

# Tabla de Contenido

Abstract.....	ii
Tabla de Contenido.....	iv
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Alcances.....	3
1.4. Estructura.....	6
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>7</b>
2.1. Características del diseño de minas a cielo abierto .....	7
<b>2.2. Modelos de optimización de pits.....</b>	<b>12</b>
2.3. Agendamiento de la producción y evaluación económica .....	13
<b>3. Metodología.....</b>	<b>17</b>
3.1. Optimización del pit final .....	17
3.2. Diseño de fases operativas.....	19
3.3. Agendamiento de la producción .....	22
<b>4. Resultados y análisis.....</b>	<b>25</b>
4.1. Diseños operacionales.....	25
4.1.1. Diseño LG2Y.....	25
4.1.2. Diseño LG1Y.....	35

4.1.3.	Diseño LGMM2Y .....	48
4.1.4.	Diseño LGMM1Y .....	55
4.1.5.	Diseño LPNB.....	70
4.2.	Agendamiento de la producción .....	83
4.2.1.	Validación de la exportación de sets de fases.....	83
4.2.2.	Agendamiento en Whittle.....	83
4.3.	Evaluación económica del proyecto .....	93
<b>5.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>99</b>
<b>6.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>102</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>104</b>
	<b>Anexo A. Impacto de la construcción de switchbacks.....</b>	<b>104</b>
	<b>Anexo B. Estimación de inversiones .....</b>	<b>105</b>
	<b>Anexo C. Planes de agendamiento de producción de set de fases para el caso específico.....</b>	<b>108</b>

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Pit-by-Pit .....	19
Gráfico 2: LG2Y - Bridge tonelaje mineral por fase.....	26
Gráfico 3: LG1Y - Bridge tonelaje mineral por fase.....	35
Gráfico 4: LGMM2Y - Bridge tonelaje mineral por fase.....	48
Gráfico 5: LGMM1Y - Bridge tonelaje mineral por fase.....	55
Gráfico 6: LPNB - Bridge tonelaje mineral por fase.....	70
Gráfico 7: Pit-by-Pit .....	84
Gráfico 8: Comparación VAN best .....	85
Gráfico 9: VAN de diseños – Caso best y caso específico.....	87
Gráfico 10: VAN en función del número de pits/fases .....	88
Gráfico 11: Agendamiento LPNB - Caso best .....	89
Gráfico 12: Agendamiento LPNB - Caso específico.....	89
Gráfico 13: Gráfico 8: Agendamiento LPNB - Caso específico modificado .....	90
Gráfico 14: Extracción de fases en el tiempo .....	91
Gráfico 15: Análisis de sensibilidad del VAN del diseño LPNB en escenario específico.....	96
Gráfico 16: Análisis de sensibilidad del VAN de los pits LPNB en escenario específico.....	97
Gráfico 17: Relación entre variaciones de tonelaje de Cu extraído y variación de VAN .....	97

Gráfico 18: Relación entre variaciones ley de Cu extraída y variación de VAN.....	98
Gráfico 19: OPEX Mina en función de la capacidad .....	105
Gráfico 20: CAPEX mina en función de la capacidad .....	106
Gráfico 21: CAPEX lixiviación.....	106
Gráfico 22: CAPEX Concentradora .....	107
Gráfico 23: Agendamiento LG1Y - Caso específico.....	108
Gráfico 24: Agendamiento LG2Y - Caso específico.....	108
Gráfico 25: Agendamiento LGMM1Y - Caso específico .....	109
Gráfico 26: Agendamiento LGMM2Y - Caso específico .....	109

## Índice de Tablas

Tabla 1: Sets de Fases - Algoritmos y criterios de diseño.....	4
Tabla 2: Parámetros input de la optimización de pits.....	18
Tabla 3: Parámetros comunes de diseño .....	20
Tabla 4: Capacidades productivas e inversión .....	22
Tabla 5: Restricciones caso específico .....	23
Tabla 6: LG2Y - Comparación de diseños y pits .....	26
Tabla 7: LG1Y - Comparación de diseños y pits .....	35
Tabla 8: LGMM2Y - Comparación de diseños y pits .....	48
Tabla 9: LGMM1Y - Comparación de diseños y pits .....	55
Tabla 10: LPNB - Comparación de diseños y pits .....	70
Tabla 11: Variación de estimación de tonelajes .....	83
Tabla 12: Diferencia VAN diseño vs pits caso best.....	85
Tabla 13: Ranking en función del VAN - Diseños y pits.....	86
Tabla 14: Comparación VAN – Caso específico vs best.....	87
Tabla 15: Cumplimiento de criterios de diseño post-agendamiento .....	92
Tabla 16: TIR y VAN para diseños .....	93
Tabla 17: Detalle inversiones mina .....	94

Tabla 18: Estimación equipos mina ..... 94

## Índice de Figuras

Figura 1: Etapas de la planificación minera de largo plazo.....	2
Figura 2: Componentes geométricos del pit (Wetherelt y Peter van der Wielen, 2011).....	7
Figura 3: Geometría de talud minero (Yarmuch, 2015).....	8
Figura 4: Actividades en el pit (Hustrulid y Kutcha, 2013)).....	8
Figura 5: Formas de generar accesos (Lefaux et al., 2012).....	10
Figura 6: Rampa y camión - vista en perfil .....	11
Figura 7: Discretización fase-banco – Sección transversal vertical de un pit .....	14
Figura 8: Ejemplo de ventajas verticales mínimas y máximas entre fases.....	15
Figura 9: Origen y destino de los materiales extraídos .....	18
Figura 10: Corte transversal de un pit - espacios operativos.....	21
Figura 11: Vista en planta de pits – espacios operativos.....	22
Figura 12: LG2Y Fase 1 - Vista en planta.....	27
Figura 13: LG2Y Fase 1 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132300.....	27
Figura 14: LG2Y Fase 1 - Vista en sección - Corte secundario N-S 394050.....	27
Figura 15: LG2Y Fase 2 - Vista en planta.....	29
Figura 16: LG2Y Fase 2 - Vista en sección - Corte principal N-S E394350 .....	29
Figura 17: LG2Y Fase 2 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132200 .....	29

Figura 18: LG2Y Fase 2 - Vista en planta - Banco 1070 .....	30
Figura 19: LG2Y Fase 3 - Vista en planta.....	31
Figura 20: LG2Y Fase 3 - Vista en sección - Corte principal N-S E394300 .....	31
Figura 21: LG2Y Fase 3 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132200 .....	31
Figura 22: LG2Y Fase 3 – Corte en sección – Planta banco L1060 .....	32
Figura 23: LG2Y Fase 4 - Vista en planta.....	33
Figura 24: LG2Y Fase 4 - Vista en sección - Corte principal N-S E394050 .....	33
Figura 25: LG2Y Fase 4 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132150 .....	33
Figura 26: LG2Y Fase 3 - Vista en sección –Planta banco 1050.....	34
<i>Figura 27: LG2Y Fase 3 - Vista en Sección - Planta banco 1180 topografía Fase 3 y pits 4, 5 y 6</i> .....	34
Figura 28: LG1Y Fase 1 - Vista en planta.....	36
Figura 29: LGY1 Fase 1 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132350.....	36
Figura 30: LG1Y Fase 1 - Vista en sección - Corte principal N-S E394100 .....	36
Figura 31: LG1Y Fase 2 - Vista en planta.....	38
Figura 32: LG1Y Fase 2 - Vista en sección - Corte principal NO-SE .....	38
Figura 33: LG1Y Fase 2 - Vista en sección - Corte secundario SO-NE .....	39
Figura 34: LG1Y Fase 2 - Vista en sección – Planta banco L1130.....	39



Figura 35: LG1Y Fase 3 - Vista en Planta .....	40
Figura 36: LG1Y Fase 3 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132300.....	40
Figura 37: LG1Y Fase 3 - Vista en sección - Corte secundario N-S E394150 .....	40
Figura 38: LG1Y Fase 3 – Corte en sección - Planta banco L1130 .....	41
Figura 39: LG1Y Fase 4 - Vista en planta.....	42
Figura 40: LG1Y Fase 4 - Vista en sección - Corte principal N-S E394350 .....	42
Figura 41: LG1Y Fase 4 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132200 .....	42
Figura 42: LG1Y Fase 4 - Vista en sección - Planta banco L1080 .....	43
Figura 43: LG1Y Fase 5 - Vista en planta.....	44
Figura 44: LG1Y Fase 5- Vista en sección - Corte principal N-S E394400 .....	44
Figura 45: LG1Y Fase 5- Vista en sección - Corte secundario E-O N7132000 .....	44
Figura 46: LG1Y Fase 5 - Vista en sección - Planta banco L1080 .....	45
Figura 47: LG1Y Fase 6 - Vista en planta.....	46
Figura 48: LG1Y Fase 6- Vista en sección - Corte principal N-S E394300 .....	46
Figura 49: LG1Y Fase 6- Vista en sección - Corte principal E-O N71322000.....	46
Figura 50: LG1Y Fase 6 - Vista en sección - Planta banco 1080.....	47
Figura 51: LG1Y Fase 6 - Vista en sección - Planta banco 1130 Topografía Fase 5 y pits 6, 8 y 11 .....	47

Figura 52: LGMM2Y Fase 1 - Vista en planta.....	49
Figura 53: LGMM2Y Fase 1 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132375 .....	49
Figura 54: LGMM2Y Fase 1 - Vista en sección - Corte secundario S-N E394150.....	49
Figura 55: LGMM2Y Fase 2 - Vista en planta.....	51
Figura 56: LGMM2Y Fase 2 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132325 .....	51
Figura 57: LGMM2Y Fase 2 - Vista en sección - Corte secundario N-S E394200.....	51
Figura 58: LGMM2Y Fase 2 - Vista en sección - Planta banco 1080.....	52
Figura 59: LGMM2Y Fase 3 - Vista en planta.....	53
Figura 60: LGMM2Y Fase 3 - Vista en sección - Corte principal N-S E394350 .....	53
Figura 61: LGMM2Y Fase 3 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132100 .....	53
Figura 62: LGMM2Y Fase 3 - Vista en sección - Planta banco 1060.....	54
Figura 63: LGMM1Y Fase 1 - Vista en planta.....	56
Figura 64: LGMM1Y Fase 1 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132300 .....	56
Figura 65: LGMM1Y Fase 1 - Vista en sección - Corte secundario N-S E394100.....	56
Figura 66: LGMM1Y Fase 2 - Vista en planta.....	58
Figura 67: LGMM1Y Fase 2 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132350 .....	58
Figura 68: LGMM1Y Fase 2 - Vista en sección - Corte secundario N-S E394200.....	58
Figura 69: LGMM1Y Fase 2 - Vista en sección - Planta banco 1090 (pit y diseño) .....	59

Figura 70: LGMM1Y Fase 3 - Vista en planta.....	60
Figura 71: LGMM1Y Fase 3 - Vista en sección - Corte principal S-N E394150 .....	60
Figura 72: LGMM1Y Fase 3 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132350 .....	60
Figura 73: LGMM1Y Fase 3 - Vista en sección - Planta banco 1080.....	61
Figura 74: LGMM1Y Fase 4 - Vista en planta.....	62
Figura 75: LGMM1Y Fase 4 - Vista en sección - Corte principal S-N E3942255 .....	62
Figura 76: LGMM1Y Fase 4 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132150 .....	62
Figura 77: LGMM1Y Fase 4 - Vista en sección – Planta banco 1110.....	63
Figura 78: LGMM1Y Fase 5 - Vista en planta.....	64
Figura 79: LGMM1Y Fase 5 - Vista en sección - Corte principal S-N E394150 .....	64
Figura 80: LGMM1Y Fase 5 - Vista en sección - Corte secundario E-O N .....	64
Figura 81: LGMM1Y Fase 5 - Vista en sección - Planta banco 1030.....	65
Figura 82: LGMM1Y Fase 6 - Vista en planta.....	66
Figura 83: LGMM1Y Fase 6 - Vista en sección - Corte principal SO-E .....	66
Figura 84: LGMM1Y Fase 6 - Vista en sección - Corte secundario NO-SE .....	66
Figura 85: LGMM1Y Fase 6 - Vista en sección - Planta banco 1090.....	67
Figura 86: LGMM1Y Fase 7 - Vista en planta.....	68
Figura 87: LGMM1Y Fase 6 - Vista en sección - Corte principal NO-SE .....	68

Figura 88: LGMM1Y Fase 6 - Vista en sección - Corte secundario S-E.....	68
Figura 89: LGMM1Y Fase 7 - Vista en sección – Planta banco 1040 (pit y diseño).....	69
Figura 90: LPNB Fase 1 - Vista en planta.....	71
Figura 91: LPNB Fase 1 - Vista en sección - Corte principal N-S E394100 .....	71
Figura 92: LPNB Fase 1 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132300 .....	71
Figura 93: LPNB Fase 2 - Vista en planta.....	73
Figura 94: LPNB Fase 2 - Vista en sección - Corte principal N-S E394175 .....	73
Figura 95: LPNB Fase 2 - Vista en sección - Corte secundario E-O N713250 .....	73
Figura 96: LPNB Fase 2 - Vista en sección - Planta banco 1120.....	74
Figura 97: LPNB Fase 3 - Vista en planta.....	75
Figura 98: LPNB Fase 3 - Vista en sección - Corte principal N-S E394405 .....	75
Figura 99: LPNB Fase 3 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7131950 .....	75
Figura 100: LPNB Fase 3 - Vista en sección - Planta banco 1120.....	76
Figura 101: LPNB Fase 4 - Vista en planta.....	77
Figura 102: LPNB Fase 4 - Vista en sección - Corte principal E-O N7132100.....	77
Figura 103: LPNB Fase 4 - Vista en sección - Corte secundario N-S E394400 .....	77
Figura 104: LPNB Fase 4 - Vista en sección - Planta banco 1110.....	78
Figura 105: LPNB Fase 5 - Vista en planta.....	79

Figura 106: LPNB Fase 5 - Vista en sección - Corte principal S-N E394100 .....	79
Figura 107: LPNB Fase 5 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132350 .....	79
Figura 108: LPNB Fase 5 - Vista en sección - Planta banco 1080.....	80
Figura 109: LPNB Fase 6 - Vista en planta.....	81
Figura 110: LPNB Fase 6 - Vista en sección - Corte principal N-S E394200 .....	81
Figura 111: LPNB Fase 6 - Vista en sección - Corte secundario E-O N7132200 .....	81
Figura 112: LPNB - Vista en sección - Planta banco 1160 Fase 5 y pits 6 al 9.....	82
Figura 113: Efecto de switchbacks en el tonelaje extraído .....	104