seco de estas purgas. La representación del sistema de Filtración Larox se encuentra en la Figura 4.18

Antes del arranque de la unidad verifique lo siguiente:

1. Nivel de agua en el tanque T-2. Llène con agua limpia si fuera el caso.
2. Nivel de la pulpa en el tanque T-1. Llène hasta llegar al nivel de la línea de retorno.
3. Arranque el agitador del T-1 con el sistema de control electrónico ajustándolo a velocidad máxima.
4. Arranque la bomba de alimentación de pulpa, regulando la válvula de aire A-3, en modo recirculación, para esto las válvulas V-1 y V-2 deben estar abiertas y la válvula V-3 cerrada.

#### Secuencia de Funcionamiento



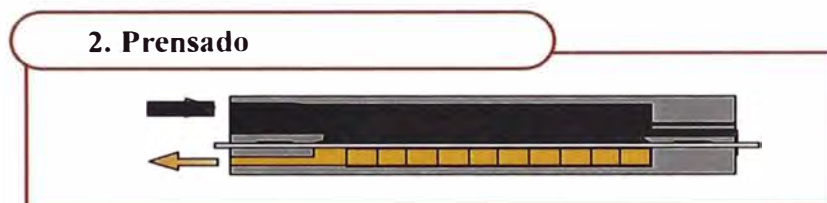
**Figura 4.14** Funcionamiento en la alimentación

1. Para alimentar el material verifique que las válvulas V-5, V-9 y A-2 estén cerradas.

2. Coloque la tela filtrante y el anillo expansor si fuera el caso, alineándolos en la cámara de filtración.
3. Cierre la cámara de filtración accionando el sistema hidráulico de cierre, presionando el pedal hasta alcanzar la presión de cierre de 18 bar (P-3).
4. Abra la válvula V-4 y simultáneamente abra la válvula V-3 y cierre la válvula V-2.
5. Verifique la presión en el manómetro P-1, este debería estar en el rango de 5-6 bar. Regule la válvula A-3 si hubiera variación

La presión de cierre de la cámara de filtración debe ser de 18 bar., de otro modo la pulpa puede salir a presión durante la filtración.

Use lentes de seguridad para protegerse de las salpicaduras.

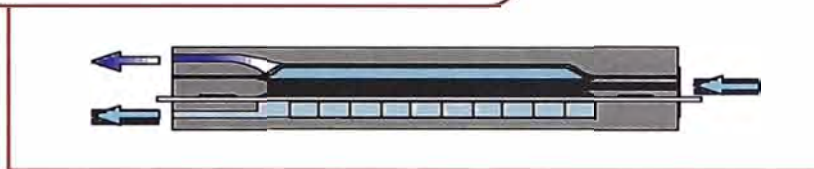


**Figura 4.15** Funcionamiento en el presionado

1. Coloque la bomba de alimentación en recirculación cerrando las válvulas V-3 y V-4 y abriendo la válvula V-2.
2. Purgue la línea abriendo la válvula V-5, haga ingresar aire abriendo cuidadosamente la válvula A-2.
3. Después de unos segundos de purgado cierre la válvula de ingreso de aire y la válvula de purga (A-2 y V-5 respectivamente).
4. Coloque la válvula de 3 vías en modo alimentación de agua al sistema de presionado hasta alcanzar 16 bar. en el manómetro P-2.

5. Verifique la salida de filtrado.
6. Cuando la presión alcance 5 bares. comience a tomar el tiempo de presionado.
7. Para terminar con el presionado regrese la válvula de 3 vías a su posición original. Verifique que la presión caiga por debajo de 5 bares.

### 3. Lavado de Queque

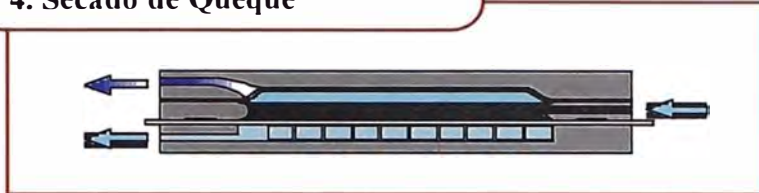


**Figura 4.16** Funcionamiento en el lavado

- 8 Llene el tanque T-3 con la solución de lavado. Abra las válvulas V-7 y A-4 y haga ingresar la solución por el embudo de alimentación. una vez ingresada la solución de lavado cierre las válvulas V-7 y A-4
- 9 Abra las válvulas V-9, V-4.
- 10 Abra la válvula de aire A-4 y la válvula V-8 simultáneamente para permitir el ingreso de la solución de lavado a la cámara de filtración.
- 11 Verifique que la presión en el manómetro P-1, esté en 5 bar. aproximadamente.
- 12 Para terminar el lavado cierre la válvula de ingreso de aire A-4 y luego la válvula V-4, luego cierre las válvulas V-8 y V-9.
- 13 Purgue la línea nuevamente abriendo la válvula V-5 y la válvula de aire A-2 suavemente para evitar salpicaduras.



#### 4. Secado de Queque



**Figura 4.17** Funcionamiento en el secado

1. Haga ingresar aire para secar el queque abriendo la válvula V-4 y la válvula de aire A-2.
2. Después de cumplido el tiempo de secado, cierre la válvula de aire A-2 y libere la presión de la cámara abriendo la válvula de purga V-5.
3. Una vez liberada la presión, abra la cámara de filtrado accionado el pedal del sistema hidráulico de cierre en sentido contrario al de cierre.

Si el proceso requiere más etapas de lavado, intercale el lavado y el presionado según el procedimiento descrito arriba.