

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivos Generales	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Organización de la memoria	3
2. Marco teórico	4
2.1. Cementación	4
2.1.1. Aspectos Termodinámicos	4
2.1.2. Aspectos Cinéticos	6
2.2. Aspectos Mecánicos	9
2.2.1. Equipos de Cementación	9
2.2.2. Mecanismos de daño a los equipos	11
2.2.3. Movimiento de la carga	12
2.3. Software Rocky DEM	14
2.3.1. Método de Elementos Discretos	14
2.3.2. Aspectos teóricos de DEM	15
2.3.3. Simulación de una partícula	15
2.3.4. Esquema de iteración DEM	18
2.3.5. Interpretación de las fuerzas actuantes en Rocky	18
2.3.6. Modelos de contacto generales	20
2.3.7. Modelos específicos	22
2.3.8. Espectro de energía de partícula (Energy Spectra)	29
3. Metodología	30
3.1. Adquisición de datos y Visita Técnica	31
3.2. Reactor	33
3.2.1. Briquetas	34
3.2.2. Pruebas de Malla	39
3.2.3. Modelación	43
3.2.4. Solver	46
4. Resultados	48
4.0.1. Briqueta 25x30	49
4.0.2. Briqueta 40x40	53

4.0.3. Briqueta 40x60	57
5. Análisis de Resultados	61
6. Conclusiones y trabajo futuro	66
6.1. Conclusiones	66
6.2. Trabajo futuro	67
Bibliografía	68
Anexos	70
A. Espectros de Energía para Briqueta 25x30	71
A.0.1. Trayectoria y Velocidad	71
A.0.2. Fracción de Volumen	73
B. Espectros de Energía para Briqueta 40x40	75
B.0.1. Trayectoria y Velocidad	75
B.0.2. Fracción de Volumen	77
C. Espectros de Energía para Briqueta 40x60	79
C.0.1. Trayectoria y Velocidad	79
C.0.2. Fracción de Volumen	81

Índice de figuras

2.1.	Evolución del proceso de cementación. (a) Primera etapa. (b) Segunda etapa	8
2.2.	Reactor de tambor rotatorio utilizado en el proceso de cementación en Minera Los Pelambres.	10
2.3.	Representación de la pared interna de un reactor de tambor rotatorio. Se evidencia el ancho de pared y las diferentes alturas de dos tipos de <i>lifters</i> [20].	10
2.4.	Esquema de los modos de movimiento de material. Deslizamiento (Sliding), Cascada (Cascading) y Catarata (Catarating) [8].	13
2.5.	Simulación de una partícula cayendo en distintos intervalos de tiempo.	16
2.6.	Ejemplificación del puente líquido en las fuerzas de adhesión/cohesión.	17
2.7.	Esquema de Iteración DEM.	18
2.8.	Ejemplificación de <i>overlap</i> o superposición.	19
2.9.	Coefficiente de restitución ε . V_{in} y V_{out} corresponden a la velocidad antes y después de la colisión, respectivamente.	19
2.10.	Ejemplo de erosión/desgaste en el software DEM Rocky.	23
2.11.	Secuencia de tiempo de t a $t + \Delta t$ del modelo de desgaste Archard.	23
2.12.	Modelo de contacto en muchas partículas, destacando el desgaste que éstas realizan en la zona de contacto (zona roja en la malla) [12].	24
2.13.	A la izquierda, determinación sitios (establecimientos) en el sólido. A la derecha, teselación del sólido según el algoritmo de Voronoi.	28
3.1.	Cemento de cobre extraído del reactor de Minera Los Pelambres.	31
3.2.	Vista lateral del reactor de Minera Los Pelambres.	32
3.3.	Vista frontal del reactor de Minera Los Pelambres.	32
3.4.	A la izquierda, CAD del tambor. A la derecha, CAD de los revestimientos de goma.	33
3.5.	Briquetas metálicas compactadas.	34
3.6.	Modelo de briqueta 25x30.	37
3.7.	Modelo de briqueta 40x40.	38
3.8.	Modelo de briqueta 40x60.	38
3.9.	Malla de 0.7 [m].	39
3.10.	Malla de 0.3 [m].	40
3.11.	Malla de 0.1 [m].	40
3.12.	Malla de 0.05 [m].	40
3.13.	Análisis 3D de Malla 0.1 [m].	41
3.14.	Análisis 3D de Malla 0.05 [m].	42
4.1.	Partículas a lo largo de las distintas etapas.	49
4.2.	Desgaste del equipo a lo largo de la simulación.	51

4.3.	Estado final del equipo.	52
4.4.	Partículas a lo largo de las distintas etapas.	53
4.5.	Desgaste del equipo a lo largo de la simulación.	55
4.6.	Estado final del reactor.	56
4.7.	Partículas a lo largo de las distintas etapas.	57
4.8.	Desgaste del revestimiento a lo largo de la simulación.	59
4.9.	Estado final del equipo.	60
5.1.	Tasa de absorción para los 3 elementos modelados.	61
5.2.	Potencia Acumulada para los 3 elementos modelados.	62
5.3.	Tasa de Colisión Vs Energía de Colisión.	63
5.4.	Pérdida de Volumen para los 3 modelos.	64
A.1.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 600 segundos.	71
A.2.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 1800 segundos.	72
A.3.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 3600 segundos.	72
A.4.	Fracción de volumen a los 600 segundos.	73
A.5.	Fracción de volumen a los 1800 segundos.	73
A.6.	Fracción de volumen a los 3600 segundos.	74
B.1.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 600 segundos.	75
B.2.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 1800 segundos.	76
B.3.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 3600 segundos.	76
B.4.	Fracción de volumen a los 600 segundos.	77
B.5.	Fracción de volumen a los 1800 segundos.	77
B.6.	Fracción de volumen a los 3600 segundos.	78
C.1.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 600 segundos.	79
C.2.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 1800 segundos.	80
C.3.	Trayectoria de las partículas y su velocidad a los 3600 segundos.	80
C.4.	Fracción de volumen a los 600 segundos.	81
C.5.	Fracción de volumen a los 1800 segundos.	81
C.6.	Fracción de volumen a los 3600 segundos.	82

Índice de tablas

2.1. Serie Electro Motriz de Potenciales [4]	5
2.2. Usos de los modelos de Fuerza Normal	21
2.3. Usos de los modelos de Fuerza Tangencial	21
2.4. Usos de los modelos de Fuerza Adhesiva	22
3.1. Parámetros mecánicos del reactor	33
3.2. Parámetros de operación del reactor	34
3.3. Parámetros mecánicos del acero.	34
3.4. Parámetros mecánicos de la Goma Hypalon.	34
3.5. Mediciones Briqueta 25x30	35
3.6. Mediciones Briqueta 40x40	35
3.7. Mediciones Briqueta 40x60	36
3.8. Resumen Briqueta 25x30	36
3.9. Resumen Briqueta 40x40	37
3.10. Resumen Briqueta 40x60	37
3.11. Tiempos de prueba de malla	42
3.12. Condiciones de sub-simulación	44
3.13. Detalles de la briqueta 25x30 en cada etapa de sub-simulación	44
3.14. Detalles de la briqueta 40x40 en cada etapa de sub-simulación	44
3.15. Detalles de la briqueta 40x60 en cada etapa de sub-simulación	45
3.16. Parámetros del <i>Solver</i>	46
3.17. Coeficientes de Interacción Acero-Acero	46
3.18. Coeficientes de Interacción Acero-Goma	47
4.1. Tasa de Absorción Específica Máxima.	50
4.2. Potencia Acumulada Máxima.	50
4.3. Tasa de Colisión Máxima en función de la Energía de Colisión.	50
4.4. Velocidad de Traslación de las partículas [$\frac{m}{s}$].	50
4.5. Desgaste del Tambor.	52
4.6. Desgaste del Revestimiento.	52
4.7. Tasa de Absorción Específica Máxima.	54
4.8. Potencia Acumulada Máxima.	54
4.9. Tasa de Colisión Máxima en función de la Energía de Colisión.	54
4.10. Velocidad de Traslación de las partículas [$\frac{m}{s}$].	54
4.11. Desgaste del Tambor.	56
4.12. Desgaste del Revestimiento.	56
4.13. Tasa de Absorción Específica Máxima.	58
4.14. Potencia Acumulada Máxima.	58

4.15. Tasa de Colisión Máxima en función de la Energía de Colisión.	58
4.16. Velocidad de Traslación de las partículas [$\frac{m}{s}$].	58
4.17. Desgaste del Tambor.	60
4.18. Desgaste del Revestimiento.	60