

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción.....	1
1.1. Origen del estudio.....	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivos generales	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	1
1.3. Alcances	2
1.4. Metodología de trabajo.....	2
2. Revisión bibliográfica.....	3
2.1. Modelos macroscópicos	3
2.2. Modelos microscópicos	3
2.2.1. Autómata celular	3
2.2.2. Modelo Nagel-Schreckenberg (Na-Sch) (1992).....	4
2.2.3. Modelo Knospe, Santen, Schanschneider, Schreckenberg (K-S-S-S) (2000).....	4
2.3. Modelos mesoscópicos	6
2.4. Modelos mineros determinísticos	6
2.4.1. Tiempo de ciclo de camión	6
2.4.2. Número de camiones por pala	7
2.4. Modelos mineros probabilísticos	7
3. Datos de entrada	9
3.1. Datos del tiempo de ciclo	9
3.2. Características físicas de la mina	9
3.3. Características del camión.....	9
4. Modelo de calibración	10
4.1. Tiempos de ciclo	10
4.1.1. Tiempo de ciclo total.....	10
4.1.2. Tiempos de viaje.....	10
4.1.3. Desviaciones estándar de los procesos.....	11
4.2. Características físicas de la mina	11
4.3. Características del camión.....	11
5. Simulación del modelo de calibración.....	13

5.1. Tiempos por ruta	13
5.2. Validación del sistema de modelación	13
6. Pruebas experimentales en el modelo de simulación.....	15
6.1. Pruebas de rutas congestionadas individualmente.....	16
6.1.1. Prueba de congestión de la Ruta 1	16
6.1.2. Prueba de congestión de la Ruta 2.....	17
6.1.3. Prueba de congestión de la Ruta 3.....	17
6.2. Pruebas de rutas congestionadas interactuando	18
6.2.1. Prueba de congestión de la Ruta 4.....	19
6.2.2. Prueba de congestión de la Ruta 5.....	20
7. Caso Antamina	24
7.1. Descripción de la faena	24
7.2. Problemática de la congestión en Antamina	24
7.3. Identificación de la zona.....	24
7.4. Identificación de los puntos de entrada, descarga y rutas.	24
7.6. Casos simulados.....	29
7.6.1. Variando flujo a chancador de estéril.....	29
7.6.2. Variando flujo a chancador de mineral	30
7.7. Características de los camiones utilizados en la simulación	30
8. Resultados de la simulación en el Valle Antamina.....	31
8.1. Resultados de variar el flujo al chancador de estéril	31
8.1.1. Datos recopilados de las simulaciones.....	31
8.1.2. Gráficos obtenidos de los datos	32
8.2. Resultados de variar el flujo al chancador de mineral.....	32
8.2.1. Datos recopilados de las simulaciones.....	32
8.2.2. Gráficos obtenidos de los datos	33
9. Análisis de resultados del caso Valle Antamina	34
9.1. Análisis de variar el flujo al chancador de estéril	34
9.2. Análisis de variar el flujo al chancador de mineral	35
10. Conclusiones	36
10.1. Conclusiones generales	36
10.2. Conclusiones específicas.....	36

Referencias	37
Anexo A.....	38
Modelo de calibración	38
Anexos B.....	41
Anexo C	52
Anexo D.....	56
Anexo E	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Diagrama de procesos de estándar de una mina a cielo abierto.	9
Ilustración 2. Relación entre tiempos promedios y desviación estándar.	10
Ilustración 3. Tiempos de viaje estimados a partir de las velocidades y distancias medias.	11
Ilustración 4. Datos de la Pala 2 en la Ruta 1.	16
Ilustración 5. Datos del Pique 1 en la Ruta 1.	16
Ilustración 6. Datos de la Pala 1 en la Ruta 2.	17
Ilustración 7. Datos del Pique 1 en la Ruta 2.	17
Ilustración 8. Datos del Cargador 1 en la Ruta 3.	18
Ilustración 9. Datos del Pique 1 en la Ruta 3.	18
Ilustración 10. Datos de la Pala 2 en la Ruta 4.	19
Ilustración 11. Datos de la Pala 1 en la Ruta 4.	19
Ilustración 12. Datos del Pique 1 en la Ruta 4 para camiones venidos de la Pala 2.	20
Ilustración 13. Datos del Pique 1 en la Ruta 4 para camiones venidos de la Pala 1.	20
Ilustración 14. Datos de la Pala 2 en la Ruta 5.	21
Ilustración 15. Datos de la Pala 1 en la Ruta 5.	21
Ilustración 16. Datos del Cargador en la Ruta 5.	22
Ilustración 17. Datos del Pique 1 en la Ruta 5 para camiones venidos de la Pala 2.	22
Ilustración 18. Datos del Pique 1 en la Ruta 5 para camiones venidos de la Pala 1.	23
Ilustración 19. Datos del Pique 1 en la Ruta 5 para camiones venidos del Cargador.	23
Ilustración 20. Rutas de salida hacia el valle Antamina a partir del año 2014.	24
Ilustración 21. Ruta 1, Valle Antamina.	26
Ilustración 22. Ruta 2, Valle Antamina.	26
Ilustración 23. Ruta 3, Valle Antamina.	27
Ilustración 24. Ruta 7, Valle Antamina.	27
Ilustración 25. Ruta 8, Valle Antamina.	28
Ilustración 26. Ruta 9, Valle Antamina.	28
Ilustración 27. Ruta 10, Valle Antamina.	29
Ilustración 28. Variación del flujo a los chancadores de estéril.	32
Ilustración 29. Variación del flujo al chancador de mineral.	33
Ilustración 30. Plano de ubicación de las entidades.	38
Ilustración 31. Rutas utilizadas para la simulación.	40
Ilustración 32. Análisis de sensibilidad de Ruta 1.	52
Ilustración 33. Análisis de sensibilidad de Ruta 2.	52
Ilustración 34. Análisis de sensibilidad de Ruta 3.	53
Ilustración 35. Análisis de sensibilidad de Ruta 7.	53
Ilustración 36. Análisis de sensibilidad de Ruta 8.	54
Ilustración 37. Análisis de sensibilidad de Ruta 9.	54
Ilustración 38. Análisis de sensibilidad de Ruta 10.	55
Ilustración 39. Análisis de sensibilidad de Ruta 1.	64
Ilustración 40. Análisis de sensibilidad de Ruta 2.	64

Ilustración 41. Análisis de sensibilidad de Ruta 3.	65
Ilustración 42. Análisis de sensibilidad de Ruta 7.	65
Ilustración 43. Análisis de sensibilidad de Ruta 8.	66
Ilustración 44. Análisis de sensibilidad de Ruta 9.	66
Ilustración 45. Análisis de sensibilidad de Ruta 10.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos de ciclo.....	11
Tabla 2. Velocidad de camión Komatsu 930E.....	12
Tabla 3. Número de rutas.....	13
Tabla 4. Distancias de viaje.....	13
Tabla 5. Tiempos obtenidos a partir de la simulación.....	13
Tabla 6. Comparación de datos reales con simulados.....	14
Tabla 7. Rutas a congestionar.....	15
Tabla 8. Número de camiones por pruebas individuales.....	15
Tabla 9. Número de camiones por prueba con interacción.....	15
Tabla 10. Denominación de rutas interactuando.....	19
Tabla 11. Origen y destino de las rutas.....	25
Tabla 12. Flujo de camiones variando el flujo al chancador de estéril.....	29
Tabla 13. Flujo de camiones variando el flujo al chancador de mineral.....	30
Tabla 14. Velocidad de camión Caterpillar 793F.....	30
Tabla 15. Tabla resumen de resultados de las simulaciones.....	31
Tabla 16. Tabla resumen de resultados de las simulaciones.....	32
Tabla 17. Análisis de tpa para diferentes flujos.....	34
Tabla 18. Análisis de tpa para diferentes flujos.....	35
Tabla 19. Detalle de los sectores.....	39
Tabla 20. Resultados de la simulación para el caso base.....	41
Tabla 21. Resultados de la simulación para un envío 50% menor al chancador de estéril.....	42
Tabla 22. Resultados de la simulación para un envío 30% menor al chancador de estéril.....	43
Tabla 23. Resultados de la simulación para un envío 20% menor al chancador de estéril.....	44
Tabla 24. Resultados de la simulación para un envío 10% menor al chancador de estéril.....	45
Tabla 25. Resultados de la simulación para un envío 10% mayor al chancador de estéril.....	46
Tabla 26. Resultados de la simulación para un envío 20% mayor al chancador de estéril.....	47
Tabla 27. Resultados de la simulación para un envío 30% mayor al chancador de estéril.....	48
Tabla 28. Resultados de la simulación para un envío 50% mayor al chancador de estéril.....	49
Tabla 29. Resultados de la simulación para un envío 70% mayor al chancador de estéril.....	50
Tabla 30. Resultados de la simulación para un envío 100% mayor al chancador de estéril.....	51
Tabla 31. Resultados de la simulación para un envío 50% menor al chancador de mineral.....	56
Tabla 32. Resultados de la simulación para un envío 30% menor al chancador de mineral.....	57
Tabla 33. Resultados de la simulación para un envío 20% menor al chancador de mineral.....	58
Tabla 34. Resultados de la simulación para un envío 10% menor al chancador de mineral.....	59
Tabla 35. Resultados de la simulación para un envío 10% mayor al chancador de mineral.....	60
Tabla 36. Resultados de la simulación para un envío 20% mayor al chancador de mineral.....	61
Tabla 37. Resultados de la simulación para un envío 30% mayor al chancador de mineral.....	62
Tabla 38. Resultados de la simulación para un envío 50% mayor al chancador de mineral.....	63