

## Tabla de Contenido

Agradecimientos.....	III
Índice de Tablas .....	VI
Índice de Figuras .....	VIII
1 Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del Proceso en Estudio .....	2
1.2.1 Fundición Chuquicamata .....	3
1.2.2 Horno Flash .....	4
1.3 Sistemas de Información .....	6
1.3.1 Plataforma RTPM .....	7
1.3.2 Importancia de la Información y la Generación de Conocimiento .....	11
1.4 Motivación y Contextualización del Trabajo .....	12
1.5 Objetivos .....	13
1.5.1 Objetivo General .....	13
1.5.2 Objetivos Específicos.....	13
2 Análisis de Procesos.....	14
2.1 Principios Generales del Análisis de Procesos .....	14
2.2 Enfoques o Dimensiones de Análisis de Procesos .....	15
2.3 Metodologías de Análisis de Procesos.....	16
2.3.1 Metodologías Generales de Análisis.....	17
2.3.2 Metodologías Específicas o Herramientas de Análisis .....	22
3 Propuesta de Metodología de Análisis de Procesos para entregar las Bases de un Sistema de Información.....	31
3.1 Forma de Análisis de un Proceso.....	31
3.2 Comparación de “metodologías específicas” .....	33
3.3 Requerimientos para la Metodología Propuesta .....	35
3.4 Metodología Propuesta .....	35
4 Aplicación de la Metodología Propuesta.....	38
4.1 Antecedentes generales del proceso de fusión flash Fundición Chuquicamata.....	38
4.1.1 Análisis de la Capacidad del Proceso.....	38
4.1.2 Análisis General de Incidencia.....	41
4.2 Etapa 1: Análisis Funcional .....	43

4.2.1	Fundamentos de la Descomposición Funcional.....	43
4.2.2	Definición de Estándares .....	49
4.3	Priorización de Funciones .....	51
4.3.1	Priorización de Funciones aplicados al Caso de Estudio.....	53
4.4	Factores Incidentales .....	55
4.4.1	Factores Incidentales en el Caso de Estudio .....	56
4.5	Análisis de Factores Críticos .....	57
4.5.1	Factores Críticos para el Caso de Estudio.....	59
4.6	Bases del Panel de Supervisión .....	61
4.6.1	Determinación de indicadores y herramientas .....	61
5	Propuesta de Panel de Supervisión .....	67
5.1	Despliegues del Panel de Supervisión .....	67
5.2	Aplicación del Panel de Supervisión.....	72
6	Conclusiones y Recomendaciones .....	75
6.1	Conclusiones.....	75
6.2	Recomendaciones.....	77
7	Bibliografía .....	78
8	Anexos .....	81
8.1	Diagrama Fundición de Chuquicamata .....	81
8.2	Descripción de Áreas del Proceso complejo Horno Flash.....	82
8.3	Análisis de Capacidad del Proceso .....	87
8.4	Tablas de Análisis Funcional.....	88
8.5	Fichas descriptivas del Análisis Funcional .....	95
8.6	Tablas de análisis de la priorización de funciones .....	100
8.7	Diagramas de Incidencia .....	105
8.8	Análisis de criticidad y tabla descriptiva de factores críticos .....	112
8.9	Bases del Panel de Información .....	122
8.9.1	Indicadores candidatos .....	122
8.9.2	Creación de TAGs .....	123
8.9.3	Escenarios de monitorización de tolvas .....	139
8.9.4	Modelo de estimación de ley de Cu, Fe, S, SiO <sub>2</sub> y As.....	142

## Índice de Tablas

Tabla 1. Ejemplo de formulario de AMFE para el análisis de operaciones de soldadura y marcado del proceso de prensas y chapistería [37].....	26
Tabla 2. Ventajas y desventajas de metodologías específicas. ....	34
Tabla 3. Atributos de metodologías específicas. ....	34
Tabla 4. Resumen de metodología. Descripción, alcances y herramientas. ....	36
Tabla 5. Coeficiente de correlación entre variables seleccionadas y ley de eje en cobre. ....	42
Tabla 6. Coeficiente de correlación entre indicadores de variables y dispersión de la ley de cobre en el eje. ....	43
Tabla 7. Tabla ejemplo de estructuración de una Función. ....	47
Tabla 8. Identificación de Funciones Principales. Estructura: verbo + objeto + contexto. ....	47
Tabla 9. Tabla ejemplo de estándar y relevancia de cada función en relación al objetivo de análisis. ....	51
Tabla 10. Ficha descriptiva de las funciones del Nivel 0 y 1. ....	52
Tabla 11. Ejemplo de tabla para analizar la prioridad de funciones. ....	53
Tabla 12. Análisis Modal de Fallos y Efectos global de la primera función principal. ....	53
Tabla 13. Ejemplo de Tabla para realizar la prioridad de funciones. ....	59
Tabla 14. Análisis de Criticidad. Función: “Dosificar concentrado según flujo solicitado”. ....	60
Tabla 15. Relevancia de los Factores Incidentales. ....	60
Tabla 16. Indicadores por función y rango. Definición de rangos: verde (Lim Inf - Lim1), amarillo (Lim1 - Lim2) y rojo (Lim2 - Lim Sup).....	64
Tabla 17. Factores Incidentales y análisis de medición y/o indicador. ....	65
Tabla 18. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función Principal: “Disponer del suministro...” .....	88
Tabla 19. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función principal: “Preparar carga para generar mezcla ...” .....	89

Tabla 20. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función principal: “Asegurar continuidad operacional de la producción de eje en Horno Flash” .....	91
Tabla 21. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función principal: “Enfriar gases provenientes...” .....	93
Tabla 22. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función principal: “Limpiar gases metalúrgicos...” .....	93
Tabla 23. Estructuración de funciones básicas y sub-funciones, función principal: “Manejar polvos metalúrgicos...” .....	94
Tabla 24. Estándar y relevancia de cada función en relación al objetivo de análisis. ....	95
Tabla 25. Descripción de factores críticos.....	118
Tabla 26. TAGs creados y límites de rangos.....	123
Tabla 27. Indicadores de estado por Función. ....	125
Tabla 28. Factores incidentales y análisis de medición y/o indicador. ....	126
Tabla 29. TAGs relevantes para análisis de estimación de leyes. ....	142

## Índice de Figuras

Figura 1. Precio nominal de cobre refinado, costo C3 de cátodos y ley promedio de minerales en Chile. Costo definido como C3: costos de extracción + costos de tratamiento + flete, fundición y refinación + gastos de administración – subproductos + depreciación + intereses + costos indirectos [7] [9]. .....	2
Figura 2. Esquema Horno Flash [12]......	4
Figura 3. Jerarquía Sistemas de Información [17]......	7
Figura 4. Arquitectura típica servidor PI-System [18]. .....	9
Figura 5. PI-ProcessBook [18]......	10
Figura 6. PI-DataLink [18]. .....	10
Figura 7. Importancia de la información y el conocimiento [22]......	11
Figura 8. Identificación de pérdidas en TPM. Eficacia global de la planta y estructura de pérdidas [25]......	18
Figura 9. Aplicaciones básicas de los componentes del análisis RCM. ....	21
Figura 10. Enfoque de aseguramiento de la calidad [30]. .....	22
Figura 11. Esquema general de un diagrama funcional [35]. .....	23
Figura 12. Ejemplo de árbol de fallas [31]. .....	25
Figura 13. Efecto de la aplicación del Análisis P-M [25]......	28
Figura 14. Ejemplos de herramientas de control y gestión de calidad [30]. .....	30
Figura 15. Comparación de la extensión y profundidad de análisis con respecto a las fases de una metodología. ....	33
Figura 16. Esquema de metodología propuesta.....	37
Figura 17. Distribución de ley de cobre, anual. Se han normalizado los datos, preservando los que tienen relación directa al proceso. ....	39
Figura 18. Índice de capacidad del proceso en un año arbitrario. ....	40
Figura 19. Representación del proceso fusión flash de concentrado de cobre. ....	41
Figura 20. Diagrama de Descomposición Funcional (esquema) [17]......	45

Figura 21. Esquema general complejo Horno Flash [12]. .....	46
Figura 22. Diagrama de Descomposición Funcional (DDF). .....	50
Figura 23. Diagrama de Descomposición Funcional Priorizado:proceso fusión Horno Flash. ....	54
Figura 24. Indicación de Diagramas de Incidencia por Función en Diagrama de Descomposición Funcional.....	56
Figura 25. Diagrama de Incidencia 1.....	57
Figura 26. Funciones del Diagrama de Descomposición Funcional a las cuales se les determina indicador. ....	63
Figura 27. Escenario de stock de la tolva 29 de concentrado. ....	66
Figura 28. Leyes de Cu, S, S, SiO <sub>4</sub> y As a la salida de tolva 54. ....	67
Figura 29. Esquema de las pantallas consideradas para el panel de supervisión propuesto. ....	68
Figura 30. Despliegue "Overview" del panel de información.....	69
Figura 31. Despliegue "Resumen" ley de cobre en el eje.....	69
Figura 32. Despliegue "Indicadores de Función".....	70
Figura 33. Despliegue "Indicadores de Función".....	70
Figura 34. Despliegue "Indicadores de Función".....	71
Figura 35. Despliegue "Factores Incidentales".....	71
Figura 36. Despliegue "Panel de información de tolvas".....	72
Figura 37. Despliegue "Estimación de leyes en tolvas".....	72
Figura 38. Representación de la modelación de un incidente potencial. FL:WTOTAL corresponde la tasa de alimentación al horno en ton/h, FL:TI-X corresponde a las temperaturas en cada abertura en °C y DIF_TEMPX_QC al indicador respectivo en °C. ....	74
Figura 39. Diagrama de la Fundición de Chuquicamata [12]. ....	81
Figura 40. Diagrama de Incidencia 1.....	105
Figura 41. Diagrama de Incidencia 2.....	105

Figura 42. Diagrama de Incidencia 3.....	106
Figura 43. Diagrama de Incidencia 4.....	106
Figura 44. Diagrama de Incidencia 5.....	107
Figura 45. Diagrama de Incidencia 6.....	107
Figura 46. Diagrama de Incidencia 6.....	107
Figura 47. Diagrama de Incidencia 7.....	108
Figura 48. Diagrama de Incidencia 8.....	108
Figura 49. Diagrama de Incidencia 9.....	109
Figura 50. Diagrama de Incidencia 10.....	109
Figura 51. Diagrama de Incidencia 11.....	110
Figura 52. Diagrama de Incidencia 12.....	111
Figura 53. Diagrama de Incidencia 13.....	111
Figura 54. Esquema de tolvas de concentrado, sílice, calcina y carga. ....	139
Figura 55. Escenarios de stock tolva 29 de concentrado. ....	140
Figura 56. Escenarios de stock tolva 001 de calcina.....	141
Figura 57. Escenarios de stock tolva 54 de carga.....	141
Figura 58. Simulación de ley a la salida de tolva 54.....	143