

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL QUIMICO

**VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO
PARA PLANTA DE FILTRADO DE
CONCENTRADO COBRE**

Alumna: M^o Fernanda Briones C.

Profesores Guías: Carlos Carlesi
Gianni Olguín

2010

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a quienes me acompañaron y me apoyaron en todo este proceso.

Gracias a mi familia y cercanos...

VAPOR PROCESOS SA.

“La información que la presente memoria entrega con respecto a la operación de la planta de filtración, así como la interpretación de información, y el análisis de ésta, sólo corresponden a su autor, resultando ser de su responsabilidad lo mencionado en el documento, por lo que no compromete a la empresa Vapor Procesos S.A ni a sus ejecutivos ni profesionales ni técnicos. Vapor Procesos S.A sólo le brinda al autor la posibilidad de acceso a sus instalaciones e información necesaria para el desarrollo de su memoria”



RESUMEN

En la presente memoria de titulación se efectúa la validación del modelo matemático para el proceso de filtración del filtro Larox dispuesto en la planta Las Tórtolas de Anglo American Chile. Para ello se analizan y se confirman los parámetros de diseño (ciclos de filtrado, producción etc.) para distintas concentraciones de sólido. Además se determina que la pulpa cumple con características como: 4,3 kg/l de gravedad específica, el diámetro del sólido es de 38 μ m, y la viscosidad varía entre 50 – 70cp.

El análisis efectuado establece el modelo matemático de filtración de concentrado de cobre, incluyendo las variables como: tipo de medio filtrante, concentración de sólidos en peso, viscosidad del filtrado, etc, dando como resultando que con un 64% se obtiene la máxima producción de concentrado de cobre con un porcentaje de humedad cercano al 11%, utilizando los tiempos operacionales determinados para los distintos porcentajes de sólido.

El documento muestra la mejora que presenta el filtro Larox una vez que han disminuido las fallas en las piezas de desgaste, indicando un aumento en la producción, llegando a sobrepasar las 7500 toneladas mensuales de concentrado de cobre.

Finalmente se valida el modelo matemático a través de la comparación que se realiza entre lo que presenta el ajuste del modelo y lo que se obtiene del mismo filtro, entregando un error del 5% y una desviación del 0.74.

ÍNDICE

CAPÍTULO1: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL FILTRO.....	5
2.1 TEORÍA FILTRACIÓN.....	5
2.2 DIFERENTES SISTEMAS DE FILTRACIÓN.....	8
2.3 FILTRACION A PRESIÓN FILTRO LAROX.....	9
2.3.1 DESCRIPCIÓN PIEZAS FILTRO LAROX.....	11
2.3.2 ETAPAS DEL PROCESOS FILTRACION A PRESIÓN.....	18
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	22
2.4.1 ÁREAS DE LA PLANTA DE FILTRACIÓN.....	25
2.5 DISPOSICIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS.....	31
2.6 PARÁMETROS OPERACIONALES.....	33
CAPITULO 3: PRUEBAS DE FILTRADO.....	34
3.1 CARACTERIZACION DE LA PULPA.....	34
3.1.1 MUESTREO CONCENTRADO DE COBRE.....	34
3.1.2 MUESTREO DE PULPA.....	35
3.13 ANÁLISIS DE DATOS.....	35
3.2 PRUEBAS DE FILTRACIÓN.....	51
3.2.1 SELECCIÓN DE TELA FILTRANTE.....	52
3.2.2 DETERMINACIÓN PARÁMETROS OPERACIONALES.....	64
3.2.3 CONSUMO DIARIO DE AGUA EN CADA ETAPA.....	68
3.2.4 BALANCE DE MASA.....	69
3.3 CONCLUSIÓN.....	78
CAPÍTULO 4: MODELO MATEMÁTICO	80
4.1 MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN.....	80
4.1.1 FORMACIÓN DEL QUEQUE.....	80

4.1.2	FILTRACIÓN A PRESIÓN CONSTANTE.....	82
4.1.3	TIEMPO DE FILTRACIÓN.....	86
4.2	AJUSTE MODELO PARA PROCESO FILTRACIÓN.....	88
4.2.1	COMPORTAMIENTO DEL FLUJO FILTRADO EN EL TIEMPO.....	88
4.2.2.	AJUSTE DEL MODELO EN ETAPA DE PENSADO.....	92
4.3	CONCLUSIÓN.....	101
CAPITULO 5: OPTIMIZACIÓN DE FILTRO LAROX.....		102
5.1	TELA FILTRANTE.....	103
5.1.1	PROBLEMA.....	103
5.1.2	COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO.....	104
5.1.3	SOLUCIÓN.....	106
5.1.4	RECOMENDACIONES.....	107
5.2	SELLOS.....	108
5.2.1	PROBLEMA.....	108
5.2.2	RECOMENDACIONES.....	108
5.3	DIAFRAGMA.....	108
5.3.1	PROBLEMA.....	108
5.3.2	RECOMENDACIONES.....	109
5.4	ANÁLISIS FINAL.....	110
5.4.1	ANORMALIDADES DE ANGLO AMERICAN CHILE.....	112
5.4.2	VALIDACIÓN MODELO MATEMÁTICO.....	114
5.5	CONCLUSIÓN.....	117
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.....		118
BIBLIOGRAFÍA.....		122
GLOSARIO.....		123
ANEXOS.....		125

ANEXO A: PROCEDIMIENTOS PRUEBAS DE FILTRACIÓN.....	127
ANEXO B: CARACTERISTICAS FILTRO PA 0.1.....	141
ANEXO C: BALANCE DE MASA.....	145
ANEXO D: RECOMENDACIONES GENERALES.....	147
ANEXO E: IMÁGENES FILTRO LAROX PF 25.....	153

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: UBICACIÓN PLANTA LAS TÓRTOLAS.....	2
Figura 2: SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	6
Figura 3: DIFERENTES SISTEMAS DE FILTRACIÓN.....	8
Figura 4: FILTRACION A PRESIÓN SERIE M.....	10
Figura 5: DESCOMPOSICION FILTRO LAROX.....	11
Figura 6: TELA FILTRANTE.....	12
Figura 7: PAQUETE DE PLACAS.....	16
Figura 8: PLACA FILTRANTE.....	16
Figura 9: ETAPA DE ALIMENTACIÓN.....	18
Figura 10: ETAPA DE PRENSADO.....	19
Figura 11: ETAPA LAVADO DE SÓLIDOS.....	19
Figura 12: ETAPA DE SOPLADO.....	20
Figura 13: ETAPA DE DESCARGA.....	20
Figura 14: DIAGRAMA DE FLUJO.....	24
Figura 15: ALIMENTACIÓN PULPA AL FILTRO LAROX.....	25
Figura 16: ETAPA FILTRACIÓN FILTRO LAROX.....	28
Figura 17: SUMINISTRO DE AGUA.....	29
Figura 18: SUMINISTRO DE AIRE	30

Figura 19: VISTA FRONTAL FILTRO LAROX.....	31
Figura 20: VISTA LATERAL FILTRO LAROX.....	32
Figura 21: DIAGRAMA DE POURBAIX DEL COBRE.....	50
Figura 22: ESQUEMA INICIAL ENTRADA –SALIDA.....	70
Figura 23: ESQUEMA FINAL ENTRADA -SALIDA	78
Figura 24: FILTRACIÓN CON QUEQUE PLANO.....	81
Figura 25: RUPTURA GANCHO METÁLICO.....	104
Figura 26: DIAFRAGMA.....	108
Figura 27: BALANZA MARCY.....	129
Figura 28: GRÁFICA DENSIDAD DE PULPA.....	130
Figura 29: FILTRO LAROX PF 0.1.....	141
Figura 30: ESTANQUE DE ALIMENTACION VISTA SUPERIOR.....	142
Figura 31: LIQUIDO FILTRADO.....	142
Figura 32: COMPRESOR DE AIRE.....	143
Figura 33: APERTURA DE PLACAS.....	143
Figura 34: CONCENTRADO DE COBRE.....	144
Figura 35: FILTRO LAROX PF 25.....	153
Figura 36: MANIFOLD Y MANGUERAS.....	153
Figura 37:ESTANQUE DE AGUA.....	154
Figura 38: ESTANQUE DE PULPA.....	154
Figura 39: PANEL DE CONTROL.....	155
Figura 38: DESCARGA DE CONCENTRADO.....	155

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: FACTORES QUE AFECTAN A LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN.....	7
Tabla 2: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL FILTRO LAROX.....	21
Tabla 3: BASE DE DATOS DEL FILTRO LAROX.....	33
Tabla 4: FLUJO DE OPERACIÓN.....	33
Tabla 5: PORCENTAJE PASANTE DEL SÓLIDO.....	37
Tabla 6: HUMEDAD DE CONCENTRADO DE COBRE DIARIO.....	39
Tabla 7: REGISTRO DE PRODUCCIÓN A DISTINTAS CONCENTRACIONES.....	41
Tabla 8: VISCOSIDAD DE LA PULPA.....	43
Tabla 9: VISCOSIDAD LÍQUIDO FLITRADO.....	45
Tabla 10: COMPOSICION PULPA.....	47
Tabla 11:ENEGÍA LIBRE DE FORMACIÓN.....	49
Tabla 12: CARACTERÍSTICAS DE TELA 2106 L1.....	53
Tabla 13: TIEMPOS ALIMENTACION TELA 2106 L1.....	54
Tabla 14: VALORES PARA ECUACIÓN VELOCIDAD FILTRANTE 2106 L1.....	55
Tabla 15: CARACTERÍSTICAS DE TELA 2110 L1.....	56
Tabla 16: TIEMPOS ALIMENTACION TELA 2110 L1.....	57
Tabla 17: VALORES PARA ECUACIÓN VELOCIDAD FILTRANTE 2110 L1.....	58
Tabla 18: CARACTERÍSTICAS DE TELA 2209 L1.....	58
Tabla 19: TIEMPOS ALIMENTACION TELA 2209 L1.....	59
Tabla 20: VALORES PARA ECUACIÓN VELOCIDAD FILTRANTE 2209 L1.....	60
Tabla 21: CARACTERÍSTICAS DE TELA 2106 L1K3.....	60
Tabla 22: TIEMPOS ALIMENTACION TELA 2106 L1K3.....	61
Tabla 23: VALORES PARA ECUACIÓN VELOCIDAD FILTRANTE 2106 L1 K3.....	62
Tabla 24: PARÁMETROS OPERACIONALES FILTRO LAROX.....	64

Tabla 25: TIEMPOS OPERACIONALES FILTRO LAROX.....	65
Tabla 26: REGISTRO HUMEDAD UTILIZANDO TIEMPOS OPERACIONALES.....	67
Tabla 27: CONSUMO DIARIO DE AGUA EN CADA ETAPA.....	68
Tabla 28: BALANCE DE MASA POR CICLO.....	70
Tabla 29: BALANCE DE MASA 1 FILTRO LAROX.....	75
Tabla 30 : BALANACE DE MASA 2 FILTRO LAROX.....	76
Tabla 31: RESUMEN BALANCE DE MASA.....	77
Tabla 32: DATOS EXPERIMENTALES ETAPA ALIMENTACIÓN.....	89
Tabla 33: PARÁMETRO DE CALCULO PF 01.....	92
Tabla 34: VOLUMEN FILTRADO ETAPA PRENSADO.....	93
Tabla 35: CÁLCULO DE PERMEABILIDAD QUEQUE PF 0,1.....	94
Tabla 36: PARÁMETRO DE CALCULO PF 25.....	95
Tabla 37: CÁLCULO DE PERMEABILIDAD QUEQUE PF 25.....	95
Tabla 38: CONSTANTES PARA DETERMINAR MASA Y TIEMPO FILTRACIÓN.....	99
Tabla 39: REGISTRO MENSUAL DEL FILTRO PF 25.....	111
Tabla 40: ANORMALIDADES ANGLO AMERICAN CHILE.....	112
Tabla 41: COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: CURVA GRANULOMETRICA.....	37
Gráfico 2: HUMEDAD CONCENTRADO DE COBRE	40
Gráfico 3: COMPORTAMIENTO PRODUCCIÓN A DIFERENTES CONCENTRAIONES.....	42
Gráfico 4: VISCOSIDAD DE PULPA.....	44
Gráfico 5: VISCOSIDAD LÍQUIDO FILTRADO.....	45
Gráfico 6: TELA 2106 L1.....	55
Gráfica 7: TELA 2110 L1.....	57

Gráfica 8: TELA 2209 L1.....	59
Gráfica 9: TELA 2106 L1K3.....	61
Gráfica 10: ANÁLISIS TELA FILTRANTE.....	62
Gráfica 11: TIEMPOS OPERACIONALES.....	66
Gráfica 12: HUMEDAD DESPUES DE UTILIZAR LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN.....	67
Gráfica 13: COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN EN FUNCION DEL TIEMPO.....	89
Gráfica 14: COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN EN FUNCION DEL TIEMPO.....	90
Gráfica 15: DETERMINACIÓN CONSTANTES A Y B	94
Gráfica 16: PRODUCCIÓN V/S CONCENTRACIÓN.....	97
Gráfica 17: COMPORTAMIENTO PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA QUEQUE.....	97
Gráfica 18: TIEMPO DE FILTRACIÓN.....	100
Gráfica 19: COMPORTAMIENTO DE TELA.....	105
Gráfica 20: COMPORTAMIENTO VELOCIDAD Y PRODUCCION.....	105
Gráfica 21: COMPORTAMIENTO DE TELA CON RECOMEDACIONES.....	106
Gráfica 22: COMPORTAMIENTO VELOCIDAD CON RECOMENDACIONES.....	107
Gráfica 23: COMPORTAMIENTO DISPONIBILIDAD FILTRO.....	110
Gráfica 24: HORAS OPERABLES FILTRO LAROX.....	111
Gráfica 25: ANORMALIDADES ANGLO AMERICAN CHILE.....	113
Gráfica 26: HORAS DE DETENCIÓN POR ANGLO AMERICAN CHILE.....	113
Gráfica 27: CURVA COMPARATIVA PRODUCCIÓN MODELO – FILTRO LAROX.....	115
Gráfica 28: CURVA COMPARATIVA TIEMPO FILTRACIÓN AJUSTE-FILTRO LAROX.....	116

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La filtración es un proceso que separa las partículas sólidas del fluido, usando un medio poroso que retiene el sólido, pero permite el paso del líquido.

En base a lo dicho es que se presenta un filtro prensa modelo Larox PF-25 en las actuales instalaciones de la planta Las Tórtolas de Anglo American Chile, para que trabaje en forma paralela con los filtros hiperbáricos ubicados en el recinto.

El filtro prensa PF-25 está compuesto por 16 placas, con una superficie total de filtrado de 25,2 m², lo que le permite obtener una capacidad nominal de aproximadamente 1,5 ton/ciclo de concentrado de cobre, con una humedad final que puede alcanzar hasta el 6%, pero por contrato Anglo American Chile solicita a Vapor Procesos S.A una humedad del orden del 11%.

Este filtro, es un filtro batch que actúa bajo cuatro etapas principales: alimentación, prensado, secado y descarga, siendo la etapa de alimentación la más importante, pues es en ésta en la que se forma el queque, filtrando mayor cantidad de líquido. Esta etapa también es llamada de filtración.

La descarga del concentrado se realiza por medio de correas transportadoras hasta la báscula de Anglo American Chile, la cual cumple la función de pesaje del concentrado de cobre producido.

a) Ubicación planta Las Tórtolas.

La planta Las Tórtolas se ubica en la región Metropolitana a 40 km de Santiago en la comuna de Colina (figura 1, a). Esta planta de flotación produce al año 400.000 ton concentrado de cobre y cerca de 5.400 ton de molibdeno.(figura 1, b).

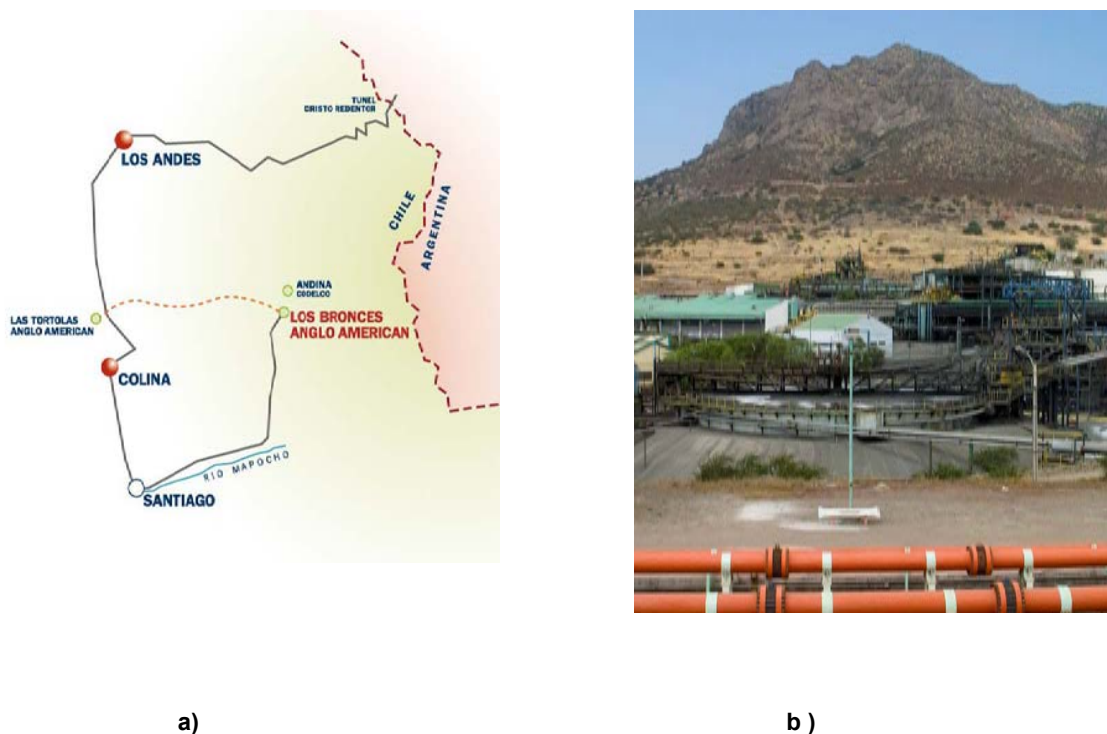


Figura 1: Ubicación planta Las Tórtolas a) Mapa de ubicación; b) Planta de flotación

b) Descripción material procesado

El material procesado, por la planta de filtración de Anglo American Chile (AACH), proviene de la planta de flotación ubicada dentro del mismo recinto, el producto se dirige hacia el espesador y desde ahí se impulsa hacia el estanque de cabeza de la planta de filtración de AACH.

El producto enviado, desde el estanque de AACH hasta el estanque de Vapor Procesos S.A, debe cumplir con características, tales como: concentración de sólido superior al 60% en peso, la pulpa no debe contener elementos extraños, vale decir, papeles, piedras que puedan obstruir la alimentación de ésta al equipo.

Una vez filtrado el material se obtiene concentrado de cobre, éste está compuesto por cobre, hierro y azufre, dentro de sus características se encuentran: debe contener un porcentaje de cobre superior al 25% y entregar un porcentaje de humedad cercano al 11%. El producto final es transportado hacia la división Chagres de Anglo American Chile.

1.1 Planteamiento del Problema

La empresa Vapor Procesos S.A (VPSA). al ser una empresa contratista de la minera Anglo American Chile (AACH) debe cumplir con las exigencias impuestas por contrato de esta última, como: la producción mensual de concentrado de cobre no debe ser inferior a las 6.000 ton /mes con una humedad final del 11% y disponibilidad operativa del filtro superior al 80%, pero para que ello se cumpla VPSA requiere que AACH proporcione suministros tales como: agua, aire, pulpa con sólido superior al 60% en peso, y así, satisfacer lo establecido.

Así, durante el mes de mayo de 2008 se puso en marcha la unidad de filtración de concentrado de cobre en los recintos de Las Tórtolas. Esta se encuentra operando, pero no logra alcanzar los parámetros de diseño de la unidad de filtración.

A su vez, se han observado menores rendimientos en la duración de las piezas de desgastes (entiéndanse medios filtrantes, sellos, diafragmas; etc.), lo que se traduce en menores disponibilidades de la unidad operativa del equipo.

Se ha planteado la necesidad de revisar estos inconvenientes y establecer una línea base de operación (parámetros de ciclo de filtración, mantener fija velocidad o tasa de filtración), determinando las características de la pulpa y condiciones de durabilidad de los componentes (revisión de diseño de partes y piezas) con el fin de mejorar la producción de concentrado de cobre.

1.2 Objetivos

Considerando lo anterior, los objetivos trazados para la validación del modelo de filtración son los siguientes:

- i. Establecer parámetros operacionales de unidad de filtración.
- ii. Establecer modelo de filtración del concentrado de cobre.
- iii. Establecer condiciones de durabilidad de elementos principales de desgastes de la unidad de filtración.

1.3 Plan de acción

Para el análisis de la planta de filtración de concentrado de cobre se estima un período total del proyecto de nueve meses y distribuidos en el desarrollo de:

- i. Recopilación de antecedentes.
- ii. Muestreo de pulpas de concentrado.
- iii. Pruebas de filtración.
- iv. Formulación y validación de modelo de filtración.
- v. Generación de manual operacional

Las pruebas de filtración se realizaron en el laboratorio SGS, ubicado en la comuna de Quilicura región Metropolitana

El presente informe presenta el análisis del funcionamiento y el ajuste de condiciones de operación del proceso de filtrado de concentrado de cobre para el filtro placa horizontal PF 25, el cual permitirá el aumento en la producción del producto y en la disponibilidad del equipo cumpliendo con las exigencias de Anglo American Chile.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL FILTRO

El presente capítulo permite al lector entender el proceso de filtración, las variables que afectan en éste y los diferentes sistemas de filtración con el objetivo de entender el funcionamiento del filtro placa horizontal dispuesta en la minera Anglo American Chile.

2.1 Teoría de la filtración.

En la industria minera existe una variada gama de métodos de separación de los diferentes componentes en distintas fases, dentro de las que encontramos.

- a) Filtración.
- b) Decantación.
- c) Cristalización.
- d) Evaporación.
- e) Destilación.
- f) Extracción.
- g) Sublimación.

Para efecto de la tesis sólo se describirá el método de filtración, el cual se define como: *la operación unitaria capaz de retener sólidos por medio de una barrera porosa. La filtración corresponde a la última etapa de separación de un grupo de partículas sólidas de un determinado fluido, en este caso, se refiere a la separación existente entre el mineral y el agua, los cuales al mezclarse generarán lo que se llamará **pulpa**. El agua fluye a través del medio filtrante, éste tiene por objetivo actuar como soporte a la torta, la cual con el tiempo y producto a una presión determinada aumenta su espesor.*¹

1. Manual de filtración y separación. Autor Fernando Concha. Capítulo 9. Año 2001

En las etapas iniciales de la filtración las primeras partículas sólidas que entran en contacto con el medio filtrante se depositan en éste, disminuyendo el área superficial de los pasajes por donde fluye el líquido. Con el tiempo se acumula una capa de sólido que incrementa el grosor de la torta disminuyendo la velocidad del filtrado (figura 2).

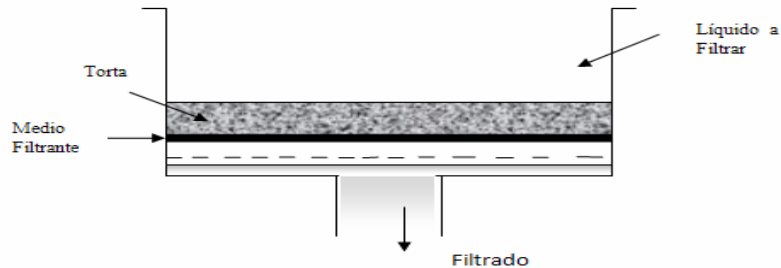


Figura 2: Sistema de Filtración

Como se menciona anteriormente el medio filtrante tiene como objetivo principal actuar como soporte a la torta, para ello debe cumplir con las siguientes características:

- a) Ser capaz de retener los sólidos sin taparse.
- b) Ser mecánicamente resistente.
- c) Resistente a la corrosión de metales.
- d) Ofrecer la menor resistencia al filtrado.

Si bien el concepto de filtración es simple de entender, éste abarca una variada gama de variables que influyen en el proceso de filtración y el buen funcionamiento de cualquier filtro.

Es por ello que la tabla 1 muestra cuál es el efecto que tienen algunas variables en el proceso de filtración y en su velocidad de filtración.

- **Tabla 1: Factores que afectan al proceso de Filtración**

Variable	Si la variable...	Velocidad Filtración
Propiedades del Fluido		
• Densidad	Aumenta	Disminuye
• Viscosidad	Aumenta	Disminuye
Naturaleza Sólido		
• Tamaño del Sólido	Aumenta	Disminuye
Propiedades de la Pulpa		
• Concentración de sólido.	Aumenta	Disminuye
Frecuencia lavado de torta y tela	Aumenta	Mejora velocidad filtración

Tabla 1: Factores que afectan a la velocidad de filtración

Nota: Es recomendable que el lavado de la torta vaya incorporada dentro de la operación del filtro, mientras que la frecuencia del lavado de tela debiese ser por lo menos dos veces al día para mantener las características descritas con anterioridad.

2.2 Diferentes sistemas de filtración.

Tal como muestra la figura 3 existen diferentes sistemas de filtración, entre ellos se encuentran:

- a) Gravitacional.
- b) Centrifugo.
- c) Vacío.
- d) Presión.

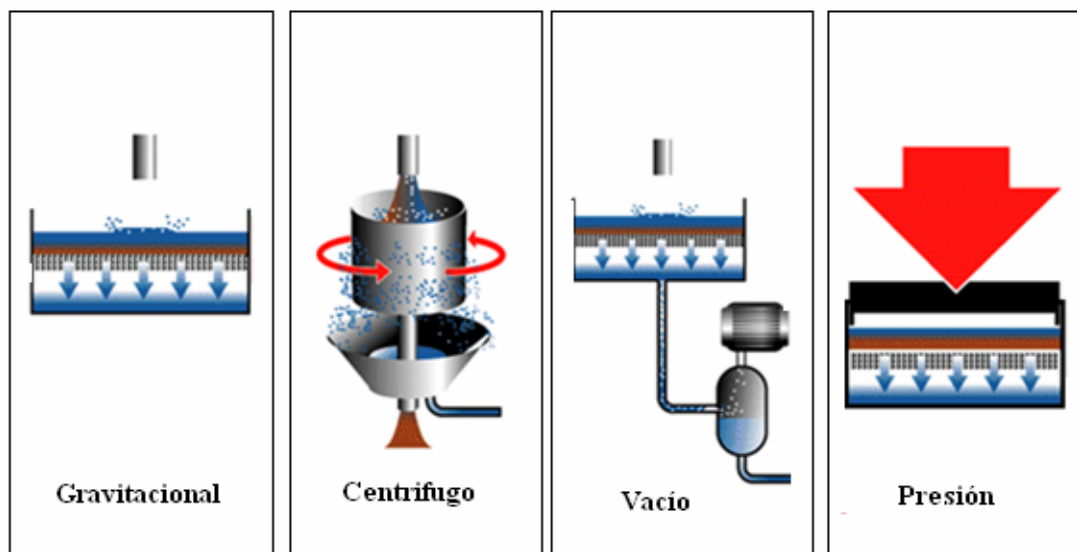


Figura 3: Diferentes sistemas de filtración.

Se le dará mayor énfasis, en el documento, al método de filtración a presión, pues bajo este sistema trabaja el filtro prensa placa horizontal. Este método se caracteriza por:

- a) La gran fuerza de separación de la mezcla, producto a la presión de bombeo sobre la pulpa, el prensado y el secado por flujo de aire²
- b) Opción de incorporar un eficiente lavado de la torta.

2.3 Filtración a presión constante mediante filtro Larox.

Los filtros Larox de presión automática producen tortas filtradas de alta pureza sin la utilización de un secado termal. Algunos de los diseños que están disponibles en el mercado se encuentran:

- a) **Filtro Larox serie C:** está diseñado para obtener y exceder cualquier necesidad en la industria química. Los filtros de mayor tamaño alcanzan área filtración de 160 m² y son capaces de procesar de 5 – 50 ton secas por hora de sólido seco. Utilizado principalmente para Caolín³
- b) **Filtro Larox serie DS:** es un filtro de presión automática que puede fabricarse para materiales riesgosos, procesos tóxicos o contención de gas para operaciones con solventes sensibles a la volatilidad, entregando beneficios como ser una operación ecológicamente amigable y segura, pues es completamente cerrado.⁴
- c) **Filtro Larox serie M:** es un filtro de placas horizontales que entregan un rendimiento en producción y disponibilidad a una amplia gama de procesos. Las áreas disponibles van desde 1.6 m² a 168 m². Dentro de sus ventajas se puede encontrar la producción de sólidos bastantes secos, reduciendo costos al eliminar el secado térmico. En casos como concentrado de molibdeno y de cobre alcanzan humedades de entre 6% y 7%.⁵(figura 4, a))

3 http://www.larox.com/FileUpload/files/Media/pdfs/Larox%20C%20Series%20TiO2_Spanish.pdf

4 http://www.larox.com/FileUpload/files/Media/pdfs/Larox_DS_spanish.pdf

5 http://www.larox.com/FileUpload/files/Media/pdfs/Larox_MM_LaroxPF_spanish.pdf

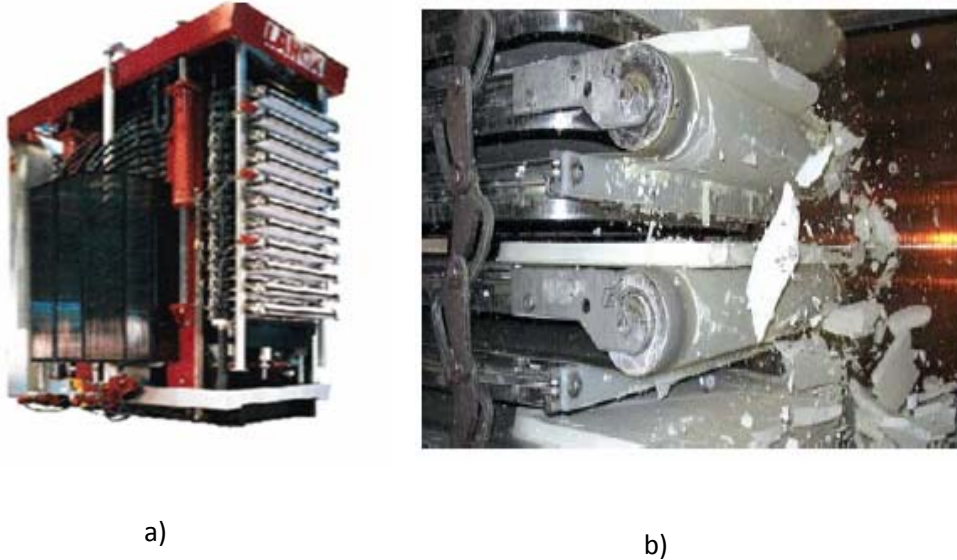


Figura 4: Filtración a presión serie M a) Filtro PF 25; b) Placas filtrantes⁶

Los filtros serie M cumplen con las siguientes características generales:

- a) Entrega una torta lo más seca posible, algunos llegan a entregar humedades cercanas al 6%, producto a la alta presión y al secado final con aire.
- b) Alcanza altas producciones dependiendo de la aplicación. En casos como concentrado de cobre y molibdeno alcanza producciones cercanas a las 400 ton/ día si se trabaja con un filtro modelo PF 25 (características y dimensiones se encuentran en la tabla 2, página 21).
- c) Reduce costos pues elimina o disminuye el secado térmico.
- d) La operación automática de estos filtros permite ahorrar mano de obra gracias a que elimina la supervisión continua.

6 Ver definición en ítem 2.3.1 letra m)

2.3.1 Descripción de las piezas del filtro prensa placa horizontal.

El filtro Larox se descompone tal como muestra la figura 5:

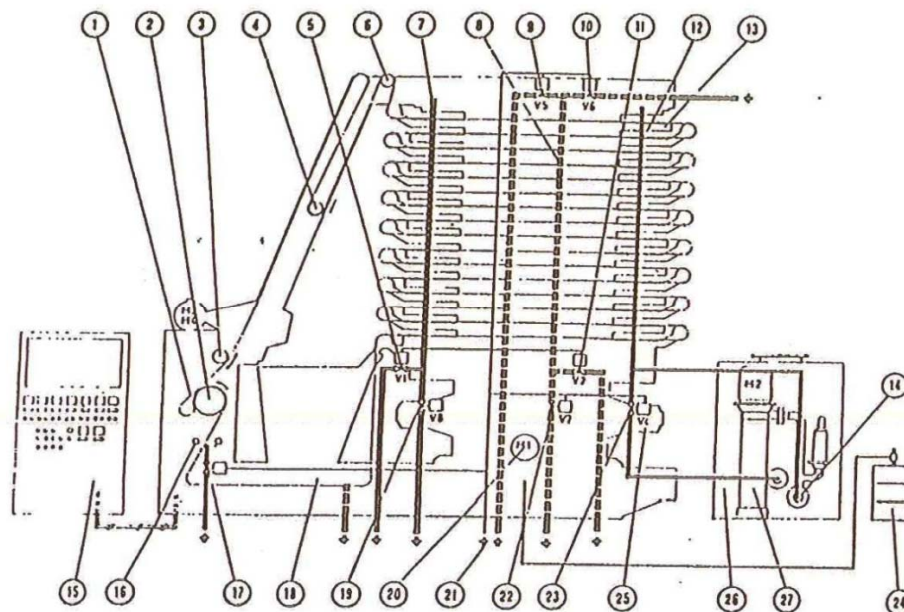


Figura 5: Descomposición del filtro Larox

1	Tela Filtrante
2	Rodillo motriz de tela
3	Rodillo centrador e impulsor de la tela
4	Rodillo tensor de tela
5	Válvula de Filtrado
6	Rodillo tracción de tela
7	Colector de descarga
8	Manifold de distribución lado alimentación
9	Válvula de Lavado
10	Válvula de aire
11	Válvula de pulpa
12	Manifold de distribución Agua a presión
13	Paquete de Placas de filtración
14	Válvula checkpara agua a presión
15	Panel de control

16	Aspersores de agua lavado telas
17	Válvula de agua para lavado de telas
18	Tanque de agua de Lavado
19	Válvula lavado Filtro
20	Motor para cierre de paquete de placas
21	Válvula para control de aire
22	Válvula de manifold de drenaje
23	Válvula de descarga de presión de agua
24	Central Luricación de sistema de cierre de placas
25	Mecanismo de cierre de placas
26	Tanque agua a presión
27	Bomba de agua a presión

a) Tela filtrante

Actúa como elemento de filtración y como correa transportadora para extraer la torta del filtro. Esta debe ser resistente a fuertes tracciones. La tela se une por sus extremos en zig-zag con uniones tipo clipper, tal como se muestra en la figura 6.

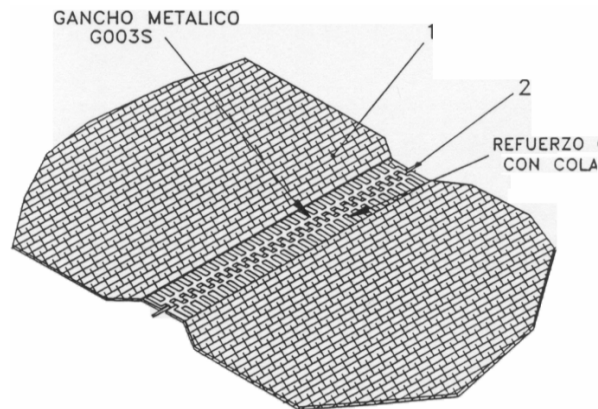


Figura 6: Tela filtrante

La tela cumple un rol fundamental en el proceso de filtración, por lo tanto ésta debe cumplir necesariamente con las siguientes características:

- i. Bajo riesgo de colmatación.
- ii. Resistencia al uso.
- iii. Estabilidad térmica

b) Rodillo motriz de la tela

Proporciona la fuerza necesaria para el movimiento de la tela.

c) Rodillo centrador de la tela.

Tiene por objetivo corregir la posición de la tela cuando ésta se descentra. Los sensores ubicados a los costados de la tela detectan la posición incorrecta permitiendo su corrección mediante el PLC del filtro.

d) Rodillo tensor de la tela.

Su finalidad es dar tensión a la tela permitiendo que la tela salga hacia el paquete de placas estirada y plana. Durante el proceso de apertura de placas y desplazamiento de la tela se verifica un cambio en la longitud de la tela, el que queda compensado por el mecanismo de tensado, accionado por un motor hidráulico conectado al rodillo mediante cadenas.

e) Rodillo de tracción de la tela.

Cumple el objetivo de tirar la tela con tal que ésta se mueva o se arrastre hacia las placas del filtro.

f) Colectores de descarga.

Cuando la posición es "paquete de placas cerrado", los colectores de filtrado forman canales a través de los cuales se descarga el filtrado. Es imprescindible que los colectores estén alineados de modo de evitar fugas en la línea. Las pérdidas de alineamiento son causadas por el desgaste de las piezas de deslizamiento y/o movimiento de la cámara de filtrado.

g) Manifold de distribución de alimentación.

Permite la entrada de la pulpa a las placas del filtro.

h) Válvula de pulpa

Esta es una válvula Pinch que se activa una vez que la bomba de alimentación descarga la pulpa al filtro. Su funcionamiento es automático, por lo tanto tiene un sensor que detecta cualquier falla que la válvula presente.

i) Válvula de lavado

Se activa una vez que ha finalizado la etapa alimentación con la finalidad de limpiar tanto las mangueras y el manifold de los posibles residuos de pulpa que queden al interior de las piezas provocando el desgaste de éstas.

j) Válvula de aire

Se activa una vez que termina la etapa de prensado, permitiendo el ingreso de aire al filtro. Su funcionamiento es automático por lo tanto presenta un sensor que detectan las fallas que se puedan generar.

k) Manifold de distribución de agua de proceso.

Este permite el ingreso de agua al filtro Larox en la etapa de prensado.

l) Mecanismo de cierre

El cierre del paquete de placas se realiza de la siguiente manera:

- i. El paquete de placas es fijado en la posición cerrada mediante los pasadores de fijación. Estos últimos fijan la placa de presión superior a las columnas, las que han sido unidas a la placa de presión inferior. De este modo se han formado las cámaras de filtración quedando el paquete de placas filtrantes encerrado por las placas de presión y las columnas.

Por otra parte, la apertura del paquete de placas se realiza en tres etapas:

- i. La placa de presión superior es llevada hacia abajo para aliviar la tensión de los pasadores de fijación.
- ii. Los pasadores de fijación son liberados siendo llevados al interior de la placa de presión superior.
- iii. La placa de presión superior es llevada a la posición superior por medio de los cilindros de acción rápida.

m) Paquete de placas

El paquete de placas consiste en placas dispuestas horizontalmente, las cuales están conectadas entre sí mediante placas de suspensión. Cuando las placas están comprimidas unas con otras, forman las cámaras.

Es de gran importancia asegurarse que todas las entradas de alimentación estén abiertas en todo momento para asegurar que todas las placas están bajo la misma presión durante todas las etapas de operación. En caso contrario, las placas se doblan provocando fugas y agujeros en la tela

La figura 7 muestra la disposición de las placas estando abiertas o cerradas. Mientras que la figura 8 muestra como se conforma, en su interior, una placa del filtro Larox

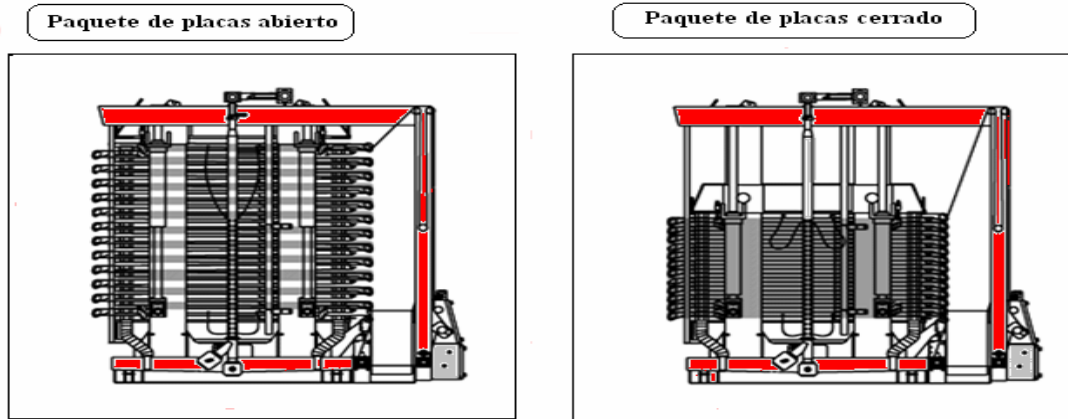


Figura 7: Paquete de placas

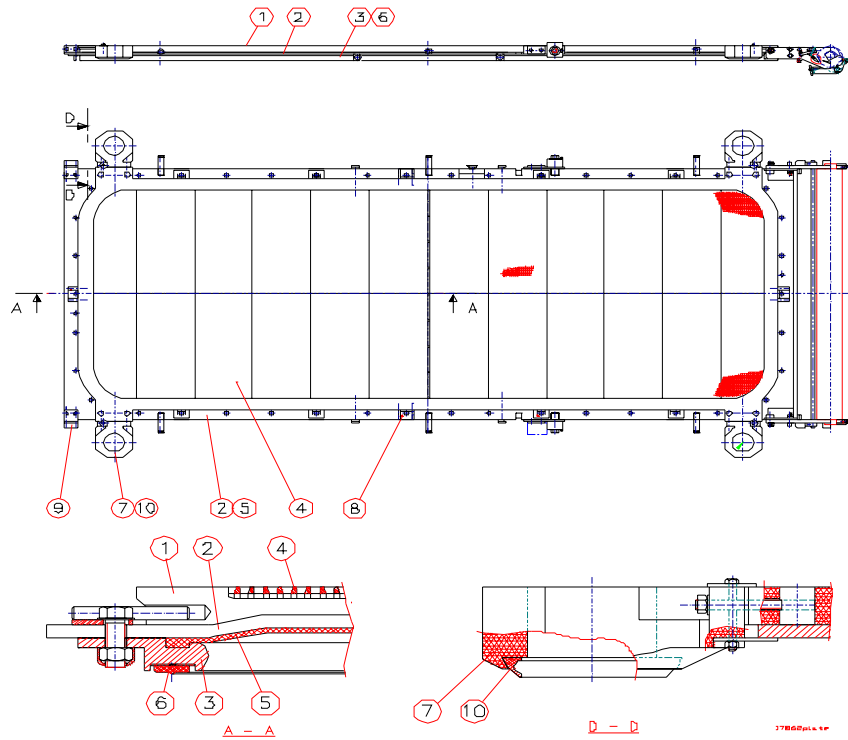


Figura 8: Placa filtrante

1	Cámara de filtrado	6	Sellos de Placa
2	Placa base	7	Colector de Filtrado
3	Marco	8-9	Pieza de deslizamiento
4	Rejilla	10	Sello de colector
5	Diafragma		

i. **Placa filtrante.**

La placa filtrante posee una cavidad donde se alojan las rejillas y consta de canalizaciones de salida de agua a través de los colectores, en las etapas de filtrado, prensado y soplado. Si llegara a pasar pulpa hacia las canalizaciones, éstas pueden taparse impidiendo la evacuación de los líquidos filtrados, debido a la rotura de telas.

La placa filtrante debe estar sometida a presiones similares en ambos lados durante todas las etapas de funcionamiento, de modo de evitar su deformación, lo que generaría filtraciones en el paquete de placas. Por ello se debe chequear que todos los canales de alimentación estén abiertos en todo el ciclo de filtrado.

ii. **Rejillas.**

Las rejillas se ubican en la parte superior de la placa filtrante constituyendo un soporte para la tela y, a su vez, sirven como canales de evacuación del líquido filtrado.

iii. **Placa Base**

Corresponde a la estructura metálica que confiere rigidez a la placa. Por la parte superior se ubica la placa filtrante con sus rejillas y por la parte inferior se ubica el diafragma y marco de la placa. La placa base en conjunto con el diafragma forman la cámara de prensado.

iv. **Diafragma**

El diafragma constituye el elemento de la placa que permite comprimir la pulpa contra la tela filtrante, con el propósito de eliminar el agua contenida.

Generalmente, los diafragmas se van deteriorando en los sectores que se ubican frente a las toberas de alimentación debido al impacto que genera la pulpa al entrar en las cámaras de filtrado.

v. **Marco de la placa**

El marco funciona como elemento de fijación para los diafragmas. Consta de dos toberas de alimentación de pulpa, ubicado en un costado de la placa.

vi. **Sello de placa**

El sello tiene como finalidad impedir que la pulpa que entra a las cámaras se escape por el contorno de éstas.

2.3.2 **Etapas del proceso de filtración en filtro a presión.**

Las principales etapas del proceso de filtración a presión son:

a) **Alimentación de pulpa**

La pulpa del proceso se bombea simultáneamente a todas las placas y continúa entrando a medida que empiezan a formar los sólidos. Al acumularse sólidos, la presión de bombeo se incrementa hasta 6 bar y obliga al material a pasar a través de la tela de filtrado, tal como muestra la figura 9:



Figura 9: Etapa de alimentación

b) Prensado hidráulico.

El agua a alta presión (16 bar) infla automáticamente el diafragma ubicado en la parte superior de cada placa y presiona los sólidos para extraer el líquido filtrado. La presión del diafragma produce sólidos de filtrado de grosor homogéneo y uniforme, tal como lo muestra la figura 10:



Figura 10: Etapa de prensado.

c) Lavado de sólidos

El líquido de lavado se distribuye uniformemente debido a que los sólidos son homogéneos y las placas de filtrado están instaladas horizontalmente. El líquido de lavado fluye entre los sólidos, desplazando el agua con un porcentaje mínimo de pulpa (cercano al 5% de sólido), tal como lo representa la figura 11 al presentar el líquido filtrado con un color café.

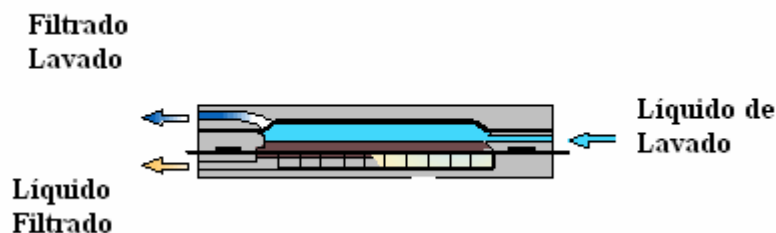


Figura 11: Etapa de lavado de la torta.

d) Secado por flujo de aire.

La figura 12 representa la etapa de secado de la torta, este se hace mediante aire comprimido para minimizar la humedad del material, el cual se puede controlar ajustando el tiempo de soplado desde el PLC. Este último dependerá de la humedad que se requiera para el producto final, el cual podría variar desde 10 a 15 segundos para humedades cercanas al 6% o desde 20 a 25 segundos para humedades cercanas al 10%

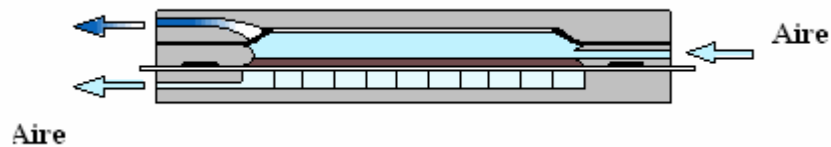


Figura 12: Etapa de secado

e) Descarga de la torta y lavado de tela

El conjunto de placas se abre permitiendo que la tela de filtrado transporte los sólidos filtrados hacia el exterior de cada placa. La unidad de lavado integrada rocía ambos lados de la tela con agua a alta presión para limpiar los orificios de la tela y garantizar un filtrado consistente, tal como muestra la figura 13:

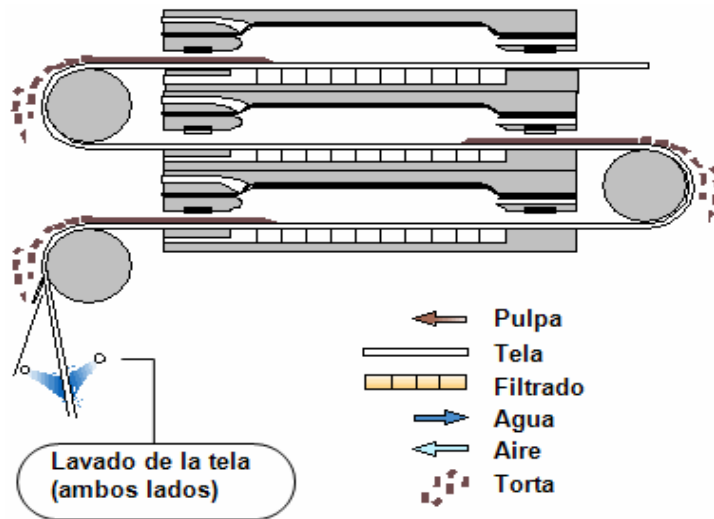


Figura 13: Etapa de descarga.

A modo de resumen, se señala que el filtro Larox PF 25, es un filtro a presión con un área filtrante de 25m², que permite obtener una capacidad nominal de 16,28 ton/hora (1,5ton/ciclo⁷) de concentrado de cobre, con una humedad final del orden de 11% (humedad requerida por el cliente).

A continuación se presenta la tabla 2, la cual entrega una descripción técnica del filtro.

Descripción	Unidad
Tipo de filtro PF	
• Área de filtración	25 m ²
• Número de placas	16
• Tamaño placas filtrantes	900x1.750 mm
• Altura de placas	45 mm
Dimensiones del filtro	
• Ancho	3.800 mm
• Largo	4.250 mm
• Alto	4.100 mm
Máxima presión	16 bar (15,78 atm)
Dimensión de la tela	
• Ancho	1,05 m
• Largo	50 m
Diámetro de poro	10 µm
Permeabilidad	2,7 m ³ /m ²

Tabla 2: Descripción técnica filtro Larox PF 25

7 Ver definición de ciclo en glosario

2.4 Descripción de la planta

Vapor Procesos S.A instala en los recintos Las Tórtolas, un filtro de prensa Larox PF 25, éste opera en forma batch o discontinua en ciclos de alrededor de 5.5 minutos que incluye etapas de: alimentación, lavado de manifold y mangueras, prensado hidráulico, soplado, descarga, lavado de telas y tiempos muertos, entregando un producto final con una humedad del 11%.

En términos generales, el proceso se inicia con la descarga de la pulpa desde el estanque de alimentación de AACH hacia el estanque de cabeza de VPSA⁸, ésta debe tener un contenido de sólidos en peso superior al 60%, de lo contrario es conveniente detener la operación informando a AACH sobre la baja en sólidos.

Es importante corroborar, antes que la pulpa ingrese al filtro, que las entradas de las placas estén abiertas para asegurarse que todas estén bajo la misma presión durante las etapas de ciclo, ya que en caso contrario las placas tienden a deformarse.

Una vez ingresada la pulpa al filtro, éste comienza a filtrar el líquido proveniente de la mezcla el cual se desecha a la piscina de AACH.

Posteriormente se inicia la etapa de lavado de manifold y mangueras, eliminando los restos de pulpa que pudiese quedar en el interior de estas piezas, siendo Anglo American el encargado de proporcionar al estanque de Vapor Procesos el agua necesaria para esta etapa.

Finalizada la limpieza del manifold y las mangueras, se inicia la etapa de prensado, éste permite retirar gran parte del agua contenida en el queque. Al igual que para la etapa anterior, Anglo American es el encargado de proporcionar agua al estanque de VPSA, este último es un estanque cerrado de 2,5 m³ de capacidad, provisto de una bomba centrífuga multietapas. El sistema de prensado opera en circuito cerrado, retornando el agua al estanque.

8 VPSA: Vapor Procesos S.A

El suministro de aire comprimido necesario para la etapa de soplado se realiza a través de un compresor existente en Anglo American S.A, éste entrega aire al estanque acumulador de Vapor Proceso S.A, de tal manera que este se active en cada etapa de soplado.

Posteriormente, el concentrado filtrado se descarga a una tolva de 20 toneladas de capacidad útil, desde la cual se abastece a los camiones de concentrado mediante el accionamiento de un alimentador de correa de 48 plg, ubicado en su descarga.

Finalmente una vez descargado el concentrado de cobre, se inicia el lavado de la tela, la cual tiene por función eliminar los restos de pulpa impregnados en el medio filtrante, evitando así que éste se sature. El agua de lavado de tela proviene del estanque de lavado y se impulsa al filtro por medio de una bomba multietapas.

La figura 14, que se presenta a continuación, representa el diagrama de flujo de esta operación.

2.4.1 Áreas de la planta de filtración

La planta de filtración se divide en las siguientes áreas de proceso: área de alimentación de pulpa, área filtración, área suministro de agua, y área suministro de aire, las cuales se pueden ver reflejadas en el ítem 2.5 de disposición de equipos.

a) Área de alimentación pulpa

El espesador de concentrado considera una descarga continua, la que es impulsada por una bomba centrífuga hacia el estanque de cabeza de Anglo American Chile.

Una vez que el estanque de cabeza de Vapor Procesos necesita pulpa, el estanque de Anglo American por medio de una bomba de pulpa (figura 14, área alimentación) impulsa la mezcla al estanque del filtro Larox (figura 15). Este tiene una capacidad de 20m^3 , suficientes para 11 ciclos por hora de filtración, y está provisto de un agitador de 30 HP. En la alimentación al estanque se ubica un cajón implementado con un carro de accionamiento manual provisto de un canastillo de malla de 5 mm de abertura, cuya finalidad es proteger al filtro de partículas sólidas ajenas a la pulpa, por ejemplo, piedras.

La pulpa contenida en el estanque de alimentación es impulsada hacia el filtro mediante una bomba centrífuga horizontal de 6x4 plg y 100 HP. La bomba está equipada con motor de velocidad variable que permite el aumento gradual de la velocidad y de la presión de operación (6 bar) durante el proceso de alimentación al filtro.

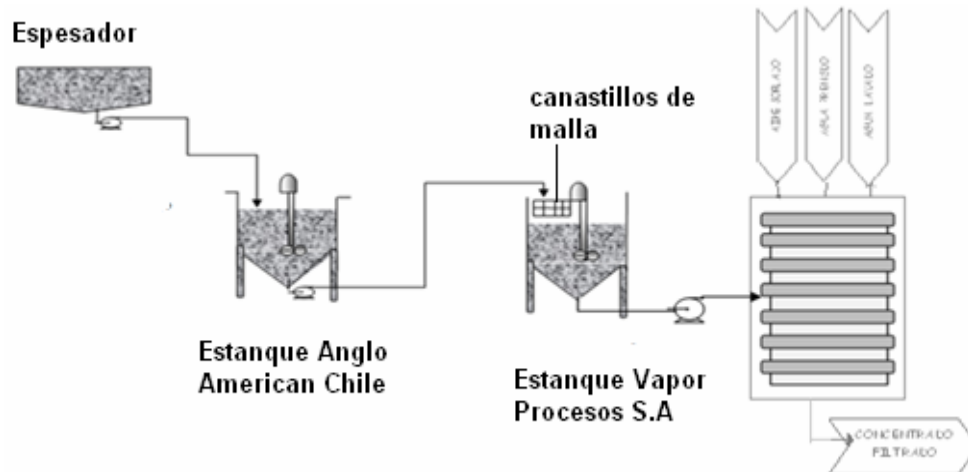


Figura 15: Alimentación pulpa al filtro Larox

b) Área de filtración

El filtro prensa es totalmente automático y está equipado con un PLC. Cada una de las etapas del filtro se repite en forma sincronizada en la siguiente secuencia:

i. Alimentación

El filtro parte el ciclo con sus cámaras herméticamente cerradas. La bomba comienza a operar impulsando 2,4 ton/ciclo de pulpa hacia el filtro durante 35 segundos, (dependiendo del porcentaje de sólido, si éste aumenta, el tiempo de inyección disminuye. capítulo 3) la que ingresa por el manifold y los tubos de distribución, llenando las cámaras, mientras el líquido filtrado comienza a escurrir. Al término del ciclo de alimentación, la bomba debe ser capaz de generar una presión de 6 bar en el manifold de alimentación, para permitir la formación del queque. El líquido filtrado se dirige a las piscinas de Anglo American Chile. (figura 14, área de filtración)

ii. Lavado manifold y mangueras

Un flujo de agua de aproximadamente 6,1l/s, trabaja a alta presión (7,5 bar) realizando un retrolavado del manifold y las mangueras de alimentación de pulpa al filtro durante 3 segundos por ciclo. La entrada del agua se realiza con la válvula de drenaje del manifold abierta, operación que se extiende por alrededor de un 1,5 segundo. Inmediatamente después se cierra el drenaje del manifold (figura 13, área suministro agua lavado) y el agua que sigue ingresando al sistema por el siguiente 1,5 segundo se distribuye por las mangueras de alimentación barriendo la pulpa remanente y saliendo del equipo junto con el líquido filtrado hacia las piscinas de AACH.

iii. Prensado hidráulico

Un flujo de agua de 19,4l/s. trabaja a alta presión (7,5 bar), éste se inyecta por medio de los tubos de distribución a los diafragmas de caucho natural ubicados sobre la torta filtrada, alcanzando una presión de 16 bar, que prensa y estruja la torta en cada placa durante 15 a 25 segundos dependiendo de la concentración del sólido.

Finalizado este tiempo se drena el manifold, para luego abrir la válvula de retorno del agua de prensado al estanque, cerrando del circuito de prensado hidráulico.

iv. **Soplado**

Un volumen de aire de $22\text{Nm}^3/\text{min}$ se inyecta sobre el queque filtrado durante 30 a 35 segundos dependiendo de la concentración de sólido, a través de los tubos de distribución, a una presión entre 5 y 7,5 bar, arrastrando parte del líquido remanente en la torta hasta alcanzar una humedad final del 11%.

v. **Descarga**

Cuando se ha completado el secado por aire, el paquete de placas se abre y se pone en marcha el mecanismo de movimiento de la tela, lo que permite que la torta sobre la tela del filtro descargue por ambos lados del equipo directamente sobre dos chutes laterales (figura 16). Desde los chutes, el concentrado es extraído por un alimentador de correa, el que descarga sobre los camiones de concentrado.

vi. **Lavado de Telas**

Para mantener las propiedades filtrantes de la tela, después de la etapa de descarga, ésta se lava a alta presión (14 bar), mediante un sistema de rociadores ubicados en el nivel de cada cámara durante 3 segundos.

vii. Tiempos muertos

Se considera en esta etapa el cierre del sistema hidráulico del filtro y tiempos de espera al pasar de una etapa a otra.

La figura 16 presenta las etapas de filtración que realiza el filtro Larox PF 25.

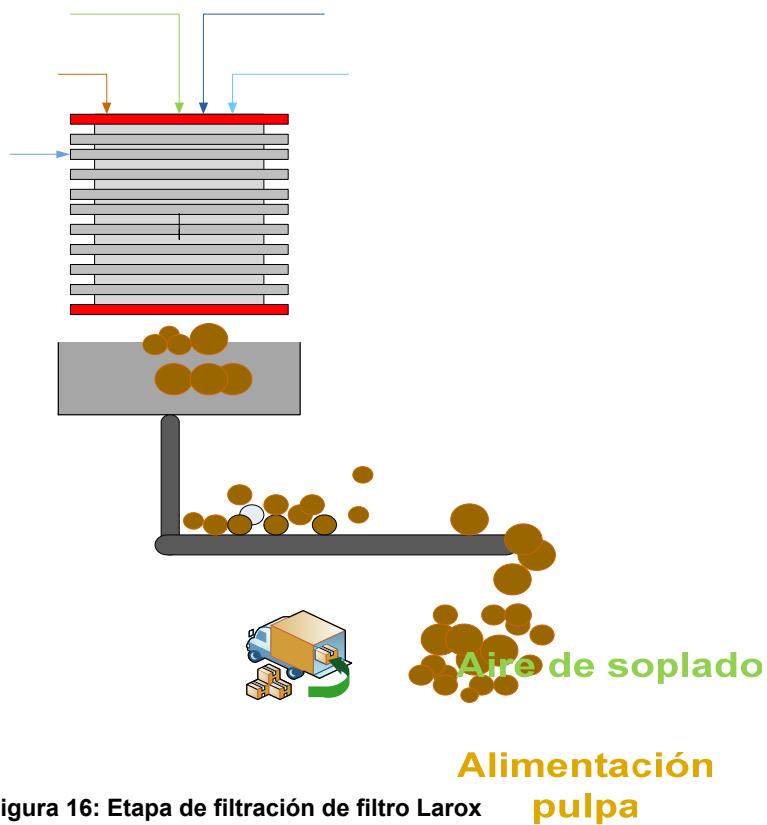


Figura 16: Etapa de filtración de filtro Larox

Lavado de
tela

d) Área suministro de aire.

Para efectuar la etapa de soplado de la torta en el filtro, la planta considera operar con el compresor de aire existente en la planta de Anglo American Chile, que hoy suministra el aire instrumental e industrial para la planta de filtración, éste opera en serie, tal como muestra la figura 18, con un estanque acumulador de aire de soplado de 15 m³ de capacidad, operando a una presión de diseño de 5 a 7,5 bar.

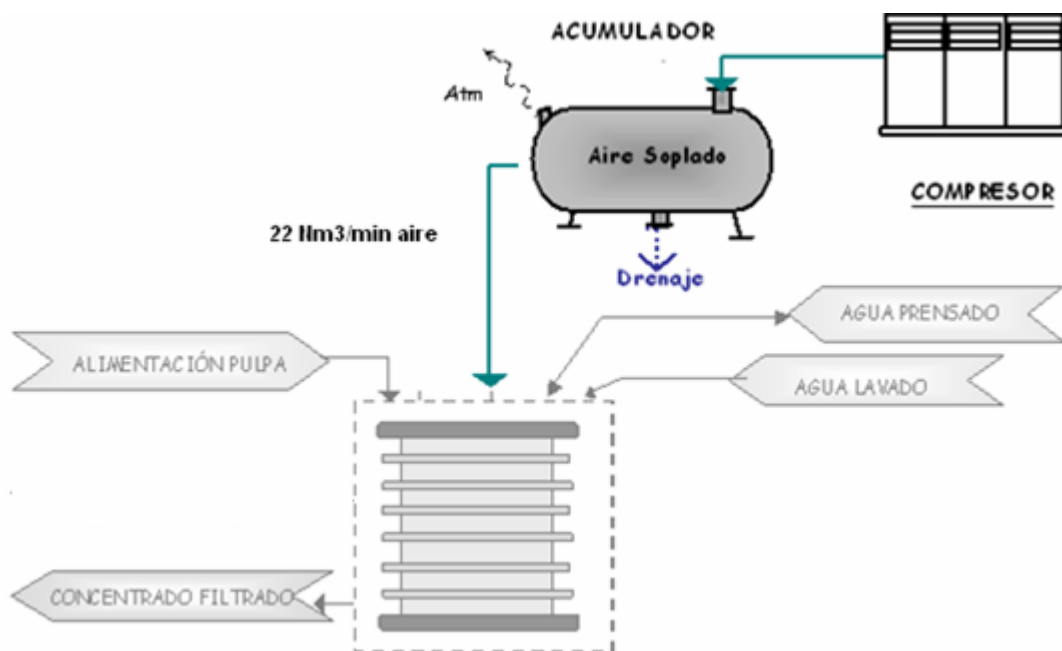


Figura 18: Suministro de aire

2.5 Disposición de equipos en planta de filtración.

Este ítem presenta la disposición de los equipos en la planta de filtración, de tal manera que el lector visualice la distribución de cada área del proceso y los equipos que lo componen. Para ello se presenta el filtro en vista frontal (figura 19) y lateral (figura 20).

a) Vista frontal del filtro ⁹

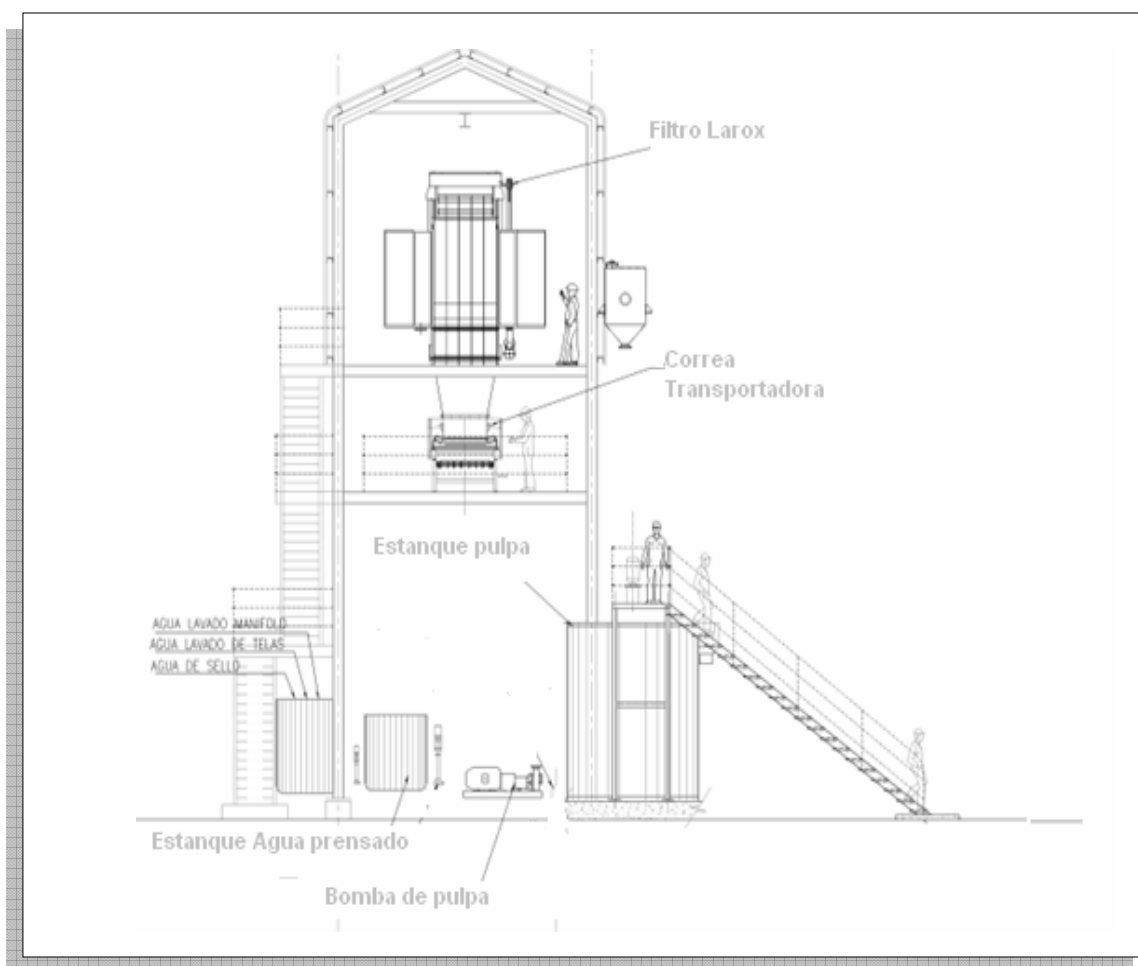
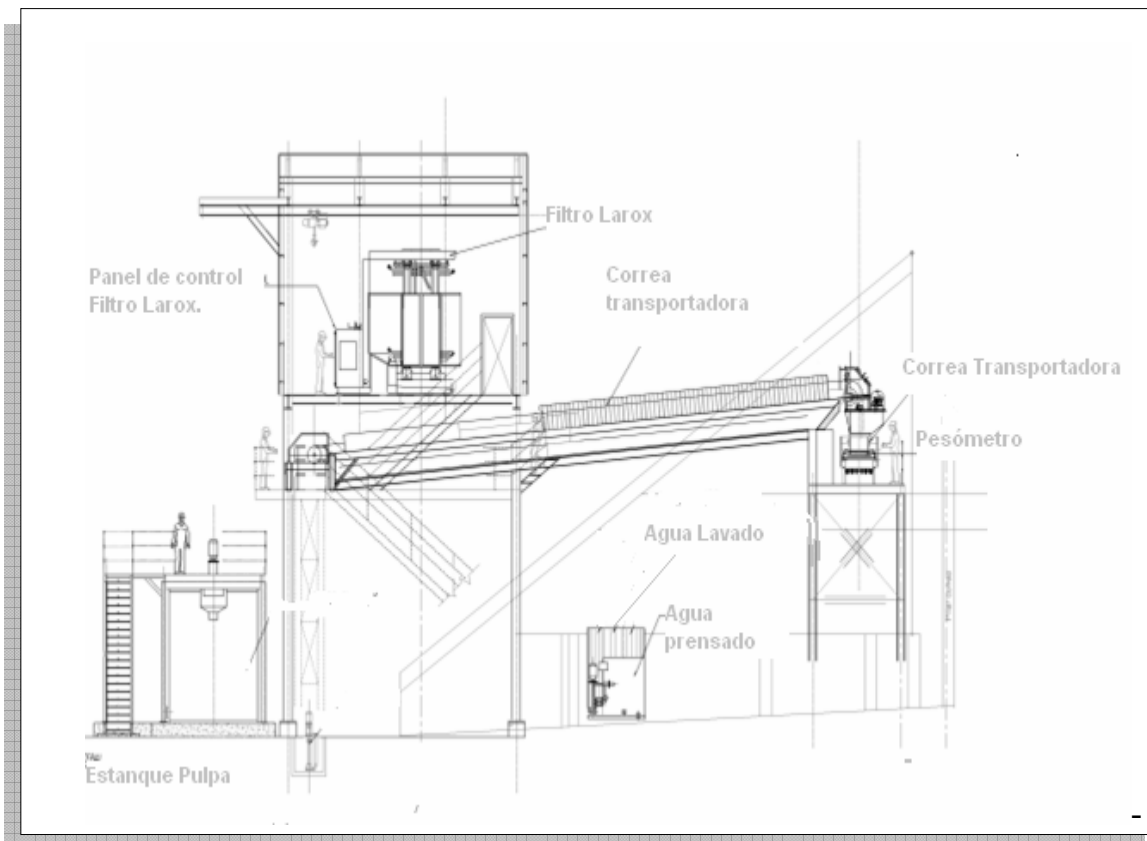


Figura 19: Vista frontal filtro Larox, planta Las Tórtolas Anglo American Chile.

9 Agradecimientos Proyectista Vapor Procesos S.A.

b) Vista lateral filtro Larox**Figura 20: Vista lateral filtro Larox, planta Las Tórtolas Anglo American Chile**

2.6 Parámetros de operación del filtro Larox.

A continuación se presentan los principales criterios de diseño de la planta de filtración que utiliza el filtro Larox PF 25.

a) Base de datos

Bajo los parámetros que se presentan en la tabla 3, se realizan las pruebas de filtración, determinando los tiempos operacionales (capítulo 3).

Indicador	Unidad	Parámetros operacionales
Capacidad concentrado seco	ton/día	350
Programa operación	día/año ; h/día	365; 22
Humedad final concentrado solicitada por el cliente	%	11
Tasa de filtración filtro prensa	ton/m ² /h	0,65
Área filtrante	m ²	25

Tabla 3: Base de datos del filtro Larox

b) Flujos por etapa de operación

La tabla 4 presenta los flujos de operación de cada etapa del proceso de filtración.

Etapas operacionales	Unidad	Flujo de operación
Agua lavado de manifold y mangueras	l/s	6,1
Agua lavado de telas	l/s	6,1
Aire de soplado	Nm ³ /min	22
Agua de prensado	l/s	19,4

Tabla 4: Flujos de operación

CAPÍTULO 3: PRUEBAS DE FILTRADO

Este capítulo tiene como objetivo determinar cómo afectan las distintas variables de la pulpa, expuestas en la tabla 1, en el proceso de filtración y de qué manera podría influir en la durabilidad de las piezas. En base a ello se establecerá la tasa de filtración y los tiempos operacionales del filtro Larox,

Se realiza un análisis de las características del concentrado de cobre producido y de la pulpa que ingresa al filtro, de tal manera de asumir el efecto que estos tienen en las piezas con las que están en contacto directo, sobre todo cómo se ve afectada la tela filtrante, pues a partir de ella se obtiene la tasa de filtración, la cual debe mantenerse constante en el tiempo para mantener fija la producción.

La importancia de las variables presentadas en la tabla 1 radica en el comportamiento de la tasa de filtración, ya que ésta última depende de las características que posee la pulpa que se vaya a filtrar, ya sea por su densidad, contenido insoluble, viscosidad, granulometría etc.

3.1 Caracterización de la pulpa

3.1.1 Muestreo de concentrado de cobre.

Este ítem presenta las características del concentrado de cobre que resulta del proceso de filtración. Para ello se medirán las variables más influyentes del proceso:

- a) Gravedad específica del concentrado.
- b) Granulometría del concentrado.
- c) Humedad del concentrado.

Las dos primeras variables están directamente relacionadas con el volumen del queque, por lo tanto si estas variables se mantienen fijas en el tiempo, la producción de concentrado y el volumen de éste también debiesen ser constantes.

Es importante que se identifique el tamaño del sólido, pues éste está relacionado con el tamaño del poro de la tela, es decir, la granulometría del concentrado debe presentar un valor superior al diámetro que presenta el poro de tela, de tal manera que ésta última retenga los sólidos presentes en la pulpa.

3.1.2 Muestreo de pulpa de alimentación

Este ítem identifica las características de la pulpa tratada en el filtro Larox. En éste se miden las diferentes variables que pueden afectar al proceso de filtración y a su vez a la producción de concentrado. Entre ellas tenemos:

- e) Concentración de sólidos
- f) Densidad de la pulpa.
- g) Viscosidad.
- h) Componentes de la pulpa.

3.1.3 Análisis de datos para cada variable

a) Gravedad específica del concentrado de cobre

La medición de la gravedad específica o densidad relativa del sólido se realiza por medio del método del picnómetro, el cual se basa en la comparación volumétrica del concentrado con el volumen de agua.

Esta medición fue realizada por personal de Anglo American Chile, quienes proporcionaron la información necesaria para complementar la caracterización de la pulpa (anexo A, ítem a, página 127). Este muestreo se realiza tres veces en forma simultánea, con el objetivo de minimizar el error entre una prueba y otra. Además es una prueba que se realiza sólo una vez cada seis meses, pues su valor no suele variar en el tiempo.

El personal encargado reemplaza los valores obtenidos en la ecc. A-1 (anexo A, página 128)

$$Gs = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_2 - m_1)} \quad \text{ecc (A - 1)}$$

y obtiene el siguiente valor de densidad de sólido o gravedad específica:

Gravedad específica	4,3 kg/l
----------------------------	----------

b) **Granulometría del concentrado**

La granulometría del concentrado se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

Esta experiencia es desarrollada por personal de Anglo American Chile, en los laboratorios disponibles en el recinto, estos mismos entregaron los valores necesarios para poder desarrollar el análisis granulométrico necesario para el modelo matemático expuesto en el capítulo 4.

La prueba de granulometría (anexo A, ítem b, página 128) se desarrolla sólo una vez para cada cierre de mes, pero todos los días del mes se toman muestras de aproximadamente 30g. de concentrado de cobre producido por el filtro Larox y son llevados a compositos¹⁰ para guardar el producto. La finalidad de este procedimiento es que Anglo American Chile, como cliente de Vapor Procesos S.A, certifique que si existe alguna deficiencia en la producción, ésta no se debe a los recursos que ellos, como minera, proporcionan.

Para efectos del análisis granulométrico se consideran cuatro muestras de concentrado de cobre, las cuales corresponden a los datos arrojados al finalizar los meses de enero, febrero, marzo y abril del año 2009. La finalidad es confirmar que el tamaño del sólido no varía considerablemente de un mes a otro, y a su vez, precisar en el tamaño de la partícula para un 80% en peso pasante del mineral.

Esta variable es una de las más importantes para mejorar la producción del concentrado de cobre, pues si las partículas llegasen a ser demasiado pequeñas pueden generar que la tela se colmate rápidamente, pues como se menciona en el capítulo 1 la tela posee poros de 10µm lo que podría generar la obstrucción del paso del líquido filtrante, además de no alcanzar el total estimado de 1,5 ton/ciclo de concentrado.

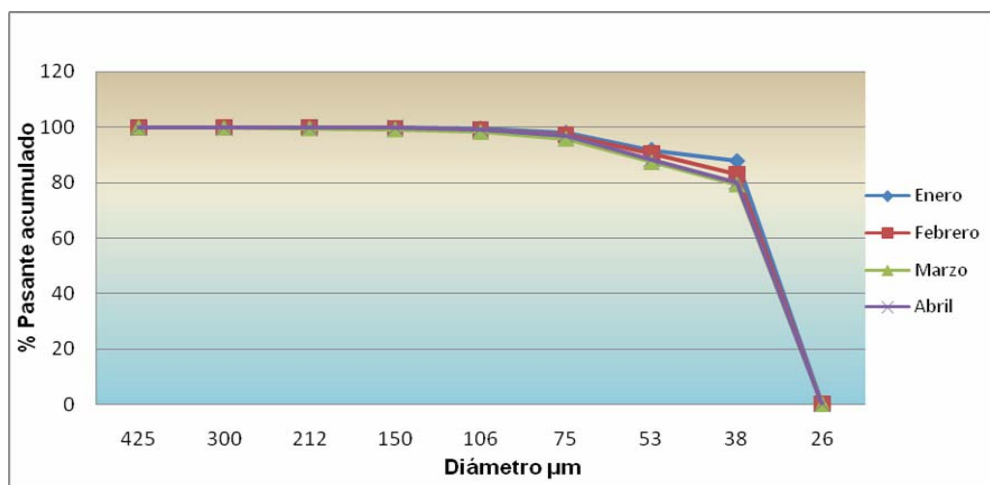
De esta manera se determina el porcentaje de acumulado pasante en cada malla para su respectiva muestra, tal como muestra la tabla 5.

10 Ver definición en glosario.

Malla	Micrones	Enero	Febrero	Marzo	Abril
		acumulado pasante	acumulado pasante	acumulado pasante	acumulado pasante
38	425	100	100	100	100
48	300	99,98	99,91	99,83	100
65	212	99,98	99,86	99,70	99,98
100	150	99,92	99,70	99,30	99,90
150	106	99,64	99,17	98,40	99,42
200	75	98,09	97,38	95,96	97,16
270	53	91,02	90,48	87,49	88,46
400	38	87,88	83,01	79,39	80,32
-400	26	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5: Porcentaje pasante del sólido

La gráfica 1 muestra la relación existente entre el porcentaje pasante acumulado versus el tamaño de la partícula: De ésta se puede observar que el tamaño en micras con respecto al 80% en peso pasante del producto final, para cada muestra (P80), es inferior a los 38 μ m excepto en la muestra del mes de marzo que el d80 se encuentra a los 39 μ m.



Gráfica 1: Porcentaje pasante acumulado

Además se puede observar que la granulometría en los diferentes meses no varía considerablemente por lo que se puede concluir que la granulometría del concentrado es de 80% - # 400 Ty, siendo el tamaño de la partícula de $38\mu\text{m}$, lo que resulta óptimo para efectos de filtración, pues el filtro Larox cuenta con una tela filtrante con un diámetro de poro de inferior al obtenido, por lo que se deduce que una gran cantidad de partículas sólidas debiese quedar retenida en el medio filtrante. No obstante, puede que un pequeño porcentaje de partículas más finas filtre junto con el agua.

c) **Humedad del concentrado**

La humedad del concentrado es una de las variables más importantes en el presente documento, pues se requiere que sea del orden de 11%, por ello es fundamental la determinación de los tiempos en la etapa de prensado y soplado, los cuales serán descritos en el ítem 3.2.2.

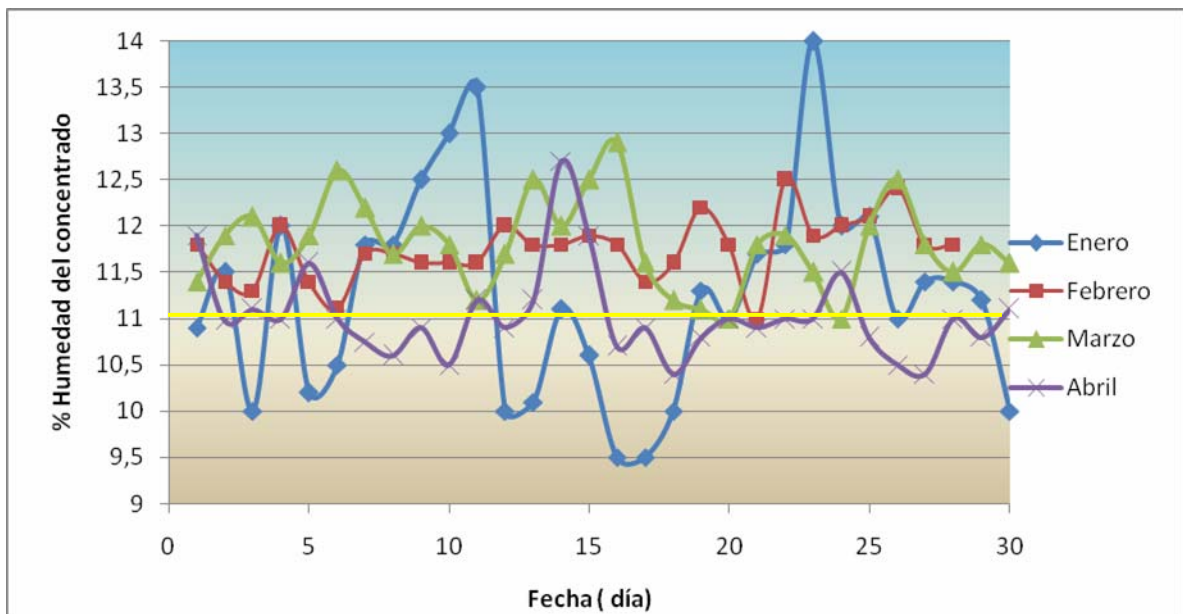
El registro de la humedad alcanzada por el filtro Larox, es una tarea que le corresponde al laboratorio de Anglo American Chile, ellos son quienes informan al personal de VPSA sobre la humedad final del concentrado. Para ello el personal de VPSA toma, cada una hora, una muestra de 10g. de concentrado de cobre y la lleva al laboratorio de AACH. Una vez que se hayan realizado las pruebas de secado del concentrado el laboratorio informa sobre los resultados arrojados a la planta de filtración de VPSA.

A continuación se presenta en la tabla 6 el registro de la humedad entregada por el personal de AACH en los meses: enero, febrero, marzo y abril del 2009. En ésta se presenta el promedio de humedad que se obtiene diariamente.

Día	Enero %	Febrero %	Marzo %	Abril %
1	10,9	11,8	11,4	11,9
2	11,5	11,4	11,9	11
3	10	11,3	12,1	11,1
4	12	12	11,6	11
5	10,2	11,4	11,9	11,6
6	10,5	11,1	12,6	11
7	11,8	11,7	12,2	10,8
8	11,8	11,7	11,7	10,6
9	12,5	11,6	12	10,9
10	13	11,6	11,8	10,5
11	13,5	11,6	11,2	11,2
12	10	12	11,7	10,9
13	10,1	11,8	12,5	11,2
14	11,1	11,8	12	12,7
15	10,6	11,9	12,3	11,9
16	9,5	11,8	12,9	10,7
17	9,5	11,4	11,6	10,9
18	10	11,6	11,2	11
19	11,3	12,2	11,1	10,4
20	11	11,8	11	11
21	11,7	11	11,8	10,9
22	11,8	12,5	11,9	11
23	14	11,9	11,5	11
24	12	12	11	11,5
25	12,1	12,1	12	10,8
26	11	12,4	12,5	10,5
27	11,4	11,8	11,8	10,4
28	11,4	11,8	11,5	11
29	11,2	12	11,8	10,8
30	10.	12,5	11,6	11,1

Tabla 6: Humedad de concentrad de cobre diario

La gráfica 2 muestra el comportamiento de la humedad del concentrado durante los cuatro primeros meses del año 2009.



Gráfica 2: Humedad concentrado de cobre.

La gráfica 2 refleja que durante los meses de enero, febrero y marzo se presentaron las mayores desviaciones en el porcentaje de humedad, estos presentan valores superiores al 11%. Sin embargo, durante el mes de abril se muestran valores mucho más cercanos al porcentaje requerido por AACH. Si bien durante este último mes no se visualiza un porcentaje de humedad regular, éste presenta un concentrado con una humedad óptima para la venta. Más adelante, en el ítem 3.2.2 se determinan los tiempos operacionales que el filtro PF 25 debe utilizar para obtener un concentrado con humedad final del 11% y que éste sea regular en el tiempo.

d) Concentración de sólido y densidad de pulpa de alimentación

El objetivo de este ítem es identificar tanto el porcentaje de sólido en peso como la densidad de la pulpa con la que está trabajando el filtro Larox, permitiendo estimar una posible producción de concentrado.

Si bien se puede determinar la densidad de la pulpa gracias a la lectura de la balanza Marcy (anexo A figura 27, página 129), también se puede determinar de manera gráfica (anexo A,

figura 28, página 130), pero para ello es necesario conocer la densidad relativa del sólido y el porcentaje en peso del sólido.

Por ejemplo, en este caso, se sabe que la gravedad específica es de 4,3kg/l con un porcentaje de sólido que varía entre un 60% - 70% en peso, dando una lectura en la densidad de pulpa entre 1,9ton/m³ y 2,1ton/m³.

Si se quiere estimar la producción en base a la concentración de sólido en peso de la pulpa proporcionada por AACH, se tomarán registros de la producción a los distintos porcentaje de sólido, para ello se consideran los siguientes aspectos:

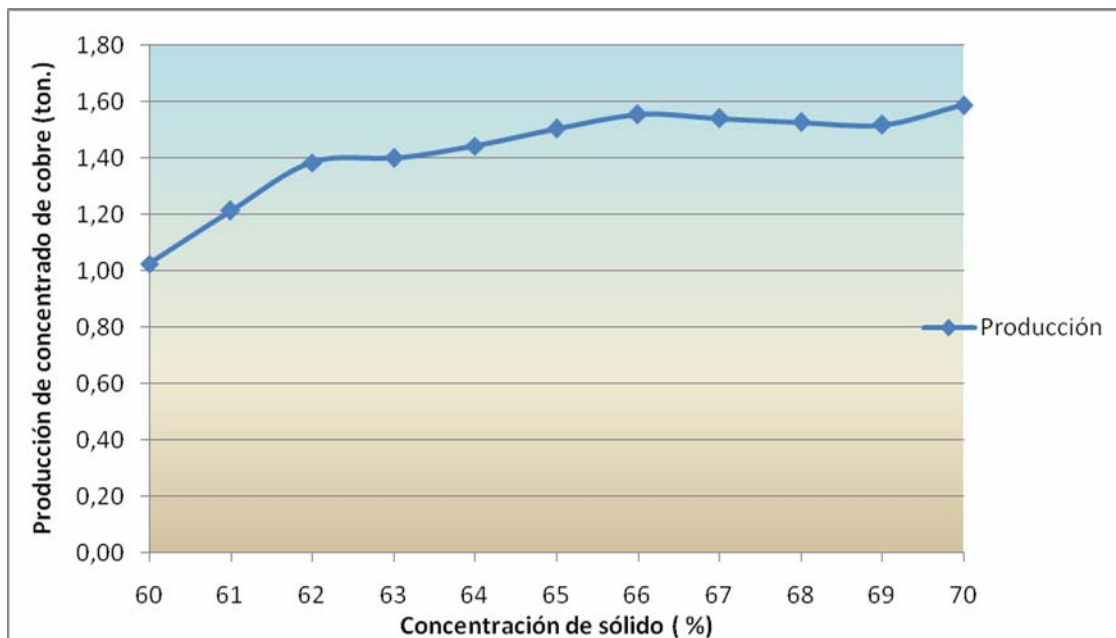
- i. Tiempo de inyección de pulpa: 40s. para los distintos porcentajes de sólido.
- ii. Se tomará tres veces el registro del mismo porcentaje de sólido, de tal manera de estimar un promedio de lo que se debiese producir de concentrado de cobre.
- iii. Se supone que la pulpa que está ingresando al estanque de VPSA cumple con las siguientes características: gravedad específica 4,3kg/l y diámetro del sólido 38µm.
- iv. Se realizarán las pruebas cada vez que se cambie la tela filtrante.

La tabla 7 muestra los registros de producción de concentrado de cobre para cada porcentaje de sólido con tiempo de inyección 40s. Cabe destacar, que este tiempo es sólo un tiempo de referencia para visualizar el comportamiento de la producción para las distintas concentraciones.

Concentración de sólido %	Producción 1 ton.	Producción 2 ton.	Producción 3 ton.	Producción promedio
60	1,03	1	1,04	1,02
61	1,19	1,21	1,24	1,21
62	1,36	1,4	1,39	1,38
63	1,38	1,4	1,42	1,40
64	1,44	1,45	1,44	1,44
65	1,49	1,51	1,51	1,50
66	1,55	1,56	1,55	1,55
67	1,55	1,54	1,53	1,54
68	1,53	1,5	1,55	1,53
69	1,48	1,55	1,52	1,52
70	1,58	1,58	1,6	1,59

Tabla 7: Registro de producción para las distintas concentraciones de sólido

En la gráfica 3, se observa el comportamiento de la producción en función de la concentración del sólido de la pulpa.



Gráfica 3: Comportamiento de la producción a diferentes concentraciones.

En la gráfica 3 se observa que la producción de concentrado presenta una tendencia al aumento hasta el 65% de sólido. Al aumentar este porcentaje se visualiza una leve disminución que se puede deber al alto contenido de sólido en la pulpa. Este análisis se verá con mayor detalle en el capítulo 4.

e) **Viscosidad.**

El objetivo de esta prueba es determinar la viscosidad de la pulpa que alimenta al filtro y la viscosidad del fluido filtrado para el modelo matemático presentado en el capítulo 4.

i. **Viscosidad de pulpa**

Para la medición de esta variable se ocupa un viscosímetro rotacional marca Fungilab, el cual es ideal para una lectura rápida y precisa de la viscosidad.

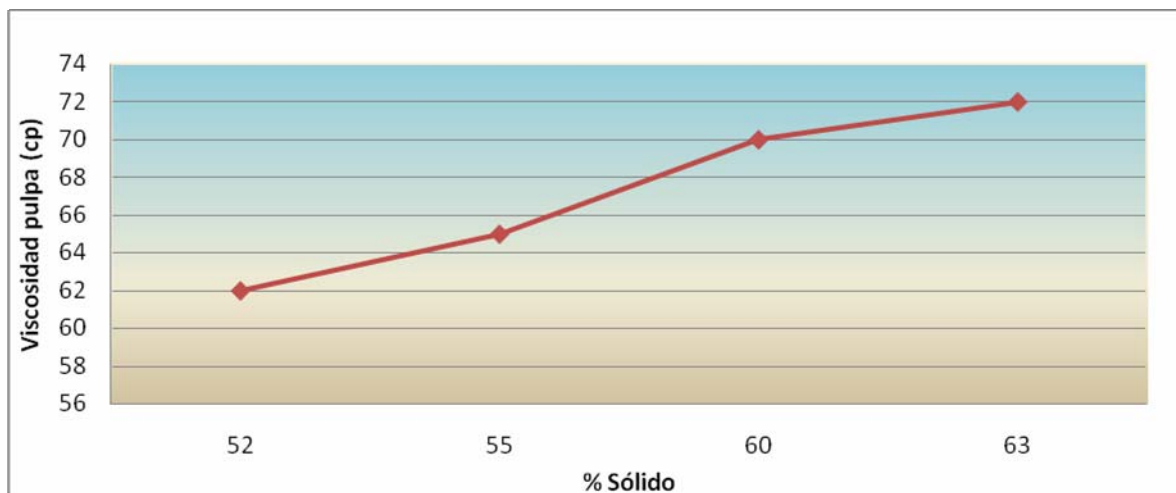
Para elaborar esta medición se realizan cinco pruebas con sólidos en peso de: 60%, 62%, 65%, 70%, 72%, siguiendo el procedimiento descrito en el anexo A, página 131, ítem d.

Las pruebas realizadas en el viscosímetro se realizan a temperatura ambiente y arrojaron los datos presentados en la tabla 8

Concentración de sólido %	Viscosidad de pulpa cp
60	50
62	52
65	55
70	60
72	63

Tabla 8: Viscosidad de pulpa

De la gráfica 4 se puede señalar que a mayor porcentaje de sólido mayor es la viscosidad de la pulpa, lo que implica que a sólidos más altos, la velocidad de filtración se hace mucho más lenta, lo que conlleva a que el tiempo inyección de la pulpa al filtro también deba ser menor.



Gráfica 4: Viscosidad de pulpa

ii. Viscosidad líquido filtrado

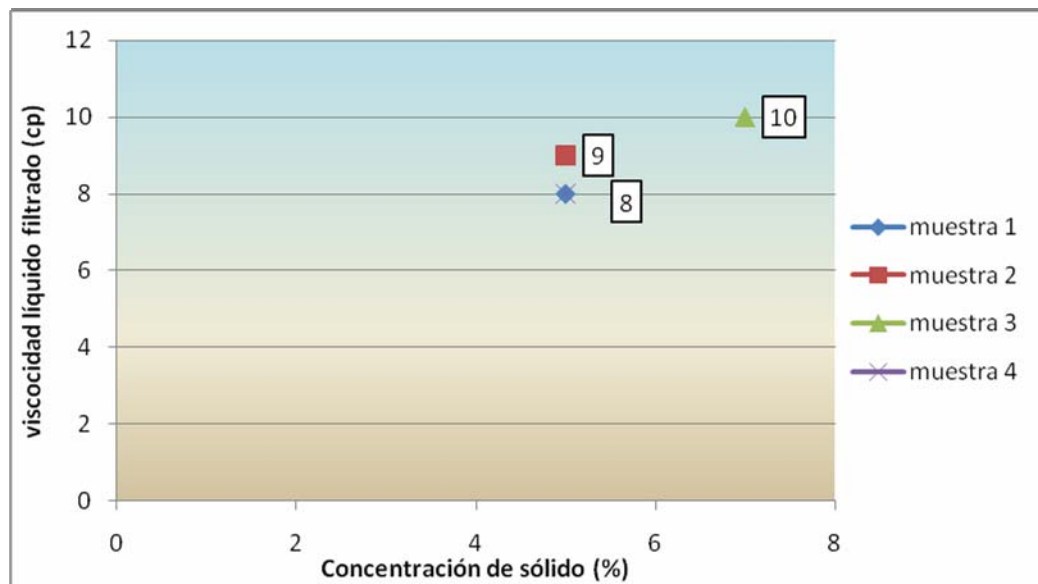
Para determinar el valor de la viscosidad del líquido filtrado se ocupa el mismo viscosímetro rotacional que fue usado para la pulpa, utilizando el procedimiento descrito en el anexo A página 131, ítem d.

Se toman cuatro muestras de líquido filtrado de tal manera de obtener un promedio de éstas el cual será considerado en el balance de masa expuesto más adelante (ítem 3.2.4) Por lo tanto, a cada muestra se le mide el porcentaje de sólido en peso y la viscosidad, con el objetivo de conocer cuán limpio sale el fluido de la tela. Se destaca, que las muestras fueron tomadas cuando el filtro Larox trabajaba con un sólido de 70% en peso y en etapa de prensado.

El % de sólido fue medido en balanza Marcy (figura 27, página 129) y la viscosidad del fluido fue medida por el viscosímetro rotacional marca Fungilab a temperatura ambiente. Estos equipos arrojaron los datos presentados en la tabla 9.

Muestra	Concentración de sólido %	Viscosidad del fluido Cp
1	5	8
2	5	9
3	7	10
4	5	8

Tabla 9: Viscosidad líquido filtrado.



Gráfica 5: Viscosidad líquido filtrado

Para efectos de cálculo se considera que el fluido sale siempre con un 5% de sólido en peso con viscosidad de 8 cp. Este valor se verá reflejado en el cálculo de velocidad de filtración expuesto en el capítulo 4.

Por otra parte se deduce que la tela no retiene completamente las partículas sólidas proveniente en la pulpa, pues el líquido filtrado, en la etapa de prensado, presenta un 5% de sólido en peso, lo que valida el argumento expresado en el ítem de análisis granulométrico, el cual indica la existencia de partículas finas, cuyo diámetro es inferior a los $38\mu\text{m}$. Esto implica que éstas pasen a través de los poros de tela en conjunto con el líquido filtrado.

f) **Composición de la pulpa**

En esta sección se pretende mostrar al lector una de las variables más importantes de la caracterización de la pulpa, pues ésta nos permite saber cuán abrasiva resulta ser la pulpa y cuán dañina es para la tela y para el desgaste de la piezas.

Cabe destacar que esta prueba es realizada por el personal de Anglo American Chile, estos proporcionan la información necesaria para poder hacer un análisis del fluido.

Para lograr obtener cada uno de los elementos que componen a la pulpa el personal de Anglo American tuvo que realizar diferentes técnicas química, entre ellas:

- Volumetría, es un proceso de medición de la capacidad de combinación de una sustancia, por medio de la medición cuantitativa del volumen necesario para reaccionar estequiometricamente con otra sustancia.
- Lixiviación, es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos disueltos en un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el (los) soluto (s) pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido
- Absorción atómica, es capaz de detectar la mayoría de los elementos metálicos, tales como aluminio, calcio, cadmio, cromo, litio, hierro, magnesio, potasio y sodio en un orden de detección entre 3×10^{-4} ppm a las 20 ppm.

De acuerdo a lo entregado por Anglo American Chile, se registra que la pulpa que ingresa al filtro Larox está compuesta por los componentes presentados en la tabla 10:

Elemento	Composición
	%
Cobre	29,36
Cobre soluble en ácido sulfúrico	0,61
Molibdeno	0,40
Hierro	23,60
Insoluble	11,40
Agua	34,63

Tabla 10: Composición de la pulpa

En primera instancia, para identificar las propiedades de la pulpa es necesario medir su pH, con el fin de asumir el comportamiento del fluido frente a las diferentes piezas del filtro Larox. Este resultó ser 11 en promedio, lo que caracteriza a la pulpa como una mezcla base fuerte, y a su vez, con propiedades corrosivas producto al alto pH obtenido, lo que se traduce que al poner la pulpa en contacto con una determinada pieza es probable esta última se desgaste producto a las propiedades corrosivas de la pulpa. Este fenómeno se explica mediante las siguientes consideraciones termodinámicas:

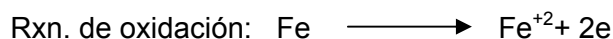
Dentro de las posibles reacciones de que pueden ocurrir durante la corrosión de un metal, se sabe, por ejemplo, que un metal se disuelve con formación de iones metálicos a un dado potencial. Se sabe también que si el metal se disuelve y da un óxido o un hidróxido, la reacción ocurre a un potencial que depende del pH.

Del mismo modo si se neutraliza una solución ácida que contenga iones metálicos, al llegar a un cierto pH forma precipitados de hidróxido. El pH al cual comienza esta precipitación se puede calcular en función de la concentración de los iones metálicos.-

También se debe tener en cuenta que, en numerosos casos, al aumentar el pH se llega a un cierto umbral por encima del cual los hidróxidos precipitan se re-disuelven y dan aniones o iones complejos.-

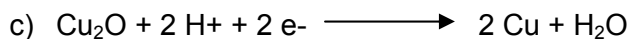
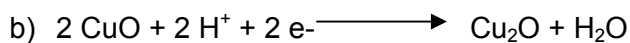
Todo esto es importante en el estudio de la corrosión, pues en las condiciones en que se forman productos solubles es de esperar que haya ataque corrosivo.

En este caso la pulpa contiene disuelto en metales como el cobre y el hierro lo que originan las siguientes semireacciones



En una pila electroquímica formada por electrodos de hierro y cobre sumergido en una disolución de agua. El hierro se corroe mientras que el cobre se electro-deposita. Si se visualiza a cada metal por separado por medio del diagrama de Pourbaix se refleja claramente las características corrosivas que presenta la pulpa.

Al mezclar el cobre con agua se presentan las siguientes reacciones de segundo y tercer orden:



Si a estas reacciones se le calcula el potencial de la reacción electroquímica a través de la ecuación 3.1 se obtiene:

$$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \frac{\log_{oxi}}{red} \quad \text{ecc. 3.1}$$

$$E_0 = \frac{\sum a \cdot \mu^0 (\text{oxidantes}) - \sum a \cdot \mu^0 (\text{reductor})}{nF} \quad \text{ecc. 3.2}$$

Donde:

E: Potencial de la reacción electroquímica (V)

E₀: Potencial estándar de la reacción electroquímica (V)

R: Constante de los gases (1,987 cal/molK)

T: Temperatura (K)

n: Número de electrones que participan en la reacción

Para el cálculo del potencial de reacción se presenta la energía libre de formación en la tabla 11:

Especie	Energía libre de formación μ^0
Cu	0
Cu₂O	-34,950
CuO	-30,40
Cu⁺	12
Cu⁺²	15,530
HCuO₂⁻	-61,420

Tabla 11: Energía libre de formación

Para obtener el potencial de reacción electroquímica de cada reacción se reemplazan los valores de la tabla 11, en las ecuaciones 3.1 y 3.2 según corresponda. Es así como se llega a la relación entre el potencial de reacción y el pH

- a) $E = 0,20 + 0,06 * \text{pH}$, con $\text{pH} = 11$, entonces $E = 0,86 \text{ V}$
- b) $E = 0,67 - 0,06 * \text{ph}$, con $\text{pH} = 11$, entonces $E = 0,01 \text{ V}$
- c) $E = 0,47 - 0,06 * \text{ph}$, con $\text{pH} = 11$, entonces $E = 0,01 \text{ V}$

Al visualizar el diagrama de Pourbaix mostrado en la figura 21, se puede observar que el cobre a través de todo rango de pH es termodinámicamente estable estando en contacto con agua, pero en ausencia de oxígeno u otro oxidante. Ahora como el cobre está en contacto con el hierro su estabilidad se pierde y se genera el fenómeno de corrosión, ya que éste es un elemento activo dentro de la reacción.

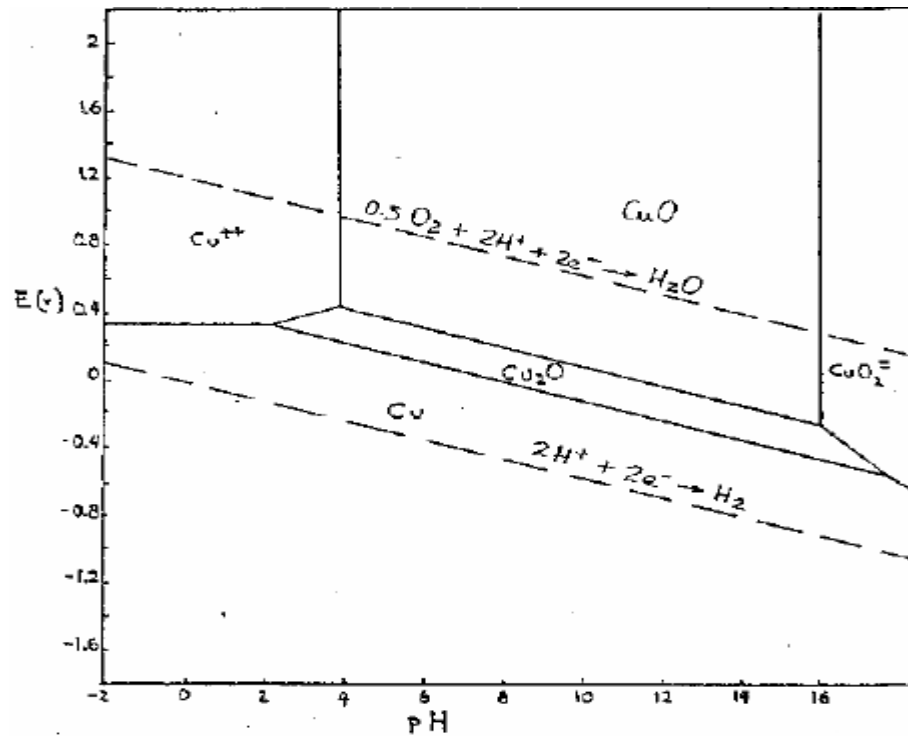


Figura 21: Diagrama de Pourbaix del cobre

Con respecto al alto porcentaje de insolubles se menciona que normalmente son arcillas o cal, estos son materiales higroscópicos¹¹, los cuales tienen como características la retención del agua, por lo tanto generan que la humedad del concentrado sea muy alta, lo que obliga a extender los tiempos de prensado y soplado, además de aumentar las presiones del filtro, lo que disminuye la producción de concentrado. Esto se da, porque al aumentar los tiempos de prensado y soplado disminuyen los ciclos por hora, disminuyendo la producción del día, ya que el tiempo de alimentación, que está relacionado directamente con la producción, aumentará sólo cuando el porcentaje de sólido sea bajo 60% en peso.

Además, el que la pulpa presente un alto contenido de insolubles facilita la incrustación de estos en las fibras de la tela generando su colmatación

11 Ver definición en glosario.

3.2 Pruebas de filtración

Determinadas las características de la pulpa se procede a realizar las pruebas de filtración. El objetivo principal es corroborar si la tela que utiliza el filtro es la que presenta una tasa de filtración más alta que el resto de las telas filtrantes que pueden ser utilizadas para el filtro Larox. Para identificar cuál es el tipo de tela que se puede usar para el filtro serie M, se consideran variables como: el diámetro de poros de la tela, granulometría de la pulpa y dimensiones de la tela.

La selección de la tela se hará entre las tela: 2106 L1(tela actual del filtro Larox), 2110-L1, 2209- L1 y 2106 L1K3. Éstas se ajustan a las dimensiones del filtro PF 25 serie M (tabla 2, capítulo 1) y a las características de la pulpa. De éstas se elegirá a la que proporcione una mayor velocidad de filtración.

Una vez seleccionada la tela se prosigue a determinar los tiempos operacionales para el filtro Larox. Los tiempos de prensado y soplado serán elegidos de acuerdo a la humedad final del concentrado. Estos se irán ajustando en la medida que se acerquen al 11% de humedad. Mientras que el tiempo de alimentación se irá acomodando en función del espesor del queque, éste debe bordear los 25mm.

El laboratorio SGS, cuenta con un equipo de filtración (anexo B, página 134) con características similares al que está dispuesto en planta Las Tórtolas.

3.2.1 Selección de la tela filtrante

En la etapa de alimentación, la velocidad varía de acuerdo al espesor del queque en formación, por lo tanto no es constante. Lo contrario ocurre para las etapas de prensado y soplado, pues el queque ya está formado y la velocidad a la cual filtra se mantiene fija en ese período de tiempo.

Una vez que se cumplen los procedimientos registrados en el anexo A. ítem 2, página 132, se ocupa la siguiente expresión:

$$v_f = \frac{1}{A} \cdot \frac{dv}{dt} \quad \text{ecu. 3.3}$$

Donde:

v_f : Velocidad o tasa filtrante, m/min

A: Área filtrante, m²

v : Volumen filtrado, l.

t: Tiempo de ciclo, min

Es importante destacar que las gráficas 6, 7, 8 y 9, presentadas a continuación, permiten encontrar la tasa de filtración para los distintos tiempos de operación en las etapas de alimentación, prensado, soplado y tiempos muertos, donde las series presentadas en las gráficas 6, 7, 8 y 9 (al lado derecho de cada gráfica) corresponden al tiempo de las tres últimas etapas como variables independientes. Así, es posible observar el comportamiento de la velocidad de filtración para los distintos ciclos de operación

Criterios de selección

Conocidas las características de la pulpa se seleccionará la tela filtrante según:

- La tasa de filtración más alta en la etapa de prensado, soplado y tiempo muerto
- Mayor permeabilidad. Este dato es entregado por el proveedor de los medios filtrantes.

El costo no es una variable que se considere en la selección de la tela, pues el precio entre una y otra tela no varía considerablemente. Cada tela tiene un valor unitario de 2.287,08 Euros + IVA

La importancia de la selección de la tela radica principalmente en que resulte una tasa de filtración cercana a 0,65 ton/m²/h para una pulpa con las siguientes características: gravedad específica 4,3kg/l, densidad de pulpa entre 1,9 – 2,1ton/m³, viscosidad entre 50- 60 cp, concentración del sólido entre 60%-70% en peso, para obtener una producción 350ton/día de concentrado de cobre.

Datos operacionales

- a) En etapa de alimentación se opera con 6 bar de presión
- b) En etapa de prensado se opera con 16 bar de presión.
- c) En etapa de soplado se opera con 6 bar de presión
- d) Se ocupan 60 litros de pulpa. Volumen útil para 3 ciclos operacionales.
- e) La agitación del estanque de alimentación tendrá una frecuencia de 50 rpm.

i. Tela 2106-L1

La tabla 12 presenta las características principales de la tela 2106- L1.

Tipo de hilo	Material tela	Permeabilidad (m ³ /m ²)
Multifilamento	Polipropileno	2,7

Tabla 12: Características 2106 L1

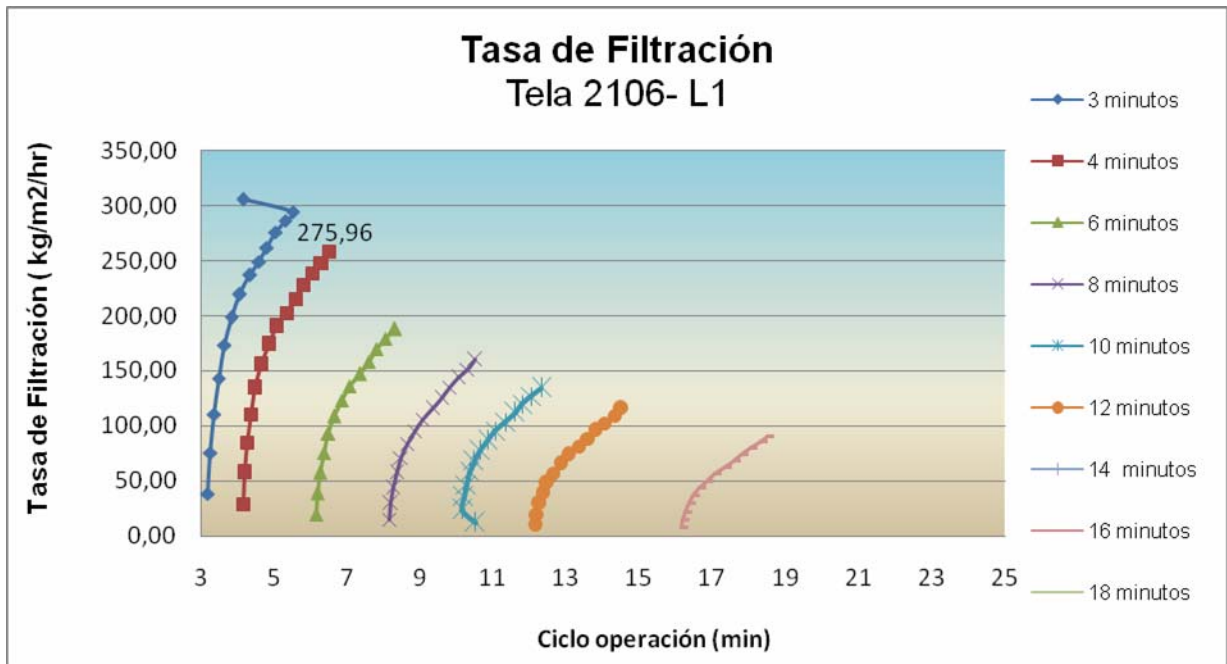
La permeabilidad se mide en función del aire que pasa a través de la tela en un minuto a 200 Pa de presión, entregando los valores presentados en la caracterización de cada tela.

Finalizando los 2,5 min.de la etapa de alimentación se registran los valores de volumen filtrado en la tabla 13

Tiempo alim., min	Volumen filtrado	
	ml	l
0,13	200	0,2
0,18	400	0,4
0,25	600	0,6
0,35	800	0,8
0,47	1.000	1
0,63	1.200	1,2
0,83	1.400	1,4
1,05	1.600	1,6
1,33	1.800	1,8
1,58	2.000	2
1,78	2.200	2,2
2,03	2.400	2,4
2,30	2.600	2,6
2,50	2.800	2,8

Tabla 13: Tiempos alimentación tela 2106-L1

La gráfica 6 presenta el comportamiento de la velocidad de filtración para los distintos tiempos del ciclo operacional. Este último corresponde a los tiempos de: alimentación, prensado, soplado y tiempos muertos. Mientras que las curvas que se presentan en la gráfica corresponden a la suma de los tiempos de la etapa de soplado, prensado y tiempo muerto.



Gráfica 6: Tela 2106- L1

La gráfica 6 permite la siguiente interpretación:

Si se consideran tres minutos en total para las etapas de prensado, soplado y tiempo muerto, el tiempo de ciclo de operación variará entre los 3,13 min- 5,20 min (se suman los tres minutos considerados más el tiempo de alimentación presentado en la tabla 13), entregando una velocidad de filtración entre $49 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ – $300 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$.

Por lo tanto, de la gráfica 6 se deduce que al aumentar el tiempo total de las etapas de prensado, soplado y tiempo muerto, la velocidad de filtración se hace cada vez más pequeña.

Para el cálculo de velocidad de filtración se consideran los siguientes valores (anexo A, página 134):

Área filtrante	0,1 m ²
Volumen filtrado	2,2 l.
Tiempo de ciclo operación	4,78 min

Tabla 14: Valores para ecuación velocidad de filtración

Reemplazando los valores de la tabla 14 en la ecc. 3.3 (página 52) se obtiene la siguiente velocidad o tasa de filtración

Tasa de filtración 275,96 kg/m²/h

Se considera un tiempo de ciclo de 4,78 minutos, ya que se observa, de la gráfica 6, que con 3 minutos totales de prensado, soplado y tiempo muerto se registran valores más altos de tasa de filtración para los mismos tiempos de alimentación (tabla 13). A su vez, se considera un tiempo de alimentación de 1,78 min., sólo como un tiempo referencial. El mismo análisis se realiza para el resto de las telas filtrantes.

Nota: Para mayor información sobre los valores registrados en la experiencia dirigirse a anexo A, páginas 134, 135, 136, 137.

ii. **Tela 2110-L1**

La tabla 15 presenta las características principales de la tela 2106- L1

Tipo de hilo	Material tela	Permeabilidad (m³/m²)
Multifilamento	Polipropileno	2,6

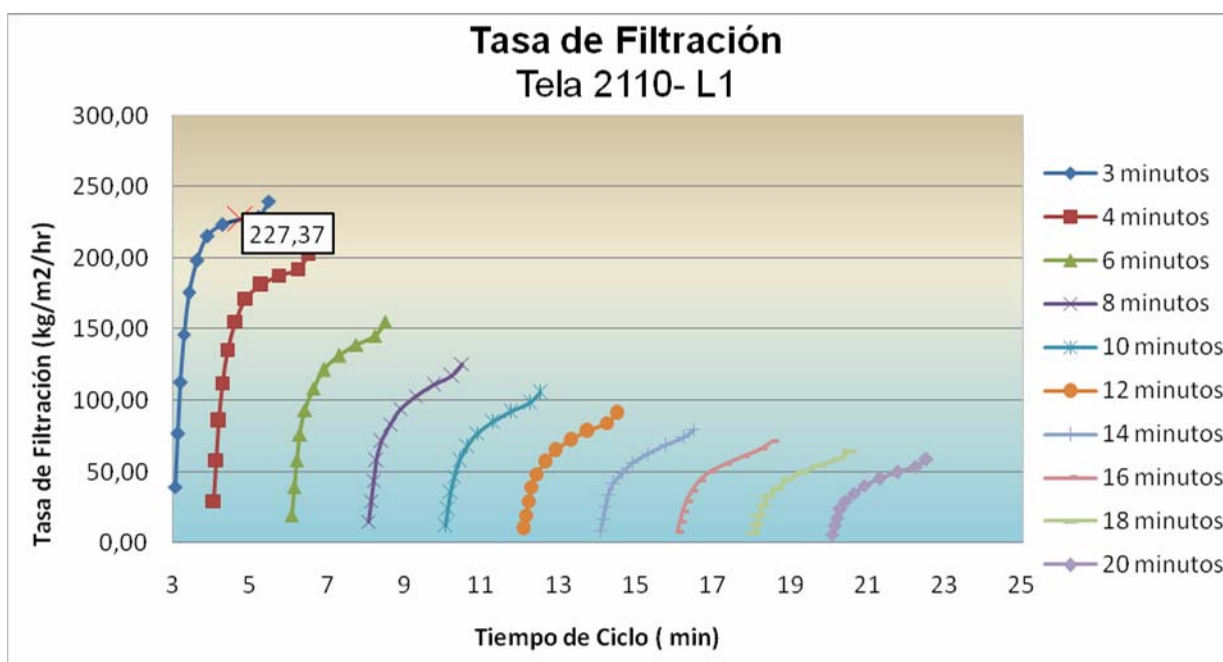
Tabla 15: Características 2110.- L1

Finalizando los 2,5 min de la etapa de alimentación se registran los valores de volumen filtrado en la tabla 16.

Tiempo alim. min	Volumen filtrado ml	l
0,07	200	0,2
0,13	400	0,4
0,20	600	0,6
0,28	800	0,8
0,42	1.000	1
0,63	1.200	1,2
0,90	1.400	1,4
1,30	1.600	1,6
1,75	1.800	1,8
2,23	2.000	2
2,50	2.200	2,2

Tabla 16: Tiempo alimentación tela 2110-L1

En la gráfica 7, se refleja el comportamiento de la velocidad de filtración a diferentes tiempos de operación.



Gráfica 7: Tela 2110- L1

Considerando los siguientes tiempos (anexo , página 135)

Área filtrante	0,1 m ²
Volumen filtrado	1,8 lt
Tiempo de ciclo	4,75 minutos.

Tabla 17: Valores para velocidad de filtración

Reemplazando los valores de la tabla 17 en la ecuación 3,3 (página 52), se obtiene la siguiente velocidad o tasa de filtración

Tasa de filtración	227,37 kg/m ² /h
---------------------------	-----------------------------

iii. **Tela 2209-L1**

La tabla 18 presenta las características principales de la tela 2209- L1

Tipo de hilo	Material tela	Permeabilidad (m³/m²)
Multifilamento	Poliéster	2,6

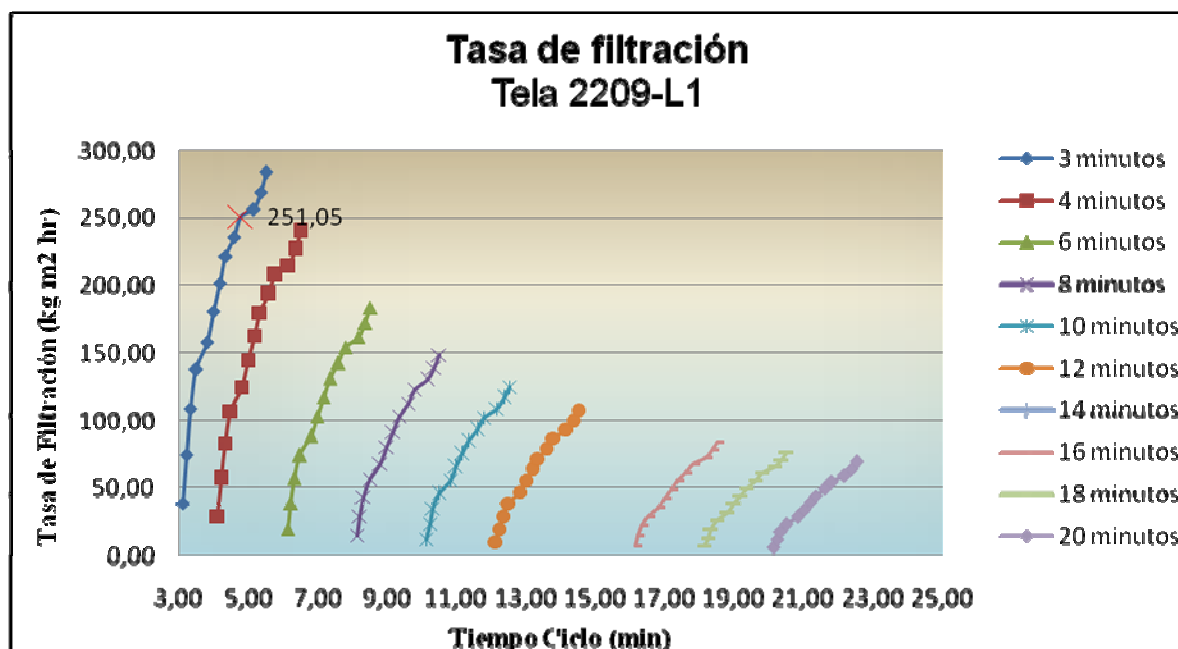
Tabla 18: Características de tela 2209- L1

Finalizando los 2,5 min de la etapa de alimentación se registran los valores de volumen filtrado en la tabla 19

Tiempo alim, min	Volumen filtrado	
	ml	l
0,12	200	0,2
0,22	400	0,4
0,32	600	0,6
0,48	800	0,8
0,80	1.000	1
0,98	1.200	1,2
1,17	1.400	1,4
1,33	1.600	1,6
1,58	1.800	1,8
1,78	2.000	2
2,15	2.200	2,2
2,35	2.400	2,4
2,50	2.600	2,6

Tabla 19: Tiempos alimentación tela 2209-L1

En la gráfica 8, se refleja el comportamiento de la velocidad de filtración a diferentes tiempos de operación.



Gráfica 8: Tela 2209- L1

Considerando los siguientes valores (anexo A, página 136)

Área filtrante	0,1 m ²
Volumen filtrante	2 lt
Tiempo de ciclo	4,78 minutos.

Tabla 20: Valores para velocidad de filtración

Reemplazando los valores de la tabla 20 en la ecuación 3,3 (página 52) se obtiene la siguiente tasa de filtración:

Tasa de filtración	251,05 kg/m ² /h
---------------------------	-----------------------------

iv. **Tela 2106-L1K3**

La tabla 21 presenta las características principales de la tela 2106- L1K3

Tipo de hilo	Material tela	Permeabilidad (m³/m²)
Multifilamento	Poliéster	0,8

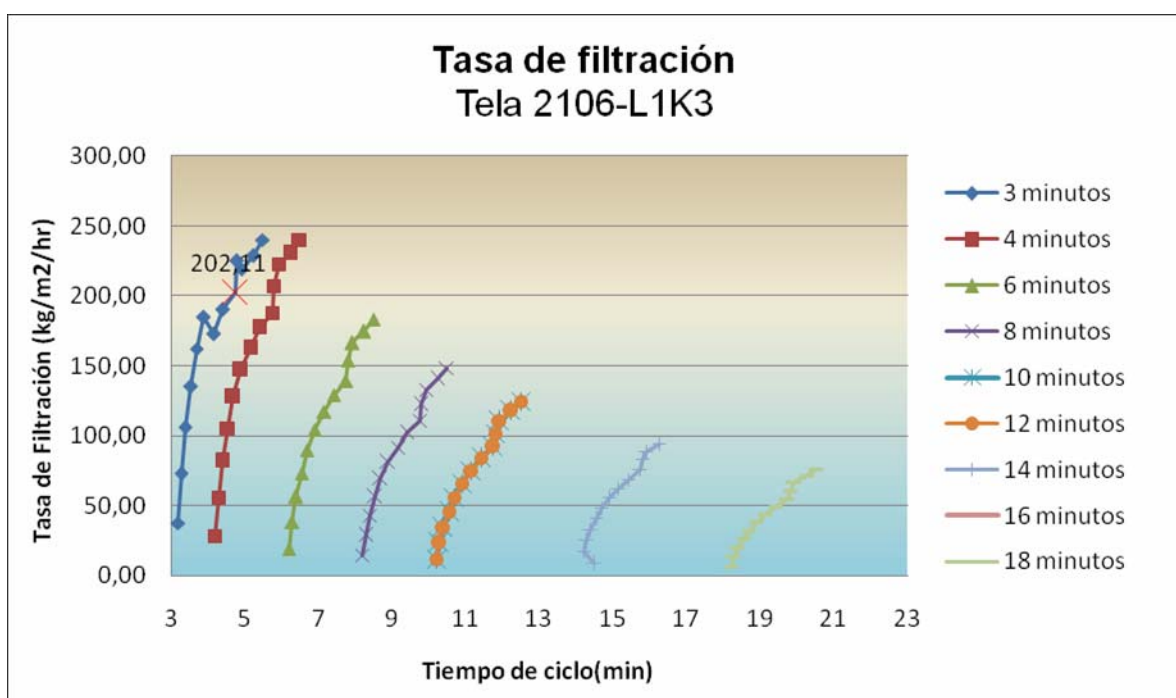
Tabla 21: Características de tela 2106- L1K3

Finalizando los 2,5 min de la etapa de alimentación se registran los valores de volumen filtrado en la tabla 22.

Tiempo alim., min	Volumen filtrado ml	l
0,20	200	0,2
0,29	400	0,4
0,40	600	0,6
0,55	800	0,8
0,70	1.000	1
0,90	1.200	1,2
1,17	1.400	1,4
1,42	1.600	1,6
1,75	1.800	1,8
1,80	2.000	2
1,93	2.200	2,2
2,25	2.400	2,4
2,50	2.600	2,6

Tabla 22: Tiempo alimentación tela 2106-L1K3

En la gráfica 9, se refleja el comportamiento de la velocidad de filtración a diferentes tiempos de operación.



Gráfica 9: Tela 2106- L1K3

Para el cálculo de velocidad de filtración se consideran los siguientes valores (anexo A, página 137)

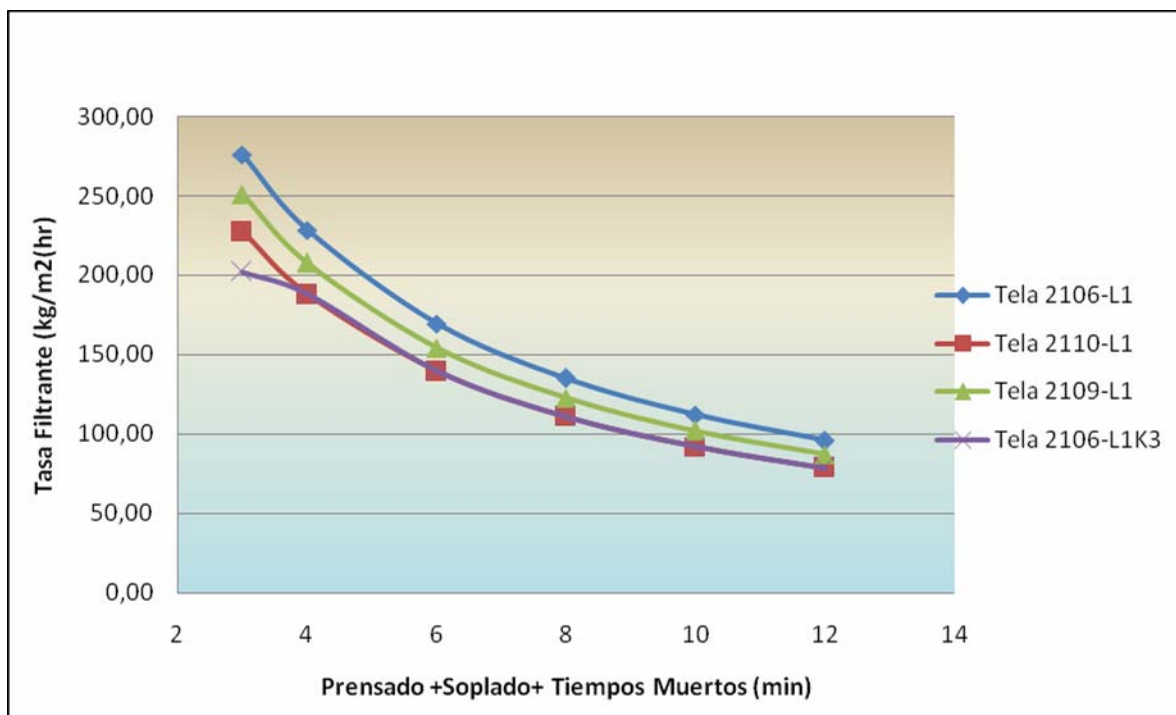
Área filtrante	0,1 m ²
Volumen filtrante	1,8 l
Tiempo de ciclo	4,75 min.

Tabla 23: Valores para velocidad de filtración

Reemplazando los valores registrados en la tabla 23 en la ecuación 3,3 (página 52), se obtiene la siguiente tasa de filtración.

Tasa de filtración	202,11 kg/m ² /h
---------------------------	-----------------------------

Considerando un tiempo de alimentación 1,75 min., es posible realizar un análisis de las telas en cuestión, resultado la gráfica 10:



Gráfica 10: Análisis de telas filtrantes

La gráfica 10 muestra que la tela más adecuada para trabajar en el filtro Larox es la tela 2106-L1, la cual entrega mayor tasa de filtración ($275\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$). Además es importante considerar que tanto la tela 2109-L1 y la 2106 L1k3, arrojan valores similares, lo que se traduce que la permeabilidad que estas poseen son similares entre sí, pero inferiores a la tela elegida.

Con respecto a la permeabilidad esta se mide en función del aire que pasa a través de la tela, entregando los valores presentados en la caracterización de cada tela. Así, se deduce que en términos de permeabilidad la más conveniente es la tela 2106-L1 con $2,7\text{ m}^3/\text{m}^2$.

3.2.2 Determinación de parámetros operacionales

Definido que la tela filtrante más conveniente que debe utilizar el filtro PF 25 es la 2106- L1, se procede a determinar los tiempos de operación del filtro Larox , los cuales deben cumplir con las características predeterminadas por el diseño del equipo (tabla 24).

Indicador	Unidad	Parámetro de operación
Producción de concentrado	ton/día	350
Horas de operación	horas/ día	22
Humedad final esperada	%	11

Tabla 24: Parámetros operacionales filtro Larox

Se determinarán los tiempos operacionales de las etapas de prensado, soplado y alimentación, ya que las dos primeras están ligadas al secado del producto, mientras que la última corresponde a la producción del concentrado de cobre.

El procedimiento consiste en ir variando los tiempos de operación hasta que se alcance una humedad del orden del 11%.

Las pruebas para determinar los tiempos de operación se realizaron en el laboratorio SGS, utilizando la tela ya seleccionada. Estos tiempos se estimaron según los resultados arrojados con los siguientes porcentaje de sólido: 60%, 64% y 68% (anexo A, página 138). Estos fueron llevados a la planta de filtración, de manera de corroborar que los tiempos operacionales obtenidos en el laboratorio SGS resultan ser adecuados para obtener una humedad final del 11% de concentrado de cobre producido por el filtro PF 25. En caso contrario, es conveniente repetir la experiencia.

Criterio de manipulación de los tiempos de operación

Los tiempos se fueron manipulando en la medida que el porcentaje de humedad, del concentrado de cobre, se acerca o se aleja al 11%. Así, se van a disminuir en 5 segundos los tiempos de prensado y soplado si el porcentaje de humedad es inferior al 11% y se van a aumentar en 5 segundos si el valor de humedad es superior al 11%.

Con respecto al tiempo de alimentación, este se maneja dependiendo del grosor que entregue la torta. Se espera que el grosor sea de 25 mm a 28mm, porque siendo la altura de placa de 45 mm (tabla 2, capítulo 1), al aumentar el grosor de la torta a un valor superior al esperado es posible que la torta roce con los sellos, soltándolos, generando fugas en la placa. Así, si el grosor de la torta es superior al 28mm se disminuyen en 10 segundos la alimentación, contrario es si el espesor de la torta es inferior al 25 mm.

Cabe destacar que los tiempos determinados para los aquellas concentraciones distintas de 60%; 64% 68%, se estiman apartir de los tiempos obtenidos por los porcentajes trabajados.

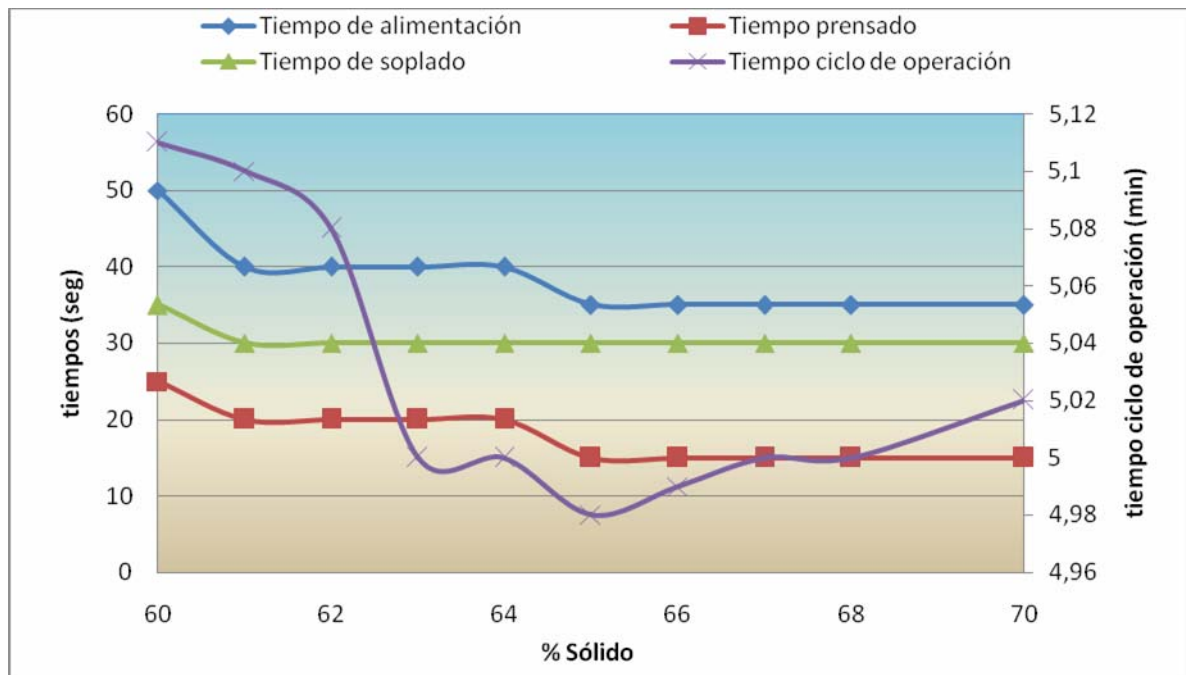
La tabla con los datos de los tiempos operacionales obtenidos en el laboratorio SGS, será adjuntada en (anexo A, página 139, 140), mientras que los valores que cumplen con el criterio de 11% de humedad son presentados en la tabla 25:

Concentración de sólido %	Tiempo alimentación s.	Tiempo prensado s.	Tiempo soplado s.	Tiempo total Min
60	50	25	35	5,11
61	40	20	30	5,1
62	40	20	30	5,08
63	40	20	30	5.
64	40	20	30	5
65	35	15	30	4,98
66	35	15	30	4,99
67	35	15	30	5
68	35	15	30	5,01
70	35	15	30	5,02

Tabla 25: Tiempos operacionales filtro Larox

La tabla 25 refleja los tiempos operacionales que deben ser programados en el PLC del filtro, según el % de sólido con el que se esté operando. Es de suma importancia recalcar que el tiempo de prensado, mostrado en la tabla 25, es el tiempo que dura la compresión del queque, no obstante, existe una etapa en el filtro PF 25, en la cual el diafragma se infla alcanzado una presión de 16 bar, esta etapa es denominada de Pre- prensado que dura 99 segundos.

Cabe destacar que el tiempo ciclo de operación, presentado en la gráfica 11, arroja una variación importante puesto que están incluidos los tiempos muertos del equipo, refierase, a la apertura y cierre de placas, el tiempo que demora en pasar de una etapa a otra, etc. Este tiempo no se controla, pues depende sólo de qué tan bueno sea el funcionamiento del filtro. Para que éste tiempo no varíe considerablemente se recomienda mantenencias diarias al equipo.



Gráfica 11: Tiempos operacionales filtro Larox.

En la gráfica 11 se puede observar que entre el 60% - 65% de concentración de sólido en peso, el tiempo del ciclo operacional va disminuyendo en la medida que el porcentaje aumenta. Análogamente, si la concentración de sólido es superior al 65%, el tiempo de operación de ciclo va aumentando en la medida que el porcentaje lo haga. Esto se debe, principalmente, a que el flujo de sólido es cada vez más lento con sólidos superiores al 65% producto a que es mayor la cantidad de sólido y menor la cantidad de líquido.

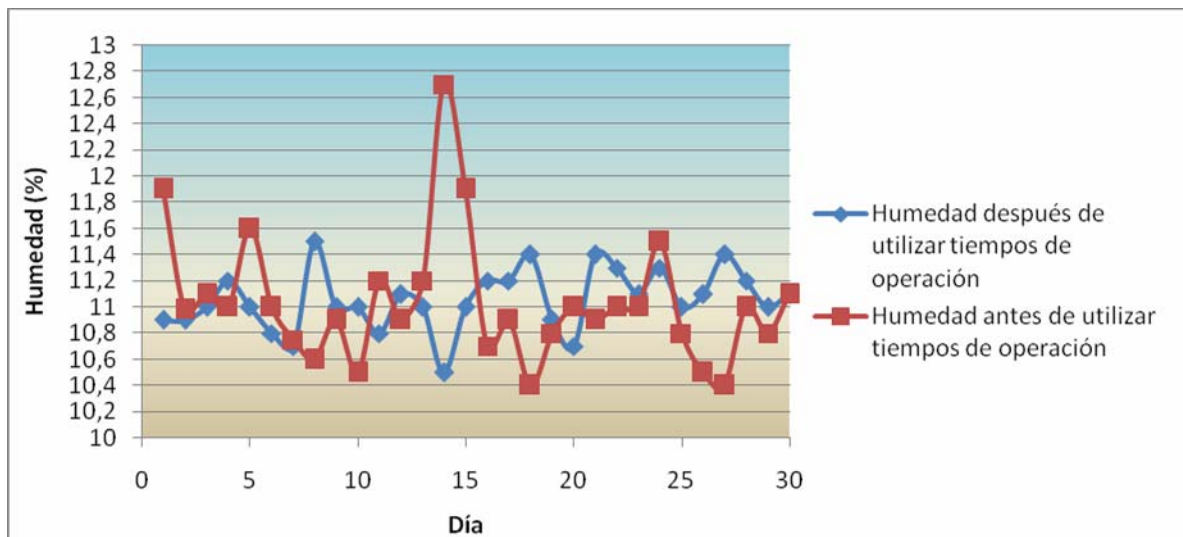
Además se observa que los tiempos de alimentación, prensado y soplado no varían considerablemente, lo que permite predecir que la variación del ciclo de operación se debe a que al utilizar sólidos superiores al 64% el fluido es más denso, lo que indica que el tránsito de éste sea más lento, aumentando el tiempo de operación del ciclo.

Una vez seleccionados los tiempos operacionales, se procede registrar, durante un mes, el comportamiento de la humedad al utilizarlos. (tabla 26)

Fecha	Humedad	Fecha	Humedad
1	10,9	16	11,2
2	10,9	17	11,2
3	11	18	11,4
4	11,2	19	10,9
5	11	20	10,7
6	10,8	21	11,4
7	10,7	22	11,3
8	11,5	23	11,1
9	11	24	11,3
10	11	25	11
11	10,8	26	11,1
12	11,1	27	11,4
13	11	28	11,2
14	10,5	29	11
15	11	30	11,1

Tabla 26: Registro humedad utilizando los tiempos operacionales determinados.

Al comparar el registro presentado en la tabla 26 con el registro presentado en el mes de abril (tabla 6), se confirma que al utilizar los tiempos operacionales, entregados por la tabla 25, se obtiene un producto final con una humedad cercana al 11% y que, a su vez, no presenta mayores variaciones, tal como lo muestra la gráfica 12.



Gráfica 12: Humedad después de utilizar los tiempos de operación

Confirmados los tiempos de operación, se procede a determinar, a través de balance de masa, las variables de entrada y salida del filtro Larox.

3.2.3 Consumo diario de agua y aire en cada etapa.

Para el consumo diario se considera el tiempo de operación en cada etapa operacional, considerando un sólido de 60% y 22 horas operacionales diarias.

Nota : El flujo de agua expresado en la tabla 27, es el mismo flujo expuesto en la tabla 4.

Etapa filtración	Tiempo de operación s.	Flujo de agua l/s	Flujo de aire Nm³/min	Consumo Diario
Lavado Manifold y Mangueras	3	6,1		4,3 m ³
Lavado de Telas	3	6,1		4,3 m ³
Aire para Soplado	35		22	3.080 Nm ³
Prensado Hidráulico	25	19,4		116,4 m ³

Tabla 27: Consumo diario de agua y aire en cada etapa

3.2.4 Balance de masa

I) Balance de masa por ciclo

En este punto se consideran las siguientes variables:

- i. Producción de diseño: 350 ton/día concentrado de cobre
- ii. Horas operables: 22 horas/día.
- iii. Área filtrante: 25,2 m²
- iv. Humedad final del producto: 11%
- v. Porcentaje de sólido en peso: 60%

a) Ciclos por Hora, tiempo operación : 5,5 min

$$\frac{\text{ciclos}}{\square \text{ hora}} = \frac{60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}}{\text{tiempo de operación}} \quad \text{ecc. 3.4}$$

b) Peso de sólido alimentado

$$\text{Peso sólido alimentación} = \text{velocidad filtración} * \text{área filtrante} \quad \text{ecc. 3.5}$$

$$\text{velocidad filtración} = \frac{\text{Producción diseño}}{\text{Horas operables} * \text{área filtrante}} \quad \text{ecc. 3.6}$$

c) Peso de sólido por ciclo

$$\text{Peso sólido por ciclo} = \frac{\text{Peso sólido alimentación}}{\text{Ciclos por Hora}} \quad \text{ecc. 3.7}$$

Bajo estos parámetros se calculan los indicadores, presentados en la tabla 28, para la optimización del filtro Larox

Indicador	Unidad	Cantidad
Número de ciclos	ciclos/h	10,91
Velocidad de filtración	ton/h/m ²	0,63
Peso sólido alimentación	ton/h.	15,91
Peso sólido por ciclo	ton/ciclo	1,46

Tabla 28: Balance masa por ciclo

II) Balance de masa en etapas operacionales.

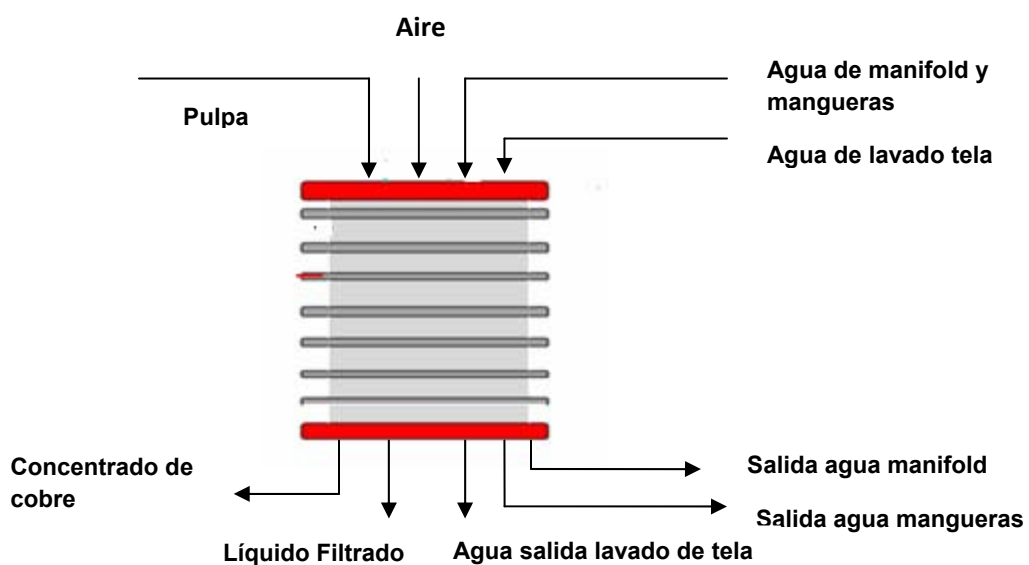


Figura 22: Esquema inicial entrada-salida balance masa filtro Larox

Se indica a continuación las principales relaciones utilizadas para la determinación del balance de masa de la etapa de filtrado. En general la realización de dicho balance sigue la siguiente secuencia de cálculo:

- i. Determinación de las características de cada ciclo de filtrado
- ii. Balance diario de planta

d) Entrada de agua manifold (EAM, l/c)

$$EAM = \text{Caudal de entrada manifold} \cdot \text{área filtrante} \cdot \text{tpo op. lavado} \quad \text{ecc. 3.8}$$

Donde:

Caudal de entrada manifold: 0,24 lt/m²/s

Tiempo operación lavado manifold y mangueras: 3 s

e) Salida de agua de mangueras (SAMA, l/c)

$$SAMA = \text{caudal de entrada manifold} \cdot \text{área filtrante} \cdot \text{tp. lavado manguera} \quad \text{ecc. 3.9}$$

Donde:

Tiempo operación lavado mangueras: 1,5 s.

f) Salida de agua manifold (SAM, l/c)

$$SAM = \frac{EAM}{2} - \text{pulpa retenida} \quad \text{ecc. 3.10}$$

$$SAM = \frac{EAM}{2} - \text{Peso de sólido} \cdot \frac{100 - \% \text{sólido de pulpa}}{\% \text{sólido de pulpa}} \quad \text{ecc. 3.11}$$

Donde:

Peso de sólido= peso de salida agua lavado Manifold (PSLM, kg/c)

% sólido de pulpa: 60%, medido balanza marcy

% sólido salida manifold: 5%, medido balanza marcy

$$PSLM = SAM * \frac{(\% \text{ salida Sólido Manifold})}{100 - \% \text{ salida sólido manifold}} * \rho_{\text{sólido en manifold}} \quad \text{ecc. 3.12}$$

Notar que las ecuaciones SAM Y PSLM son recursivas, por lo tanto se calculan iterativamente hasta que la diferencia entre ambos sea mínima.

g) Sólido salida de agua mangueras (SSAMA, kg/c)

$$SSAMA = \frac{SAMA}{1000} * \frac{\text{concentración sólido manguera}}{1000} \quad \text{ecc. 3.13}$$

Donde

Concentración sólido mangueras: 200 g/m³

h) Entrada agua lavado telas (EALT, l/c)

$$EALT = \text{caudal lavado de tela} * \text{área filtrante} * \text{tp. operación lavado} \quad \text{ecc. 3.14}$$

Donde :

Caudal lavado de tela: 0,24 l/m²/s

Tiempo operación lavado tela: 3 s

i) Sólido salida lavado telas (SALT,kg/c)

$$SALT = EALT * \frac{7.5}{1000} \quad \text{ecc. 3.15}$$

Suposición:

Salida de sólido lavado de tela: 7,5 g/l

j) Agua retenida en queque (m³/c)

$$\text{Agua en queque} = \text{peso sólido por ciclo} * \frac{\text{Humedad}}{1 - \text{Humedad}} \quad \text{ecc. 3.16}$$

k) Líquido Filtrado (LF, m³/c)

$$LF = \text{peso sólido por ciclo} \left(\frac{100 - \%sólido}{\%sólido} \right) * \rho_{\text{agua}} - \text{Agua en queque} \quad \text{ecc. 3.17}$$

l) Sólido en líquido filtrado (kg/c)

$$\text{Sólido líquido filtrado} = \frac{\text{Líquido filtrado} * \text{concentración sólido líquido}}{1000} \quad \text{ecc. 3.18}$$

Suposición:

Concentración de sólido líquido: 500 g/m³

m) Peso queque Filtrado (PQF, kg/c)

$$PQF = SRA - SM - SLF - SLM - SSL \quad \text{ecc. 3.19}$$

Donde:

SRA: sólido alimentado

SM: sólido en manifold

SLF: sólido líquido filtrado.

SLM: sólido en lavado manguera

SSL: sólido salida en tela.

Notar que las ecuaciones indicadas en los puntos (k) - (l) - (m) son iterativas por lo tanto su cálculo se realiza hasta obtener diferencias mínimas.

n) Número total de ciclos

$$\text{número total de ciclos} = \frac{\text{tonelaje de diseño}}{\text{peso queque filtrado}} \quad \text{ecc. 3.20}$$

A partir del balance por ciclo de filtrado determinado en el punto anterior se define el balance de materiales diario de planta.

En general se utilizan las siguientes ecuaciones para la determinación de los flujos de agua y pulpas:

o) Flujo de Agua en pulpas

$$Fl. Agua (tpd) = Fl. Sólido (tpd) * \left(\frac{100 - \%sólido}{\%sólido} \right) \quad \text{ecc. 3.21}$$

$$Fl. Agua (tpd) = Fl. Sólido (tpd) * \frac{Humedad}{1 - Humedad} \quad \text{ecc. 3.22}$$

p) Flujo de Pulpa

$$FL_{pulpa} (tpd) = FL_{Sólido} (tpd) + FL_{Agua} \quad \text{ecc. 3.23}$$

$$Caudal Pulpa \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{FL_{Sólido} (tpd)}{G.E} + \frac{FL_{Agua} (tpd)}{Densidad\ de\ pulpa} \quad \text{ecc. 3.24}$$

La tabla 29 presenta los valores obtenidos de las ecuaciones presentadas anteriormente:

Indicador	Unidad	Cantidad
Agua entrada manifold y mangueras	l/ciclo	18,33
Agua salida mangueras	l/ciclo	9,15
Peso sólido mangueras	kg/ciclo	0.00183
Agua salida manifold	l/ciclo	8,88
Peso sólido manifold	kg/ciclo	0,39
Agua retenida en queque	m ³ /ciclo	0,18
Líquido filtrado	m ³ /ciclo	0,79
Peso sólido filtrado	kg/ciclo	0,39
Agua lavado de telas	l/ciclo	18,33
Peso sólido lavado telas	kg/ciclo	0,14

Tabla 29: Balance de masa 1 en filtro Larox

Nota: Para mayor información ver anexo C, página 145;146.

Por lo tanto, el balance de masa en toneladas diarias se presenta en la tabla 30:

Descripción	Flujo sólidos ton/día	Flujo agua ton/día	Flujo pulpa ton/día	Caudal pulpa m³/día	% sólido Peso	Densidad de pulpa ton/m³	Flujo de aire Nm³/día
Alimentación filtro Larox	350	233,33	583,33	303,82	60%	1,92	0,00
Queque filtrado	349,77	43,25	392,38	0,00	89%	0,00	0,00
Líquido filtrado	0,095	190,07	190,16	190,16	5%	1,00	0,00
Agua manifold y mangueras	0,00	4,3	4,3	4,3	0,00	1,00	0,00
Salida manifold	0,094	2,13	2,22	2,22	5%	1,00	0,00
Salida mangueras	0,00043	2,19	2,19	2,19	0,00%	1,00	0,00
Agua lavado tela	0,00	4,3	4,3	4,3	0,00	1,00	0,00
Salidas lavado tela	0,032	4,3	4,3	4,3	0,00	1,00	0,00
Prensado hidráulico	0,00	116,4	116,4	116,4	0,00	1,00	0,00
Aire de soplado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3080

Tabla 30: Balance de masa 2 en filtro Larox

III) Balance de masa global al Filtro

Por lo tanto, las variables de entrada- salida se presentan, tal como lo muestra la figura 23. Para ello se toman los datos entregados por la tabla 30 y se reordenan en la tabla 31

Descripción	Flujo de entrada	Flujo salida
Pulpa alimentada	583,83 ton/día	
Agua alimentada		
• Manifold y mangueras	4,3 ton/día	4,3 ton/día
• Tela	4,3 ton/día	4,3 ton/día
• Prensado	117,3 ton/día	117,3 ton/día
Salida de sólido		
• Manifold		0,094 ton/día
• Mangueras		0,00043 ton/día
• Tela		0,032 ton/día
Concentrado de cobre		349,77 ton /día
Líquido filtrado		
• Flujo de sólido		0,095 ton/día
• Flujo de agua		190,16 ton/día
Flujo de aire	3.080 Nm ³ /día	3.080 Nm ³ /día

Tabla 31: Resumen balance de masa filtro Larox

Nota: En el agua alimentada no se considera la cantidad de agua que ingresa en la etapa de prensado, pues ésta actúa en circuito cerrado, por lo tanto todo lo que ingresa al filtro es retornado nuevamente al estanque de prensado.

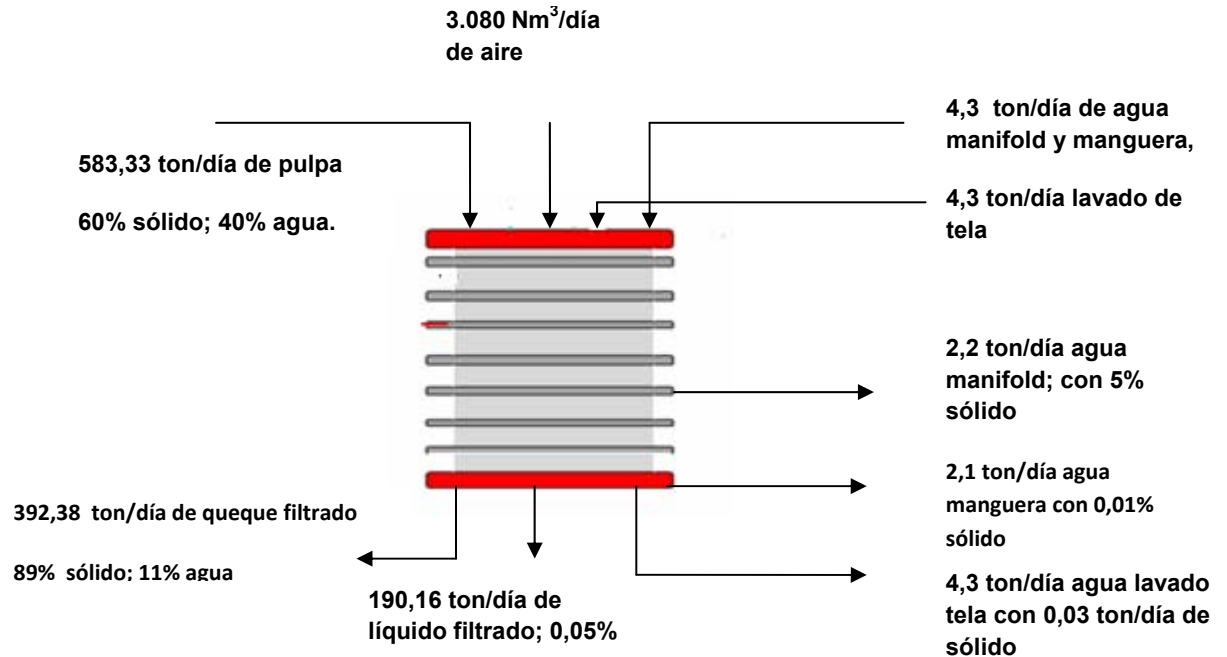


Figura 23: Esquema entrada-salida balance masa filtro Larox

3.3 Conclusión

Del presente capítulo se puede concluir que el medio filtrante adecuado para el proceso de filtración es la tela 2106 L1, debido a la permeabilidad que ésta presenta. Además de otorgar una velocidad de filtración más alta que el resto de las telas que fueron puestas a prueba.

Con respecto a las características de la pulpa se concluye que ésta presenta propiedades corrosivas, producto a que el hierro se corroe mientras el cobre se electrodeposita en una disolución de agua, lo que implica un posible desgaste en las piezas del filtro, tales como: mangueras, diafragma, sellos y tela filtrante. Para mantener las propiedades físicas y mecánicas del material que compone cada pieza es importante chequearlas diariamente, además de proporcionarles un tiempo de lavado en cada ciclo operacional.

Además se deduce que tanto la densidad como la viscosidad de la pulpa son funciones proporcionales al porcentaje de sólido. A su vez, la pulpa, al presentar un valor de densidad y viscosidad de alrededor de $1,9\text{ton}/\text{m}^3$ y 50cp respectivamente, indica que en la medida que la concentración de sólido sea mayor, el paso del fluido por la tela se hará cada vez más lento y dificultoso.

Con respecto a las características de la pulpa, se destaca el alto porcentaje de insolubles que la compone. Estos generan que la humedad del concentrado sea más alta, obligando a extender los tiempos de prensado y soplado. Al aumentar estos tiempos se disminuyen los ciclos por hora, disminuyendo, a su vez, la producción del día, ya que el tiempo de alimentación (tiempo ligado a la producción) aumenta sólo cuando el porcentaje de sólido es bajo el 60% en peso de concentrado, o bien, en caso que el cliente AACCh aumente el porcentaje de sólido en la pulpa..

Además se concluye que la humedad del concentrado de cobre varía de acuerdo a los tiempos de prensado y soplado. Si estos aumentan, la humedad disminuye y viceversa. En cambio, el tiempo de alimentación está ligado directamente con el espesor del queque, si la inyección de pulpa aumenta, el espesor también lo hace. Es importante que el espesor de la torta no supere los 25 mm, ya que de lo contrario impactaría a los sellos dispuestos en el contorno de la cámara, soltándolos paulatinamente. Además mientras mayor sea el grosor más lenta es la velocidad de filtración.

Además se deduce que la pulpa a sólidos superiores al 64% es más densa, puesto que aumenta el tiempo total de operación al aumentar la concentración entre 64% - 70%. A su vez, se destaca que el tiempo de operación para la etapa de alimentación, prensado y soplado suma alrededor de 1,8 minutos, los 3 minutos restantes se distribuyen en los 99 segundos que demora en inflarse el diafragma, los 6 segundos de lavado de manifold, mangueras y tela, los 45 segundos que demora en descargar y finalmente los tiempos que demora el equipo en pasar de una etapa a otra y en la apertura y cierre de placas.

Finalizando, en el capítulo se entrega el balance de masa de la planta de filtración utilizando los tiempos operacionales seleccionados en el ítem 3.2.2, con el fin de determinar el flujo de alimentación de la pulpa que debe ingresar al filtro para procesar 350 ton/día

CAPITULO 4: MODELO MATEMÁTICO PARA PROCESO DE FILTRACIÓN.

Este capítulo presenta el modelo matemático para el proceso de filtración. El objetivo de éste es establecer un modelo capaz de relacionar las variables de operación en la estimación de la producción del filtro.

El capítulo 4 se divide en dos secciones: la primera de ellas presenta el desarrollo del modelo matemático del proceso de filtración, mientras que la segunda establece el ajuste del modelo a partir de los valores obtenidos del laboratorio SGS.

El ajuste consiste en relacionar la velocidad de filtración obtenida del cálculo de permeabilidad del queque y la resistencia específica con la producción diaria del filtro PF 25, de tal manera de establecer una proyección de ésta última a diferentes concentraciones de sólido.

4.1 Modelo matemático del proceso de filtración.¹²

Como se ha mencionado el filtro prensa de placa horizontal trabaja a presión constante, bajo esta teoría se plantea el siguiente modelo matemático considerando restricciones como:

- a) Las propiedades de la suspensión, del filtrado y del queque permanecen constantes.
- b) El queque formado es incompresible (figura 24)

La suposición b) permite considerar el queque como un lecho poroso rígido, lo que significa que el sólido contenido en el queque no se mueve.

4.1.1 Formación del queque.

Formalmente, el proceso de filtración queda descrito por las siguientes variables: porosidad del queque (ϵ), velocidad de filtración (v_f) y la presión en exceso a la hidrostática (Δp_e). Estas tres variables constituyen un proceso de filtración simple, el cual se define como un proceso con queque incompresible.

12 Modelo matemático: Fernando Concha. Capítulo 9. Página 259

El término “simple” se refiere a que, en este caso, las ecuaciones son las más simples que se pueden establecer, tal como se muestra en las siguientes expresiones:

$$\epsilon(z, t) = \epsilon_0 \quad \text{ecc. 4.1}$$

$$v_f(z, t) = v_f(t) \quad \text{ecc. 4.2}$$

$$v_{pe} = - \frac{\mu}{k(\epsilon_0)} v_f \quad \text{ecc. 4.3}$$

Donde ϵ_0 es constante, v_f es una función del tiempo solamente, k representa la constante de permeabilidad y μ es la viscosidad.

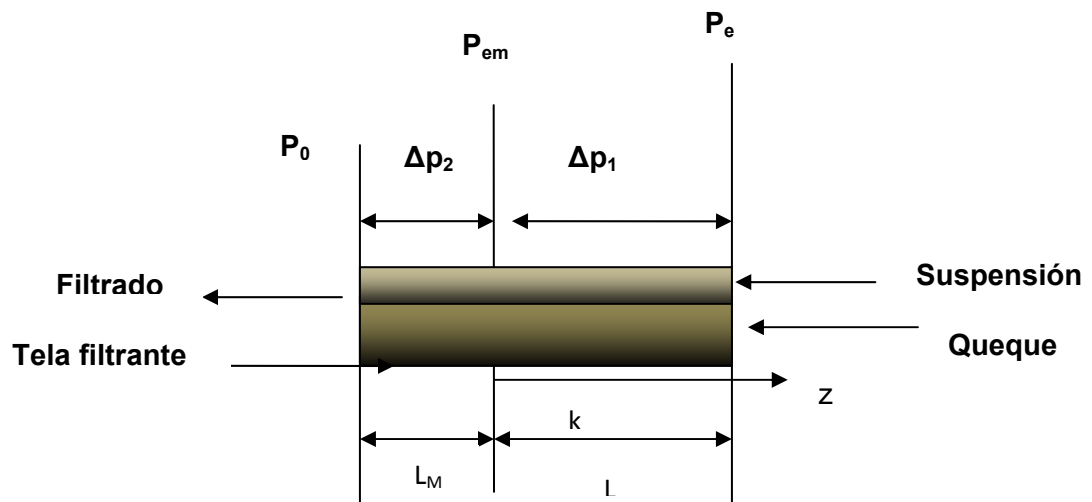


Figura 24 Filtración con queque plano,

donde: $\Delta p_1 = p_e - p_{em} > 0$ y $\Delta p_2 = p_{em} - p_0 > 0$

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 $z = -L_M$, siendo $L(t)$ el espesor del queque en función del tiempo y L_M espesor medio filtrante.

4.1.2 Filtración a presión constante

Durante la fase avanzada de la filtración en equipos en que la suspensión se alimenta al filtro mediante una bomba centrífuga la presión se mantiene relativamente constante.

Se designa por p_0 la presión que se ejerce en $z = -L_M$, por p_{em} , la presión en $z=0$ 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:

$$\Delta p_e = p_e - p_0 = \Delta p_1 + \Delta p_2 > 0 \quad \text{ecc. 4.4}$$

Cada una de estas caídas de presión es constante y positiva, por lo que integrando la ecuación 4.3, con respecto a p_0 y a p_{em} , a través del medio filtrante con $v_f = -v_f(z)K$ y $v_f > 0$ y $\nabla p_e = (-dp_e/dz)K$, se obtiene:

$$\begin{aligned} \nabla p_e \cdot K &= -\frac{\mu}{K} \cdot v_f(t) \cdot K \\ \int_{p_{em}}^{p_0} dp_e &= \int_0^{-L_M} \frac{\mu}{K} \cdot v_f(t) \cdot dz \\ p_0 - p_{em} &= -\frac{\mu}{Km} (L_M) v_f(t) \end{aligned}$$

$$\Delta p_2 = \frac{L_M}{Km} \mu v_f(t) \quad \text{ecc. 4.5}$$

Donde:

Km: Permeabilidad del medio filtrante, m^{-1}

$v_f(t)$: Velocidad de filtración en función del tiempo, m/s

L_M : Espesor de medio filtrante, m

μ : Viscosidad del líquido filtrado, Kg/m^*s)

Ahora bien, al integrar la ecuación 4.3 a través del queque, resulta:

$$\begin{aligned} \int_{p_{em}}^{p_e} dp_e &= \int_0^{L(t)} \frac{\mu}{K} \cdot v_f(t) \cdot dz \\ p_e - p_{em} &= -\frac{\mu}{K(\epsilon_0)} (L(t)) v_f(t) \end{aligned}$$

$$\Delta p_s = \frac{\mu}{K(\epsilon_0)} L(t) v_f(t) \quad \text{ecc. 4.6}$$

Donde:

$K(\epsilon_0)$: Permeabilidad del queque en función de la porosidad, m^2

$L(t)$: Espesor del queque en función del tiempo, m.

Reemplazando las ecuaciones 4.5 y 4.6 en la ecuación 4.4, se obtiene:

$$\Delta p_s = \mu \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{L(t)}{K(\epsilon_0)} \right) v_f(t) \quad \text{ecc. 4.7}$$

Ahora bien, el caudal del filtrado, $Q(t)$, se puede expresar en términos de la velocidad de filtración, $v_f(t)$, y el volumen filtrado $V(t)$

$$Q(t) = v_f(t) A = \frac{dV(t)}{dt} \quad \text{ecc. 4.8} \quad go$$

Donde:

A, Área filtrante, m^2

Reemplazando la ecuación 4.8 en 4.7, resulta la siguiente expresión:

$$\Delta p_s = \mu \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{L(t)}{K(\epsilon_0)} \right) \frac{1}{A} \frac{dV(t)}{dt} \quad \text{ecc. 4.9}$$

Reordenando la ecc. 4.9 se obtiene la siguiente ecuación de velocidad de filtración:

$$\frac{\Delta p_s}{\mu \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{L(t)}{K(\epsilon_0)} \right)} = v_f \quad \text{ecc. 4.10}$$

Para llegar a una ecuación que permita relacionar el espesor del queque, $L(t)$, la masa del queque producido, $m_s(t)$ y el volumen filtrado obtenido, $V(t)$, con el tiempo de filtración se considera el siguiente modelo:

La fracción volumétrica de sólido en la suspensión ϕ_0 :

$$\varphi_0 = \frac{\rho_{\text{pulpa de alimentación}} - \rho_{\text{filtrado}}}{\rho_{\text{sólido}} - \rho_{\text{filtrado}}} < 1$$

O bien:

$$\varphi_0 = \frac{\text{Volumen sólido}}{\text{Volumen líquido} + \text{Volumen sólido}} < 1$$

Donde, el volumen del líquido es igual al volumen de filtrado producido más el líquido retenido en el queque. Así, la concentración φ_0 se expresa:

$$\varphi_0 = \frac{ms \frac{\epsilon_0 t}{\rho_{\text{sólido}}}}{(V(t) + AL(t) \epsilon_0) + ms \frac{\epsilon_0 t}{\rho_{\text{sólido}}}} \quad \text{ecc. 4.11}$$

Donde ms es la masa del queque en función de la porosidad y del tiempo de formación de éste.

Por otro lado la masa del queque es igual al volumen del queque por la densidad del sólido:

$$ms = \rho_s (1 - \epsilon_0) AL(t) \quad \text{ecc. 4.12}$$

Por lo tanto al reemplazar la ecuación 4.12 en la 4.11, resulta:

$$\varphi_0 = \frac{((1 - \epsilon_0) AL(t)) / (\rho_s (1 - \epsilon_0) + (1 - \epsilon_0) AL(t))}{(V(t) + AL(t) \epsilon_0) + ((1 - \epsilon_0) AL(t))} \quad \text{ecc. 4.13}$$

Al ordenar la ecuación 4.13 y despejando el espesor del queque se obtiene la ecuación 4.14:

$$\varphi_0 = \frac{AL(t) - \epsilon_0 AL(t)}{V(t) + AL(t) \epsilon_0 + AL(t) - \epsilon_0 AL(t)}$$

$$\varphi_0 V(t) + \varphi_0 AL(t) \epsilon_0 + \varphi_0 AL(t) - \varphi_0 AL(t) \epsilon_0 = AL(t) - \epsilon_0 AL(t)$$

$$\varphi_0 V(t) + \varphi_0 AL(t) = AL(t) - \epsilon_0 AL(t)$$

$$\varphi_0 V(t) = AL(t) - \epsilon_0 AL(t) - \varphi_0 AL(t)$$

$$\varphi_0 V(t) = AL(t) (1 - \epsilon_0 - \varphi_0)$$

$$L(t) = \frac{V(t)}{A} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \epsilon_0)} \quad \text{ecc. 4.14}$$

Reemplazando la ecc. 4.14 en la ecuación 4.12 se obtiene la siguiente expresión:

$$ms(a_0, t) = \frac{\varphi_0(1-\epsilon_0)}{1-\varphi_0-a_0} \rho_s V(t) \quad \text{ecc. 4.15}$$

Así, las ecuaciones 4.14 y 4.15 dan las relaciones entre el grosor del queque, masa de éste y volumen filtrado.

Reemplazando la ecuación 4.14 en la expresión 4.9, se obtiene:

$$\Delta p_s = \frac{\mu}{A} \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{\varphi_0}{(1-\varphi_0-\epsilon_0)K(\epsilon_0)} \right) \frac{dV(t)}{dt} \quad \text{ecc. 4.16}$$

Suponiendo que φ_0 es constante, se considera como única variable, en esta expresión, al volumen de filtrado. Por lo tanto al integrar entre 0 y t y entre 0 y V, resulta:

$$\frac{A\Delta p_s}{\mu} t = \frac{Lm}{Km} V + \frac{1}{2A} \frac{\varphi_0}{(1-\varphi_0-\epsilon_0)K(\epsilon_0)} V^2 \quad \text{ecc. 4.17}$$

Reordenando la ecuación 4.17, resulta:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu}{A\Delta p_s} \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{1}{2A} \frac{\varphi_0}{(1-\varphi_0-\epsilon_0)K(\epsilon_0)} V \right) \quad \text{ecc. 4.18}$$

Donde:

$$Rm = Lm/Km,$$

Graficando t/V , versus V , se puede calcular la resistencia específica del medio filtrante y la permeabilidad del queque $K(E_0)$. Si \underline{a} es la pendiente de la recta obtenida y \underline{b} es la intersección con el eje de las ordenadas, los parámetros serán:

$$Rm = b \cdot \frac{\Delta p_s A}{\mu} \quad \text{ecc. 4.19}$$

$$k(a_0) = \frac{1}{a} = \frac{\mu}{2A^2 \Delta p_s} \frac{\varphi_0}{(1-\varphi_0-\epsilon_0)} \quad \text{ecc. 4.20}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecc. 4.19 y la ecc. 4.20 en la ecuación 4.10 se obtendrá la velocidad o tasa de filtración.

$$\frac{(\Delta p_e \phi) / \mu (b + \Delta p_e A / \mu + (L(t)) / ((1/\alpha + \mu / (2 A^2 \Delta p_e)) \phi_0 / ((1 - \phi_0 - \epsilon_0))))}{\mu} = v_f^2$$

Estas ecuaciones son válidas para la filtración en el estado estacionario, esto es una vez que se ha formado la torta. En el periodo de formación del queque (alimentación) el flujo de filtrado no es constante. Inicialmente, la filtración es muy rápida cuando hay poco sólido depositado en la tela filtrante. A medida que el queque empieza a engrosar, el flujo disminuye. Cuando la cantidad de sólido que se deposita por unidad de tiempo es pequeña en comparación con el espesor de la torta, el flujo filtrado se hace constante. En ese momento las ecuaciones desarrolladas son válidas aún cuando siga depositándose sólido en el queque.

4.1.3 Tiempo de filtración

Para determinar el tiempo que se requiere para filtrar una determinada masa se consideran las siguientes ecuaciones.

La ecuación 4.16 se presenta de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta p_e A}{\mu} = \left(\frac{L_m}{K_m} + \frac{\phi_0}{A(1 - \phi_0 - \epsilon_0)K(\epsilon_0)} V(t) \right) \frac{dV(t)}{dt}$$

De ésta la única variable es el volumen filtrado. Integrando entre 0 y t y 0 y V, resulta:

$$\int_0^t \frac{\Delta p_e A}{\mu} dt = \int_0^V \frac{L_m}{K_m} dV(t) + \int_0^V \frac{\phi_0}{A(1 - \phi_0 - \epsilon_0)K(\epsilon_0)} V(t) dV(t)$$

$$\frac{\Delta p_e A}{\mu} t = \frac{L_m}{K_m} V_f + \frac{\phi_0}{2A(1 - \phi_0 - \epsilon_0)K(\epsilon_0)} V_f^2 \quad \text{ecu 4.22}$$

Ahora bien, si se despeja el volumen filtrado de la ecuación 4,14, se obtiene:

$$V_f(t) = L(t)A \cdot \frac{(1 - \phi_0 - \epsilon_0)}{\phi_0} \quad \text{ecu. 4.23}$$

Al reemplazar la ecuación 4.34 en la ecuación 4.22, se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p_e A}{\mu} t &= \frac{L_m}{K_m} \left(L(t)A + \frac{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)}{\varphi_0} \right) + \frac{\varphi_0}{2A(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)K(\varepsilon_0)} \left(L(t)A + \frac{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)}{\varphi_0} \right)^2 \\ \frac{\Delta p_e A}{\mu} t &= \frac{L_m}{K_m} \left(L(t)A + \frac{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)}{\varphi_0} \right) + L(t)^2 \frac{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)A}{2\varphi_0} \frac{1}{\square} + 2 \frac{\varphi_0 k(\varepsilon_0)}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)A} \\ L(t)^2 + 2L(t)K(\varepsilon_0) \frac{L_m}{K_m} - 2 \frac{\Delta p_e}{\mu} \frac{\varphi_0 k(\varepsilon_0)}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t &= 0 \end{aligned} \quad \text{ecu. 4.24}$$

Cuya solución es:

$$L(t) = K(\varepsilon_0) \left\{ \left[\left(\frac{L_m}{K_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_e}{\mu k(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{L_m}{K_m} \right\} \quad \text{ecu. 4.25}$$

Ahora bien si se reemplaza la ecuación 4.25 en la ecuación 4,12 de masa del queque, resulta:

$$ms = \rho_s A (1 - \varepsilon_0) K(\varepsilon_0) \left\{ \left[\left(\frac{L_m}{K_m} \right)^2 + \frac{2\Delta p_e}{\mu k(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} t \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{L_m}{K_m} \right\} \quad \text{ecu. 4.26}$$

La ecuación 4.26 se puede interpretar como el tiempo necesario para filtrar un masa de sólido:

$$t = \left\{ \left(\frac{ms}{(\rho_s A (1 - \varepsilon_0) k(\varepsilon_0))} + \frac{L_m}{K_m} \right)^2 - \left(\frac{L_m}{K_m} \right)^2 \right\} \left\{ \frac{2\Delta p_e}{\mu K(\varepsilon_0)} \frac{\varphi_0}{(1 - \varphi_0 - \varepsilon_0)} \right\}^{-1} \quad \text{ecu. 4.27}$$

4.2 Ajuste del modelo matemático del proceso de filtración

Cabe destacar que el ajuste, presentado a continuación, permite establecer una proyección de la producción diaria de concentrado de cobre para las diferentes concentraciones de sólido. Posteriormente, en el capítulo 5, se presentará la validación de éste, a través de gráfica comparativas entre lo entregado en la proyección con lo que entrega el filtro Larox en la actualidad.

El ajuste del modelo matemático será dividido en dos partes:

- La primera de ellas consiste en demostrar que en la medida que el grosor del queque se incrementa, la velocidad de filtrado es cada vez más lenta. Para ello, se utilizarán los valores de volumen filtrado en etapa de alimentación que se obtuvieron del laboratorio SGS (tabla 32)
- En cambio, a segunda consiste en ajustar, propiamente tal, el modelo matemático, utilizando las ecuaciones expuestas anteriormente, pero este será validado en etapa de prensado, pues nos aseguramos que el flujo de filtrado en el tiempo sea constante. Además en esta se determinará el tiempo óptimo de filtración, para un ciclo de operación, a diferentes concentraciones de sólido.

4.2.1 Primera parte: Comportamiento del flujo de filtrado en el tiempo.

Tal como se ha explicado, en la etapa de alimentación el flujo filtrado no es constante, pues en la medida que los sólidos se van depositando en la tela se va formando el queque y el grosor de éste comienza a aumentar, mientras que el flujo disminuye o bien se hace cada vez más lento.

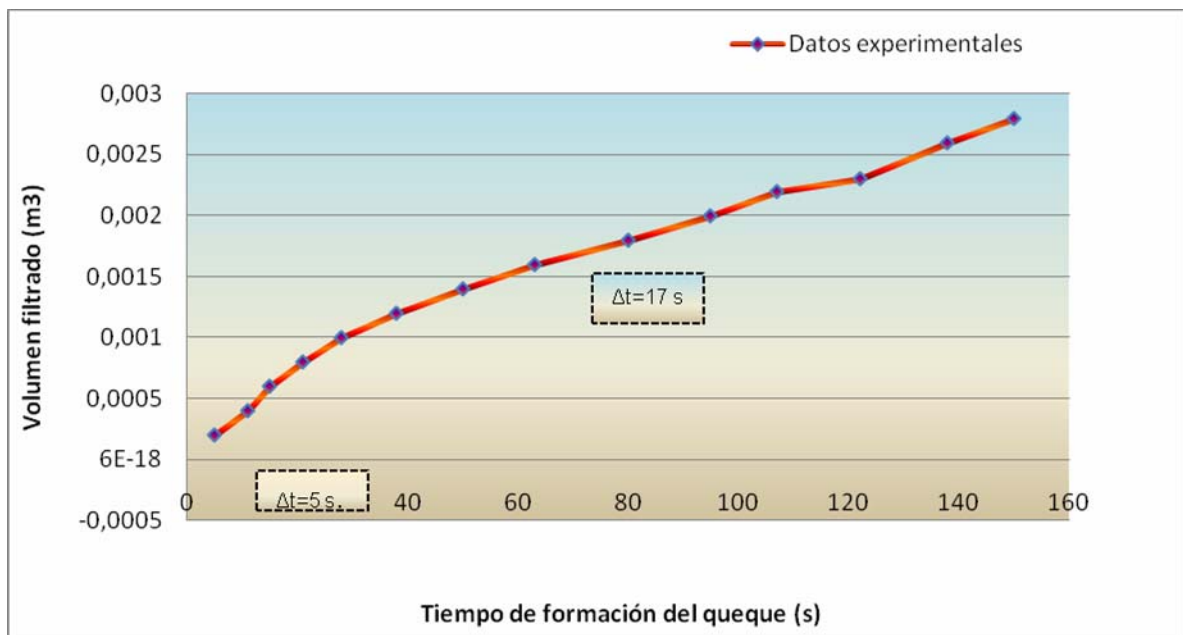
También, es preciso tener en cuenta que la etapa inicial de formación de la torta es de enorme importancia, pues para una presión de filtración cualquiera, la velocidad de flujo es mayor al comienzo del proceso, ya que la resistencia del queque es entonces mínima con respecto a la resistencia del queque al final de la etapa de filtración.

Asimismo, las velocidades iniciales de filtración son elevadas y pueden provocar la obturación de los poros de la tela filtrante, incrementando la resistencia de flujo.

Para analizar el comportamiento del flujo filtrado en el tiempo, se consideran los datos experimentales obtenidos en el laboratorio SGS en la etapa de alimentación del filtro PF 0.1, con una concentración de sólido equivalente al 64% en peso, estos son presentados en la tabla 32. Mientras que las gráficas 13 y 14 muestran el comportamiento del flujo con respecto al tiempo de formación del queque.

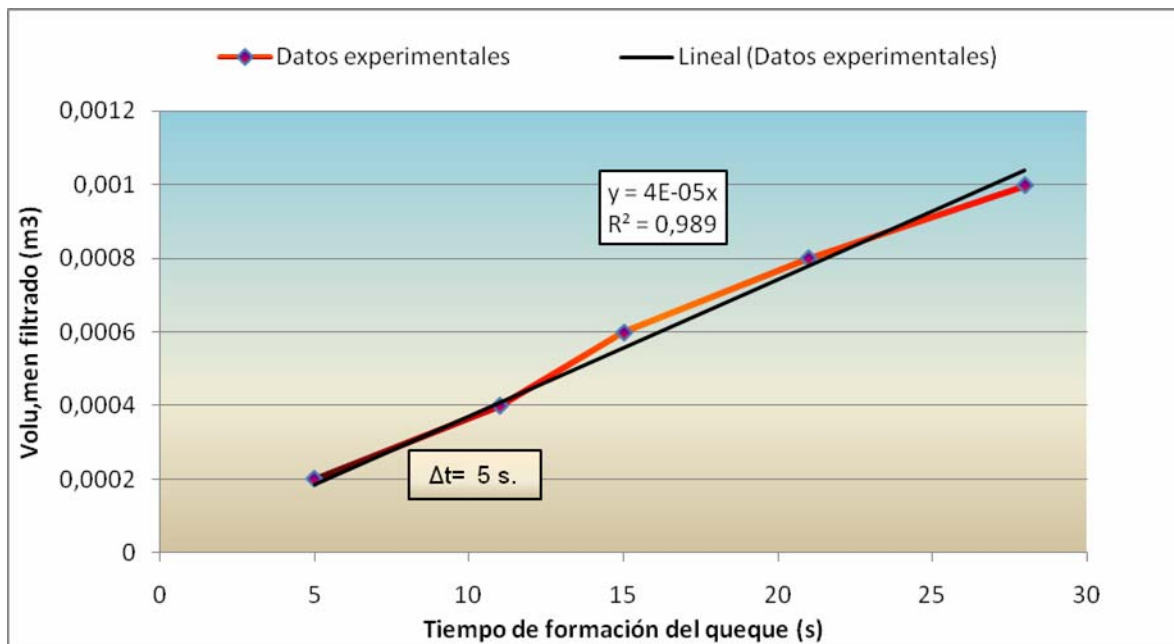
Tiempo s	Volumen	
	ml	m ³
5	200	0,0002
11	400	0,0004
15	600	0,0006
21	800	0,0008
28	1.000	0,001
38	1.200	0,0012
50	1.400	0,0014
63	1.600	0,0016
80	1.800	0,0018
95	2.000	0,002
107	2.200	0,0022
122	2.400	0,0024
138	2.600	0,0026
150	2.800	0,0028

Tabla 32: Datos experimentales en etapa de alimentación



Gráfica 13: Comportamiento del volumen en función del tiempo

Si se realiza un “zoom” a la gráfica 13 se concluye que los primeros 30 segundos el volumen filtrado es una función lineal del tiempo.



Gráfica 14: Comportamiento del volumen en función del tiempo

Por lo tanto de la gráfica 13 y 14 se observa que el volumen de filtrado aumenta inicialmente en forma proporcional al tiempo, pero esta proporcionalidad, más tarde, se verá disminuida producto a que el flujo de filtrado disminuye. Este comportamiento se demuestra de la siguiente manera:

Se sabe que:

$$\Delta p = \mu \left(\frac{Lm}{Km} + \frac{L(t)}{K(\mu, \theta)} \right) Q(t)$$

La ecuación. 4.8 define $Q(t)$ como:

$$Q(t) = \frac{1 V_f}{A t}$$

Como se ha supuesto que el queque es incompresible, su porosidad permanecerá constante durante todo el periodo de formación, por lo tanto las únicas variables son el espesor del queque, $L(t)$ y caudal, $Q(T)$. Inicialmente el espesor del queque es muy pequeño y su resistencia al flujo también lo es. Asimismo es como el tiempo de filtración es mínimo para un determinado flujo.

Por lo tanto, al suponer que la resistencia específica del queque al flujo es despreciable con respecto a la resistencia ejercida por la tela, la ecuación se reduce a:

$$\Delta p_e = \mu \left(\frac{Lm}{Km} \right) \frac{1}{A} \frac{V_f}{t}$$

Despejando el volumen filtrado, la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$V_f = \frac{\Delta p_e A Km}{\mu Lm} t \quad \text{ecu. 4.28}$$

Esto demuestra matemáticamente que inicialmente el volumen filtrado es una función lineal del tiempo, lo que confirma la gráfica 14

Para su mayor entendimiento, se analizarán los dos casos que se visualizan de las gráficas 13 y 14.

a) Caso I: Primeros 30 segundos del tiempo de formación del queque.

- i) Demora entre 5 a 7 segundos en filtrar 200 ml de líquido.

b) Caso II: Después de los 30 segundos del tiempo de formación del queque.

- i) Tarda sobre 15 segundos en filtrar 200 ml de líquido

Esto demuestra que en la medida que vaya transcurriendo el tiempo de formación del queque, la velocidad de filtración disminuye puesto que el grosor del queque aumenta, aumentando a su vez la resistencia del queque al fluido.

4.2.2 Ajuste del modelo matemático para etapa prensado.

Cabe destacar que el ajuste del modelo se hará con los valores obtenidos de volumen de líquido filtrado arrojado experimentalmente en el laboratorio de SGS en la etapa de prensado, de tal manera de encontrar las constantes “a” y “b” para las ecuaciones 4.19 y 4.20, permitiendo determinar la velocidad de filtración a partir de la ecuación 4.21 para el filtro PF 0,1. Asimismo y utilizando las mismas constantes se define la tasa de filtración para el filtro PF 25.

I) Cálculo de permeabilidad del queque y resistencia específica del medio filtrante.

a) Filtro PF 0,1

Para obtener las constantes a y b del modelo de filtración en el filtro PF 0,1 se consideran los parámetros operacionales, mostrados en la tabla 33, para el cálculo de la resistencia de la torta y permeabilidad del queque:

Indicador	Unidad	Parámetros operacionales
Espesor	mm	25
Área filtrante	m ²	0,1
Viscosidad de filtrado	kg/m*s	8
Caída de presión	bar	10
Concentración sólido	%	60
Densidad del sólido	kg/m ³	4.300
Densidad de pulpa	kg/m ³	1.924
Densidad del filtrado	kg/m ³	1.180

Tabla 33: Parámetros operacionales para filtro PF 0,1

Realizando los cambios de unidades necesarios, se reemplazan los valores de densidad de sólido, de pulpa y filtrado, mostrados en la tabla 33, en la ecuación 4.29 de fracción volumétrica de alimentación:

$$\varphi_0 = \frac{\rho_{\text{Pulpa de alimentación}} - \rho_{\text{filtrado}}}{\rho_{\text{sólido}} - \rho_{\text{filtrado}}} < 1 \quad \text{ecc. 4.29}$$

Obteniendo un valor de: $\varphi_0 = 0,270 < 1$, luego, se cumple.

Así de la ecuación 4.30, se obtiene una porosidad equivalente:

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{X}{\text{Porosidad} (1 - X) + X} \quad \text{ecu. 4.30}$$

Donde

X, es la concentración de sólido en peso. En este caso es el 60%

$$\text{Porosidad} = 0,74$$

Una vez obtenida la porosidad del sólido, se procede a estudiar el comportamiento del volumen filtrado con respecto al tiempo de formación del queque/volumen filtrado, para ello se toma en cuenta los valores obtenidos en la prueba de filtración en la etapa de prensado, las cuales arrojaron los número presentados en la tabla 34

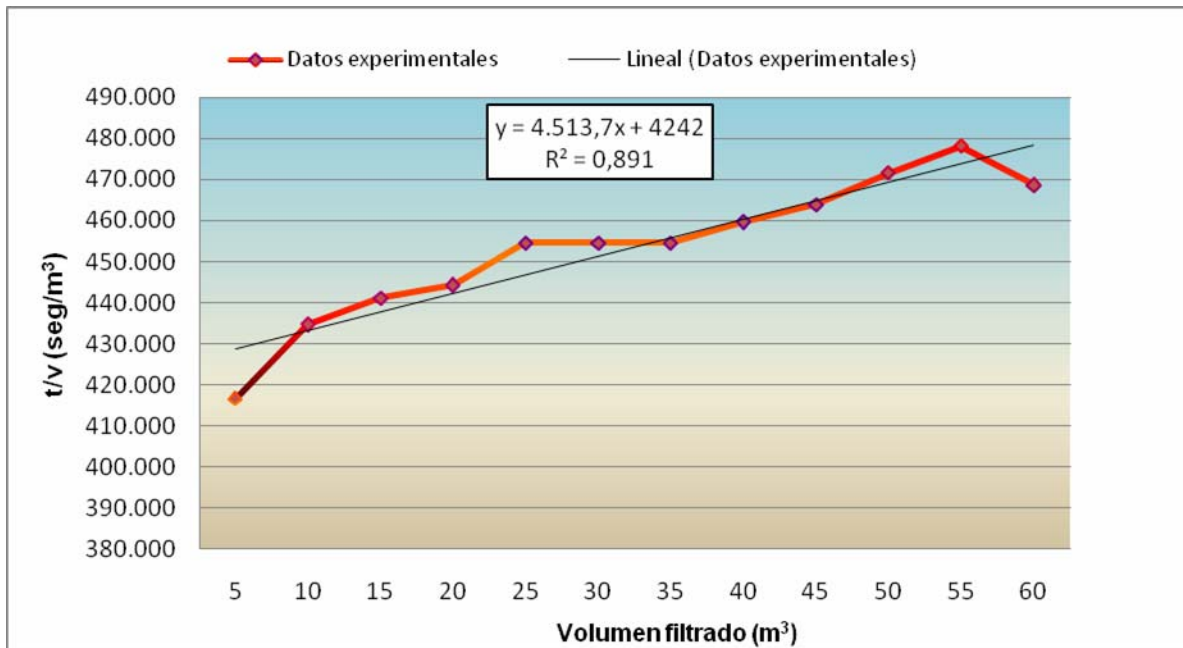
Cabe destacar que las cifras que se consideran en la tabla 34 son los valores obtenidos, de la experiencia realizada en el Laboratorio SGS, para una concentración de sólido de 60% en peso

Se recuerda, además, que el modelo matemático es válido sólo para la etapa posterior a la alimentación.

Tiempo	Volumen		t/v
	s	ml	m ³
0	0	0	0
5	12	0,00001	416.666,67
10	23	0,00002	434.782,61
15	34	0,00003	441.176,47
20	45	0,00005	444.444,44
25	55	0,00006	454.545,45
30	66	0,00007	461.538,46
35	77	0,000076	460.526,32
40	87	0,000087	459.770,11
45	97	0,000097	463.917,53
50	106	0,000106	471.698,11
55	115	0,000115	478.260,87
60	128	0,000125	480.000

Tabla 34: Volumen filtrado en etapa de prensado

La gráfica 15 presenta, a través de un ajuste lineal, la determinación de las constantes “a” y “b” que serán utilizadas para el cálculo de permeabilidad del queque y resistencia de la tela.



Gráfica 15: Determinación de constantes “a” y “b”

Por lo tanto, las constantes a y b para el cálculo de permeabilidad del queque y resistencia específica de la tela, respectivamente, son:

a	4.513,7
b	424.253

Reemplazando, los valores de la tabla 33 y las constantes obtenidas, en la ecuación 4.19 y 4.20, se determinan las variables, presentadas en tabla 35, para un área filtrante de 0,1m²

Permeabilidad del queque	1,04832E-06 m ²
Resistencia específica de la tela	53.025.000m ⁻¹
Resistencia específica del queque	23.847,79 m ⁻¹
Velocidad de filtración	5,24 m/s

Tabla 35: Cálculo de permeabilidad del queque y resistencia de la tela PF 0,1

- **Para Filtro PF 25**

Indicador	Unidad	Parámetros operacionales
Espesor	mm	25
Área filtrante	m ²	25,2
Viscosidad de filtrado	kg/m*s	8
Caída de presión	bar	10
Concentración sólido	%	60
Densidad del sólido	kg/m ³	4.300
Densidad de pulpa	kg/m ³	1.924
Densidad del filtrado	kg/m ³	1.180

Tabla 36: Parámetros operacionales para PF 25

Cabe destacar que para llevar el modelo a la planta de filtración de Las Tórtolas se aseguró que la pulpa cumpliera con las mismas características que la mezcla con la que se desarrollaron las pruebas de filtración en el laboratorio SGS, vale decir, que la concentración de sólido fuese 60% en peso, la densidad de sólido de 4,3 kg/l y tamaño de partícula 38 μm

En base a lo anterior, se reemplazan las constantes “a” y “b” en la ecc. 4.19 y 4.20, utilizando los parámetros presentados en la tabla 36, se determinan las variables presentadas en la tabla 37 para un área superficial de 25 m²

Permeabilidad del queque	1,65079E-11 m ²
Resistencia específica de la tela	13.362.300.000 m ⁻¹
Resistencia específica del queque	1.514.429.934 m ⁻¹
Velocidad de filtración	8,25E-05 m/s

Tabla 37: Cálculo de permeabilidad queque y resistencia de la tela PF 25

Por lo tanto si la velocidad de filtración obtenida se lleva a términos de masa se obtiene la producción de concentrado de cobre que es capaz de producir el filtro prensa PF25 diariamente.

Para ello se multiplica la velocidad de filtración por la densidad de la pulpa (correspondiente al 60 % en peso sólido), obteniendo una tasa de $0,16 \text{ kg/m}^2/\text{s}$. Esto se traduce en que el filtro produce $0,16 \text{ kg}$ de concentrado de cobre por segundo en un metro cuadrado. Por lo tanto, la producción por ciclo resulta ser de $1.320,63 \text{ kg/ciclo}$ (considerando que un ciclo dura $5,5$ minutos).

Asimismo, se calcula la producción esperada de concentrado para un día de 22 horas operables, la que resulta ser de 320 ton/día (considerando que en una hora se realizan 11 ciclos). Esto indica que trabajar con sólido 60% no se alcanzan valores cercanos a los 350 ton/día estimados en el capítulo 2.

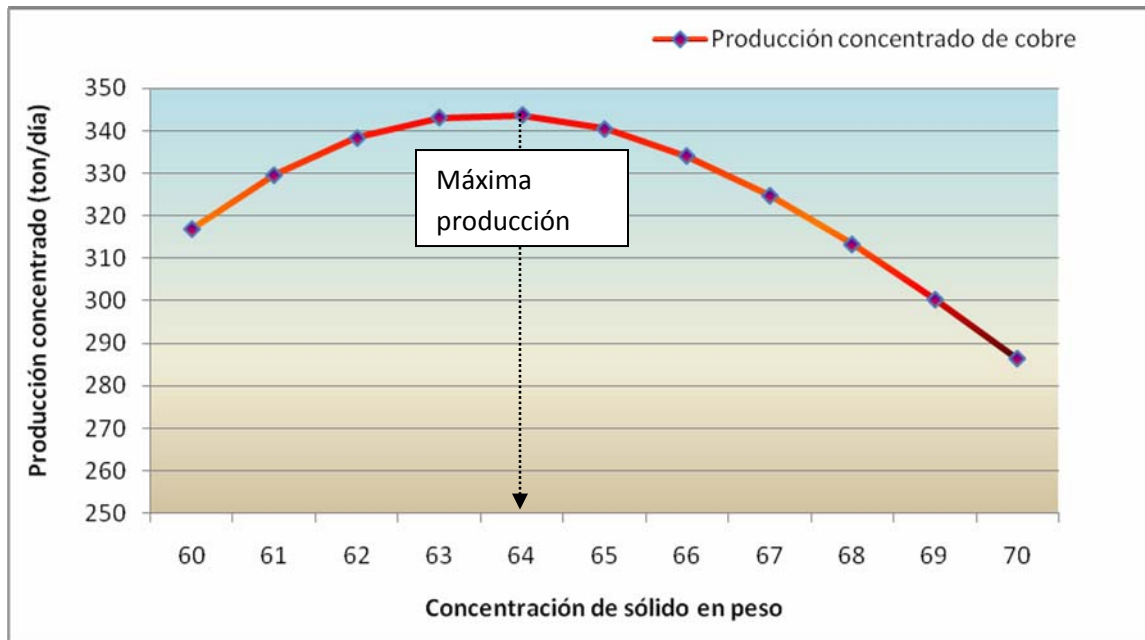
Para mayor análisis del ajuste del modelo de filtración se presentan dos casos:

- i) El primero consiste en observar la producción con respecto a la concentración de sólido en peso de la pulpa.
- ii) El segundo caso presentará como se comporta la permeabilidad del queque y la resistencia específica de este con respecto al porcentaje de sólido en peso.

Las gráficas 16 y 17 fueron confeccionadas en base a los datos obtenidos desde el modelo matemático variando el porcentaje de sólido de la pulpa, con el objetivo de observar el comportamiento de la producción, la permeabilidad del queque y la resistencia específica en función de las diferentes concentraciones.

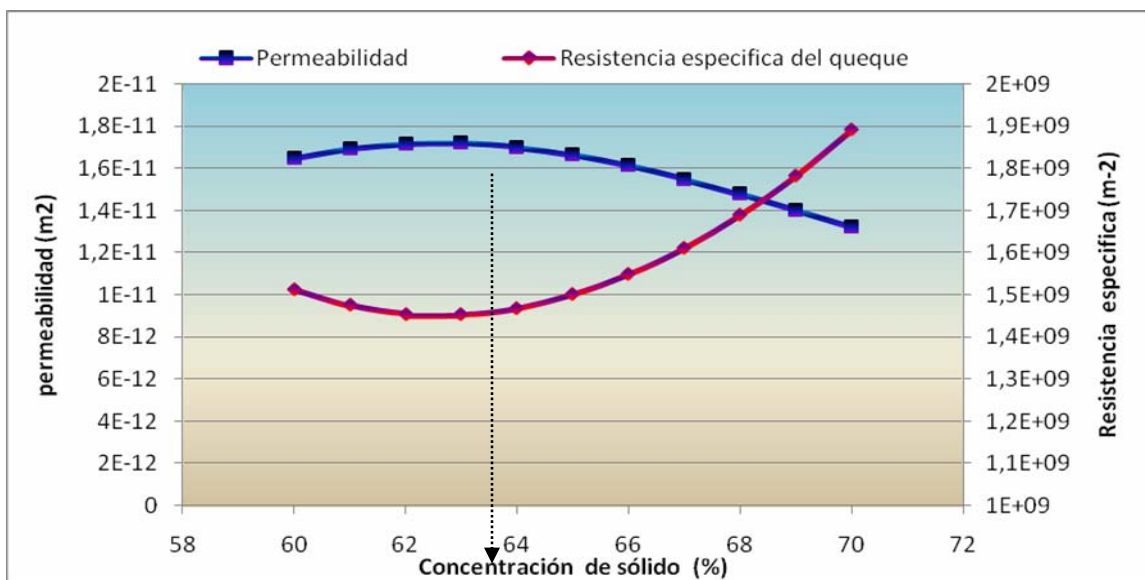
Posterior a este análisis se determina el tiempo de operación al cual debe funcionar el filtro PF 25 para las diferentes concentraciones de sólido, de tal manera de hacer una comparación y un estudio de los tiempos determinados en el capítulo 3 en la gráfica 11.

a) **Caso I: Producción de concentrado de cobre con respecto a concentración de sólido.**



Gráfica 16: Producción de concentrado v/s concentración sólido.

b) **Caso II: Comportamiento de la permeabilidad y resistencia específica del queque en función del porcentaje de sólido en peso.**



Gráfica 17: Comportamiento de la permeabilidad y resistencia específica del queque.

De las gráficas 16 y 17 se deducen claramente dos casos:

a) Caso I: Concentración de sólido entre 60%-64%

De ambas gráficas se observa que a medida que aumenta la concentración de sólido, aumenta la producción de concentrado de cobre, alcanzando las 350 ton/día, que el filtro PF 25 debiese producir en condiciones óptimas, en el punto (64%, 343 ton/día). Esto indica que al aumentar el concentrado de cobre hasta el 64% en peso, la fracción volumétrica de alimentación también lo hace, aumentando la permeabilidad del queque y a su vez la velocidad de filtración, permitiendo optimizar la producción con los parámetros operacionales estimados en el capítulo 3.

b) Caso II: Concentración de sólido entre 64%-70%

Ambas gráficas muestran que al inyectar una pulpa con un porcentaje de sólido superior al 64% en peso, la producción de concentrado de cobre disminuye, esto se debe a que la permeabilidad en este punto disminuye al disminuir los espacios vacíos del queque, tal como lo muestra la gráfica 17, lo que se traduce en que al aumentar el porcentaje de sólido en la pulpa es probable que el queque que se forme al tener sólidos muy altos no permita el paso del fluido, por lo tanto la resistencia del queque al fluido también aumenta, disminuyendo la velocidad de filtración y por ende la producción de concentrado de cobre.

A su vez, es probable que la mayor parte del líquido quede retenido en el queque, indicando que se tendrá que inyectar más tiempo a la etapa secado de la torta, aumentando el tiempo del ciclo y disminuyendo los ciclos por hora, lo que se traduce en menores la producciones de concentrado en ton/hora.

.De esta manera queda ajustado el modelo matemático para el filtro PF 25 expuesto en el presente capítulo, se procede a mostrar la mejora presentada en el filtro Larox ubicado en la división Las Tórtolas, Anglo American Chile.

II) Cálculo de tiempo de filtración para distintas concentraciones.

Utilizando la ecuación 4,27 se establece el tiempo de filtración para una determinada masa, la cual se calcula a través de la ecuación 4.12. Para obtener tanto la primera como la segunda variable se utilizan las constantes presentadas en la tabla 38.

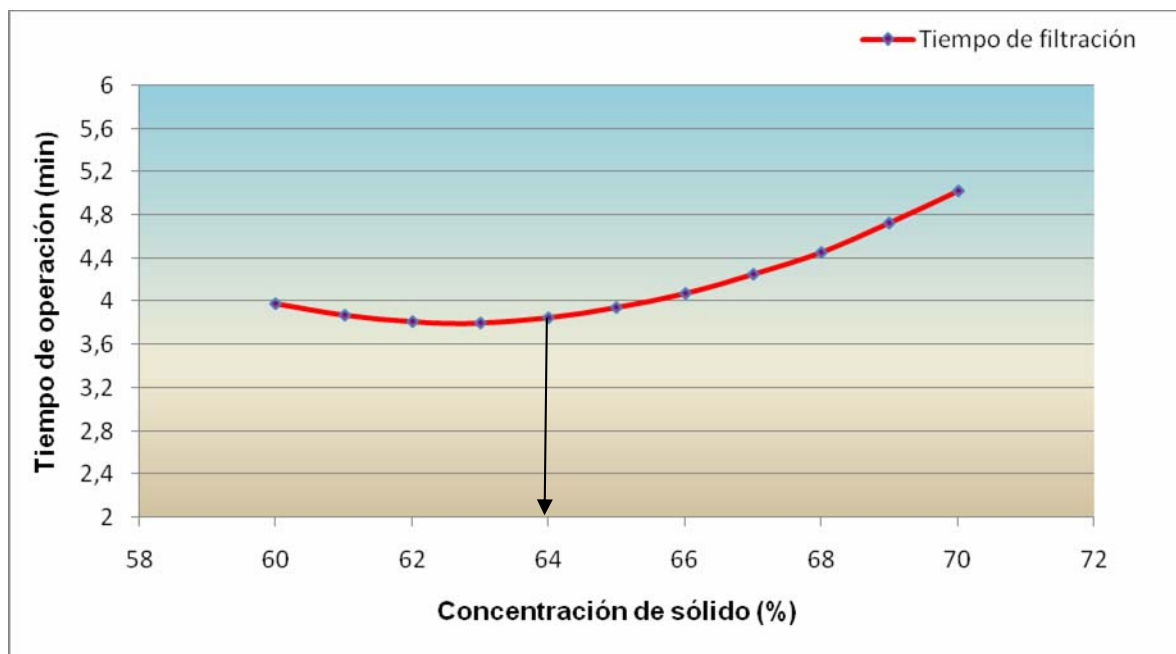
	Unidad	
Para determinar masa		
Concentración de sólido	%	60
Área de filtrado	m ²	25,2
Densidad de sólido	Kg/m ³	4.300
Porosidad		0,74
Para determinar tiempo		
Resistencia específica tela	m ⁻¹	13.362.300.000
Permeabilidad del queque	m ²	1,65079E-11
Viscosidad del filtrado	Kg/m*s	8
Caída de presión	Kg/m*s ²	1000000

Tabla 38: Constantes par determinar tiempo de filtración y masa del queque

Reemplazando los valores arrojados por la tabla 38, resulta:

Masa del queque	700,60 Kg
Tiempo de operación	3,98 minutos

Ahora bien, la gráfica 18 muestra el tiempo de filtración para las distintas concentraciones de sólido.



Gráfica 18: Tiempo de filtración a diferentes concentraciones

De la gráfica 18 se puede apreciar que el tiempo de operación aumenta si la concentración de sólido es superior al 64%, esto se debe a que la pulpa es mucho más viscosa para sólidos sobre 64%, lo que indica que el tránsito de ésta sea mucho más lento.

4.3 Conclusión

Del presente capítulo se concluye que el modelo matemático para el proceso de filtración resulta válido para el filtro prensa placa horizontal arrojando un valor cercano a los 350ton/día de concentrado de cobre para una concentración de sólido del 64%.

Además, se concluye que si la concentración de sólido se encuentra entre 60% - 64% en peso, la producción va aumentando en la medida que el porcentaje aumenta. Análogamente si la concentración de sólido se encuentra entre 65%- 70% la producción de concentrado de cobre disminuye en la medida que estos porcentajes aumentan, esto se da, porque mientras sea más alto el porcentaje de sólido en la pulpa, mayor será la resistencia que éste ponga al paso del fluido. Además, la velocidad de filtración se hará cada vez más lenta, al igual que flujo másico por metro cuadrado, lo que se traduce en una disminución de la producción diaria. Sin embargo, esta disminución representa sólo del 18,4% de la producción estimada. Por ejemplo, al trabajar con concentración de sólido 70% y operar 22 horas con este porcentaje se obtendría una producción cercana a los 286,50 ton/día, equivalentes a 8.595 toneladas mensuales de producto final, resultando ser adecuado como producción final, ya que se cumple con lo acordado con Anglo American Chile.

Con respecto al alto valor arrojado para la resistencia de la tela se deduce que una vez que el queque se ha formado, la tela dificulta el paso del fluido, esto se debe principalmente a que los poros de la tela se obstruyen con el sólido retenido.

Asimismo se infiere que inicialmente el tiempo de alimentación es una función lineal al líquido que está siendo filtrado, ya que posteriormente, y en la medida que el grosor del queque va aumentando, el caudal del líquido disminuye al igual que la velocidad de éste, producto a la resistencia que pone el queque al paso del fluido.

A partir del modelo matemático se acota que para lograr una producción cercana a los 350ton/día, la concentración de sólido deberá ser de 64% y con un espesor aproximado de 25mm y con un tiempo de operación de 3,85 minutos

Finalmente se concluye que para sólidos superiores al 64% el tiempo de filtración es mayor, debido a que la pulpa es mucho más viscosa, generando que la velocidad de filtración disminuya debido a que se dificulta el paso del líquido.

CAPITULO 5: OPTIMIZACION DEL FILTRO LAROX.

Al inicio del documento se plantea la problemática de la planta de filtración, la cual consiste en una disminución tanto en la durabilidad de las piezas (sellos, tela filtrante, etc) como en la producción de concentrado de cobre, imposibilitando cumplir con las exigencias de AACCh. Para ello fue necesario determinar las características de la pulpa y los ciclos de operación adecuados a los cuales el equipo debía operar para obtener el 11% de humedad requerida por AACCh y los 1,5 ton/ciclo necesarios para obtener, mensualmente, una producción superior a las 6000 toneladas de concentrado.

Determinados los parámetros, fue necesario ajustar el modelo matemático proyectando la producción diaria que el filtro debiese entregar para los diferentes porcentajes de sólidos. Es así como se determina que el filtro PF 25 puede producir alrededor de 10.500ton/mes (350ton/día) si se consideran 22 horas/día, 11 ciclos/hora, un tiempo de operación de 5,5 minutos con un porcentaje sólido del 64%

Una vez determinadas las condiciones de durabilidad, se valida el modelo matemático de tal manera de realizar una comparación gráfica entre la proyección entregada por el ajuste y lo entregado por el filtro Larox al operar con los parámetros y tiempos operacionales ya establecidos.

En base a ello, el objetivo de este capítulo es centrarse en aquellas piezas que presentan mayor problema al utilizar los parámetros operacionales determinados en el capítulo 3, y dar recomendaciones para mantener su durabilidad, de tal manera de alcanzar el 80% en la disponibilidad operativa del filtro estipulado por contrato con Anglo American Chile y obtener los 350 ton/día de concentrado de cobre.

Cabe destacar que la disponibilidad operativa del filtro se define:

$$D_f = \frac{H_{mes} - H_{vpta} - H_{AACCh}}{H_{mes} - H_{AACCh}} \quad \text{ecc. 5.1}$$

Donde:

D_f : Disponibilidad operativa del filtro

H_{mes} : Horas equivalentes a un mes de operación

H_{vpsa} : Horas detenidas del filtro durante un mes por fallas de las piezas

H_{AACh} : Horas detenidas del filtro durante un mes por fallas en los suministros.

5.1 Tela filtrante.

La tela filtrante es la de mayor interés, pues está en contacto directo con el concentrado y el desgaste de ésta suele ser mucho más rápido, lo que genera mayores detenciones del filtro durante el mes, disminuyendo notablemente la disponibilidad operativa del filtro en conjunto con la producción de concentrado.

5.1.1 Problema

La tela filtrante al estar en contacto directo con el concentrado y éste último presentar propiedades corrosivas genera un desgaste rápido y progresivo en el medio filtrante, generando ruptura del gancho metálico y agujeros en la misma tela tal como lo muestra la figura 25:



Figura 25: Ruptura gancho metálico

El párrafo anterior se debe específicamente a la:

- Sequedad producto a la colmatación¹³ que generan los insolubles que compone la pulpa.
- Obstrucción de los poros de la tela debido a las partículas sólidas que quedan retenidas.

5.1.2 Comportamiento en el tiempo.

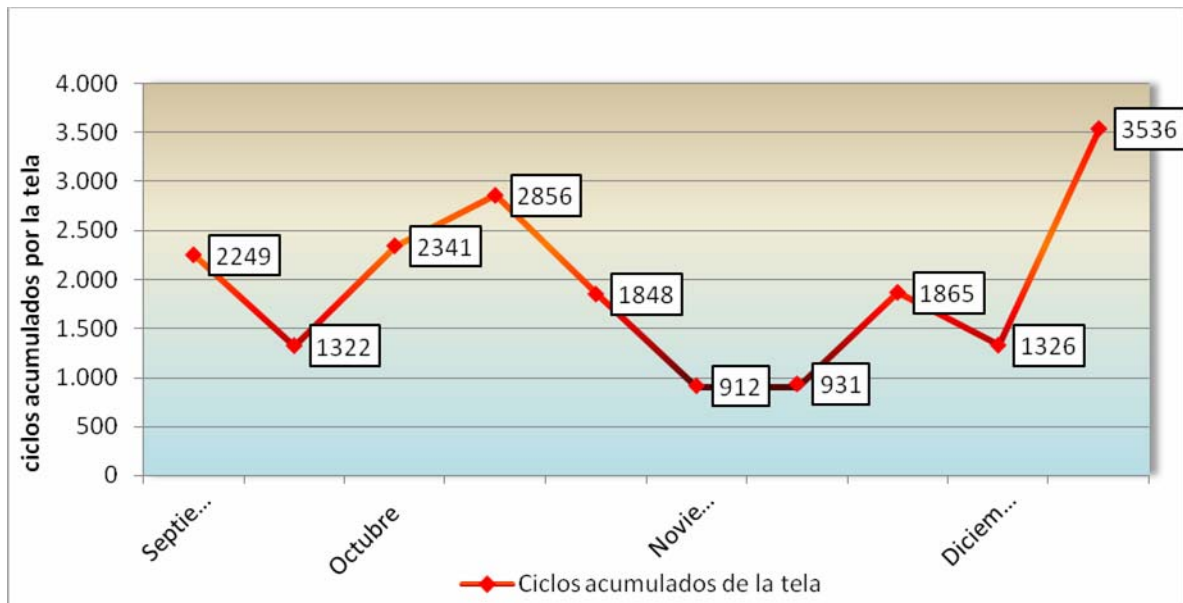
En promedio la tela debería tener una duración de 2.200 ciclos, lo que se traduce a 10 días de vida útil considerando que el filtro trabaja 22 horas al día.

La gráfica 18 permite visualizar que durante los meses: septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2008 el comportamiento de la tela ha sido variable, entregando valores en el mes de noviembre inferior a los 1.000 ciclos de operación, reduciendo hasta en un 20% la producción mensual de concentrado de cobre.

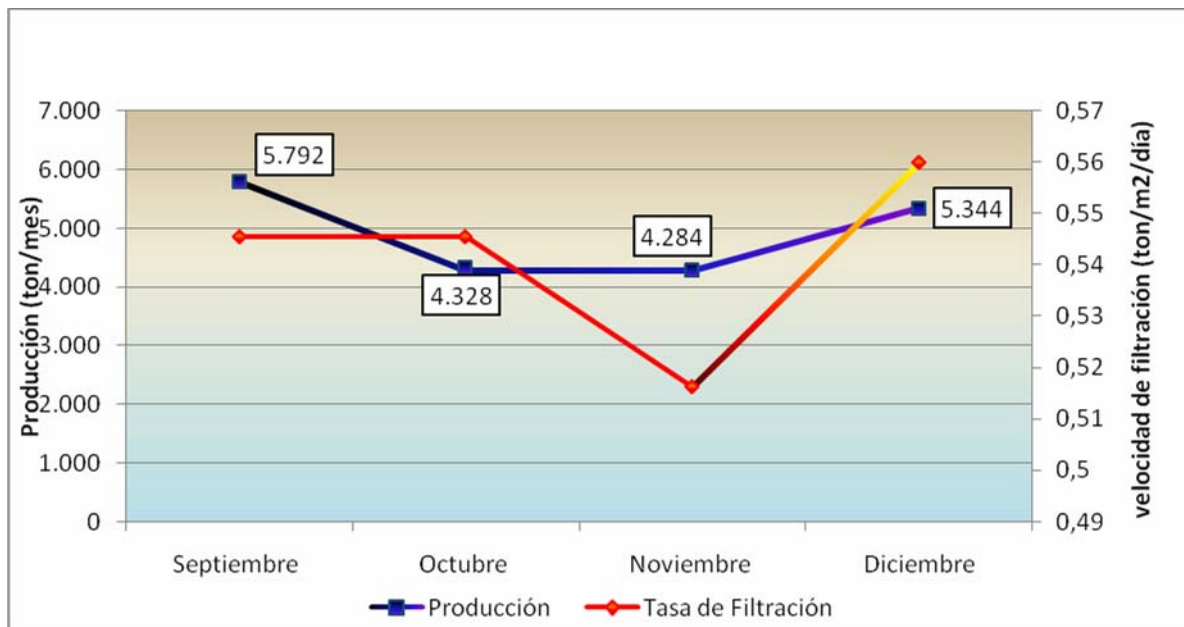
ⁱ13 .ver definición en glosario

La producción, tal como lo muestra la gráfica 19, se ve afectada directamente por dos razones:

1. Al romperse en forma seguida la tela, las horas operables del filtro disminuyen y por ende la producción.
2. Paralelamente la tela afecta directamente a la velocidad de filtración, por lo tanto al colmatarse la tela o al obstruirse los poros de ésta, es probable que no filtre eficientemente disminuyendo la velocidad del flujo del líquido filtrado, lo que se traduce en que para lograr que el concentrado alcance una humedad del 11% habría que aumentar los tiempos en la etapa de prensado y soplado.



Gráfica 19: Comportamiento de la tela

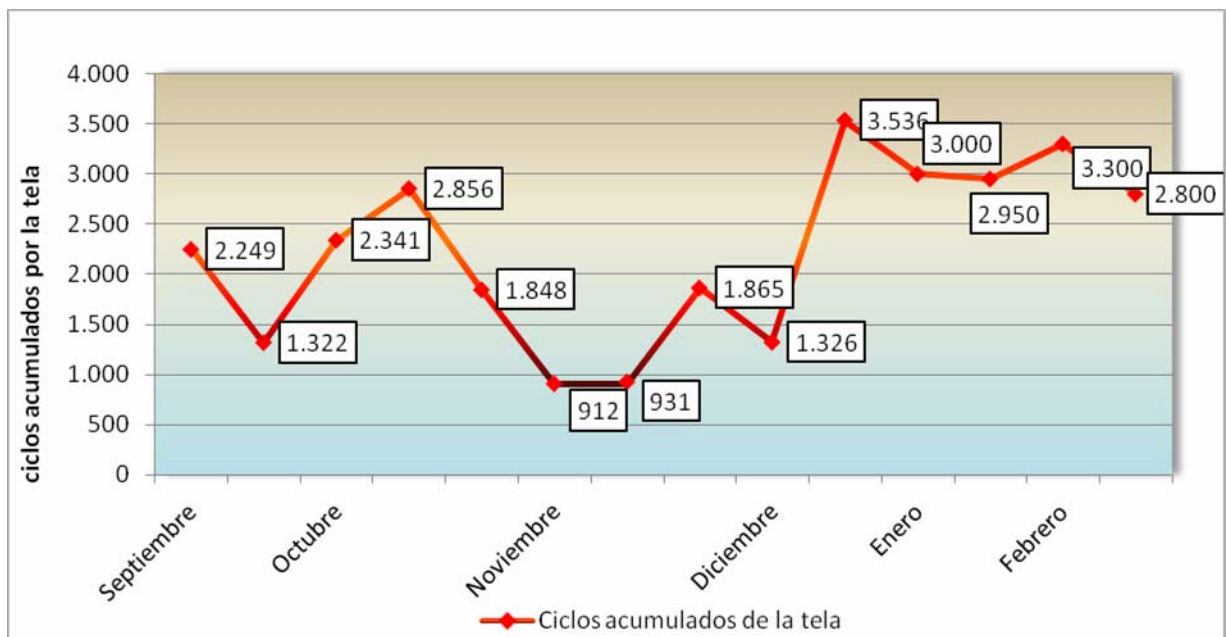


Gráfica 20: Comportamiento de la velocidad y de la producción

5.1.3 Solución

A partir de mes de diciembre se indicó que la tela 2106 L1 ,utilizada en el filtro PF25, fuese lavada 30 min antes de comenzar tanto el turno de día como de noche, lo que se tradujo en un aumento en los ciclos acumulados de una tela superando el promedio de 2.200 ciclos estimados (gráfica 21)

De la gráfica 21 es posible observar que durante los meses de enero y febrero la tela se cambió sólo dos veces al mes teniendo una durabilidad de 12 días, lo que en comparación con el mes de noviembre es bastante óptimo, pues durante este último la tela sólo tenía una durabilidad de 4 días, generando detenciones constantes en la operación del filtro.



Gráfica 21: Comportamiento de la tela después de las recomendaciones

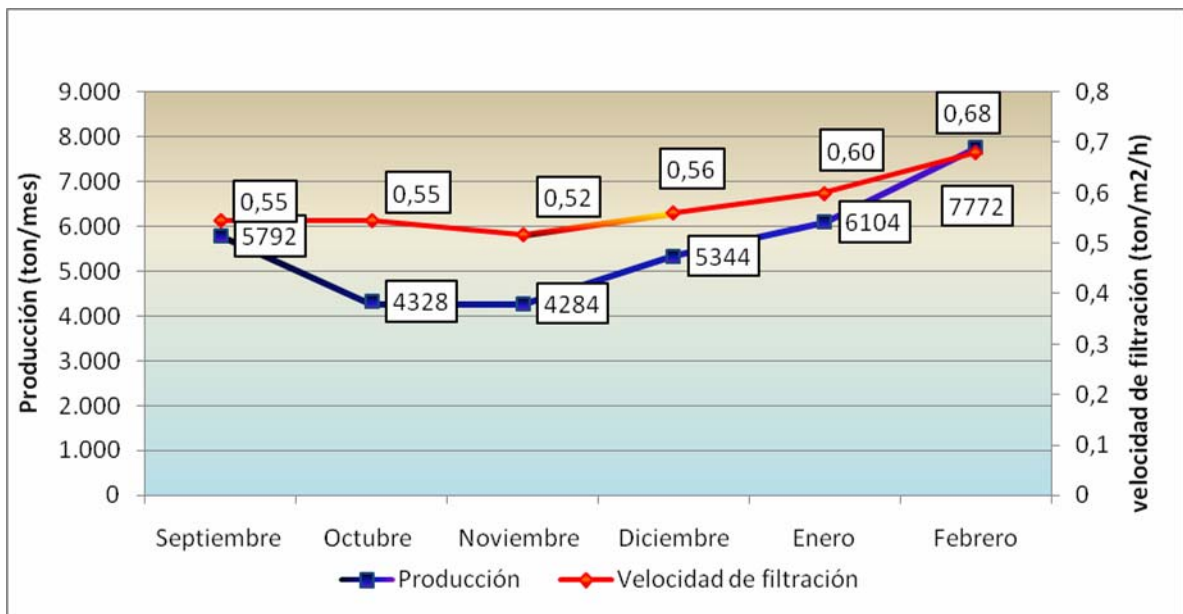
Por lo tanto se entregan las siguientes recomendaciones de tal manera de aumentar las condiciones de durabilidad de la tela:

5.1.4 Recomendaciones

- Antes de iniciar el turno lavar la tela durante 30 minutos.
- Chequear visualmente el estado de la tela y el gancho metálico de ésta
- Mantener en el ciclo operacional los tres segundos de lavado de tela.

Si se proyecta que al lavar la tela, diariamente, durante los 30 minutos estimados las propiedades físicas de ésta se mantienen en el tiempo, evitando rupturas, agujeros y saturaciones en los poros, lo que conlleva, que la velocidad de filtración se mantenga en el tiempo con un promedio de alrededor de 0,6 ton/día/h. que es el valor esperado para la tela 2106- L1 en el filtro PF 25 y que permite una producción por hora equivalente a los 15,23 toneladas de concentrado de cobre.

Cabe destacar que la velocidad de filtración etiquetada en la gráfica 22 corresponde al promedio mensual de ésta, la cual está relacionada directamente con la producción mensual de concentrado de cobre.



Gráfica 22: Comportamiento de la velocidad de filtración para los diferentes meses.

5.2 Sellos

El desgaste del sello no es un problema constante en el filtro. Una vez que éste se presenta afecta directamente en las horas de operación, disminuyendo la producción del concentrado y a su vez la disponibilidad del filtro.

5.2.1 Problema

Los sellos son de caucho natural y su desperfecto radica, principalmente, en que no están bien “pegados” a la cámara, ya sea, por falta de mantenimiento, o bien, por alguna rotura que se presente en éstos debido a una excesiva presión sobre la banda de sellado.

5.2.2 Recomendaciones

Los sellos, por lo general tienen una duración de 6 meses equivalente a 44.165 ciclos acumulados. Para que esto se cumpla se plantean las siguientes recomendaciones:

- Chequear visualmente que los sellos estén en el contorno de la placa
- Realizar semanalmente mantención preventiva de las placas y sellos.
- Utilizar el tiempo de inyección para cada porcentaje de sólido entregado en la tabla 15. No sobrepasar ni disminuir los tiempos ya terminados.

5.3 Diafragma

El diafragma al igual que los sellos no es un problema muy recurrente en el filtro Larox. Cuando se presenta afecta directamente a las horas operables del equipo, lo que se traduce en una disminución en la disponibilidad del filtro y en su producción mensual.

Este es de caucho natural, lo que implica una resistencia a la corrosión presente en la pulpa.

5.3.1 Problema

El problema que se presenta constantemente en el diafragma (figura 26) es que tiende a romperse con el tiempo, esto principalmente se debe a la alta presión con la que trabaja el filtro en la etapa de prensado.

Otro de los factores que influye en la deformación del elemento es que las entradas a las placas no se encuentren abiertas, lo que genera un doblamiento de éstas y por efecto un daño al diafragma.



Figura 26: Diafragma

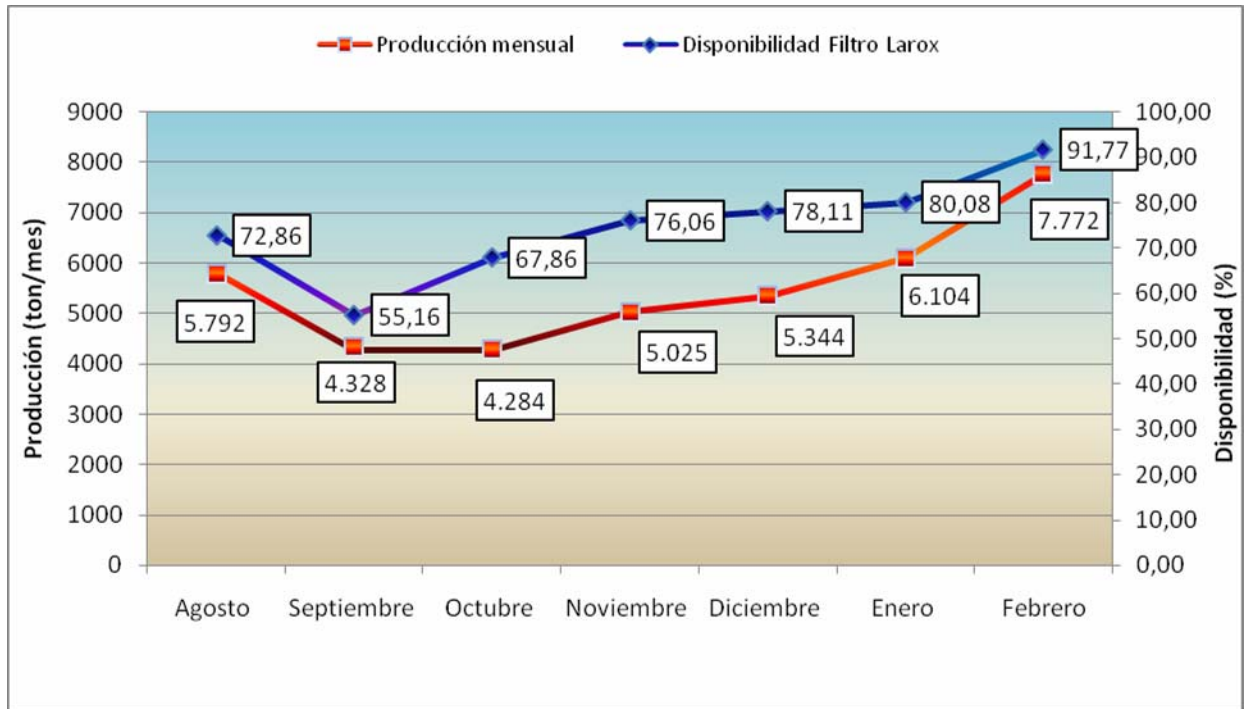
5.3.2 Recomendaciones

Por lo general, el diafragma tiene una duración de un año a un año y medio equivalente a 88.330 ciclos acumulados considerando que el filtro trabaje todos los días 22 horas. Para mantener la vida útil de esta pieza se recomienda:

- Realizar semanalmente una mantención preventiva a las placas y diafragmas del filtro PF 25.
- Asegurarse que la entrada de las placas permanezcan limpias y libre de restos de pulpa.
- Lavar constantemente estas piezas de tal manera de eliminar los restos de concentrado.

5.4 Análisis final

Al dar uso de estas recomendaciones el filtro manifestó notorias mejorías durante los primeros meses del 2009 alcanzando producciones sobre los 7.000 ton/mes y disponibilidades operativas sobre el 80%, disminuyendo a su vez las detenciones del filtro producto a las fallas de las piezas, tal como lo muestra la gráfica 23 y 24, respectivamente

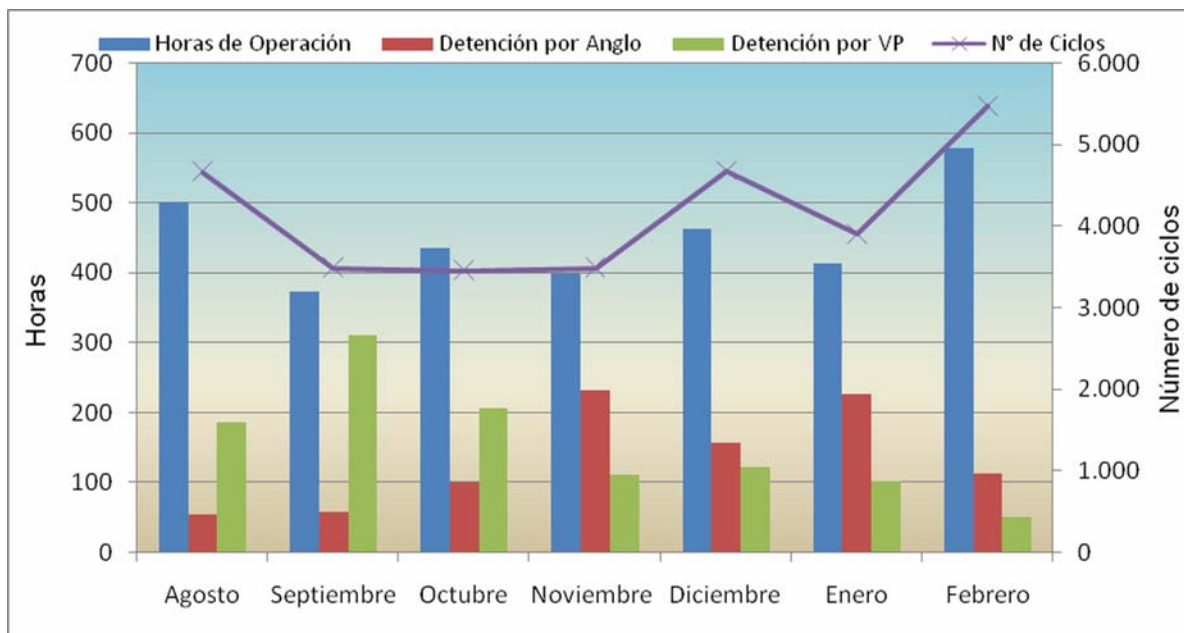


Gráfica 23: Comportamiento disponibilidad y producción en el tiempo

Los datos arrojados en la gráfica 24 corresponden al registro mensual de la planta de filtración mostrada en la tabla 38. Esta última muestra: las horas de operación del filtro PF 25, las horas detenidas del equipo por anomalías de Anglo American Chile, ya sea por baja concentración de sólido o falla en las líneas de suministros de aire o agua, y las horas detenidas por fallas o mantención de las piezas del filtro,

Factor de utilización	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Horas de operación	502	374	437	400	463	414	579
Horas de detención por AACH	55	18	100	233	158	227	114
Horas detención por falla filtro	187	312	207	111	123	103	51

Tabla 39: Registro mensual del filtro PF25



Gráfica 24: Horas Operables del filtro Larox.

De la gráfica 24, se deduce que al seguir las recomendaciones estipuladas para cada pieza, las detenciones producto a las fallas de éstas se verán disminuidas. El único factor que no es posible controlar es la calidad de los suministros que proporciona Anglo American Chile diariamente. Si estos durante el mes no contribuyen para el funcionamiento óptimo del filtro es imposible que se logre lo estipulado por contrato.

5.4.1 Anomalías de Anglo American Chile

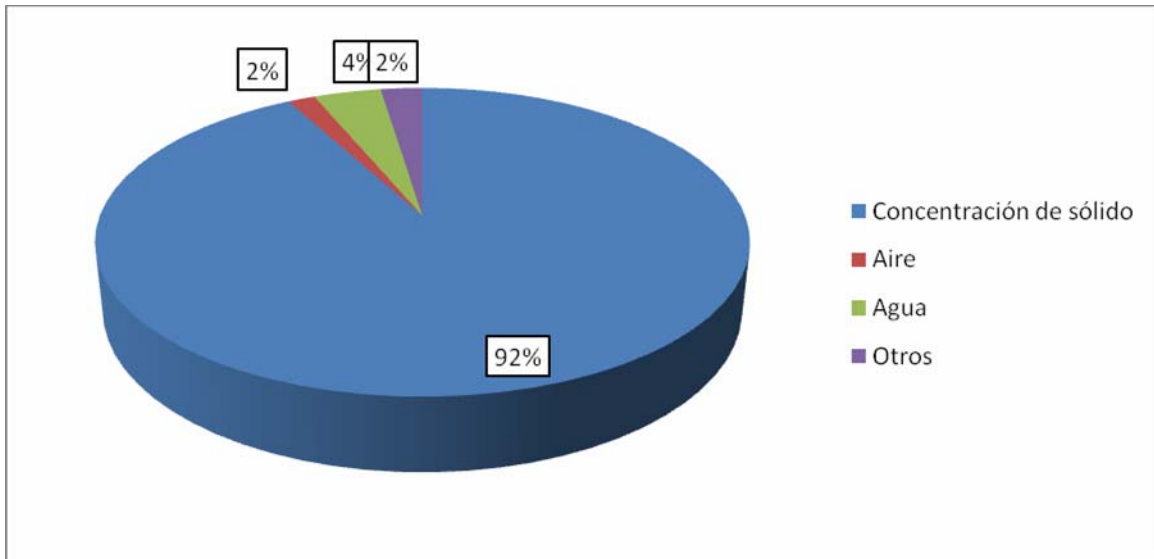
Para cumplir con las exigencias establecidas por la división Las Tórtolas, es necesario que ésta última también proporcione diariamente suministros de agua, aire y pulpa. Si alguno ellos llegase a fallar, el filtro Larox se verá obligado a detener su funcionamiento, perdiendo horas de funcionamiento y producción. A continuación se presenta, a través de la gráfica 25 y 26, las principales anomalías que presenta la minera.

La gráfica 25 se elabora a partir de la tabla 40, la cual presenta las horas detenidas del filtro producto a la falta de suministros (aire y agua) o a la baja concentración de sólido (< 60%), o bien, a causas como: manutención generalizada de la planta. Los datos registrados son desde el mes de Agosto del 2008 hasta Febrero del 2009.

Factor de utilización	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Concentración de sólido	40	45	100	221	153	200	111
Aire	2	0	0	5	0	7	1
Agua	5	3	0	7	5	15	2
Otros	8	10	0	0	0	5	0
Horas de detención de AACH	55	58	100	233	158	227	114

Tabla 40: Anormalidades de Anglo American Chile

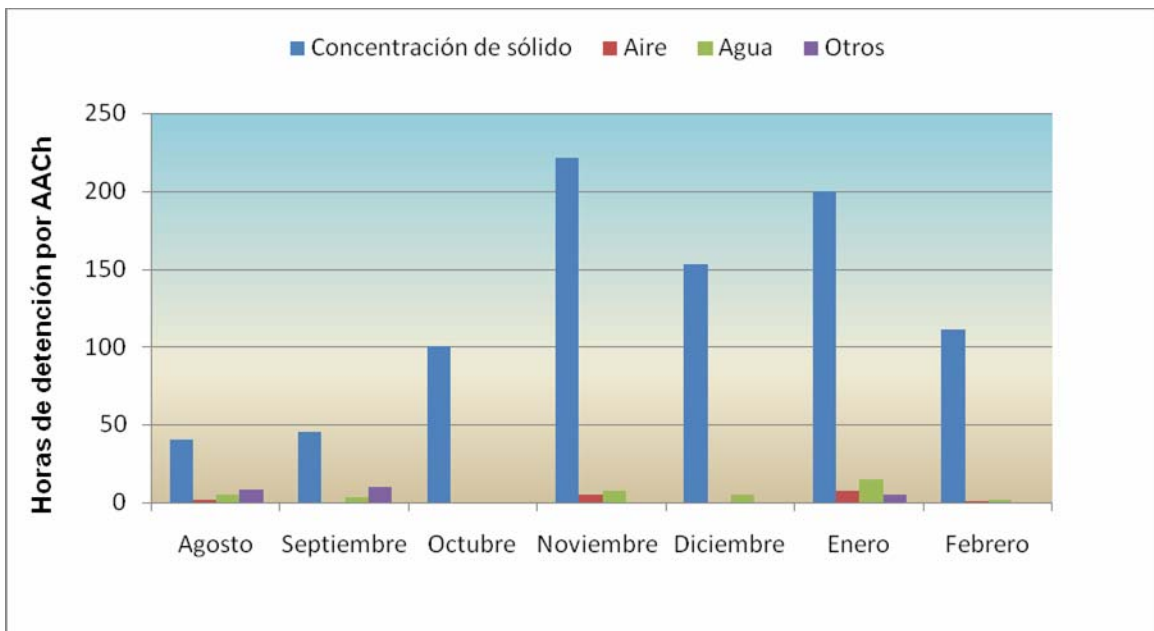
La gráfica 25 se construye con el total de la sumatoria de las horas de detención para cada falla, de tal manera de obtener el porcentaje de frecuencia entre una falla y otra.



Gráfica 25: Anormalidades de Anglo American Chile.

Es así como, la gráfica 25 muestra con un 92% de frecuencia que el filtro Larox debe ser detenido, producto a que Anglo American Chile proporciona pulpa con baja concentración de sólido (<60%).

A su vez, la gráfica 26, permite observar, a través del gráfico de barras, las horas de detención por Anglo American Chile, desde Agosto del 2008 hasta Febrero del 2009.



Gráfica 26: Horas de detención por AACCh.

5.4.2 Validación modelo matemático

Para validar el modelo se lee, cada una hora, del pesometro¹⁴ instalado en la plata de filtración de VPSA, la producción de concentrado de cobre. Se establece este tiempo, porque el estanque de cabeza de VPSA recibe pulpa cada una hora, y por lo general, la concentración de sólido varía en cada llenado del estanque, indicando que no es posible hacer una comparación diaria con el modelo matemático, pues éste se ajustó considerando un porcentaje de sólido constante.

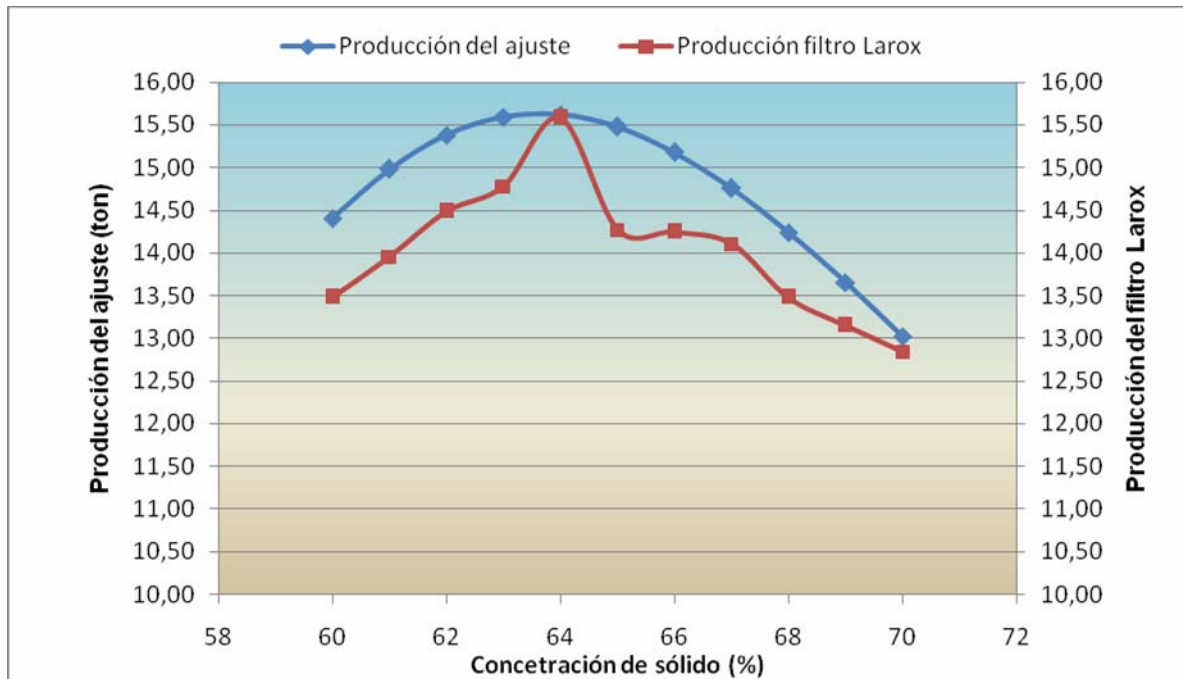
Las muestras fueron tomadas bajo las siguientes consideraciones:

- a) Se toman las muestras con telas filtrantes nuevas, o bien, que ésta lleve, a lo más, 800 ciclos de operación.
- b) No deben presentar fallas ni los sellos ni el diafragma.
- c) Al finalizar una hora de operación se toma registro de la producción a diferentes porcentajes de sólido.

La gráfica 27 se construye a partir de los valores entregados en la tabla 41, la cual presenta la producción por hora obtenida del modelo matemático y cuatro muestras de producción, para los diferentes porcentajes de sólido, obtenidos del filtro Larox PF 25.

Concentración de sólido	Producción modelo	Producción Filtro Larox				Promedio
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
60	14,41	12,50	13,20	14,78	13,43	13,48
61	14,98	14,65	14,00	13,74	13,43	13,96
62	15,38	15,10	13,35	14,00	15,50	14,49
63	15,59	15,88	14,04	13,20	16,01	14,78
64	15,62	17,00	15,43	15,00	14,89	15,58
65	15,48	14,00	13,67	14,65	14,76	14,27
66	15,18	14,00	15,07	12,89	15,02	14,25
67	14,76	12,50	13,42	15,75	14,75	14,11
68	14,24	13,96	10,32	14,65	14,98	13,48
69	13,65	15,05	12,34	12,35	12,87	13,15
70	13,02	13,00	12,65	12,65	13,06	12,84

Tabla 41: Comparación de la producción

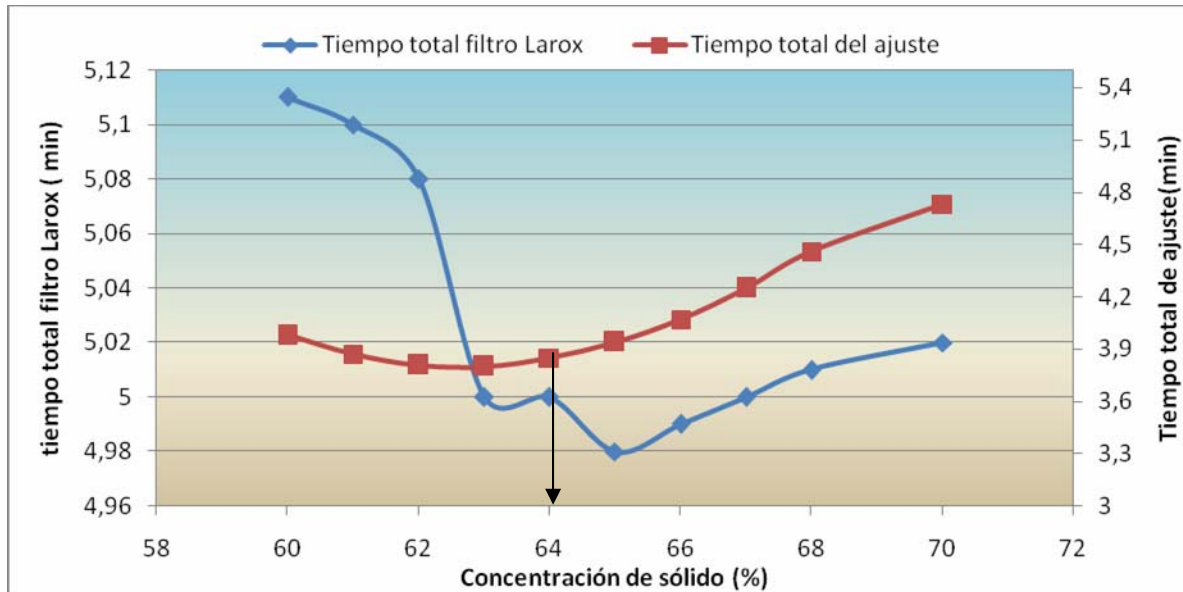


Gráfica 27: Curva comparativa entre la producción del modelo y la producción filtro Larox.

De la gráfica 27 se puede observar que ambas curvas muestran un aumento en la producción si se opera con una pulpa con concentración de sólido entre 60%- 64% en peso. De la misma forma, se refleja la disminución en la producción para sólidos superiores o iguales al 65%.

Además se muestra que el valor de producción proyectado por el modelo matemático es cercano a los valores obtenidos, en promedio, por el filtro Larox. Para las distintas concentraciones la diferencia que presenta el valor proyectado y el valor real es cercana al 5%.

Con respecto al tiempo de filtración, se muestra en la gráfica 28 la curva comparativa entre lo obtenido por el ajuste y lo entregado por el PLC del filtro Larox. Cabe destacar que éste último corresponde al tiempo total presentado en la tabla 25 del capítulo 3.



Gráfica 28: Curva comparativa entre tiempo filtración filtro Larox y el tiempo total del ajuste

De la gráfica 28, se puede apreciar que ambas curvas presentan un aumento en el tiempo total de operación para concentraciones de sólido superiores al 64%, lo que indica que en la medida que el porcentaje de sólido aumenta, la viscosidad de la pulpa también lo hace, dificultando el tránsito de ésta.

Además se observa que los valores presentados en el filtro Larox no se acercan a los proyectados por el ajuste, esto se debe a que el tiempo total de operación del equipo incluye, además de los tiempos de alimentación, prensado, soplado y descarga, los tiempos de lavado de manifold y mangueras, el lavado de tela, el tiempo que demora en inflarse el diafragma y finalmente lo que tarda el filtro en pasar de una etapa a otra. Mientras que el tiempo proyectado por el ajuste incluye sólo los tiempos de las cuatro principales etapas.

En el anexo D se encontrarán con una sección de recomendaciones operacionales, éstas son fundamentales para la optimización del filtro Larox, ya que permiten realizar chequeos preventivos a cada pieza, de tal manera que si se tiene que resolver algún imperfecto sea a la brevedad, y no cuándo éste genere una falla mayor.

5.5 Conclusiones:

De este capítulo se concluye que al cumplir las recomendaciones entregadas es posible aplazar el desgaste de las piezas que están en contacto directo con el concentrado, de tal manera de aminorar las horas de detención del filtro producto a las fallas que en este se generan, aumentando la disponibilidad del filtro Larox, y así cumplir completamente con las exigencias de AACH.

Además es importante destacar que tanto los sellos como el diafragma son de caucho natural, teniendo como características principal el ser resistente a la corrosión. Esto indica la pulpa en estas piezas afecta en el tiempo, el problema radica principalmente en las altas presiones a la cual se está trabajando y a la falta de mantención que se le realiza a las placas que lo componen.

Con respecto a la tela filtrante se menciona que ésta es indudablemente el principal elemento al momento de filtrar. Es por ello que deben seguirse las recomendaciones dadas, de tal manera de mantener la velocidad o tasa de filtración y la producción de concentrado diario.

Finalmente, se concluye que el modelo matemático presentado en el capítulo 4 es válido para el filtro PF 25 con un margen de error cercano al 5% y una desviación estándar del 0,74

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Para cumplir con las exigencias establecidas, por contrato, por Anglo American Chile, la planta de filtración de Vapor Procesos S.A, debe tener controlada la producción final, la humedad del concentrado de cobre y la disponibilidad operativa del filtro PF 25. Para ello, es importante que los operadores de la planta utilicen los tiempos operacionales establecidos, para la etapa de alimentación, prensado y soplado que influyen directamente con la producción final y la humedad del concentrado, respectivamente.

Para tener una disponibilidad del filtro superior al 80% se recomienda que éste sea chequeado diariamente antes de iniciar el turno, de tal manera, de observar las condiciones en las que se encuentran las piezas más claves dentro de la filtración como lo son: la tela filtrante, los sellos y el diafragma.

Además, se concluye que la producción va a depender de la concentración de sólido, ya que si ésta se presenta en un rango entre 60%- 70%, paralelo, el filtro opera 22 horas diarias, es de esperar que equipo descargue alrededor 350 toneladas diarias, pero manteniendo una velocidad de filtración , en promedio, de 0,65 ton/m²/s.

Para que la velocidad de filtración se mantenga en el tiempo, se recomienda limpiar diariamente la tela para mantener sus propiedades físicas, ya que ésta funciona como principal medio filtración. Para ello, se propone mantener los tres segundos de lavado de tela en cada ciclo de operación, además de que ésta sea lavada durante 30 minutos antes de iniciar el turno.

Sin bien, al operar con concentraciones de sólido entre 60%- 70% en peso se alcanza con la producción establecida por el cliente, cabe señalar, que si éste último proporcionará, diariamente, al estanque de Vapor Proceso S.A una pulpa con porcentaje en sólido del 64%, se alcanza la máxima producción de concentrado de cobre.

Anglo American Chile exige un producto final con humedad final del 11%. Para controlarla y para el filtro proporcione regularmente un concentrado con esta humedad, es importante que se utilicen los tiempos operacionales determinados para las etapas de prensado y soplado considerando la variable la concentración de sólido. Cabe mencionar, que no fue posible establecer un tiempo óptimo para obtener una humedad fija del 11%, ya que no está incluida en el modelo matemático, sólo se regula a partir de los tiempos determinados por pruebas de filtración.

Además se puede interpretar que la pulpa presenta características corrosivas, provocando desgaste en aquellas piezas que presentan contacto directo con ella, por lo que es importante que el filtro tenga tiempo de lavado dentro del ciclo de operación de por lo menos 3 segundos, además de lavar diariamente el equipo antes de comenzar cada turno.

Dentro de las características de la pulpa, es importante que el contenido de insolubles que compone la pulpa no supere el 15%, pues éste al estar compuesto por materiales higroscópicos, pueden incidir en la humedad de producto final, por la capacidad que tienen éstos en absorber líquido.

Para el caso de la selección de la tela se puede comentar que la tela 2106-L1 fue la elegida, pues presenta mejor tasa de filtración y alta permeabilidad en comparación con el resto de las tela que se pusieron a prueba. No obstante la tasa, o velocidad de filtración se mantendrá en el tiempo siempre y cuando el operador lave la tela durante 30 minutos antes de iniciar el turno, además de no disminuir los 3 segundos de tiempo de lavado incluido en el ciclo de operación..

Con respecto al modelo matemático, el que éste haya resultado válido para el filtro prensa permite llevar un control de la producción a partir de la concentración de sólido que trae la pulpa y el espesor del queque obtenido, considerando una viscosidad de filtrado de 8 cp.

El modelo matemático permite concluir que en un comienzo, el volumen filtrado es una función lineal del tiempo, pero llegado un momento el volumen comienza a disminuir, lo que resulta lógico, pues la resistencia de la torta comienza a aumentar, disminuyendo la velocidad de filtración.

A partir del modelo matemático se concluye que al operar con una pulpa con concentración de sólido entre 60%- 64% la producción de concentrado irá aumentando en la medida que el porcentaje de sólido aumente, alcanzando la producción máxima de 343,71 en el 64%. Lo contrario ocurre al operar con sólidos superiores al 64%, disminuyendo la producción hasta en un 16,64% al trabajar con 70% de sólido en peso.

También se concluye del modelo que la permeabilidad de la tela presenta una pendiente negativa y la resistencia del queque entrega una pendiente positiva al aumentar la concentración de sólido, indicando que mientras mayor sea ésta última, la tela filtra menos dado que en la pulpa existe menos líquido, y a su vez la velocidad es más lenta dado que el queque presenta mayor resistencia al paso al líquido.

En base a lo dicho anteriormente se concluye que el porcentaje de sólido presente en la pulpa es una variable fundamental para la validación del modelo matemático del filtro, ya que este nos permite deducir las características del producto que se está formando y cuánto es lo que se debiese producir por ciclo.

Es importante mencionar que mientras menor sea el sólido, el tiempo de inyección debe ser mayor, es decir, si se pesa un 60% de sólido en la balanza Marcy el operador debe dar un tiempo de inyección o de alimentación de 50 seg., 25 de prensado y 35 seg de soplado de tal manera de producir mínimo 1,5 ton/ciclo de concentrado de cobre, lo que se traduce, que al funcionar el filtro las 22 horas al día se obtiene una producción cercana a las 330 ton lo que conlleva a producir al mes los 9500 ton con una humedad cercana al 11%, y una disponibilidad del filtro del 90%.

Por otra parte, se deduce que para mantener las exigencias de Anglo American Chile, es necesario chequear diariamente las piezas de interés dentro del proceso de filtración (sellos, diafragmas, tela filtrante), además de que se utilicen los parámetros y tiempos operacionales establecidos. Sin embargo, si el cliente no proporciona, diariamente, los suministros acordados para operar, es imposible cumplir con el contrato.

Finalmente, a partir del presente documento, se infiere que para cumplir con las exigencias del cliente, la planta de filtración de Vapor Procesos S.A, debe pedir que éste proporcione pulpa con las siguientes características: sólidos entre 60%-70%, compuesta por, a lo más, el 15% de insoluble para no afectar en la humedad del producto final, con un tamaño de partícula de 38 μm . Si el filtro prensa placa horizontal opera, diariamente, con una pulpa que cumpla con estas características puede alcanzar producciones sobre 7.000 ton/mes de concentrado de cobre con una humedad del orden del 11%, pero, a su vez, el operador debe hacer uso de los tiempos operacionales determinados para la etapas de alimentación, prensado y soplado sin disminuir ni excluir los 3 segundos para las etapas de lavado de tela, además de tomar en cuenta los procedimientos de operación. Para que la disponibilidad del filtro sea superior al 80%, el equipo no debe presentar, frecuentemente, fallas, es por ello que se recomienda chequearlo diariamente, además de que Anglo American Chile no presente anormalidades en los suministros de agua, aire y pulpa que proporciona para el trabajo de la planta de filtración

BIBLIOGRAFIA

- Manual de Filtración y Separación. Autor Fernando Concha.. Editorial Diario El Sur S.A. Año 2001. Capitulo 9 Filtración. Página 236- 300
- Tratamiento de agua para el consumo humano para planta de filtraciones rápidas Autor Víctor Maldonado. Editorial Agua Potable. Necesidad del presente y del futuro. Año 2004 Tomo II. Capitulo 9. Página 112. -140.
- Solid Liquid Separation: Principles of industrial. Autor: Stephen Tarleton. Editorial Elsevier Science. Año 2005. Capítulo 1. Página 3- 10.
- Proceedings of the Societyfor Water Treatment and Examination. Autor Ives, K. y Gregory, J. Editorial: Natura. Año 1952. Basic concepts of filtration, página 61.
- Manual de Filtro Larox prensa placa horizontal. Editorial Larox Corporate. Año 2005. Página 100-190
- Filtration. Equipment Selection Modelling and Process Simulation. Autor R.J Wakeman y E.S Tarleton. Primera Editorial Elsevier Science. Año 1998. Capitulo 1. Página 20-56.

GLOSARIO

- **Balanza Marcy**, instrumento que utiliza para medir densidades de pulpa.
- **Calibración**, establece con la mayor exactitud posible la correspondencia entre las indicaciones de un instrumento de medida y los valores de la magnitud que se mide con él
- **Ciclo de operación**, se refiere al proceso de filtración completo, desde que comienza a alimentar el fluido hasta que finaliza la descarga del producto.
- **Colmatación**, obstrucción de los poros.
- **Compresibilidad**, es una propiedad de la materia a la cual se debe que todos los cuerpos disminuyan de [volumen](#) al someterlos a una [presión](#) o [compresión](#) determinada manteniendo constantes otros parámetros.
- **Compositos**, envases donde se guarda el concentrado de cobre obtenido diariamente.
- **Densidad**, magnitud física que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
- **Diafragma**, constituye el elemento de la placa del Filtro Larox que permite comprimir la pulpa contra la tela filtrante, con el propósito de eliminar el agua contenida.
- **Embancamiento**, atascamiento.
- **Filtración**, separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que permite el paso del fluido a través de él.
- **Filtro Larox PF 25**, equipo de filtración a presión con un área filtrante de 25 m²
- **Granulometría**, se refiere al tamaño de los granos que forman la mezcla
- **Higróscopico**, es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.

- **Permeabilidad**, capacidad de un material para ser traspasado por un fluido.
- **Pesómetro**, equipo que mide el peso de la producción de concentrado de cobre
- **PLC**, *Programmable Logic Controller*, Programa Lógico Controlable, es usado para controlar el tiempo y regular la secuencia.
- **Prensado**, etapa de filtración del Filtro Larox. En ésta el diafragma comprime la torta contra la superficie de la tela, obligando al líquido a pasar a través de ésta última.
- **Porosidad**, capacidad que tiene un material para absorber el líquido.
- **Pulpa**, es la mezcla que existe entre el agua y el mineral.
- **Queque**, producto final del proceso de Filtración.
- **Soplado**, etapa de filtración del Filtro Larox, la cual consiste en secar la torta mediante aire.
- **Tasa filtrante**, velocidad de filtración.
- **Torta**, producto final del proceso de Filtración.

ANEXOS

ANEXO A: PROCEDIMIENTOS PRUEBAS DE FILTRACIÓN.

1. Caracterización de la pulpa.

a) Gravedad específica

Materiales

- i. Concentrado de Cobre
- ii. Agua Destilada.
- iii. Picnómetro 10 ml
- iv. Balanza

Procedimiento

- Limpiar el picnómetro utilizando amoníaco o algún disolvente de grasa. Enseguida se enjuaga con agua destilada y se seca en horno.
- Una vez seco el picnómetro, pesar vacío y tapado en la balanza (m_1)
- Añadir 3 gr. de concentrado de cobre dentro del picnómetro y se pesa nuevamente (m_2).
- Agregar una pequeña cantidad de agua evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar $\frac{3}{4}$ de la capacidad del picnómetro
- Remover el aire el aire atrapado, para ello se debe hervir el picnómetro durante 10 a 15 minutos haciéndolo girar continuamente.
- Para continuar con la prueba se debe esperar que el picnómetro llegue a la temperatura ambiente.
- Agregar agua destilada hasta llenar el Picnómetro. Limpiar y secar el exterior y volver a pesar (m_3).

- Finalmente se retira todo el contenido del Picnómetro, se lava, se vuelve a llenar con agua y se vuelve a pesar (m_4).

Para el cálculo de gravedad específica o densidad de sólido, se utiliza la siguiente expresión:

$$G_s = \frac{m_3 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_2 - m_1)} \cdot P_{liquida} \frac{Kg}{l} \quad \text{ecu. (4 - 1)}$$

b) Granulometría del concentrado

Procedimiento

- Compositar la muestra (cada día del mes se deja una muestra en un sobre destinado a confeccionar el composito mensual).
- Una vez finalizado el mes la muestra se añade a una bandeja y se debe rolear o balancear por 10 minutos aproximadamente
- Vaciar 20 kilos de mineral en una tolva de divisor rotatorio. De ésta se obtiene una cantidad de muestras que está relacionada directamente con el peso de la muestra original. Se apunta a obtener sub- muestras de 1.5 Kg. aproximadamente.
- De las sub- muestras se deben tomar 900 gr. y se agrega en húmedo a la malla 400, se secan ambos productos.
- Este producto es el que se vacía en la batería de mallas y se lleva al Ro-Tap por 15 minutos
- Después de transcurridos los 15 minutos se pesa el retenido de cada malla

Cada tamiz determina la cantidad retenida de mineral, para calcular el porcentaje de acumulado pasante se sigue la siguiente serie de cálculos:

- Calcular el porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{gr. material retenido tamiz}}{\text{peso total de la muestra}} \quad \text{ecc. (A - 2)}$$

- Calcular el porcentaje retenido acumulado

$$\% \text{ Retenido acumulado} = \% \text{ retenido} + \% \text{ retenido anterior} \quad \text{ecc. (A - 3)}$$

- Calcular el porcentaje acumulado pasante.

$$\% \text{ Acumulado pasante} = 100 - \% \text{ retenido acumulado} \quad \text{ecc (A - 4)}$$

c) Densidad de la pulpa

Materiales

- Balanza Marcy. (ver figura 27)

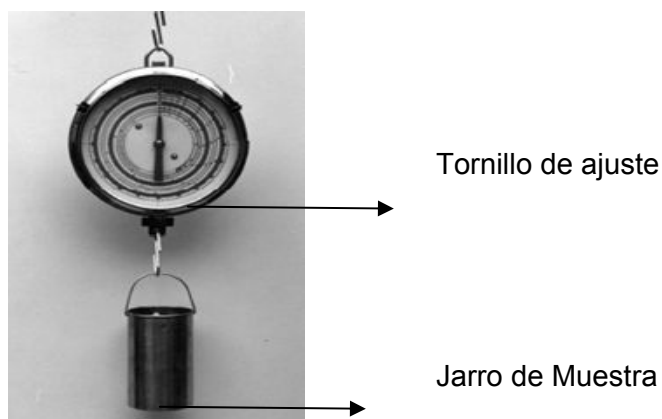


Figura 27: Balanza Marcy

Procedimiento

I) Chequear el Cero de la Balanza

- Usando el dedo índice y el pulgar, cierre los agujeros en la parte de arriba del jarro. Llenar el jarro con agua.
- Suspender el jarro del gancho de la balanza, y dejar que el exceso de agua salga por los agujeros.
- Cuando el agua deje correr por los agujeros, suavemente se debe limpiar el lado inferior del jarro sin derramar su contenido.
- Sí en la escala externa (denominada *Sp, Gr. of pulp*) no se lee 1.0, se debe corregir con el mecanismo de ajuste de la balanza (normalmente es un tornillo grande en el lado inferior de la balanza) para dar la lectura deseada 1.0.

II) Medición del concentrado y densidad de pulpa

Una vez calibrada la balanza se prosigue con los siguientes pasos:

- Obtener la muestra del estanque de cabeza del filtro Larox.
- Vaciar la muestra en el jarro de la Balanza Marcy.
- Leer el porcentaje de sólido entregado por la balanza.
- Leer la densidad de pulpa entregado por la balanza.

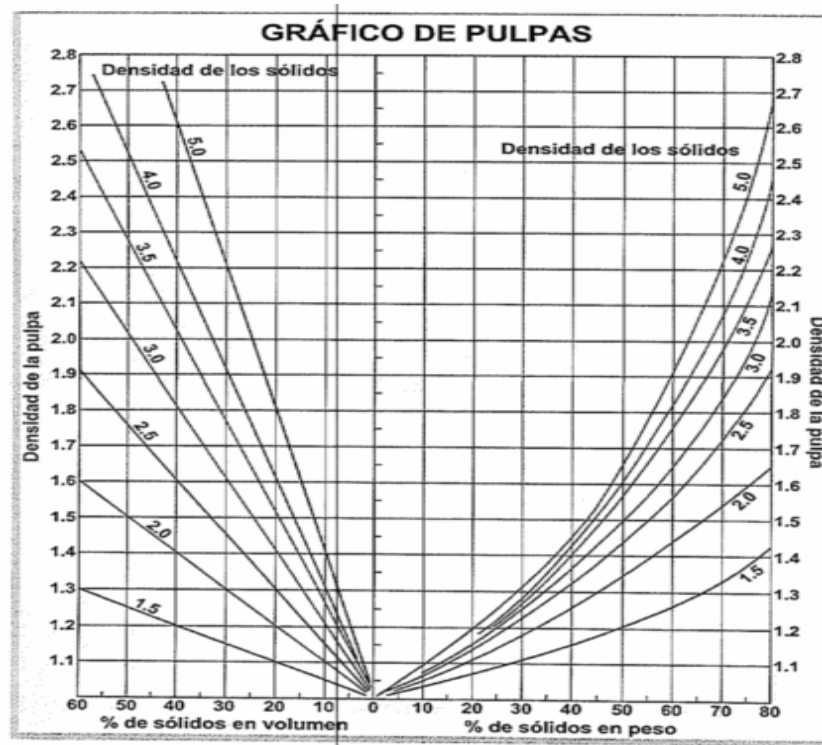


Figura 28: Gráfica de densidad de pulpa

d) Viscosidad

Materiales

- i. Viscosímetro Fungilab
- ii. Vaso precipitado 500 ml.
- iii. Balanza
- iv. Muestra de pulpa a diferentes porcentajes de sólido.

Procedimiento

Una vez que se toman las muestras, éstas son llevadas al laboratorio dispuesto en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Católica de Valparaíso y se procede de la siguiente manera:

- Encender Viscosímetro Fungilab
- Verificar si las unidades indicadas por el viscosímetro están en centipoise (cp).
- Introducir la muestra en el vaso precipitado de 500 ml
- Dejar girar el agitador durante unos 5 minutos.
- Leer en la pantalla del viscosímetro la viscosidad entregada.
- Repetir la prueba para diferentes sólidos.

2 Pruebas de Filtración

Materiales

- i. Filtro Larox PF 0.1.
- ii. Horno.
- iii. Cronómetro
- iv. Probeta 1000 ml
- v. Balanza
- vi. Regla de 100 cm

Procedimiento para selección de tela,

Se tomaron muestras de la pulpa de concentrado de cobre en los recintos de Anglo American, a las cuales se les realizó un análisis previo para conocer sus características, para ello se cumple el siguiente procedimiento:

- Calibrar la balanza Marcy (figura 26) llenando un recipiente con agua hasta que rebalse por el orificio, esto asegura que el jarro de muestra tiene 1000 cc. de líquido. Observar el movimiento de la aguja hasta el número cero, esto indica que la balanza está calibrada
- Realizar muestreo de pulpas de concentrado de cobre en la balanza Marcy, vale decir, medición de % sólido, densidad de la pulpa, considerando la gravedad específica medida en el ítem anterior.
- Ingresar 60 litros de muestra de pulpa al estanque de alimentación del filtro Larox PF 0,1, dejando homogenizar 10 minutos.
- Paralelamente seleccionar la tela que se ocupará en la prueba.
- Cerrar completamente las placas.
- Abrir la válvula correspondiente a la etapa de alimentación de la pulpa.

- Registrar el tiempo cada 200 ml de líquido filtrado. Detener a los 2,5 min.
- Cerrar válvula de alimentación.
- Abrir válvula de prensado hasta que la presión alcance 16 bar.
- Medir con una probeta, cada 10 segundos durante 1 minuto, el volumen que alcanza el líquido al finalizar esta etapa.
- Cerrar válvula correspondiente a la etapa de prensado.
- Encender el compresor.
- Abrir válvula correspondiente a la etapa de soplado.
- Tomar durante 3 minutos el volumen que alcanza el líquido al finalizar esta etapa.
- Cerrar válvula correspondiente a la etapa de Soplado.
- Se abren las placas y se toma el queque formado en ellas.
- Pesar y medir el espesor queque.
- Llevar al horno a 85°C, dejándolo aproximadamente 24 horas para que se seque completamente.
- Pesar en una balanza el queque. Calcular porcentaje de humedad

$$\text{humedad} = \text{peso torta húmeda} - \text{peso torta seca} \quad \text{ecc. (4 - 5)}$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{humedad}}{\text{peso torta húmeda}} \quad \text{ecc. (4 - 6)}$$

- Repetir el procedimiento para las diferentes telas.
- Calcular la velocidad de filtración, considerando un área de filtración de 0,1 m². Se realiza el calculo con el tiempo de alimentación obtenido más la sumatoria del tiempo muerto, prensado y soplado suponiendo que estos suman 3,4,6,8,10,12,14,16,18 y 20 minutos y el volumen filtrado para los distintos tiempos de alimentación registrados.

- 2106- L1

Tiempo, min	Tiempo,s	Unidad (kg, ml ,l mm)			t/v	área, m2
		ml	litros			
0.13	8	200	0.2	0.04	0.66666667	0.1
0.18	11	400	0.4	0.16	0.45833333	
0.25	15	600	0.6	0.36	0.41666667	
0.35	21	800	0.8	0.64	0.4375	
0.47	28	1000	1	1	0.46666667	
0.63	38	1200	1.2	1.44	0.52777778	
0.83	50	1400	1.4	1.96	0.5952381	
1.05	63	1600	1.6	2.56	0.65625	
1.33	80	1800	1.8	3.24	0.74074074	
1.58	95	2000	2	4	0.79166667	
1.78	107	2200	2.2	4.84	0.81060606	
2.03	122	2400	2.4	5.76	0.84722222	
2.30	138	2600	2.6	6.76	0.88461538	
2.50	150	2800	2.8	7.84	0.89285714	

Tasa de filtración (Kg/m2*hr)

Tiempo Muerto+ Tiempo prensado+ Tiempo Soplado

Tiempo Min	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	38.30									
3	75.39									
3	110.77									
3	143.28									
3	173.08									
4	198.17									
4	219.13									
4	237.04									
4	249.23									
5	261.82									
4.78	275.96									
5	286.09									
5	294.34									
6	305.45									
4		29.0								
4		57.4								
4		84.7								
4		110.3								
4		134.3								
5		155.4								
5		173.8								
5		190.1								
5		202.5								
6		214.9								
5.78		228.24								
6		238.7								
6		247.6								
7		258.5								
6			19.57							
6			38.81							
6			57.60							
6			75.59							
6			92.78							
7			108.54							
7			122.93							
7			136.17							
7			147.27							
8			158.24							
8			169.59							
8			179.25							
8			187.95							

Tasa Filtración
seleccionada

- 2110 L1

Tiempo, min	Tiempo,s	Volumen Filtrado		área, m2
		ml	lt	
0.07	4	200	0.2	0.1
0.13	8	400	0.4	
0.20	12	600	0.6	
0.28	17	800	0.8	
0.42	25	1000	1	
0.63	38	1200	1.2	
0.90	54	1400	1.4	
1.30	78	1600	1.6	
1.75	105	1800	1.8	
2.23	134	2000	2	
2.50	150	2200	2.2	

Tasa de filtración (Kg/m2*hr)

Tiempo Muerto+ Tiempo prensado+ Tiempo Soplado

Tiempo min	3	4	6	8	10	12	14	16
3.07	39.13							
3.13	76.60							
3.20	112.50							
3.28	146.19							
3.42	175.61							
3.63	198.17							
3.90	215.38							
4.30	223.26							
4.75	227.37							
5.23	229.30							
5.50	240.00							
4.07		29.51						
4.13		58.06						
4.20		85.71						
4.28		112.06						
4.42		135.85						
4.63		155.40						
4.90		171.43						
5.30		181.13						
5.75		187.83						
6.23		192.51						
6.50		203.08						
6.07			19.78					
6.13			39.13					
6.20			58.06					
6.28			76.39					
6.42			93.51					
6.63			108.54					
6.90			121.74					
7.30			131.51					
7.75			139.35					
8.23			145.75					
8.50			155.29					

Tasa Filtración
utilizada para la
selección

- 2209 L1

Tiempo, min	Tiempo,s	Unidad (kg, ml ,l mm)		área, m2
		ml	lt	
0.12	7	200	0.2	0.1
0.22	13	400	0.4	
0.32	19	600	0.6	
0.48	29	800	0.8	
0.80	48	1000	1	
0.98	59	1200	1.2	
1.17	70	1400	1.4	
1.33	80	1600	1.6	
1.58	95	1800	1.8	
1.78	118	2000	2	
2.15	129	2200	2.2	
2.35	141	2400	2.4	
2.50	150	2600	2.6	

Tasa de filtración (Kg/m2*hr)

Tiempo Muerto+ Tiempo prensado+ Tiempo Soplado

Tiempo min	3	4	6	8	10	12	14	16	18
3.12	38.50								
3.22	74.61								
3.32	108.54								
3.48	137.80								
3.80	157.89								
3.98	180.75								
4.17	201.60								
4.33	221.54								
4.58	235.64								
4.78	251.05								
5.15	256.31								
5.35	269.16								
5.50	283.64								
4.12		29.15							
4.22		56.92							
4.32		83.40							
4.48		107.06							
4.80		125.00							
4.98		144.48							
5.17		162.58							
5.33		180.00							
5.58		193.43							
5.78		207.61							
6.15		214.63							
6.35		226.77							
6.50		240.00							
6.12			19.62						
6.22			38.61						
6.32			56.99						
6.48			74.04						
6.80			88.24						
6.98			103.10						
7.17			117.21						
7.33			130.91						
7.58			142.42						
7.78			154.24						
8.15			161.96						
8.35			172.46						
8.50			183.53						

Tasa Filtración
utilizada para la
selección

- 2106 L1K3

Tiempo, min	Tiempo,s	Unidad (kg, ml ,l mm)		área, m2
		ml	lt	
0.20	11	200	0.2	0.1
0.29	14	400	0.4	
0.40	18	600	0.6	
0.55	21	800	0.8	
0.70	42	1000	1	
0.90	54	1200	1.2	
1.17	70	1400	1.4	
1.42	85	1600	1.6	
1.75	96	1800	1.8	
1.80	100	2000	2	
1.93	109	2200	2.2	
2.25	112	2400	2.4	
2.50	120	2600	2.6	

Tiempo Muerto+ Tiempo prensado+ Tiempo Soplado

Tiempo min	3	4	6	8	10	12	14	16	18
3.20	37.50								
3.29	72.95								
3.40	105.88								
3.55	135.21								
3.70	162.16								
3.90	184.62								
4.17	172.80								
4.42	190.19								
4.75	202.11								
4.80	225.00								
4.93	219.07								
5.25	228.57								
5.50	240.00								
4.20	28.57								
4.29		55.94							
4.40		81.82							
4.55		105.49							
4.70		127.66							
4.90		146.94							
5.17		162.58							
5.42		177.23							
5.75		187.83							
5.80		206.90							
5.93		222.60							
6.25		230.40							
6.50		240.00							
6.20		19.35							
6.29		38.16							
6.40		56.25							
6.55		73.28							
6.70		89.55							
6.90		104.35							
7.17		117.21							
7.42		129.44							
7.75		139.35							
7.80		153.85							
7.93		166.46							
8.25		174.55							
8.50		183.53							

Tasa Filtración
utilizada para la
selección

Procedimientos para parámetros operacionales

- Calibrar y hacer muestreo de pulpa en balanza Marcy.
- Ingresar 60 litros de muestra de pulpa al estanque de alimentación del filtro Larox PF 0.1, dejando homogenizar entre 5 a 10 minutos.
- Cerrar completamente las placas.
- Abrir la válvula correspondiente a la etapa de alimentación de la pulpa.
- Dejar filtrar inicialmente durante 60 segundos. Este valor variará dependiendo del espesor entregado por la torta para los diferentes porcentajes de sólido en peso. Se espera un espesor cercano a los 30 mm.
- Cerrar válvula de alimentación.
- Abrir válvula de prensado hasta que la presión alcance 16 bar. Dejar prensar, inicialmente, 50 segundos. Este valor variará dependiendo de la humedad obtenida. Cerrar válvula correspondiente a la etapa de prensado.
- Encender el compresor y abrir válvula correspondiente a la etapa de soplado. Dejar durante 50 segundos.
- Cerrar válvula correspondiente a la etapa de soplado.
- Se abren las placas y se toma el queque formado en ellas. Pesar y medir el espesor queque.
- Llevar al horno, dejándolo aproximadamente 24 horas para que se seque completamente.
- Pesar en una balanza el queque y calcular su humedad

$$\text{humedad} = \text{peso torta húmeda} - \text{peso torta seca}$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{humedad}}{\text{peso torta húmeda}}$$

- Corroborar si la humedad es de 11%, en caso contrario repetir la prueba con tiempos mayores o menores de acuerdo a la humedad obtenida.

1. Parámetros Operacionales

- Para sólido 60%

Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

Tipo de Tela	2106-L1	2104-L1	2110-L1	2108-L1	2106-L1K3	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1
--------------	---------	---------	---------	---------	-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Etapas	Duración (min)										
	Alimentación	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.5	1.5	1.5	1	50
Prensado 1	1	1	1	1	1	50	35	35	30	25	25
Lavado											
Soplado	50	50	50	50	50	50	50	45	35	35	35
Descarga											

	Presión (bar)										
	Presión Liberada	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Presión de Agua	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Cantidad	Filtrado (litros)										
	Filtrado alimentación	2.8	3	3.45	3.24	2.93	2.37	2.2	2.1	1.8	1.5
Filtrado en prensado I	0.44	0.72	0.24	1.4	1.18	1.22	1.28	0.55	0.58	0.36	0.1
Filtrado en Lavado											
Filtrado en Soplado	0.38	0.52	0.54	0.58	0.54	0.52	0.3	0.25	0.23	0.17	0.2

Flujo de aire	litros/min										
	Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Final	250	150	100	100	80	80	80	80	80	80	80

Sólidos											
	%										
Gravedad específica	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Espesor queque (mm)	28	28.5	24	28.5	24.5	23.5	28.5	25	25	26.5	28
Peso queque Húmedo(kg)	6.454	6.565	5.73	6.854	6.1	5.745	5.82	5.784	5.621	5.643	5.55
Peso queque Seco(kg)	5.954	6.071	5.12	6.113	5.41	5.06	5.1	5.1123	5	5.021	4.95
Humedad	0.500	0.494	0.610	0.741	0.690	0.685	0.720	0.672	0.621	0.622	0.600
% Humedad	7.75	7.52	10.65	10.81	11.31	11.92	12.37	11.61	11.05	11.02	10.81

Valores utilizados
modelo matemático

- Para sólido 64% y 68%

Lo que está marcado con el color rojo corresponde al 68% de sólido

	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Tela	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1	2106 L1
Etapas	Duración (min)							
Alimentación	45	40	40	40	35	35	35	35
Prensado	25	25	20	20	20	20	15	15
Lavado								
Soplado	35	35	30	30	30	30	30	30
Descarga								
	Presión (bar)							
Presión Liberada	6	6	6	6	6	6	6	6
Presión de Agua	16	16	16	16	16	16	16	16
Cantidad	Filtrado (litros)							
Filtrado alimentación	2.8	1.44	1.36	1.3	1.27	1.25	1.27	1.22
Filtrado en prensado I	0.1	0.34	0.29	0.29	0.25	0.26	0.18	0.15
Filtrado en Lavado								
Filtrado en Soplado	0.2	0.19	0.16	0.16	0.17	0.13	0.16	0.15
Flujo de aire	litros/min							
Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
Final	80	80	80	80	80	80	80	80
Sólidos								
%								
Gravedad específica	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Espesor queque (mm)	28	25.5	28	25	24.5	28.5	25.5	23
Peso queque Húmedo(kg)	6.523	6.244	5.984	6.854	6.467	5.986	5.834	6.112
Peso queque Seco(kg)	5.76	5.498	5.334	6.113	5.65	5.35	5	5.44
Humedad	0.763	0.746	0.650	0.741	0.817	0.636	0.624	0.672
% Humedad	11.70	11.95	10.86	10.81	12.63	10.62	10.70	10.99

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS FILTRO 0,1

El Filtro Larox PF 0,1 consta de una placa de 45 mm de altura, con área filtrante 0,1 m². Este cuenta con unidades operativas tales como:

- i. Estanque de alimentación, el cual posee una capacidad de 1 m³ y un agitador de 10 Hp, éste permite que la pulpa se homogenice antes de iniciar el proceso de filtración. Cabe destacar que el sistema de agitación es controlado por el panel de control dispuesto a un costado del estanque.
- ii. Estanque de prensado, tiene una capacidad aproximada de 10 l. En cuya línea se encuentra un manómetro que permite leer la presión alcanzada.
- iii. Estanque de lavado, consta de capacidad de 5 l aproximadamente. Este permite que el queque descargado sea más pulcro.

Nota: Todos los estanques cuentan con un sistema de drenaje que permite el desalojo de la muestra cuando sea necesario.

- iv. A un costado del equipo se encuentra el compresor de aire, el cual por medio de una línea entrega aire al queque ya formado, permitiendo que este descargue con la menor humedad posible. A su vez el filtro PF 0,1 contiene un caudalimetro de aire que permite visualizar el flujo de aire entregado por el compresor.



Figura 29: Filtro Larox Pf 0.1

El Filtro PF 0,1 considera las mismas etapas de operación que el filtro PF 25, alimentación, prensado, soplado, lavado de queque y descarga, la diferencia radica en que su funcionamiento es manual y consta sólo de una placa.

En primera instancia la pulpa debe ser homogenizada por lo menos unos 5 minutos antes de empezar la operación.



Figura 30: Estanque alimentación. Vista Superior.

El líquido filtrado en etapa de alimentación de pulpa.



Figura 31: Líquido Filtrado

Compresor de aire. Etapa de Secado del queque



Figura 32: Compresor de aire

Apertura de placas.



Figura 33: Apertura de placas

Queque descargado. Medición de espesor

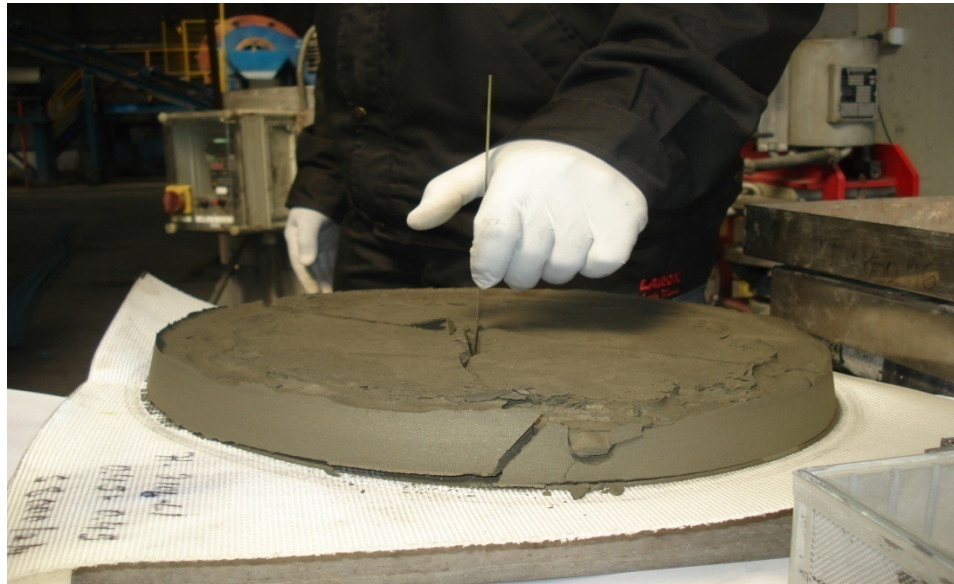


Figura 34: Concentrado de Cobre.

ANEXO C: BALANCE DE MASA FILTRO LAROX

BASE DE DATOS

Producción	350 ton/día
Horas operables	22 horas/día
Area filtrante	25,2 m ²
Humedad	11 %
Porcentaje de sólido	60 %
Tiempo operación	5,5 min
Densidad pulpa	1,92 m ³ /ton

TIEMPOS OPERACIÓN

Alimentación	50 s
Lavado manifold y mang	3 s
Prensado	25 s
Soplado	35 s
Lavado tela	3 s
Suposiciones	
% Sólido manifold	5 %
Densidad del agua	1 m ³ /ton
Concentración sólido líquido	500 g/m ³

ciclos/hora	10,9090909 ciclos/hora
Velocidad de filtración	0,63131313 ton/m ² *h
Peso sólido alimentación	15,9090909 ton/h
Peso sólido/ciclo	1,45833333 ton/ciclo
	1458,33333

Agua entrada manifold	18,3 lt/c
Agua salida mangueras	9,15 lt/c
Peso sólido mangueras	0,00183 Kg/c
Agua salida manifold	8,88684211 lt/c
Peso sólido manifold	0,39473684 Kg/c
Agua en queque	0,18024345 m ³ /c
Líquido filtrado	0,79197878 m ³ /c
Peso sólido en filtrado	0,39598939 Kg/c
Agua lavado telas	18,3 lt/c
Peso sólido lavado telas	0,13725 Kg/c
Peso queque filtrado	1457,40353 Kg/c

CONSUMOS

Prensado	19,4 l/s
Aire	22 Nm ³ /min
Agua lavado tel:	6,1 l/s
Agua lavado ma	6,1 l/s

1,45740353 ton/c

DESCRIPCION		Alimentación filtro	Queque filtrado	Liquido filtrado	Agua entrada manifold ymangueras	Agua salida manifold	Agua salida mangueras	Agua tela	Agua salida tela	Prensado Hidraulico	Aire
Flujo de sólido	ton/día	350	349,7768465	0,09503745	0	0,09473684	0,0004392	0	0,03294	0	0
Flujo de agua	ton/día	233,3333333	43,25842697	190,074906	4,392	2,13284211	2,196	4,392	4,392	116,4	0
Flujo de pulpa	ton/día	583,3333333	393,0352735	190,169944	4,392	2,22757895	2,1964392	4,392	4,392	116,4	0
Caudal pulpa	m3/d	303,8194444	0	190,169944	4,392	2,22757895	2,1964392	4,392	4,392	116,4	0
% sólido en peso		60	89	0	0	5	0	0	14	0	0
Densidad de pulpa	t/m3	1,92	0	1	1	1,00	1	1	1	1	0
Flujo de Aire	Nm3/día	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3080

ANEXO D RECOMENDACIONES Y PROCEDIMIENTOS GENERALES DE OPERACIÓN.

El objetivo de este capítulo es entregar ciertas recomendaciones de operación de tal manera de mantener las propiedades mecánicas de las piezas del filtro y que éstas no se dañen prematuramente, además conservar la producción diaria de concentrado de cobre.

Verificaciones Generales previas a la partida del Filtro Larox.

El presente medio permite realizar **revisiones diarias** tanto al filtro como al Panel de Control y así optimizar la operación de los diferentes sistemas de la planta. De esta manera, es vital que el operador se preocupe de constatar la red eléctrica, el porcentaje de sólido de la pulpa, el agua disponible, la presión y cualquier eventualidad que sucediera en Anglo American Chile S.A que pudiese afectar al Filtro en cuestión.

Para ello, se propone seguir los siguientes pasos:

Para Paquete de Placas

Chequear y limpiar **DIARIAMENTE** el funcionamiento de las partes de cada placa, es decir, el operador debe **OCUPARSE**:

- **Sellos**

Se debe cerciorar que los sellos estén bien ubicados en el contorno de la cámara evitando la salida de la pulpa que va ingresando al Filtro.

- **Diafragma**

Verificar si el material presenta daños o perforaciones producto al impacto que sugiere la pulpa al ingresar por las cámaras de filtrado.

- **Mangueras de Alimentación**

Observar que el elemento no presente perforaciones o daños producto al desgaste que se presenta en el material debido a las altas presiones a la cual se está trabajando.

- Se recomienda que por lo menos una vez al mes se chequeen:

Para Tela o Medio Filtrante

- Verificar diariamente que no presente daños o perforaciones.
- Chequear que la tela se encuentre centrada y bien tensionada.
- Constatar que el rodillo centrador e impulsor de la tela se encuentre operativo y no presenta desgaste, para ello se debe lubricar por lo menos tres veces a la semana.
- Chequear que los sensores de desplazamiento, ubicados a los costados de la tela, estén operativos y entregando señal al PLC.
- Lubricar por lo menos tres veces a la semana el rodillo motriz evitando un desgaste prematuro.
- Observar que el Rodillo tensor de la tela se encuentre en condiciones óptimas para hacer funcionar el filtro.

Para porcentaje de sólidos.

- En caso que el estanque requiera de pulpa, dar aviso a sala de Control.
- Calibrar la balanza Marcy llenando un recipiente con agua hasta que rebalse por el orificio, esto asegura que el tarro tiene 1000 cc. de líquido. Observar el movimiento de la aguja hasta el número cero, esto indica que la balanza está calibrada.
- Una vez calibrada la balanza, medir si el porcentaje de sólido de la pulpa, éste debe entregar valores entre 60% y 70%, en el caso que se presenten sólidos en menor cantidad es conveniente detener el llenado del Estanque de alimentación.

Una vez realizado cada unos de los pasos mencionados, se recomienda **PREOCUPARSE** de:

- Verificar que los estanques correspondientes al filtro se encuentren libre de elementos ajenos a la muestra

- Indicar si los estanques tienen el nivel de agua adecuado para hacer funcionar el Filtro.
- Revisar que las líneas de servicio o suministros que distribuye Anglo American Chile estén disponibles y operativas, ya sea el agua fresca para la etapa de prensado y lavado (manifold, mangueras, telas), y aire de planta para la etapa de soplado.
- Constatar tanto en terreno como en el Filtro el buen funcionamiento de las diferentes válvulas asociadas éste.
- Es vital que el operador se preocupe frecuentemente de apretar los pernos del Filtro, ya que estos en el tiempo y producto del funcionamiento, es posible que se suelten.

Partida de Suministros

Suministro de Aire

- Corroborar que la válvula, ubicada entre el compresor de aire y el acumulador de aire del soplado, se encuentre abierta.
- Avalar que la válvula situada entre la línea del acumulador de aire y filtro prensa esté abierta.
- Chequear el manómetro dispuesto en el filtro Larox, junto al área de instrumentación, que la presión de aire sea la requerida para una apropiada ejecución en la etapa de soplado (7 bar). De lo contrario se procede a llamar a Anglo American para que solucione el problema.

Suministro de agua

Para lavado de manifold y mangueras.

- Verificar si la salida de drenaje del estanque de lavado está completamente cerrado.
- Revisar si el estanque de lavado no presenta fisuras.
- Examinar que la válvula ubicada entre la matriz y el estanque de lavado esté abierta, proporcionando el ingreso de agua fresca.

- El Operador debe revisar que la válvula ubicada entre sistema de agua de prensado y el filtro Larox, esté completamente cerrada para que opere de manera automática el llenado del estanque de lavado.
- Revisar desde el PLC si la válvula automática V-05, ubicada en la línea de alimentación del estanque de lavado, está abierta.
- Constatar que las válvulas de succión de la bomba de lavado esté abierta permitiendo el ingreso del agua al filtro de prensa.
- Revisar desde el PLC la detención de la bomba de lavado una vez que el proceso de lavado de manifold y mangueras haya finalizado.

Para el lavado de tela

- Certificar que las válvulas de succión y descarga de la bomba de lavado de tela estén abiertas dejando libre el ingreso de agua fresca al filtro prensa.
- Chequear visualmente el funcionamiento del filtro.
- Revisar desde el PLC la detención de la bomba de lavado de tela una vez que el proceso de lavado de telas se haya cumplido.

Para el prensado hidráulico.

- Observar si el drenaje dispuesto en el estanque de agua prensado, está completamente cerrado evitando la salida de agua.
- Revisar desde el PLC la válvula de control V-04 de la línea de recirculación de agua de prensado está cerrada.
- Constatar desde el PLC la detención de la bomba de prensado una vez que el proceso de se haya cumplido.
- Revisar el retorno o recirculación completa del agua prensada al estanque de prensado.

Sistema de Alimentación de la pulpa.

- Lubricar bomba de alimentación al filtro, evitando su desgaste producto de la fricción y el rozamiento de sus partes en movimiento.
- Constatar con Anglo American si el funcionamiento de la bomba de descarga del espesador está en condiciones operativas.
- Chequear visualmente movimiento normal del agitador.
- Verificar que el nivel pulpa sea el adecuado para habilitar el agitador, se recomienda un nivel medio de pulpa para el estanque de alimentación
- Comprobar desde el PLC que la válvula neumática V-02, se encuentra operativa.
- Dar partida al filtro Larox.

Procedimientos de las etapas del filtro Larox.**Alimentación**

- Confirmar que la válvula pinch V-02 se abre automáticamente una vez que la bomba de alimentación comienza a descargar pulpa al filtro Larox.
- Al finalizar con esta etapa se comprueba que la bomba de alimentación disminuye su velocidad y que la V-02 se cierre impidiendo el ingreso de la pulpa.

Lavado Manifold

- Chequear que el sensor inductivo dispuesto en la válvula V-07, está proporcionando señal al PLC.
- Verificar que el actuador ubicado en la válvula de lavado de manifold V-05 se encuentre libre concentrado y así evitar la inactivación de la válvula en cuestión.
- En esta etapa se debe revisar que la válvula de drenaje de manifold V-07 se abre.
- Simultáneamente, se debe ratificar que la válvula V-05 de lavado de manifold se abre, permitiendo el ingreso de agua fresca a través de la descarga de la bomba de lavado de Manifold.

Prensado Hidráulica

- Corroborar a través del manómetro, ubicado sobre la válvula de agua prensada (V-04), que la presión alcanza los 16 bares, esto indica que los diafragmas están inflados de tal manera que se ordena al PLC dar inicio la etapa de prensado.
- Chequear que el actuador dispuesto en la válvula de agua de prensado V-04 se encuentre disponible y operativo.
- Comprobar la partida de la bomba de agua de prensado, la cual proporciona agua fresca al filtro.

Soplado

- Cerciorarse que el actuador dispuesto en la válvula de aire V-06 funciona adecuadamente, evitando la inactivación ésta.
- En esta fase se revisa la apertura de la válvula automática V-06 de aire de soplado al comienzo de la etapa y el cierre de la misma al final de la etapa

Descarga del Queque

- Evitar la acumulación de concentrado en los chutes de descarga impidiendo su caída hacia la correa transportadora N°1.
- Se debe confirmar la apertura de la válvula V-09 de lavado de telas, permitiendo el ingreso de agua fresca a través de la descarga de la bomba de lavado de telas.
- Finalmente se debe comprobar la detención de la bomba de lavado de telas.

ANEXO E: IMÁGENES FILTRO LAROX PF 25

Filtro Larox PF 25.

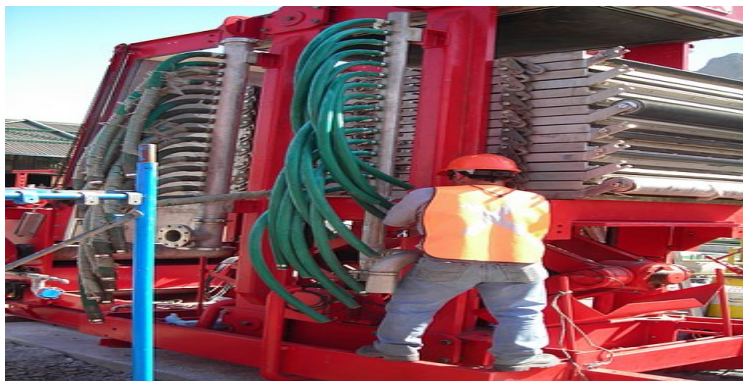


Figura 35: Filtro Larox PF 25

Manifold y Mangueras

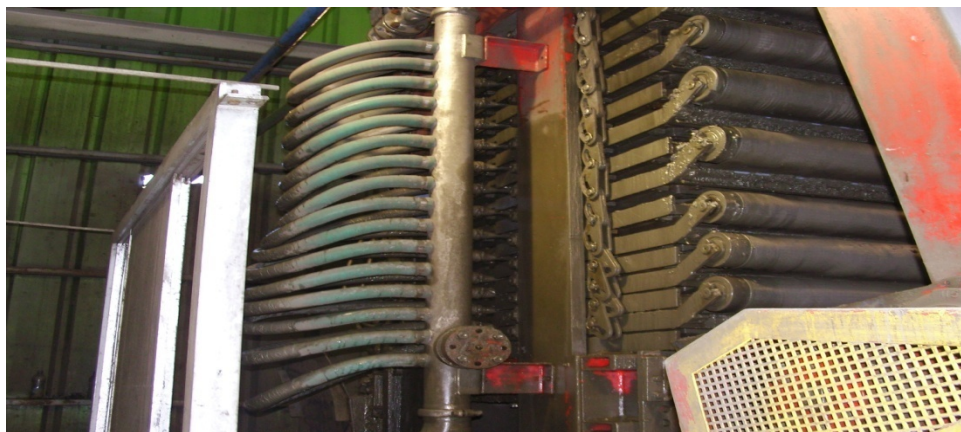


Figura 36: Manifold y Mangueras

Suministros de Agua



Figura 37: Estanque de agua

***x*Estanque de alimentación Pulpa**



Figura 38: Estanque de pulpa

Panel de control



Figura 39: Panel de Control

Descarga del Concentrado de cobre

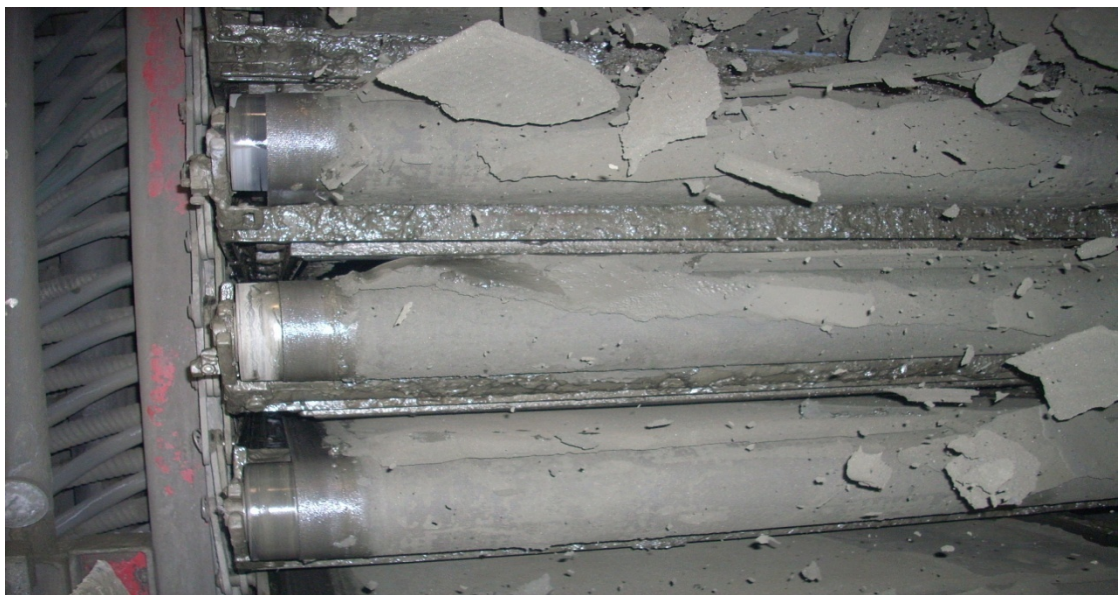


Figura 40: Descarga de concentrado de cobre