

# TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. MOTIVACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.3. ALCANCES .....	1
1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	2
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	3
2.1. FILOSOFÍA LEAN .....	3
2.1.1. LEAN CONSTRUCTION.....	3
2.1.2. METODOLOGÍA LAST PLANNER .....	4
2.1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS LEAN.....	5
2.1.4. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA MINERA .....	6
2.2. PLANIFICACIÓN EN LA PREPARACIÓN MINERA.....	7
2.3. HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN DESWIK.....	7
2.3.1. DESWIK.CAD .....	7
2.3.2. DESWIK.SCHED .....	8
2.3.3. DESWIK.IS .....	8
CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES CASO DE ESTUDIO.....	9
3.1. INTRODUCCIÓN.....	9
3.2. PROYECTO ANDES NORTE - NUEVO NIVEL MINA (AN-NNM).....	10
3.3. PREPARACIÓN MINERA EN PNNM .....	12
3.3.1. DESARROLLOS HORIZONTALES .....	13
3.3.2. DESARROLLOS VERTICALES .....	14
3.3.3. OBRAS CIVILES .....	14
3.3.4. CICLO MINERO .....	14
3.4. PLANIFICACIÓN EN PNNM – ANDES NORTE .....	16
3.4.1. TIPOS DE PLANES.....	16
3.4.2. ÁREAS DE LA PLANIFICACIÓN.....	18
3.4.3. CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN .....	18
3.4.4. HERAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN .....	22
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA MODELAMIENTO EN DESWIK.....	23
4.1. INTRODUCCIÓN.....	23
4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23

4.2.1.	OBJETIVOS.....	23
4.2.2.	SUPUESTOS.....	23
4.3.	PARÁMETROS DE ENTRADA .....	24
4.3.1.	DISEÑO .....	24
4.3.2.	ATRIBUTOS.....	24
4.3.3.	PARÁMETROS PLANIFICACIÓN.....	24
4.3.4.	ACTIVIDADES .....	24
4.4.	RESTRICCIONES.....	25
4.4.1.	DEPENDENCIAS .....	25
4.4.2.	ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	25
4.4.3.	NIVELACIÓN .....	25
4.5.	PARÁMETROS DE SALIDA.....	26
CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....		27
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	27
5.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	27
5.2.1.	OBEJTIVO .....	27
5.2.2.	SUPUESTOS GENERALES .....	27
5.3.	MODELO CASO ESTUDIO 1.....	27
5.3.1.	OBJETIVOS Y ALCANCES CASO ESTUDIO 1 .....	27
5.3.2.	PARÁMETROS DE ENTRADA.....	28
5.3.3.	RESTRICCIONES .....	36
5.3.4.	PARÁMETROS DE SALIDA .....	40
5.4.	MODELO CASO ESTUDIO 2.....	41
5.4.1.	OBJETIVOS Y ALCANCES CASO DE ESTUDIO 2.....	41
5.4.2.	PARÁMETROS DE ENTRADA.....	41
5.4.3.	ACTIVIDADES .....	42
5.4.4.	RESTRICCIONES .....	43
5.4.5.	PARÁMETROS DE SALIDA .....	43
CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		44
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	44
6.2.	RESULTADOS PLANIFICACIÓN.....	44
6.2.1.	CASO ESTUDIO 1 .....	44
6.2.2.	CASO ESTUDIO 2 .....	45
6.2.3.	TIEMPOS DE PLANIFICACIÓN.....	47
6.3.	ANÁLISIS .....	49

6.3.1. APORTE METODOLOGÍA LAST PLANNER.....	49
6.3.2. FACILIDADES Y FLEXIBILIDAD .....	51
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
7.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	53
7.2. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXO .....	57
ANEXO 1: DISEÑO .....	57
ANEXO 2: LIMITES CONTRACTUALES.....	58
ANEXO 3: ALCANCE DE DISEÑO .....	59
ANEXO 4: RESULTADOS.....	62

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hitos del Proyecto. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2020).....	20
Tabla 2. Número de disparos por día por nivel. ....	22
Tabla 3. Resumen tiempos de ciclo desarrollos horizontales.....	31
Tabla 4. Recursos Desarrollo Horizontal Contrato CC-081.....	32
Tabla 5. Recursos Desarrollo Horizontal Contrato CC-085.....	32
Tabla 6. Rendimientos Desarrollos verticales con Raise Borer. ....	33
Tabla 7. Rendimientos Excavación vertical con Blind Hole.....	33
Tabla 8. Rendimientos entubado excavación vertical con Blind Hole.....	33
Tabla 9. Rendimientos instalación ventiladores excavaciones verticales .....	33
Tabla 10. Avance por disparo y Horas hombre efectivas.....	34
Tabla 11. Actividades Desarrollo horizontal y vertical.....	35
Tabla 12. Actividades sólidos.....	36
Tabla 13. Actividades obras civiles.....	36
Tabla 14. Objetivos por contrato desarrollos horizontales. ....	38
Tabla 15. Actividades fortificación de cables de intersección. ....	43
Tabla 16. Reporte Desarrollo Horizontal Plan Mensual Área Footprint.....	44
Tabla 17. Reporte de Utilización de Equipos Plan Mensual - Nivel de Hundimiento.....	45
Tabla 18. Reporte de Utilización de Equipos Plan Mensual - Nivel de Producción.....	45
Tabla 19. Reporte desarrollo horizontal trimestral mes de junio. ....	46
Tabla 20. Reporte construcciones mineras contrato CC-085. ....	46
Tabla 21. Reporte de Utilización de Recursos Nivel de Producción.....	47
Tabla 22. Reporte construcciones infraestructura CC-081.....	47
Tabla 23. Resumen tiempos de planificación.....	48
Tabla 24. Resumen escenarios según dominio del software y conocimiento del proyecto.....	49
Tabla 25. Limites contractuales de programación mensual desarrollo horizontal en metros - CC-081 .....	58
Tabla 26. Cantidad máxima para programar por mes obras civiles jun-20 a oct-21 .....	58
Tabla 28. Reporte Metros de avance mensual caso estudio 1 completo .....	62
Tabla 29. Reporte Metros desarrollos verticales caso de estudio 1.....	63

Tabla 30. Reporte Utilización de recursos mensual caso estudio 1.....	65
Tabla 31. Reporte Metros de avance trimestral caso de estudio 2 .....	66
Tabla 32. Reporte Recursos trimestral CC-081 caso estudio 2. ....	68
Tabla 33. Reporte Desarrollos verticales caso de estudio 2 trimestral. ....	69
Tabla 34. Reporte construcciones mineras caso estudio2 trimestral. ....	71
Tabla 35. Reporte construcciones infraestructura trimestral caso estudio 2 completo .....	72

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema metodología de trabajo.....	2
Ilustración 2. Avance realizado de desarrollo del CC10 - Proyecto Chuquicamata Subterránea (Minería Chilena, 2018). ....	6
Ilustración 3. Modelo Isométrico Mina El Teniente. (Codelco, 2011).....	9
Ilustración 4. Modelo Isométrico Plan de Desarrollo Alternativo (PDA). (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018b).....	10
Ilustración 5. Isométrico Mina El Teniente Actual junto a mina Andes Norte. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018a).....	10
Ilustración 6. Modelo Isométrico reservas Nuevo Nivel Mina. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018b) .....	11
Ilustración 7. Esquema obras principales a utilizar en PNNM. (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018a).....	12
Ilustración 8. Clasificación de la preparación minera (Camhi Andrade, 2012). ....	13
Ilustración 9. Esquema ciclo de desarrollo minero PAN-NNM. ....	16
Ilustración 10. Curvas Zona de Transición Nivel de Producción. (Planificación Minera PAN-NNM, 2020).....	19
Ilustración 11. Esquema resumen metodología modelamiento Deswik.....	23
Ilustración 12. Líneas de eje Nivel de Producción. ....	28
Ilustración 13. Modelo isométrico del Sistema de Chancado. ....	29
Ilustración 14. Isométrico actividades Nivel de Producción. ....	35
Ilustración 15. Alcance de Desarrollo Horizontales Footprint Nivel de Producción (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018a). ....	38
Ilustración 16. Alcance de Desarrollo Horizontal Pipa Nivel de Producción. ....	39
Ilustración 17. Alcance Nivel de Chancado Superior (Vicepresidencia de Proyectos Codelco, 2018c). ....	39
Ilustración 18. Modelo isométrico representación gráfica planificación caso de estudio 2. ....	41
Ilustración 19. Nivel de Hundimiento .....	42
Ilustración 20. Líneas de eje Nivel de Hundimiento .....	57
Ilustración 21. Sólidos Bateas. ....	57
Ilustración 22. Cables Intersección Nivel de Producción.....	58
Ilustración 23. Layout de todas las actividades creadas - vista isométrica.....	58
Ilustración 24. Actividades creadas Nivel de Hundimiento – vista isométrica.....	59
Ilustración 25. Actividades Nivel de Producción – vista isométrica.....	59
Ilustración 26. Actividades creadas Nivel de Transporte – vista isométrica.....	60
Ilustración 27. Actividades creadas Nivel de Ventilación – vista isométrica. ....	60
Ilustración 28. Actividades creadas Nivel de Drenaje – vista isométrica. ....	61
Ilustración 29. Actividades creadas Nivel de Chancado - vista isométrica.....	61
Ilustración 30. Alcance de Desarrollos Horizontales Footprint Nivel de Hundimiento.....	59

Ilustración 31. Alcance Desarrollos Horizontales Footprint Nivel de Ventilación.....	59
Ilustración 32. Alcance Desarrollos Horizontales Pipa Nivel de Ventilación.....	60
Ilustración 33. Alcance Desarrollos Horizontales Footprint Nivel de Transporte .....	60
Ilustración 34. Alcance Desarrollos Horizontales Pipa Nivel de Transporte .....	61
Ilustración 35. Alcance Desarrollos Horizontales Nivel de Drenaje.....	61

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Avance por día desarrollos verticales.....	33
Ecuación 2. Eficiencia ciclo de desarrollo horizontal.....	34
Ecuación 3. Avance por día desarrollo horizontal.....	34