

Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcances.....	3
Capítulo 2: Antecedentes bibliográficos.....	4
2.1 Casos Históricos	4
2.1.1 Los Sulfatos: (Anglo American)	4
2.1.2 Hidroeléctrica Central Chacayes: (Pacific Hidro).....	5
2.1.3 Túnel de aducción Rio Blanco: (CODELCO, Teniente).....	5
2.2 Tecnología TBM (“Túnel Boring Machine”)	6
2.2.1 Velocidad de corte o avance.....	7
2.2.2 Tiempo neto de excavación.....	7
2.2.3 Tiempo de fortificación.....	8
2.3 TBM v/s D&B	9
2.3.1 Ventajas Operacionales	9
2.3.2 Costos.....	9
2.3.3 Seguridad.....	11
2.4 Herramientas de gestión.....	12
2.4.1 Estructura PMBOK (Project Manager Body Of Knowledge).....	12
2.4.2 Tripla: Presupuestado-Incurrido-Producido	14
2.4.3 Cuenta de Resultados	15
2.5 Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM)	16
2.5.1 Descripción general y localización	16
2.5.2 Ventajas comparativas.....	17
2.5.3 Contextualización del estudio	19
2.6 Selección de TBM	19
2.6.1 TBM Robbins MB139-396	21
2.7 Selección de túneles.....	25
2.7.1 Túnel El Volcán V5-V1	25
Capítulo 3: Metodología.....	33
Capítulo 4: Evaluación técnica de desempeño	35
4.1 Análisis Exploratorio de Datos	35
4.1.1 Planificación de CNM.....	35
4.1.2 Demoras programadas.....	35

4.1.3 Demoras no programadas.....	36
4.1.4 Estadística básica.....	37
4.1.5 Geología.....	38
4.2 Resultados y discusión.....	40
4.2.1 Situación final.....	40
4.2.2 Análisis mensual.....	42
4.3.2 Modelo de ajuste.....	43
4.3.3 Desviaciones.....	45
4.3 Medidas correctivas.....	53
4.3.1 Demoras que no detienen el avance.....	53
4.3.2 Demoras que detienen el avance.....	54
4.4 Predicciones a través de <i>Forecast</i>	58
4.4.1 <i>Best Case</i> y <i>Worst Case</i>	58
4.4.1 Modelos de ajuste personalizados.....	60
4.5 Extrapolación de resultados a túnel minero.....	66
4.5.1 Adit, 74 NNM.....	66
4.5.2 Extrapolación de rendimientos TBM.....	67
4.5.3 Tiempo de construcción empleados.....	67
Capítulo 5: Conclusiones.....	70
Capítulo 6: Futuras líneas de Investigación y Recomendaciones.....	72
Capítulo 7: Bibliografía.....	73
Capítulo 8: Carta Gantt.....	75
Capítulo 9: Anexos.....	76

Índice Tablas

TABLA 1: COMPARACIÓN DE EXCAVACIONES CON TBM, CHILE.....	6
TABLA 2: RESUMEN Y CONTRASTE DE CUALIDADES TÉCNICAS TBM V/S D&B.....	12
TABLA 3: ÁREAS DEL CONOCIMIENTO DENTRO DE UN PROYECTO (MALLORCA, P., 2010).....	13
TABLA 4: ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA POR TRAMO, TÚNEL VOLCÁN V5-V1, (GALERA, J., 2015).....	29
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO, FORMACIÓN ABANICO ESTE, SOBRECARGA 500M (GALERA, J., 2015).....	31
TABLA 6: PARÁMETROS DE ROCA EN ZONA DE DEBILIDAD (APROX. CONTINUA).....	32
TABLA 7: SETS DE ESTRUCTURAS, FORMACIÓN RIO DAMAS (0+200- 0+700).....	32
TABLA 8: PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN DISCONTINUIDADES.....	32
TABLA 9: DEMORAS PROGRAMADAS, TÚNEL V5.....	36

TABLA 10: RESULTADOS DE ESTADÍSTICA BÁSICA, TÚNEL V5	37
TABLA 11: RESULTADOS SEGÚN TIPO DE ROCA, TÚNEL V5.....	39
TABLA 12: SITUACIÓN FINAL HACIA 30 DE SEPT. 2015, TÚNEL V5	40
TABLA 13: ALCANCES EN TÚNEL V5	41
TABLA 14: RESULTADOS GLOBALES DE RENDIMIENTO POR MES, V5	43
TABLA 15: CLASIFICACIÓN DE DESVIACIONES	45
TABLA 16: ESTADÍSTICA BÁSICA, MUESTRA FILTRADA PARA AVANCES REGULARES, V5.....	58
TABLA 17: RESULTADOS DE PROYECCIÓN, <i>BEST/WORST CASE</i>	59
TABLA 18: CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA FACTOR DE AJUSTE POR EXPERIENCIA (BIENAWSKI Z.T., CELADA B., GALERA J.M., TARDÁGUILA I., 2008).....	61
TABLA 19: ESTADÍSTICA BÁSICA PARA FILTRO EN ROCA TIPO III, V5	63
TABLA 20: RESULTADOS DE FACTORES DE AJUSTE POR GEOLOGÍA	64
TABLA 21: <i>FORECAST</i> DE AJUSTES PERSONALIZADOS, V5	65
TABLA 22: RESULTADOS DE <i>FORECAST</i> PERSONALIZADOS.....	65
TABLA 23: ADIT 74 v/s V5, CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	66
TABLA 24: CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SEGÚN NGI-Q, ADIT 74	66
TABLA 25: RESULTADOS DE EXTRAPOLACIÓN DE RENDIMIENTOS PARA NNM.....	67
TABLA 26: TIEMPOS DE CONSTRUCCIÓN POR FASES, ADIT 74 NNM.....	68
TABLA 27: TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL, ADIT 74 NNM.....	69

Índice Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA LOS SULFATOS, ANGLO AMERICAN	4
ILUSTRACIÓN 2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA HIDROELÉCTRICA CHACAYES Y ACERCAMIENTO RIO CACHAPOAL, PACIFIC HIDRO	5
ILUSTRACIÓN 3: EJEMPLO DE WBS, (MALLORCA, P., 2010)	14
ILUSTRACIÓN 4: EJEMPLOS DE DESVIACIÓN EN PRODUCCIÓN, COSTOS Y PLAZOS, (MALLORCA, P., 2010).....	15
ILUSTRACIÓN 5: CORTADORES DE CABEZA, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014).....	23
ILUSTRACIÓN 6: SISTEMA DE COJINETE, ENGRANE PRINCIPAL Y SELLO, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014).....	90
ILUSTRACIÓN 7: SOPORTE DE CABEZAL, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014).....	91
ILUSTRACIÓN 8: CONJUNTO DE PRESURIZACIÓN DEL CABEZAL DE CORTE, TBM ROBBINS MB139- 396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014).....	92
ILUSTRACIÓN 9: ENSAMBLAJE "MAIN DRIVE", TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	92
ILUSTRACIÓN 10: CONJUNTO DE ZAPATAS, VISTA TRANSVERSAL, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	95
ILUSTRACIÓN 11: CONJUNTO DE ZAPATAS, VISTA PLANTA, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	95
ILUSTRACIÓN 12: CONJUNTO DE SECCIÓN TRASERA, VISTA PERFIL/TRANSVERSAL, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	96
ILUSTRACIÓN 13: CONJUNTO DE TRNASPORTE, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	97

ILUSTRACIÓN 14: CONJUNTO DE ESTACIÓN DEL OPERADOR, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	98
ILUSTRACIÓN 15: SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, TBM ROBBINS MB139-396 (THE ROBBINS COMPANY, 2014)	100
ILUSTRACIÓN 16: TÚNEL EL VOLCÁN V5-V1, DIRECCIÓN DE EXCAVACIÓN (HOCHTIEF-CMC, 2015)	26
ILUSTRACIÓN 17: MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DE TÚNEL VOLCÁN (DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA FCFM, 2015)	27
ILUSTRACIÓN 18: VISTA TRIDIMENSIONAL, TÚNEL EL VOLCÁN (DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA FCFM, 2015).....	27
ILUSTRACIÓN 19: PERFIL TÚNEL VOLCÁN Y DOMINIOS LITOLÓGICOS IMPORTANTES. TIA: F. ABANICO; KIC: F. COLIMAPU; KILV: F. LO VALDÉS; JSRD: F. RIO DAMAS. SECCIONES ROJAS: ZONA DE ALTERACIÓN. LINEA ROJA: TRAZA DEL TÚNEL. CUERPOS TABULARES CELESTES: LENTES DE YESO. (DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA FCFM, 2015).....	28

Índice Gráficos

GRÁFICO 1: RENDIMIENTO DE EXCAVACIÓN V/S TIPO DE ROCA, PROYECTO HIDROELÉCTRICO YUNCÁN, PERÚ 2000-2005 (GIRALDO M., 2008).....	7
GRÁFICO 2: TIEMPO NETO DE EXCAVACIÓN V/S TIPO DE ROCA, PROYECTO HIDROELÉCTRICO YUNCÁN, PERÚ 2000-2005 (GIRALDO M., 2008).....	7
GRÁFICO 3: TIEMPO DE FORTIFICACIÓN V/S TIPO DE ROCA, PROYECTO HIDROELÉCTRICO YUNCÁN, PERÚ 2000-2005 (GIRALDO M., 2008).....	8
GRÁFICO 4: USO DE TBM A TRAVÉS DEL TIEMPO (J. TARKOY, 1995).....	9
GRÁFICO 5: COMPARACIÓN DE COSTOS TBM V/S D&B PARA MÚLTIPLES EXCAVACIONES (J. TARKOY, 1995)	10
GRÁFICO 6: VARIACIÓN DE COSTOS TBM V/S D&B PARA MÚLTIPLES EXCAVACIONES (J. TARKOY, 1995).....	10
GRÁFICO 7: COMPARACIÓN DE COSTOS A LARGO PLAZO D&B V/S TBM (PALMA A., 2010). 11	
GRÁFICO 8: EJEMPLO DE CUENTA DE RESULTADOS, (MALLORCA, P., 2010)	16
GRÁFICO 9: HISTOGRAMA DE DATOS, TÚNEL V5	38
GRÁFICO 10: DISTRIBUCIÓN SEGÚN TIPO DE ROCA, TÚNEL V5	39
GRÁFICO 11: SITUACIÓN FINAL AVANCE PLANIFICADO V/S AVANCE REAL EN V5 HACIA EL 30/09/15	40
GRÁFICO 12: <i>FORECAST</i> CASO IDEAL A PARTIR DE SEPT 2015, TÚNEL V5	42
GRÁFICO 13: RENDIMIENTOS TBM POR MES REAL V/S PLANIFICADO, TÚNEL V5	43
GRÁFICO 14: DÍAS DE PROGRESO POR MES, TÚNEL V5.....	44
GRÁFICO 15: AVANCES MENSUAL, TÚNEL V5	45
GRÁFICO 17: DESVIACIONES PORCENTUALES MES DE JUNIO, TÚNEL V5	46
GRÁFICO 18: TIEMPO MUERTO POR DESVIACIÓN MES DE JUNIO, TÚNEL V5	46
GRÁFICO 19: DESVIACIONES PORCENTUALES MES DE JULIO, TÚNEL V5.....	47
GRÁFICO 20: TIEMPO MUERTO POR DESVIACIÓN MES DE JULIO, TÚNEL V5.....	48
GRÁFICO 21: DESVIACIONES PORCENTUALES MES DE AGOSTO, TÚNEL V5	49
GRÁFICO 22: TIEMPO MUERTO POR DESVIACIÓN MES DE AGOSTO, TÚNEL V5	50
GRÁFICO 23: DESVIACIONES PORCENTUALES MES DE SEPTIEMBRE, TÚNEL V5	51
GRÁFICO 24: TIEMPO MUERTO POR DESVIACIÓN MES DE SEPTIEMBRE, TÚNEL V5.....	52
GRÁFICO 25: PESO DE DESVIACIONES QUE NO DETIENEN EL AVANCE	53

GRÁFICO 26: PESO DE DESVIACIONES QUE SI DETIENEN EL AVANCE	54
GRÁFICO 27: REGRESIÓN CASO BASE, V5	59
GRÁFICO 28: <i>FORECAST BEST/WORST CASE</i> , V5	60
GRÁFICO 29: CURVA EMPÍRICA DE CÁLCULO PARA FACTOR DE ADAPTACIÓN (BIENAWSKI R., CELADA B. , 2007)	62
GRÁFICO 30: CURVA EMPÍRICA PARA CÁLCULO DE FACTOR AJUSTE POR DIÁMETRO (BIENAWSKI R., CELADA B. , 2007)	63

Índice Ecuaciones

ECUACIÓN 1: MODELO DE AJUSTE EMPÍRICO, TÚNEL V5	60
ECUACIÓN 2: FACTOR DE AJUSTE POR EXPERIENCIA	61