

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	2
1.1.	Objetivos .....	3
1.1.1.	Objetivo general .....	3
1.1.2.	Objetivos específicos .....	3
1.2.	Alcances .....	3
1.3.	Metodología .....	4
1.4.	Marco teórico .....	5
1.4.1.	Six Sigma - DMAIC .....	5
1.4.2.	Confiabilidad operacional[6] .....	7
1.4.3.	Herramientas para el control de gestión y calidad de los procesos .....	8
1.4.4.	Muestra representativa [12] .....	9
2.	Antecedentes de la compañía .....	11
2.1.	Reseña histórica .....	11
2.2.	Ubicación y accesos .....	12
2.3.	Geología del yacimiento [2] .....	12
2.4.	Sistema productivo [3] .....	14
2.4.1.	Mineral oxidado .....	15
2.4.2.	Mineral sulfurado .....	16
2.4.3.	Sulfuros de baja ley .....	16
2.5.	Modelo del uso de tiempo [4] .....	17
2.6.	Sistema de turnos y dotación .....	18
3.	Características de la operación .....	19
3.1.	Costos de carguío y transporte .....	20
3.2.	Descripción de equipos .....	22
3.2.1.	Equipos de transporte .....	23
3.2.2.	Equipos de carguío .....	24
3.3.	Gestión de flotas [16] .....	26
4.	Sistema de gestión .....	27
4.1.	Identificación del problema .....	27
4.1.1.	Componentes de desgaste .....	27
4.1.2.	Factores que afectan la vida útil de los componentes .....	31
4.1.3.	Relación vida componentes con malas prácticas operacionales .....	33

4.1.4.	Descripción prácticas operacionales relacionadas.....	35
4.1.5.	Eventos operacionales considerados para el estudio .....	37
4.2.	Análisis de datos.....	40
4.2.1.	Equipos de transporte .....	40
4.2.2.	Equipos de carguío .....	44
4.3.	Mejoras implementadas .....	45
4.3.1.	Primera etapa.....	45
4.3.2.	Segunda etapa.....	49
4.3.3.	Tercera etapa .....	53
5.	Resultados .....	55
5.1.	Resultados equipos de transporte .....	55
5.2.	Resultados equipos de carguío .....	62
5.3.	Relación con respecto al desempeño por componente .....	63
5.3.1.	CAEX .....	63
5.3.2.	Palas .....	65
5.4.	Beneficio por sistema de gestión implementado .....	67
6.	Conclusiones y recomendaciones .....	68
7.	Bibliografía .....	70
ANEXOS .....		73
A.	Anexos: Antecedentes de la compañía [2].....	73
B.	Anexos: Equipos de transporte y carguío.....	77
C.	Anexos: Algoritmo del sistema Dispatch [16] .....	91
D.	Anexos: Daño estructural en palas Bucyrus.....	93
E.	Anexos: Análisis de datos.....	94
F.	Anexos: Reportes .....	96
G.	Anexos: Resultados .....	97
H.	Anexos: Practicas operacionales.....	104

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Niveles del SixSigma. ....	5
Tabla 2.	Distribución de tiempos en Minera Escondida.....	17
Tabla 3.	Vida Útil de componentes CAEX Caterpillar. ....	27
Tabla 4.	Vida Útil componentes CAEX Komatsu.....	28
Tabla 5.	Falla prematura de MT mismo CAEX. ....	29
Tabla 6.	Cambio de MT reparado.....	29

Tabla 7. Vida Útil de cables en palas.....	29
Tabla 8. Vida Útil de baldes en palas.....	29
Tabla 9. Carga útil y Sobrecarga CAEX.....	35
Tabla 10. Eventos por freno de parqueo considerados para el estudio.....	37
Tabla 11. Eventos por freno de servicio considerados para el estudio.....	38
Tabla 12. Promedio de eventos ocurridos, FY16.....	41
Tabla 13. Promedio de eventos por turno.....	43
Tabla 14. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus, 1 <sup>er</sup> semestre 2016.....	44
Tabla 15. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H, 1 <sup>er</sup> semestre 2016.....	44
Tabla 16. Estadísticas básicas de eventos ocurridos diariamente por periodo.....	56
Tabla 17. Promedio de eventos generados.....	58
Tabla 18. Promedio de eventos generados por turno.....	60
Tabla 19. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus.....	62
Tabla 20. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H.....	62
Tabla 21. Comparación porcentajes de in cumplimiento con la vida útil.....	66
Tabla 22. Comparación porcentajes de cumplimiento con la vida útil.....	66

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Modelo Six Sigma.....	5
Ilustración 2. Nivel sigma real vs objetivo.....	6
Ilustración 3. Metodología DMAIC.....	6
Ilustración 4. Confiabilidad Operacional.....	7
Ilustración 5. Diagrama Causa-Raíz.....	8
Ilustración 6. Diagrama de Pareto.....	9
Ilustración 7. Ubicación Minera Escondida.....	12
Ilustración 8. Zonificación mineralógica MEL.....	13
Ilustración 9. Litología MEL.....	14
Ilustración 10. Proceso de extracción.....	14
Ilustración 11. Proceso productivo en Minera Escondida.....	15
Ilustración 12. Procesamiento de mineral oxidado.....	16
Ilustración 13. Procesamiento de mineral sulfurado.....	16
Ilustración 14. Componentes Pala.....	24
Ilustración 15. Diagrama Causa-Efecto de componentes en camiones.....	32
Ilustración 16. Diagrama Causa-Efecto de componentes en palas.....	32
Ilustración 17. Desgaste motor de tracción (arriba) y paquetes de frenos (abajo).....	34
Ilustración 18. Corte cable en pala.....	34
Ilustración 19. Estados de motor en CAEX.....	36
Ilustración 20. Boom Jack.....	36
Ilustración 21. Fisuras en mango.....	39
Ilustración 22. Visualización alarmas en la cabina del operador.....	46
Ilustración 23. Reporte técnico palas P&H y Bucyrus.....	47
Ilustración 24. Reporte semanal: Practicas operacionales en CAEX de MEL.....	49
Ilustración 25. Reporte diario: Practicas operacionales en CAEX de MEL.....	50
Ilustración 26. Reporte cambio de componente Cables.....	51
Ilustración 27. Reporte cambio de componente Baldes.....	52

## Índice de Gráficos

Gráfico 1. Distribución porcentual de costos según operación unitaria en la GOM.....	19
Gráfico 2. Distribución porcentual de costos por suministros y soportes en la GOM.....	20
Gráfico 3. Distribución porcentual de costos por piezas de reemplazo en las operaciones. ....	21
Gráfico 4. Distribución porcentual de costos en la operación de transporte.....	21
Gráfico 5. Distribución porcentual de costos en la operación de carguío.....	22
Gráfico 6. Cambio motor de tracción, FY16.....	28
Gráfico 7. Cambio de cables, 1° semestre 2016.....	30
Gráfico 8. Cambio de baldes, 1°sem 2016.....	31
Gráfico 9. Pareto causa-incidente.....	33
Gráfico 10. Distribución porcentual de eventos según interface.....	38
Gráfico 11. Histograma de cantidad de eventos ocurridos diariamente, FY16.....	40
Gráfico 12. Distribución porcentual según los dos tipos de eventos generales, FY16.....	41
Gráfico 13. Pareto de georeferencia de ocurrencia de eventos.....	42
Gráfico 14. Promedio mensual de eventos por tipo de evento y turno.....	42
Gráfico 15. Distribución porcentual según tipo de evento, FY16.....	43
Gráfico 16. Daño acumulativo en pala.....	44
Gráfico 17. Histograma de eventos operacionales ocurridos diariamente en camiones.....	55
Gráfico 18. Comparación histogramas de eventos diarios.....	56
Gráfico 19. Evolución mensual de eventos.....	57
Gráfico 20. Tendencia de eventos, 2° semestre 2016.....	57
Gráfico 21. Distribución porcentual de eventos según freno de servicio y parqueo.....	58
Gráfico 22. Comparación de eventos por freno de servicio.....	59
Gráfico 23. Comparación de eventos por freno de parqueo.....	59
Gráfico 24. Eventos generados por turno.....	60
Gráfico 25. Comparación de eventos por turno.....	61
Gráfico 26. Comparación de eventos.....	61
Gráfico 27. Comparación de microdaños generados mensualmente.....	62
Gráfico 28. Comparación de eventos operacionales ocurridos.....	63
Gráfico 29. Cambio mensual de MT.....	64
Gráfico 30. Comparación entre tonelaje no movido por cables.....	65
Gráfico 31. Comparación entre tonelaje no movido por baldes.....	66

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Calculo de tamaño de la muestra teórica.....	10
Ecuación 2. Calculo de tamaño de la muestra real.....	10
Ecuación 3. Tiempo Disponible.....	18
Ecuación 4. Rendimiento del equipo.....	18
Ecuación 5. Utilización del equipo.....	18
Ecuación 6. Disponibilidad Física del equipo.....	18