

# Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.1    Comentarios preliminares .....	12
1.2    Problemática .....	12
1.3    Relevancia de etapa de filtración .....	13
1.4    Objetivos.....	14
1.4.1    Objetivos generales.....	14
1.4.2    Objetivos específicos.....	14
1.5    Resultados tangibles .....	14
Capítulo 2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	15
2.1    Historia del cobre.....	16
2.2    Ficha técnica de Codelco Norte .....	18
Capítulo 3 MARCO TEORICO .....	22
3.1    Electro-refinación .....	23
3.1.1    Manejo del electrolito.....	23
3.2    Filtración.....	25
3.2.1    Métodos de filtración.....	25
3.2.2    Filtración del electrolito.....	26
3.3    Filtros LAROX (FLOWROX).....	29
3.3.1    Descripción general .....	29
3.3.2    Sistema de filtrado y operación .....	31
3.3.3    Retro-lavado .....	33
3.4    Elementos filtrantes .....	36
3.5    Sistema de control e instrumentación .....	38
3.5.1    PLC.....	38
3.5.2    Instrumentación .....	39
3.5.3    Programación y lenguajes.....	43
Capítulo 4 DESARROLLO .....	45
4.1    Diagnóstico de funcionamiento .....	46
4.1.1    Hidráulica .....	46
4.1.2    Calidad de electrolito.....	48
4.1.3    Estado del interior del filtro.....	51

4.1.4	Elementos filtrantes .....	53
4.1.5	Retro-lavado .....	55
4.1.6	Panel de control HMI .....	56
4.1.7	Estado de la instrumentación.....	57
4.2	Estandarización de programación de los filtros .....	58
4.2.1	Estado de la programación .....	58
4.2.2	Comparación de secuencia existente con las del manual de filtros Flowrox 59	
4.2.3	Rediseño de proceso de retro-lavado.....	68
4.2.4	Programación.....	81
4.2.5	Puesta en marcha .....	83
4.3	Estandarización de la programación .....	84
Capítulo 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....		86
5.1	Conclusiones .....	86
5.1.1	Conclusiones a nivel de dispositivos y elementos de máquina .....	86
5.1.2	Conclusiones a nivel de control e instrumentación .....	87
5.1.3	Conclusiones a nivel de proceso.....	87
5.2	Propuestas y trabajo futuro .....	88
5.2.1	Elementos filtrantes .....	88
5.2.2	Optimización de proceso y planificación .....	88
5.2.3	Programación.....	89
Capítulo 6 Bibliografía .....		91
Anexo A Diagrama P&ID.....		92
Anexo B Esquema de secuencia de retro lavado realizado por Larox .....		94
B.1	Diagrama de Flujo de Lavado sugerida por Larox .....	95
	RETRO LAVADO SIMPLE.....	95
	RETRO LAVADO DOBLE.....	96
B.2	Secuencia de lavado propuesta por Larox .....	97
Anexo C Tabla de seguimiento para monitoreo y diagnóstico de instrumentación ....		98
Anexo D Panel de control y HMI .....		110
Anexo E Secuencia de operación de nuevo diseño de retro lavado. ....		114
E.1	.....	115
	RETRO LAVADO SIMPLE.....	115
	RETRO LAVADO DOBLE.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

E.2 Secuencia de lavado establecida posterior al trabajo de memoria. ....	117
E.2.1 Esquema general retro lavado simple. ....	118
E.2.2 Esquema general retro lavado doble .....	119
E.2.3 Esquema general vaciado de filtro .....	119

# **Índice de Tablas**

Tabla 3-1 Detalle de Ilustración 3-8 .....	35
Tabla 4-1 Rendimientos de filtros, Diciembre 2010 .....	47
Tabla 4-2 Sólidos en suspensión en circuito 12 .....	51
Tabla 4-3 Válvulas a controlar durante el proceso .....	60
Tabla 4-4 Rendimientos para cálculo de ariete [3].....	69

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 2-1 Organigrama perteneciente a Subgerencia Refinería	20
Ilustración 2-2 Organigrama de Superintendencia de Ingeniería de Procesos	21
Ilustración 3-1 Diagrama de sistema de manejo de electrolito [1]	24
Ilustración 3-2 Sistema de manejo de electrolito [1]	27
Ilustración 3-3 Sistema detallado de manejo de electrolito en filtración para zona norte	28
Ilustración 3-4 Fotografía filtro LAROX abierto	29
Ilustración 3-5 Diagrama esquemático de la parte exterior del filtro	30
Ilustración 3-6 Pantalla de lectura de sala de plataforma de automatización de filtro N°003	31
Ilustración 3-7 Esquema general de programa de filtros Flowrox.	34
Ilustración 3-8 Gráfico de las etapas del proceso de retro lavado simple [3]	34
Ilustración 3-9 A.-Columna hidrostática	36
Ilustración 3-10 Esquema de operación de tela filtrante	37
Ilustración 3-11 Lógica de funcionamiento de bomba de electrolito para filtros	38
Ilustración 3-12 Ubicación de sensores de nivel en filtro Larox	40
Ilustración 3-13 Fotografía del tipo de sensor de nivel utilizado en los filtros clarificadores de refinería	40
Ilustración 3-14 Izquierda: Sensor ultrasónico instalado en Filtro N°003; Derecha: protocolo de instalación según manual, para correcta lectura de flujo.	42
Ilustración 3-15 Instalación con abrazaderas según manual de sensor ultrasónico	42
Ilustración 3-16 Diagrama de programación en KOP (“Ladder”).	43
Ilustración 3-17 Diagrama de programación en FUP para la misma función de la Ilustración 3-15	44
Ilustración 4-1 Imagen de PI System Filtro 004. (Rojo=Línea de tendencia de flujo); (Verde=Línea de tendencia de presión de entrada); (Azul=Línea de tendencia de presión de salida); (Café=Línea de tendencia de presión diferencial);	46
Ilustración 4-2 Electrolito solidificado en filtraciones RE226-FB-005	47
Ilustración 4-3 Sistema de filtración para muestras de sólidos en suspensión A. Manifold, B. Kitazato, C. Bomba de vacío.	50
Ilustración 4-4 (A) Rociadores superiores; (B) Rociadores inferiores	52
Ilustración 4-5 Condiciones de salida de aire. A: Situación de salidas de aire superior e inferior luego de abrir filtro; B: Diferencias de condiciones de salida de aire posterior al raspado de las tuberías; C: Orificio de salida de aire.	53
Ilustración 4-6 Telas extraídas durante mantención	54
Ilustración 4-7 Gráfico Porcentaje de volumen de líquido dentro del filtro versus tiempo.	55
Ilustración 4-8 Dibujo esquemático del panel de control con la HMI.	56
Ilustración 4-9 Sensor de nivel cubierto de lodo (extraído para su mantención)	58
Ilustración 4-10 Válvulas a controlar en programa destacadas en amarillo	61
Ilustración 4-11 Comparación de secuencias de lavado, rompimiento de torta	64

Ilustración 4-12 Comparación de lavado; Primera agitación por aire y vaciado de filtro	65
Ilustración 4-13 Comparación de lavado; Vaciado y rellenado	66
Ilustración 4-14 Comparación lavado; Segunda agitación por aire y comienzo de vaciado	67
Ilustración 4-15 Comparación de lavado; Etapa de reinicio	68
Ilustración 4-16 Fotografía de manifold posterior al cambio de telas	69
Ilustración 4-17 Cálculo de impacto y caudal elevado de columna hidrostática sobre las telas, donde $q_e$ es caudal elevado total, $T_c$ tiempo de descarga de columna [6].	71
Ilustración 4-18 Esquema de situación de caída de columna hidrostática con filtro lleno	71
Ilustración 4-19 Curva característica de la bomba propuesta	73
Ilustración 4-20 Diagrama de incorporación de bomba	74
Ilustración 4-21 Rediseño de columna hidrostática	74
Ilustración 4-22 Diseño de secuencia lógica; Etapa de rompimiento de torta	77
Ilustración 4-23 Diseño de secuencia lógica; Llenado y agitación por aire	78
Ilustración 4-24 Diseño de secuencia lógica; Fin de lavado simple e inicio de lavado doble	79
Ilustración 4-25 Diseño de lógica; Drenaje de lavado doble, comienzo de reinicio	80
Ilustración 4-26 Comparación de con respecto al tiempo de secuencias de retro lavado.	80
Ilustración 4-27 Nomenclatura de TAG de sensores	81
Ilustración 4-28 Secuencialidad de tareas programadas	82
Ilustración 4-29 (izquierda) instrucción de accionamiento de válvula en función de la etapa que se encuentre el retro-lavado; (derecha) el control de solenoide de válvula.	82
Ilustración 4-30 Temporizador de agitación por aire para retro-lavado simple del filtro N°003	83
Ilustración 5-1 Comparación de telas filtrantes. En lado izquierdo: elemento en estudio; a la derecha: actuales elementos filtrantes	88

# Índice de Ecuaciones

Ecuación 4-1 Calculo de sólidos en suspensión	50
Ecuación 4-2 Calculo de velocidad según Torricelli	62
Ecuación 4-3 Calculo de caudal	62
Ecuación 4-4 Calculo volumen liquido interior de columna	62
Ecuación 4-5 Altura en función del tiempo	63
Ecuación 4-6 Condición inicial de la función de altura	63
Ecuación 4-7 Ecuación diferencial en función del tiempo	63
Ecuación 4-8 Desarrollo de ecuación diferencial	63
Ecuación 4-9 Desarrollo integral	63
Ecuación 4-10 Integral desarrollada	63
Ecuación 4-11 Obtención del complemento de la función	63
Ecuación 4-12 Función completa de altura con respecto al estanque	63
Ecuación 4-13 Desarrollo de función con respecto a altura	63
Ecuación 4-14 Calculo de caudal	70
Ecuación 4-15 Área de la sección transversal	70
Ecuación 4-16 Velocidad según Torricelli	70
Ecuación 4-17 Calculo de ariete hidráulico	70
Ecuación 4-18 Calculo de volumen según altura de diseño y diámetro actual	74
Ecuación 4-19 Volumen de un tronco de cono	75
Ecuación 4-20 Volumen de cilindro de 8" de diámetro	75
Ecuación 4-21 Volumen de un cilindro de x" diámetro	75
Ecuación 4-22 Sumatoria de volumen total	75