

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PROBLEMÁTICA Y MOTIVACIÓN	3
1.2	OBJETIVOS	6
1.3	ALCANCES	7
1.4	CONTENIDOS POR CAPÍTULO.....	8
2	ANTECEDENTES.....	9
2.1	Generalidades.....	9
2.1.1	Ubicación y Accesos	9
2.1.2	Geología del Proyecto	13
2.1.2.1	Litología.....	13
2.1.2.2	Geología Estructural.....	14
2.1.2.3	Zonificación Geotécnica por Vetillas de Relleno Blando	15
2.1.2.4	Fragmentación.....	16
2.1.2.5	Hundibilidad.....	19
2.1.3	Plan Minero.....	20
2.1.3.1	Plan de Producción.....	20
2.1.3.2	Secuencia de Explotación.....	21
2.1.4	Método Explotación.....	24
2.1.5	Diseño Minero.....	27
2.1.5.1	Nivel de Hundimiento	28
2.1.5.2	Nivel de Producción.....	29
2.1.5.3	Nivel de Transporte Intermedio	30
2.1.5.4	Ventilación	32
2.1.5.5	Nivel de Drenaje	34
2.2	Técnicas de Simulación	35
2.2.1	Teoría de Colas	35
2.2.2	Simulación Dinámica de Sistemas Mineros	37
2.2.3	Descripción del Problema y Formulación de Objetivos	37
2.2.4	Recolección y Ajuste de Datos.....	37
2.2.5	Implementación del Modelo Computacional	38
2.2.6	Verificación del Modelo.....	39
2.2.7	Validación del Modelo	40
2.2.8	Experimentación con el Modelo.....	40
2.3	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	41
2.3.1	Simulación de Sistemas Mineros. (Hall, 2000)	41
2.3.2	Simulación Manejo de Materiales en Freeport Indonesia's DOZ/ESZ. (Botha, 2.008)	41
2.3.3	Simulación Transporte Materiales Mina Rajo Papua Nueva Guinea. (Saiang, 2.008)	41
2.3.4	Diseño y Desarrollo Actualizado para Mina Subterránea Grasberg. (Brannon, 2.008).....	41
2.3.5	Estudio Simulación Reservas Norte Sector Andesita – Pilar S6 Norte. (Arias 2.011)	41
2.3.6	Simulación Capacidad Producción Planta Chancado Nuevo Nivel Mina (Arias, 2.011)	42
2.3.7	Modelo Simulación Manejo de Materiales División Andina. (Lowick-Russell, 2.004).....	42
2.3.8	Modelación Dinámica Proceso de Conminución, Proyecto OMP. (Alquimia, 2.009)	42
2.3.9	Resumen Estudios de Simulaciones para la Industria Minera.	43
3	METODOLOGÍA	45
3.1	Descripción del Problema y Formulación de Objetivos.....	45
3.2	Simulación Dinámica de Operaciones.	45
3.2.1	Recolección y Ajuste de Datos.....	45
3.2.2	Implementación del Modelo Computacional	45
3.2.3	Verificación.....	46
3.2.4	Validación del Modelo.....	46
3.2.5	Experimentación con el Modelo.....	47

4	DETERMINACIÓN PARÁMETROS DEL SISTEMA MODELADO	48
4.1	Descripción de Sistemas en Estudio	48
4.1.1	Nivel Transporte Intermedio (NTI).....	48
4.1.2	Chancado y Transporte a Stock Pile.....	49
4.2	Plan Minero para Primer Chancador.....	50
4.3	Operaciones con Camiones para Transporte Mineral.	51
4.3.1	Operación Transporte Proyecto Nuevo Nivel Mina	51
4.3.2	Antecedentes Operación Reservas Norte División El Teniente	52
4.3.3	Antecedentes Operación Nivel 17 División Andina.....	55
4.3.4	Tiempos Operativos y Factores de Carga de Camiones en RENO, Andina y PNNM	58
4.4	Operaciones Proceso de Chancado	59
4.4.1	Operación Planta Chancado Nuevo Nivel Mina.....	59
4.4.1.1	Alimentación Chancador.....	59
4.4.1.2	Planta Chancado.....	60
4.4.1.3	Descarga Chancador.....	60
4.4.1.4	Alimentación Correa Principal.....	60
4.4.1.5	Sistema de Correas.....	60
4.4.1.6	Stock Pile	61
4.4.1.7	Características Equipos Principales Planta de Chancado	64
4.4.2	Antecedentes Planta Chancado Colón.....	64
4.4.2.1	Muestreo Planta Chancado Colón Realizado el Año 2.012.....	64
4.4.3	Comparación Planta Chancado Colón con Proyecto Nuevo Nivel Mina	65
5	MODELO DE SIMULACIÓN	67
5.1.1	Software Promodel.....	67
5.1.2	Simulación Nivel de Transporte y Chancado.....	70
5.1.3	Nivel de Transporte Intermedio	74
5.1.4	Nivel de Chancado y Transporte por Correa.....	81
6	DESARROLLO DEL ESTUDIO	89
6.1	Aplicación Teoría de Colas.....	89
6.2	Aplicación Simulación Computacional del Sistema	92
6.2.1	Parámetros Considerados en la Simulación:	92
6.2.2	Nivel Transporte Intermedio:	92
6.2.3	Nivel Sistema Chancado	93
6.3	Verificación y Validación del Modelo.....	95
6.3.1	Verificación del Modelo.....	95
6.3.2	Validación del Modelo.....	95
6.4	Simulación Escenario Base.....	96
6.5	Sensibilidades	100
6.5.1	Sensibilidad por Incremento en Detención Correas de Limpieza. (Escenario 1)	100
6.5.2	Sensibilidad Operación con Sólo una Tolva de Descarga (Escenario 2).....	102
6.5.3	Sensibilidad por Pérdida de Pistas por Reparación (Escenario N°3).....	104
6.5.4	Sensibilidad por Detención de Correa Debido a Rajadura. (Escenario N°4)	106
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
7.1	Conclusiones.....	109
7.1.1	Teoría de Colas	109
7.1.2	Simulación con Promodel	109
7.1.3	Sensibilidades.....	109
7.1.4	Sensibilidad por Incremento en Detención Correas de Limpieza.....	109
7.1.5	Sensibilidad Operación con Sólo una Tolva de Descarga.....	110
7.1.6	Sensibilidad por Pérdida de Pistas por Reparación.	110
7.1.7	Sensibilidad por Detención de Correa Debido a Rajadura.	110
7.2	Recomendaciones	111
	BIBLIOGRAFÍA	112
8	ANEXOS.....	113
8.1	ANEXO A: Registro de Datos Mina Reservas Norte División El Teniente.	114
8.2	ANEXO B: Tes de X2 Datos Mina Reservas Norte.....	117

8.3	ANEXO C: Registro de Datos Nivel 17 División Andina - Año 2.005	119
8.4	ANEXO D: Registro de Datos Nivel 17 División Andina - Año 2.013	122
8.5	ANEXO E: Tes de X2 Datos Nivel 17 División Andina.....	124
8.6	ANEXO F: Resultados Analisis Caso Base Simulación Promodel.....	126
8.7	ANEXO G: Resultados Escenarios de Sensibilidades Simulación Promodel.....	135
8.8	ANEXO H: Datos Año 2.012 Planta Chancado.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1-1: Interferencia más Frecuentes en Infraestructuras del Transporte y Chancado.....	5
Tabla N° 2-1: Clases de Fragmentación.....	16
Tabla N° 2-2: Zonas de Fragmentación.....	16
Tabla N° 2-3: Parámetros y Fórmulas Teoría de Colas.....	36
Tabla N° 4-1: Distribución de Mineral en Diciembre de 2.021.....	51
Tabla N° 4-2: Detenciones en Nivel de Transporte RENO.....	52
Tabla N° 4-3: Muestreo Camión SUPRA en RENO.....	53
Tabla N° 4-4: Funciones de Probabilidad.....	54
Tabla N° 4-5: Muestreo Año 2.005.....	56
Tabla N° 4-6: Muestreo Año 2.013.....	57
Tabla N° 4-7: Funciones de Probabilidad.....	58
Tabla N° 4-8: Tiempos Operativos Camiones (Andina, RENO y PNNM).....	58
Tabla N° 4-9: Factores de Carga.....	58
Tabla N° 4-10: Características Equipos Principales Planta de Chancado.....	64
Tabla N° 4-11: Muestreo Enero a Octubre 2.012.....	65
Tabla N° 5-1: Instrucciones Promodel.....	69
Tabla N° 5-2: Archivo Plan NTI.....	74
Tabla N° 6-1: Formulas Teoría de Colas.....	90
Tabla N° 6-2: Resultados Análisis Mediante Teoría de Colas.....	91
Tabla N° 6-3: Funciones de Probabilidad Muestreo División Andina.....	92
Tabla N° 6-4: Funciones de Probabilidad Detenciones Chancador Colón.....	93
Tabla N° 6-5: Validación Modelo Camiones.....	95
Tabla N° 6-6: Validación Modelo Camiones.....	96
Tabla N° 6-7: Parámetros Caso Base.....	97
Tabla N° 6-8: Producción Media por Cada Réplica y Producción Promedio Acumulado de Réplicas.....	98
Tabla N° 6-9: Resultados Simulación Caso Base PNNM.....	99
Tabla N° 6-10: Resultados Sensibilidad Incremento en Detención Correas de Limpieza.....	101
Tabla N° 6-11: Resultados Sensibilidad Una Tolva en Mantenición.....	103
Tabla N° 6-12: Resultados Sensibilidad Reparación Pista.....	105
Tabla N° 6-13: Resultados Sensibilidad por Rajadura Correa Principal.....	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2-1: Curva de Fragmentación Zona 1 – Moderada a Fina (Representado en amarillo).	18
Gráfico N° 2-2: Curva de Fragmentación Zona 2 – Moderada a Gruesa (Representado en Verde).....	18
Gráfico N° 2-3: Curva de Fragmentación Zona 3 – Gruesa (Representado en Rojo).....	18
Gráfico N° 2-4: Nomograma de Laubscher, Sector Primera Bajada – Proyecto NNM.....	19
Gráfico N° 6-1: Producción Media versus Promedio Acumulado Réplicas.	98
Gráfico N° 6-2: Producción Diaria Caso Base.	99
Gráfico N° 6-3: Producción Diaria Caso1 Escenario 1, Detención Correas de Limpieza.	102
Gráfico N° 6-4: Producción Diaria Caso 2 Escenario 1, Detención Correas de Limpieza.	102
Gráfico N° 6-5: Producción Diaria Escenario 2, Una Tolva de Descarga en Chancador.	104
Gráfico N° 6-6: Producción Diaria Escenario 3, Perdida de Pista Camiones.	105
Gráfico N° 6-7: Caso Rajadura de Correa Principal por 24 Horas.	107
Gráfico N° 6-8: Caso Rajadura de Correa Principal por 48 Horas.	107
Gráfico N° 6-9: Caso Rajadura de Correa Principal por 72 Horas.	107

ÍNDICE FIGURAS

Figura N° 1-1: Esquema Proyecto Nuevo Nivel Mina Asociado a Cada Nivel de Explotación.....	2
Figura N° 1-2: Diagrama Bloques Proceso Transporte Mineral.....	3
Figura N° 1-3: Diagrama Bloques Proceso Chancando y Transporte de Mineral.....	4
Figura N° 2-1: Emplazamiento Proyecto Nuevo Nivel Mina.....	9
Figura N° 2-2: Layout Disposición General Obras Principales.....	10
Figura N° 2-3: Disposición Carretera Acceso a Túneles PNNM.....	10
Figura N° 2-4: Túnel Acceso Principal y Túnel Correa.....	11
Figura N° 2-5: Adits y Cruzados de Ventilación Iniciales.....	11
Figura N° 2-6: Ubicación del Proyecto Nuevo Nivel Mina Respecto de los Sectores Actuales.....	12
Figura N° 2-7: Sectores Proyecto Nuevo Nivel Mina Delimitado por el Foot Print.....	13
Figura N° 2-8: Litología y Estructuras cota 1.880 msnm.....	15
Figura N° 2-9: Zonación Geotécnica en Roca Primaria.....	15
Figura N° 2-10: Modelo de Fragmentación Nivel 1880 msnm.....	17
Figura N° 2-11: Plan Minero PNNM para 137 ktpd y Ley Cu %.....	20
Figura N° 2-12: Plan de Finos PNNM para 137 ktpd.....	21
Figura N° 2-13: Incorporación de Área Plan 137 kt/d.....	22
Figura N° 2-14: Estrategia de Crecimiento Sector Andes.....	23
Figura N° 2-15: Esquema Panel Caving con Hundimiento Avanzado y Distribución de Esfuerzos.....	25
Figura N° 2-16: Socavación Tipo Crinkle Cut.....	25
Figura N° 2-17: Representación Variante de Explotación.....	26
Figura N° 2-18: Esquema Malla de Extracción Tipo Teniente 16 x 20 m.....	26
Figura N° 2-19: Perfiles Esquemáticos de Distribución de Niveles.....	27
Figura N° 2-20: Layout Nivel de Hundimiento.....	28
Figura N° 2-21: Layout Nivel de Producción.....	29
Figura N° 2-22: Layout Nivel Transporte Intermedio.....	30
Figura N° 2-23: Ubicación de Chancadores Principales.....	31
Figura N° 2-24: Esquema Chancador Primario Interior Mina.....	31
Figura N° 2-25: Layout Ventilación Principal y Secundaria (Inyección y Extracción.....	32
Figura N° 2-26: Layout Sub Nivel Ventilación (Inyección y Extracción).....	33
Figura N° 2-27: Layout Nivel Drenaje.....	34
Figura N° 2-28: Tipos de colas.....	35
Figura N° 4-1: Layout Nivel de Transporte Intermedio.....	48
Figura N° 4-2: Esquema planta de Chancado Primario.....	49
Figura N° 4-3: Esquema Transporte Mineral Chancado.....	50
Figura N° 4-4: Plan Mensual Primer Quinquenio.....	51
Figura N° 4-5: Ruta Tráfico de Camiones Mina Reservas Norte.....	53
Figura N° 4-6: Histograma Tiempo de Carga, Tiempo de Descarga y Velocidad.....	54
Figura N° 4-7: Circuitos de Tráfico Muestreados para Camiones Wagner y Supra en División Andina.....	55
Figura N° 4-8: Rutas de Tráfico Nivel 17 en División Andina.....	56
Figura N° 4-9: Histograma Tiempo de Carga, Tiempo de Descarga, Velocidad Vacío y Cargado.....	57
Figura N° 4-10: Disposición Plantas de Chancado.....	59
Figura N° 4-11: Esquema Referencial Transporte de Mineral.....	62
Figura N° 4-12: Esquema Diagrama de Proceso.....	63
Figura N° 5-1: Configuración Localizaciones.....	67
Figura N° 5-2: Configuración de Caminos.....	68
Figura N° 5-3: Definición de Entidades.....	68
Figura N° 5-4: Configuración Recursos.....	68
Figura N° 5-5: Configuración de Arribos.....	69
Figura N° 5-6: Configuración de Procesos.....	69
Figura N° 5-7: Subrutina Sistema_turno.....	71
Figura N° 5-8: Esquemas Sistema Transporte Intermedio.....	72
Figura N° 5-9: Esquema Sistema chancado y Correas.....	73
Figura N° 5-10: Layout NTI con Rutas Consideradas.....	74
Figura N° 5-11: Subrutina Cargar_mineral.....	75

Figura N° 5-12: Subrutina Iniciar().	76
Figura N° 5-13: Lógica Camiones NTI.	76
Figura N° 5-14: Subrutina Buscar_destino().	77
Figura N° 5-15: Subrutina Cargar_camión().	78
Figura N° 5-16: Diagrama Lógico Subrutina Elegir_vaciado().	79
Figura N° 5-17: Subrutina Descargar_camion().	80
Figura N° 5-18: Modelo Planta Chancado.	81
Figura N° 5-19: Detenciones en Chancador.	82
Figura N° 5-20: Subrutina Alimentar_CH().	83
Figura N° 5-21: Subrutina Alimentar_Correas().	85
Figura N° 5-22: Subrutina Alimentar_Correas().	86
Figura N° 5-23: Subrutina Alimentar_Correas().	87
Figura N° 5-24: Subrutina Alimentar_Correas().	88
Figura N° 6-1: Zona de Descarga Camiones.	89
Figura N° 6-2: Funciones de Probabilidad Tiempo Carga y Descarga, Velocidad Vacío y Cargado.	92
Figura N° 6-3: Circuito de Camiones PNNM.	97
Figura N° 6-4: Correas de Limpieza en Planta Chancado.	100
Figura N° 6-5: Tolvas de Descarga en Configuración Planta Chancado.	103
Figura N° 6-6: Caso Loop Andes Norte Hw en Reparación.	104