

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	6
1.6. METODOLOGÍA.....	6
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. PROCESO PRODUCTIVO DEL COBRE.....	8
2.1.1. Proceso de flotación.....	10
2.1.1.1. Reactivos de flotación.....	13
2.1.1.2. Circuito de flotación.....	15
2.2. SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL.....	17
2.2.1.1. Conceptos clave.....	17
2.2.1.2. Diagramas de bloques.....	18
2.2.1.3. Tipos de sistemas de control.....	19

2.2.1.4.	Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID)	20
2.3.1.5.	Acción lógica proporcional	22
2.3.1.5.1.	<i>Acción de control integral</i>	23
2.3.1.5.2.	<i>Acción de control Derivativa</i>	24
2.3.1.6.	Controlador Lógico Programable (PLC).....	25
2.3.1.6.1.	<i>Conceptos generales</i>	25
2.3.1.6.2.	<i>Estructura externa</i>	26
2.3.1.6.3.	<i>Estructura interna</i>	26
2.3.	CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	29
2.3.2.	Aplicación de la confiabilidad operacional	30
2.3.3.	Herramientas de confiabilidad operacional	31
2.3.3.1.	Análisis de criticidad (CA):.....	32
2.3.3.2.	Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA):	32
2.3.3.3.	Análisis Causa Raíz (RCFA):	32
2.3.3.4.	Inspección Basada en Riesgos (RBI):	32
2.3.3.5.	Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA):	32
2.3.3.6.	Costo del Ciclo de Vida (LCC):.....	32
2.4.	Análisis de modos y efectos de falla y criticidad (fmeca).....	33
2.4.1.	Definición FMECA	34
2.4.2.	Descripción del método FMECA	36
Capítulo 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....		41
3.1.	Miniplanta piloto de flotación móvil.....	42
3.1.1.	Visión general.....	42
3.1.2.	Principio de funcionamiento.....	44
3.1.3.	Descripción general del equipamiento	46

3.1.4.	Plano de planta	47
3.1.5.	Descripción de equipos y partes	48
3.1.6.	Sistema de control	60
3.1.7.	Esquemas generales de control.....	61
3.1.7.1.	PLC FATEK Model Fbs	61
3.1.7.2.	Sistema de visualización HMI.....	63
3.1.7.3.	Sistema servomotor YE LI YBL7S – Driver YPV Series	65
3.1.7.4.	Controlador de flujo másico Aalborg GFC 17	67
3.1.8.	Análisis modal de fallas y efectos (A.M.F.E)	70
3.1.8.1.	Criterio de clasificación	70
3.1.9.	Cronología Para Labores de Mantenimiento	73
3.1.9.1.	Molino De Bolas	73
3.1.9.2.	Equipo Auxiliar.....	74
3.1.9.3.	Tanque Agitador.....	75
3.1.9.4.	Feed Tank.....	76
3.1.9.5.	CFM	77
3.1.9.6.	Molino Vertical	79
3.1.9.7.	Columna De Flotación	80
Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS		82
4.1.	MANUAL DE OPERACIÓN	83
4.1.1.	Conexión de alimentación	85
4.1.2.	Inicio de operación	85
4.1.2.1.	Resumen del procedimiento de arranque	86
4.1.3.	Parada de operación.....	88
4.1.3.1.	Resumen del procedimiento de parada.....	88

4.2.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	89
4.3.	FILOSOFÍA DE CONTROL	92
4.3.1.	Arquitectura.....	92
Capítulo 5.	CONCLUSIONES	95
	CONCLUSIONES.....	96
	REFERENCIAS	98
	ANEXO 1: MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y FILOSOFIA DE CONTROL DE MINIPLANTA PILOTO MÓVIL DE FLOTACIÓN.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1: Representación esquemática del proceso de flotación. Fuente: Vianna, S.2004.	11
Ilustración 2.2: Diagrama de fuerzas, Tensiones interfaciales.	12
Ilustración 2.3: Circuito de flotación. Fuente: SGS documentación interna.	16
Ilustración 2.4: Diagrama de bloque simple. Fuente: Elaboración propia.	18
Ilustración 2.5: Diagrama de bloque sistema lazo abierto. Fuente: Elaboración propia.	19
Ilustración 2.6: Diagrama de bloques bucle cerrado. Fuente: Elaboración propia.....	19
Ilustración 2.7: Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	21
Ilustración 2.8: Representación de efectos Proporcional, Integral y Derivativo. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	21
Ilustración 2.9: Actuación de un control proporcional. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	22
Ilustración 2.10: respuesta sistema de control en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.....	24
Ilustración 2.11: Estructura externa PLC marca Fatek. Fuente: www.fatek.com	26
Ilustración 2.12: Diagrama de componentes internos de un PLC. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.....	27
Ilustración 2.13: Factores de confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y herramientas, 2011	29
Ilustración 2.14: Herramientas para la confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y Herramientas, 2011.	31
Ilustración 2.15: Tareas importantes FMECA. Fuente: Handbook of Maintenance and engineering, 2009	35
Ilustración 3.1 Vista exterior MPPM.....	43
Ilustración 3.2 Máquina de flotación continua	43
Ilustración 3.3: Esquema general - Fuente: Elaboración propia.....	45
Ilustración 3.4: Lógica de bucle cerrado. Fuente:	61
Ilustración 3.5: Lazo de control Pantalla HMI - Fuente: Elaboración propia	64

Ilustración 3.6: Lazo de control servomotor - driver YPV.....	66
Ilustración 3.7: Diagrama de funcionamiento - Fuente: www.aalborg.com	67
Ilustración 3.8: Lazo de control Flujoómetro Aalborg.....	69
Ilustración 4.1: Ventana inicial "% Sólido".....	83
Ilustración 4.2: Pantalla de calibración Feed Tank	84
Ilustración 4.3: Interruptores de encendido	85
Ilustración 4.4: Datos generales.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0.1: Criterio de evaluación de ocurrencia. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	37
Tabla 0.2: Criterios de evaluación de gravedad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	38
Tabla 0.3: Criterios de evaluación de la detectabilidad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	39
Tabla 0.4: Matriz FMECA tipo. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	40
Tabla 0.1: Especificaciones generales MPPM	46
Tabla 0.2: Características técnicas pantalla HMI	63
Tabla 0.3: Características técnicas de equipos involucrados.....	65
Tabla 0.4: Características técnicas controlador de flujo másico	68
Tabla 0.5: Criterios de evaluación de gravedad	71
Tabla 0.6: Criterios de evaluación de frecuencia	71
Tabla 0.7: Criterios de evaluación de detectabilidad.....	72
Tabla 0.1: Extracto de labores de mantenimiento para molino de bolas.....	90
Tabla 0.2: Ejemplo instrumentos principales para Columna de flotación.....	93
Tabla 0.3: Ejemplo Secuencia de operación para Columna de flotación.	94