INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS ii

DEDICATORIA iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

GLOSARIO vi

ABREVIATURAS Y SIGLAS viii

INDICE GENERAL ix

INDICE DE FIGURAS xii

INDICE DE TABLAS xvi

1. CAPITULO I: INTRODUCCION 17

1.1. Antecedentes y motivación 18

1.2. Descripción del problema 18

1.3. Solución propuesta 18

1.4. Objetivos y alcances del proyecto 19

1.4.1. Objetivo general 19

1.4.2. Objetivos específicos 19

1.4.3. Alcances 19

1.5. Metodologías y herramientas utilizadas 19

1.6. Resultados obtenidos 20

1.7. Organización del documento 20

2. CAPITULO II: MARCO TEORICO 21

2.1. Codelco Chile- División El Teniente 22

2.2. Molienda 25

2.2.1. Molienda SAG 25

2.2.2. Molienda Convencional 26

2.3. Revestimientos 27

2.3.1. Materiales usados en la fabricación de revestimientos 28

2.4. Mantenimiento, operación y monitoreo de revestimientos 29
2.5. Equipos y componentes en estudio 30
2.5.1. Planta molienda SAG I 30
2.5.2. Configuración de revestimientos molino SAG 401 33
2.5.3. Planta molienda SAG II 35
2.5.4. Planta molienda Proceso Unitario 37
2.5.5. Configuración de revestimientos molino SAG 501 38
2.6. El mantenimiento 41
2.6.1. Tareas del mantenimiento 41
2.6.2. Variables del mantenimiento 41
2.7. Herramienta de análisis 42
2.7.1. Diagrama de espina de pescado o de Ishikawa 42
2.8. Mejoramiento continuo de la gestión del mantenimiento 45
2.9. Indicadores de mantenimiento 49

3. CAPITULO III: ANALISIS AL CONTROL EN EL CAMBIO DE REVESTIMIENTOS 51
3.1. Sistema antiguo de control de revestimientos en molinos SAG 52
3.2. Análisis causa- raíz a las fallas en el control de revestimientos en molinos SAG 53
3.3. Definición de indicaciones para implementar el mejoramiento continuo del mantenimiento 54
3.4. Definición de indicaciones para establecer la trazabilidad de revestimientos en molinos SAG desde su montaje y durante toda su vida operativa 57

4. CAPITULO IV: MODELO DE TRAZABILIDAD 58
4.1. Modelo de trazabilidad de revestimientos en molinos SAG 59
4.2. Mejoramiento del modelo 63
4.2.1. Enumeración de piezas para la identificación 63
4.2.2. Torque adecuado para pernos de piezas nuevas 65
4.2.3. Estado de avance del montaje 66
4.2.4. Información en línea 67
4.3. Indicadores de control 68
4.4. Modelo de predicción de vida útil de revestimientos de molino MUN 70

5. CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS **73**

5.1. Modelo de trazabilidad de revestimientos en molinos SAG 74

5.2. Modelo predictivo de vida útil de placas de molino bola MUN 78

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES **81**

6.1. Conclusiones 82

7. CAPITULO VII: ANEXOS **84**

7.1. Molino SAG 401 85

7.2. Molino SAG 501 91

7.3. Molino Unitario 94

Referencias y Bibliografía **100**

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II: FUNDAMENTOS **21**

Fig. 2.1. Ubicación geográfica de División El Teniente. 22

Fig. 2.2. Esquema del proceso de concentración. 23

Fig. 2.3. Organigrama Superintendencia de Mantenimiento. 24

Fig. 2.4. Revestimientos, lifters cilindro lado alimentación. 27

Fig. 2.5. Revestimiento tapa de descarga molino SAG 401, anillo n°4. 27

Fig. 2.6. Estado de desgaste de revestimientos en parada de revisión (izquierda), Revestimiento quebrado, encontrado en parada de revisión (derecha). 29

Fig. 2.7. Revestimiento reemplazado en parada del equipo SAG 401. 30

Fig. 2.8. Disposición física de equipos en Planta SAG I. 31

Fig. 2.9. Vista en corte longitudinal de molino SAG 401. 33

Fig. 2.10. Configuración de revestimientos en Tapa de descarga. Molino SAG 401. 34

Fig. 2.11. Detalle de piezas cilindro. Molino SAG 401. 34

Fig. 2.12. Descripción de revestimientos en tapa de alimentación. Molino SAG 401. 35

Fig. 2.13. Diseño de placa de cilindro. Molinos bolas 511- 512 y Molino unitario 601. (Arriba) Vista de planta de revestimiento, (abajo) vista lateral de placa. 37

Fig. 2.14. Disposición general de revestimientos en molino SAG 501. 38

Fig. 2.15. Configuración de revestimientos de cilindro. Molino SAG 501. 38

Fig. 2.16. Segmento de tapa de alimentación. Molino SAG 501. 39

Fig. 2.17. Segmento de tapa de descarga. Molino SAG 501. 39

Fig. 2.18. Conjunto de revestimientos cilindro, diseño Rajamani. Molino SAG 501. 40

Fig. 2.19. Placas cilindro. Rojas, lado descarga, verdes, lado alimentación (izquierda). Lifters cilindro. Azules, lado descarga, amarillas, lado alimentación (derecha). 40

Fig. 2.20. Paso dos Diagrama de Ishikawa 43

Fig. 2.21. Paso cuatro Diagrama de Ishikawa 44

Fig. 2.22. Paso cinco Diagrama de Ishikawa 44

Fig. 2.23. Triangulo estratégico para la gestión del mantenimiento 45

Fig. 2.24. Factores del proceso de implementación de la estrategia 46

CAPITULO III: ANALISIS AL CONTROL EN EL CAMBIO DE REVESTIMIENTOS 51

Fig. 3.1. Análisis de causa- raíz. Diagrama de Ishikawa a las fallas en el control de revestimientos en molinos SAG. 53

Fig. 3.2. Diagrama de flujo de comunicación entre estamentos involucrados para la obtención de información en cada cambio de revestimientos. 56

CAPITULO IV: MODELO DE TRAZABILIDAD 58

Fig. 4.1. Subconjunto tapa de descarga- cilindro molino SAG 401. Vista interior, desde alimentación hacia descarga. 60

Fig. 4.2. Detalle de representación de revestimientos de cilindro en plano control para el montaje de piezas. 61

Fig. 4.3. Extracto de tabla de registro de información en montaje de revestimientos 62

Fig. 4.4. Vista de pernos por la parte exterior de la tapa de descarga con la implementación de la enumeración de los pernos asignándole un número de piezas. 63

Fig. 4.5. Vista exterior de tapa de descarga molino SAG 401, mostrando situación sobre la identificación de pernos de revestimientos. 64

Fig. 4.6. Prueba de carga efectiva a pernos molino SAG 401. 65

Fig. 4.7. Formato de control estadístico sobre el montaje de revestimientos. 66

Fig. 4.8. Información de tiempo disponible y número de movimientos para control estadístico. 66

Fig. 4.9. Mediciones en placas de cilindro 71

Fig. 4.10. Detalle de las zonas criticas en las placas. Onda alta, onda baja y valle 71

CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS **73**

Fig. 5.1. Flujo de datos para concreción de modelo de trazabilidad. 74

Fig. 5.2. Aviso de orden de trabajo correspondiente al cambio de revestimientos en molino SAG 401, sistema de tapa de descarga. 76

Fig. 5.3. Visualización de OT para el evento descrito anteriormente 76

Fig.5.4. Visualización de documentos anexos o informe creado para el evento. 77

Fig. 5.5. Tabla de seguimiento de desgaste de piezas de cilindro de MUN entre los periodos del 15 de febrero de 2007 y 26 de marzo de 2008. 78

Fig. 5.6. Gráfico de desgaste de piezas v/s Tonelaje procesado durante los periodos estudiados en la tabla de la figura 5.2. 79

Fig. 5.7. Tabla de seguimiento de desgaste de piezas de cilindro de MUN entre los periodos 26 de marzo de 2008 y el 21 de julio de 2009 79

Fig. 5.8. Gráfico de desgaste de piezas v/s Tonelaje procesado durante los periodos estudiados en la tabla de la figura 5.4. 80

CAPITULO VII: ANEXOS

7.1. Molino SAG 401 _____ **85**

A-1 Base de datos de posicionamiento de piezas en molino SAG.

A-2 Planilla control estadístico de montaje de revestimientos.

A-3 Subconjunto Tapa Alimentación.

A-4 Subconjunto Tapa descarga – cilindro.

A-5 Conjunto explicativo de despiece de control de revestimientos.

7.2. Molino SAG 501 _____ **91**

A-6 Subconjunto Tapa descarga- cilindro.

A-7 Subconjunto Tapa alimentación.

7.3. Molino Unitario (MUN) _____ **94**

A-8 Estudio desgaste MUN.

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEORICO **21**

Tabla 2.1: Comparación de costos operacionales entre molienda convencional y Semiautógena. 26

Tabla 2.2: Ubicación técnica molinos planta SAG I. 30

Tabla 2.3: Antecedentes técnicos molino SAG 401. 31

Tabla 2.4: Antecedentes técnicos molinos bolas 411- 412. 32

Tabla 2.5: Ubicación técnica molinos planta SAG II. 35

Tabla 2.6: Antecedentes técnicos molino SAG 501. 36

Tabla 2.7: Antecedentes técnicos molinos bolas 511- 512 y 601. 36

CAPITULO IV: MODELO DE TRAZABILIDAD **58**

Tabla 4.1: Prueba de carga efectiva sobre pernos del molino SAG 401 65