



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCION

**EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE LA METODOLOGIA
ADVANCED WORK PACKAGING EN PROYECTO DE
INFRAESTRUCTURA MINERA**

ÁLVARO ERNESTO LÓPEZ RODRÍGUEZ

2026

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”

**EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE LA METODOLOGIA ADVANCED
WORK PACKAGING EN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA MINERA**
CASO CC-126, NUEVO NIVEL MINA, ANDES NORTE

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CONSTRUCTOR**

Alumno: Alvaro Lopez Rodríguez
Profesor Guia: Reinaldo Valdebenito O.

2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: **EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE LA METODOLOGIA ADVANCED WORK
PACKAGING EN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA MINERA**

Nombre del candidato(a): **ÁLVARO ERNESTO LÓPEZ RODRÍGUEZ**

Carrera / Grado: **INGENIERIA EN CONSTRUCCION, LICENCIATURA EN INGENIERIA**

Campus: **CONCEPCION** Departamento: **CONSTRUCCION**

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **REINALDO VALDBENITO OÑATE**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 25-08-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 24-08-2025 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

A mis hijas, por ser mi motor en esta vida y el ejemplo que les quiero dejar. Le dedico este trabajo para que sepan que superarse no es solo una meta, sino una forma de vivir, evolucionar, aprender y seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi compañera de vida, mi esposa, por su amor, paciencia y apoyo durante este proceso. Les pido perdón por el tiempo que les robé; no fue indiferencia, fue un proceso exigente y lleno de desafíos

Cierro esta etapa agradeciendo la fuerza que apareció incluso en el cansancio. Y con una convicción simple: lo más valioso que tenemos es la familia y si hay certeza de que sostiene todo lo anterior, es la geometría simple de mi vida: Francisca, Violeta y Pascal. Porque, así como tres puntos construyen la figura más fuerte, ustedes tres forman la estructura que me sostiene, me orienta y le da sentido a todo lo que construyo.

Que este esfuerzo deje una enseñanza profunda: el talento puede abrir puertas, pero son la disciplina y la constancia la que permite cruzarlas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a mi profesor guía, por su orientación metodológica, rigurosidad académica y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a Salfa Montajes por la oportunidad y el espacio profesional que permitió levantar información y contrastar la aplicación de Advanced Work Packaging en condiciones reales. Asimismo, agradezco a los equipos, por su disposición y colaboración, las cuales aportaron antecedentes relevantes para la evaluación de la metodología en el proyecto.

Agradezco al Sr. Ricardo Zilleruelo Llanos, por la confianza y sobre todo por las enseñanzas brindadas durante todo este proceso las cuales me permitieron crecer tanto personalmente como profesionalmente.

RESUMEN

La presente investigación evalúa el desempeño de la metodología Advanced Work Packaging (AWP) en el contrato de montaje electromecánico CC-126 de la obra "Infraestructura Mina Niveles Inferiores NV-NT-ND", perteneciente al proyecto estructural Andes Norte – Nuevo Nivel Mina de CODELCO, División El Teniente. La problemática central radicó en la existencia de un descalce de granularidad entre el marco estratégico macro de AWP (alineación entre ingeniería, adquisiciones y construcción) y la ejecución operativa de corto plazo en el frente de trabajo, correspondiente a la disciplina de Workface Planning (WFP). Esta desconexión permitió la infiltración de frentes inmaduros a la programación firme semanal, arrastrando restricciones no resueltas de coordinación, ingeniería y sismicidad dinámica, lo que derivó en la parálisis de cuadrillas, retrabajos y severas desviaciones de plazo y costo en la fase terminal del proyecto.

El objetivo general fue evaluar el desempeño global de AWP en el contrato CC-126 mediante el análisis de sus indicadores de planificación, control y efectividad operativa en terreno, con el fin de formular una propuesta de mejora metodológica a nivel de WFP enfocada en la gestión predictiva de restricciones. La ruta metodológica adoptada presentó un enfoque cuantitativo y descriptivo-propositivo con diseño de estudio de caso. Se estructuró en

cuatro etapas: (1) caracterización de la estrategia AWP macro y sus componentes (CWA, CWP, EWP e IWP); (2) sistematización de la base de datos contractual bajo la línea base del Programa Base de Construcción (PBC) Rev. 2, integrando Curvas S, Reportes Trisemanales de corto plazo y bitácoras de Causas de No Cumplimiento (CNC); (3) diagnóstico de brechas mediante la metodología del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM) y el Porcentaje de Plan Completado (PPC); y (4) diseño operativo de la propuesta de mejora a nivel WFP con cuantificación del impacto esperado.

Los resultados del diagnóstico revelaron un quiebre crítico en la gobernanza y confiabilidad de la planificación. A nivel operativo de corto plazo, el reporte trisemanal analizado registró un PPC nominal del 59,25% (completando únicamente 32 de las 54 actividades programadas), evidenciando que el 40,75% de los compromisos semanales finalizaron en incumplimiento por restricciones no liberadas. El análisis de causa raíz demostró que la supervisión incurrió en un fenómeno de "Optimización Local Ineficiente": ante el bloqueo de tareas críticas en los Paquetes de Trabajo de Construcción (CWP), los recursos se concentraron de manera reactiva en partidas secundarias para consumir las HH del periodo. Esto maquilló temporalmente el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI), manteniéndolo en 0,94, mientras que la Curva S contractual real acumuló un desfase físico del -5,90% (77,14% real vs. 83,04% programado en la Rev. 2) tras haber requerido un proceso previo de re-baselining.

En términos de productividad laboral, la saturación reactiva de dotaciones en espacios reducidos de interior mina degradó el Factor de Productividad real (PF) a 1,31 respecto al estándar de 1,00. Bajo las métricas EVM, sobre el alcance directo del contrato base, se capitalizó un Valor Ganado (EV) de 579.064 HH frente a un Costo Real (AC) de 757.535 HH gastadas directamente en dichas tareas, consolidando un Índice de Desempeño del Costo (CPI) de 0,76. Este diferencial representó un sobregasto directo de 178.471 HH absorbidas por tiempos muertos e interferencias, confirmando que el contrato operó con una pérdida del 23,6% en su eficiencia laboral planificada.

Como respuesta a este diagnóstico, se diseñó la propuesta de reingeniería operativa bajo la disciplina WFP, centrada en la arquitectura del Flujo Predictivo de Restricciones (FPR). La solución introduce tres compuertas de control obligatorio en las ventanas T-3 y T-1 semanas, e incorpora herramientas estandarizadas como la hoja de madurez (IWP Readiness Sheet) y la Matriz de Intersección Espacial para el control de coactividad. Bajo esta dinámica, se prohíbe el ingreso de cualquier Paquete de Trabajo de Instalación (IWP) a la semana firme (S1) si no cuenta con el 100% de sus restricciones controlables totalmente liberadas. Mediante análisis de sensibilidad basados en estándares del Construction Industry Institute (CII), se determinó que la estabilización de los frentes eleva el PPC a rangos del 85%–92% y recupera la métrica de costo a un CPI = 0,98. Esta optimización permite

rescatar 166.654 HH, mitigando con éxito el 93,3% del déficit de productividad registrado históricamente en el contrato.

Se concluye que el desempeño de la metodología AWP en el contrato CC-126 fue deficiente en su etapa de ejecución en terreno (last mile), demostrando que la efectividad de una estrategia macro de empaquetamiento es nula si no se vincula formalmente a un lazo de control preventivo, riguroso y auditable a nivel de WFP que blinde la productividad de la mano de obra.

INDICE

RESUMEN	1
INDICE.....	5
INDICE TABLAS	11
INDICE IMÁGENES.....	12
1. 1 CAPITULO I: INTRODUCCION, PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS	14
1.1. INTRODUCCION	15
1.2. PROBLEMÁTICA.....	18
1.3. JUSTIFICACION	20
1.4. OBJETIVO GENERAL	22
1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	22
2. 2 CAPITULO II: ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	24
2.1. ALCANCES.....	25
2.2. LIMITACIONES.....	26
3.3 CAPITULO III: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	28
3.1. MARCO TEORICO	29
3.1.1. Gestión del Valor Ganado (EVM).....	29
3.1.2. El Ecosistema Advanced Work Packaging y Workface Planner	30
4. 4 CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
4.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACION.....	33
4.1.1. Etapas de la ruta metodológica.....	33

5.5 CAPÍTULO V: CARACTERIZACION DEL PROYECTO Y BASE DE DATOS	
CONTRACTUAL	36
5.1. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LA METODOLOGIA AWP ...	37
5.1.1. Construction Work Area	38
5.1.2. Construction Work Packages	39
5.1.3. Engineering Work Package.....	39
5.1.4. Installation Work Packages.....	40
5.1.5. Workface Planning	40
5.2. CARACTERIZACION DEL ENTORNO DE APLICACIÓN: PROYECTO	
ANDES NORTE Y CONTRATO CC-126	41
5.2.1. Nivel de Ventilación (Cota mina 1826)	43
5.2.2. Nivel de Transporte (Cota mina 1808)	44
5.2.3. Nivel de Drenaje y Acceso Nivel Chancado (Cota mina 1790)	46
5.3. MECANISMOS DE PLANIFICACION INICIAL Y CONTROL	
OPERACIONAL DE LA ESTRATEGIA AWP	48
5.3.1. Planificación Integrada en la Programación Trisemanal	49
5.3.2. Mecanismo de Administración y Dinámica de la Gestión de Restricciones	
.....	49
5.3.3. Sinergia entre Causas de No Cumplimiento (CNC) y el Modelo AWP	
.....	50
5.3.4. Métricas de Desempeño y Control Visual (Sesiones Obeya).....	50
5.3.5. Correlación entre la Base de Medición, el Avance Físico-Financiero y el	
Cierre de Paquetes	51

5.3.6. Trazabilidad Documental en el Ciclo de Vida del Proyecto (CRP y TOP)	52
6. CAPITULO VI: SISTEMATIZACIÓN DE LOS REGISTROS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO CC-126	54
6.1. Clasificación y Estructura de los Registros del Proyecto	56
6.1.1. Ficha Apertura CWP	58
6.1.1.1. Bloque de Control Documental y Metadatos Contractuales	58
6.1.1.2. Identificación del CWP	61
6.1.1.3. Identificación del CWA	61
6.1.1.4. Matriz de cuantificación y atributos técnicos del CWP	63
6.1.1.5. Dimensión del alcance	63
6.1.1.6. Dimensión temporal y de programación	64
6.1.1.7. Dimensión del Esfuerzo y Productividad	64
6.1.1.8. Dimensión de control de avance y ponderadores BMP	65
6.1.2. Identificación Grafica del CWP	67
6.1.3. Matriz de liberación de restricciones	68
6.1.4. Identificación grafica de los IWP	69
6.1.5. Carta Gannt del CWP	69
6.1.6. Matriz de IWP y TWP (Detalles del CWP)	70
6.2. Programa Base de Construcción.	72
6.2.1. Atributos de Identificación y Control de Actividades	72
6.2.2. Dimensiones temporales y Unidades de Calendario	73
6.2.3. Métricas de progreso y control de recursos (Carga de HH)	73

6.2.4. Registro Histórico de Desviaciones y Eventos Especiales (Línea Base vs Real).....	74
6.3. Gráficos de Curva S de Avance Físico Real	75
6.3.1. Curva de Valor Planificado (PV – Planned Value / Early – Late S-Curve)	75
6.3.2. Curva de Valor Ganado (EV- Earned Value / Avance Físico Real).....	76
6.3.3. Curva de Costo Real (AC- Actual Cost)	76
6.3.4. Indicadores Matemáticos de Variación Asociados	76
6.4. Registro: Programa Trisemanal de Terreno (Lookahead de Corto Plazo)	78
6.4.1. Matriz de programación operativa (Lookahead Semanal)	78
6.4.2. Matriz de Proyección de Recursos y Balance de Carga de Trabajo ...	80
6.5. Matriz de Gestion de Restricciones	82
6.6. Mecanismos de Control de Desempeño: Porcentaje de Plan Completado (PPC) desde el enfoque Trisemanal	83
6.7. Registro de Control: Bitácora de Causas de No Cumplimiento (CNC) ..	84
7.CAPITULO VII: ANALISIS DE DESVIACIONES, CAUSAS RAIZ E IMPACTOS OPERACIONALES.....	87
7.1. Análisis de las Brechas de Desempeño (Planificado VS Real).....	88
7.1.1. Evaluación Macroscópica de la Curva S y Desviación Acumulada.....	88
7.1.2. Evaluación del Porcentaje de Plan Completado (PPC) en la Ventana de Corto Plazo	90

7.2. Análisis de la Disociación Métrico-Temporal e Índices de Desempeño (EVM).....	92
7.3 Determinación de Causas Raíz de las Brechas.....	93
7.4. Diagnóstico de Causa Raíz: El “Punto Ciego” de la Granularidad	95
7.5. Impactos en los Plazos y la Productividad	97
7.5.1. Impacto en plazos: El traspaso de la incertidumbre a la ruta crítica ...	97
7.5.2. Impacto en Productividad: Degradación de los Índices de Eficiencia en HH.....	97
7.6. Matriz de Clasificación de Impacto por Tipo de Restricción	100
8. CAPITULO VIII: PROPUESTA DE MEJORA METODOLOGICA Y OPERATIVA BAJO EL ENFOQUE WORKFACE PLANNING (WFP).....	101
8.1. Arquitectura del Modelo: El Flujo Predictivo de Restricciones (FPR)...	102
8.1.1. Delimitación del alcance operativo: Focalización en las Restricciones de Alta Incidencia.....	102
8.2. Las Compuertas Operacionales del Flujo Predictivo	103
8.3. Estandarización de Herramientas WFP para Factores de Alta Incidencia	106
8.3.1. El “IWP Readiness Sheet” (Hoja de Madurez del IWP)	106
8.3.2. Matriz de Intersección Espacial (Control de Coactividad).....	106
8.4. Ciclo Operativo de Maduración para IWP	107
8.5. Matriz de Responsabilidades (RACI) para la Gestion de Restricciones	109

8.6. Cuantificación del Impacto Esperado y Retorno de la Implementación (ROI).....	110
8.7. Recuperación del Índice de Desempeño del Costo de Mano de Obra .	111
8.8. Resumen Comparativo de Escenarios Operacionales.....	113
9.CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
9.1. Conclusiones de la Investigación.....	115
9.1.1. Conclusión Objetivo Específico 1 (Caracterización de la estrategia AWP)	115
9.1.2. Conclusión al Objetivo Específico 2 (Sistematización de registros de planificación y control)	116
9.1.3. Conclusión al Objetivo Específico 3 (Análisis de desviaciones, causas raíz e impactos)	116
9.1.4. Conclusión al Objetivo Específico 4 (Propuesta de mejoras operativas a nivel WFP)	117
9.1.5. Conclusión al Objetivo General (Evaluación global del desempeño de la metodología AWP y propuesta de mejora WFP).....	118
9.2. Recomendaciones para la Industria y Futuras Líneas de Investigación	120
BIBLIOGRAFIA	122
ANEXOS	124

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Registros del Proyecto CC-126	57
Tabla N°2: Clasificación de Restricciones.....	100
Tabla N°3: Modelo RACI para la gestión de restricciones.....	110
Tabla N°4: KPI de comparación teórica entre Línea Histórica y Propuesta de Mejora.....	113

INDICE DE IMÁGENES

Imagen N°4-1: Etapas de la ruta metodológica	34
Imagen N°5-1: Secuencia global de Advanced Work Packaging	38
Imagen N°5-2: Modelo Geológico Mina El Teniente.....	42
Imagen N°5-3: Extracto Plano Planta General Nivel de Ventilación	44
Imagen N°5-4: Extracto Plano Planta General Nivel de Transporte Intermedio	46
Imagen N°5-5: Extracto Plano Planta General Nivel de Drenaje	47
Imagen N°5-6: Mecanismos de Planificación y Control	48
Imagen N°5-7: Ciclo de Vida del Proyecto	53
Imagen N°6-1: Caratula. Fuente: Ficha Apertura CWP.....	60
Imagen N°6-2: Identificación del CWP. Fuente: Ficha Apertura CWP.....	61
Imagen N°6-3: Identificación del CWA. Fuente: Ficha Apertura CWP	61
Imagen N°6-4: Identificación Grafica CWA. Fuente: Ficha Apertura CWP....	62
Imagen N°6-5: Matriz Técnica del CWP	66
Imagen N°6-7: Identificación Grafica del CWP	67
Imagen N°6-8: Restricciones del CWP	68
Imagen N°6-9: Identificación Grafica del IWP	69
Imagen N°6-10: Carta Gantt del CWP	70
Imagen N°6-10: Carta Gantt del CWP	71
Imagen N° 6-12: Programa Base Construcción en Primavera P6	74
Imagen N°6-13: Curva de avance según PBC rev.2	77
Imagen N°6-14: Extracto Informe Trisemanal.....	79
Imagen N°6-15: Proyección de recursos	81
Imagen N°6-16: Matriz de Restricciones.....	83

Imagen N°6-17: Extracto registro actividades cumplidas y no cumplidas	84
Imagen N°6-18: Registro de Causas de No Cumplimiento en Informe Trisemanal	86
Imagen N°7-1: Curva S de Avance según PBC rev.2	89
Imagen N°7-2: Registro de Actividades Cumplidas VS Actividades no Cumplidas en Trisemanal N°107.....	91
Imagen N°7-3: Registro de CNC en Trisemanal N°107	92
Imagen N°7-4: Análisis Causa Raíz.....	95
Imagen N°7-5: Extracto HH Ganadas, HH Gastadas y PF de informe Weekly N°107	99
Imagen N°8-1: Compuertas del flujo predictivo.....	104

1 CAPITULO I: INTRODUCCION, PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCION

La industria de la construcción en la gran minería representa un pilar económico global estratégico. Ante la creciente complejidad de sus megaproyectos y los desafíos persistentes en costos y sostenibilidad, el sector requiere metodologías integrales de planificación y ejecución. En este escenario, han surgido enfoques innovadores como el Advanced Work Packaging (AWP), el cual se posiciona como una solución clave para optimizar la productividad mediante la integración interdisciplinaria, la secuenciación eficiente de actividades y un control riguroso de recursos y plazos. Sin embargo, la fase de montaje industrial dentro de estos proyectos suele ser vulnerable a desviaciones críticas debido a la falta de alineación temprana entre la ingeniería, las adquisiciones y la construcción (EPC). Tradicionalmente, la gestión reactiva ante la indisponibilidad de suministros o la liberación tardía de restricciones en terreno genera sobrecostos y retrasos que impactan directamente en el éxito del proyecto. Aunque la literatura internacional respalda la efectividad teórica de AWP para mitigar estos riesgos, su evaluación empírica y su adaptabilidad operativa en escenarios reales de la minería subterránea regional siguen siendo limitadas.

Frente a esta problemática, el presente trabajo de título se enfoca en la evaluación del desempeño de la metodología AWP a través de un estudio de caso específico: el contrato CC-126 de la División El Teniente de CODELCO, correspondiente a las obras de "Construcción y Montaje Infraestructura Mina

Niveles Inferiores NV-NT-ND" del proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina. Analizar el proyecto en esta ventana temporal estratégica permite diagnosticar, con datos reales y de primera fuente, la brecha existente entre el marco estratégico macro de la metodología adoptada y las fricciones operativas de carácter tradicional que persisten en el frente de trabajo, asociadas a la disciplina de Workface Planning (WFP) y la liberación de los paquetes de trabajo semanales (Installation Work Packages - IWP).

Para abordar este problema, el objetivo general de la investigación es evaluar el desempeño de la metodología AWP en el contrato CC-126 de la División El Teniente, mediante el análisis de sus indicadores de planificación, control y la efectividad operativa de su ejecución en terreno, con el fin de formular propuestas de mejora metodológicas a nivel de WFP. Específicamente, el estudio busca: (1) caracterizar la estrategia de implementación de AWP en el proyecto identificando sus componentes y mecanismos de planificación inicial; (2) sistematizar los registros de planificación y control considerando la línea base, Curvas S, Reportes Trisemanales y Causas de No Cumplimiento (CNC); (3) analizar las principales desviaciones entre los resultados planificados versus los obtenidos, determinando las causas raíz de las brechas y sus impactos en plazos y productividad; y (4) proponer mejoras operativas a nivel de WFP orientadas a optimizar la gestión predictiva de restricciones.

Metodológicamente, el estudio adopta un enfoque cuantitativo y un diseño descriptivo-propositivo de estudio de caso. La ruta de investigación se

estructura en cuatro etapas secuenciales: la caracterización del estado inicial del modelo macro AWP (CWA, CWP, EWP e IWP); la sistematización de los registros de control bajo el marco del Programa Base de Construcción (PBC) Rev. 2; el análisis causa-efecto de desviaciones mediante la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM) y el Porcentaje de Plan Completado (PPC); y el diseño operativo de un Flujo Predictivo de Restricciones (FPR) a nivel WFP con evaluación de su impacto esperado (ROI) a través de análisis de sensibilidad basados en estándares del Construction Industry Institute (CII).

Finalmente, el alcance del trabajo se delimita formalmente al contrato de montaje CC-126 en los frentes de interior mina de la División El Teniente (Niveles de Ventilación, Transporte y Drenaje). Temporalmente, la evaluación de indicadores se restringe al periodo correspondiente a la línea base oficial del PBC Rev. 2. Asimismo, el diagnóstico prioriza el análisis en las tres variables raíz de mayor severidad estructural (Coordinación Operacional, Ingeniería y Diseño, y Seguridad y Sismicidad Dinámica), focalizando la cuantificación económica estrictamente en el esfuerzo laboral expresado en Horas-Hombre (HH) e indicadores adimensionales (SPI, CPI, PF), en conformidad con las políticas de confidencialidad contractual.

1.2 PROBLEMÁTICA

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco), como el principal productor estatal del cobre a nivel mundial, desarrolla proyectos de infraestructura y montaje de alta complejidad para asegurar su continuidad operacional y sustentabilidad. Particularmente en la División El Teniente (DET), la ejecución de estos proyectos críticos se realiza mayoritariamente bajo modalidades contractuales tipo EPCM/PC (Ingeniería, Adquisiciones, Gestión de Construcción). Este modelo tiende a fragmentar las etapas del ciclo de vida del proyecto, lo que genera silos de información donde la ingeniería y las adquisiciones se gestionan de manera independiente a la secuencia real de construcción en terreno.

Con el objetivo de mitigar esta desarticulación, mejorar la trazabilidad y elevar los índices de productividad, Codelco ha impulsado la adopción corporativa de la metodología AWP. Sin embargo, se observa una brecha crítica en el último eslabón de la cadena de valor: la transición desde la estrategia macro hacia la operativa en terreno, denominada Work Face Planning (WFP).

En la práctica, la gestión y liberación de los Installation Work Packages (IWP) –los paquetes de trabajo específicos para las cuadrillas de montaje- presentan debilidades operativas. Factores como la falta de integración tecnológica, la resistencia al cambio cultural de los contratistas, la entrega tardía de

suministros críticos y la demora en la emisión de planos aprobados para construcción, impiden que el IWP actúe como una herramienta verdaderamente predictiva, generando un descalce de granularidad entre la estrategia macro de AWP y la ejecución micro en el frente de trabajo (WFP)

Como consecuencia, las cuadrillas en el frente de trabajo ejecutan sus labores de manera reactiva, enfrentando restricciones no resueltas que derivan en tiempos de espera, trabajos rehechos y, finalmente, en desviaciones significativas de plazos y costos en la fase terminal del proyecto.

Por lo tanto, el problema central de esta investigación radica en la inconsistencia operativa entre el marco estratégico de AWP adoptado corporativamente y la ejecución real de la planificación en el frente de trabajo (WFP) en el proyecto de montaje industrial CC-126 de la DET.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción y el montaje industrial en la gran minería se caracterizan por una alta complejidad logística, rigurosos estándares de seguridad y una dependencia crítica de la integración trilateral entre la ingeniería, adquisiciones y construcción. Históricamente, las desviaciones en plazos y costos en este sector no se originan prioritariamente por deficiencias en la mano de obra en terreno, sino por la indisponibilidad de suministros críticos o descalces severos entre los diseños de ingeniería y la secuencia constructiva real. En este escenario, AWP surge como una práctica recomendada global que reorienta la planificación desde etapas tempranas en función de las necesidades de construcción.

La relevancia de esta investigación radica en que la brecha operativa descrita impacta directamente la eficiencia de obras críticas para la habilitación del proyecto Andes Norte – Nuevo Nivel Mina en la DET. Una deficiente coordinación en el Workface Planning genera interferencias físicas, arelas liberadas tardíamente y cambios imprevistos de prioridad que elevan exponencialmente los riesgos de seguridad y los retrasos en los plazos contractuales.

Al desarrollar este trabajo de título, se busca evaluar empíricamente cómo el empaquetamiento de trabajo en su último eslabón (IWP) y la gestión sistemática de restricciones impactan en la productividad real bajo las rigurosas condiciones de la minería subterránea profunda. Con ello, se consolidará un marco de lecciones aprendidas que servirá de referencia tanto académica como industrial para las empresas del sector minero que busquen transitar hacia una construcción más eficiente, predecible y segura, transformando el WFP en la palanca estratégica de mejora para resguardar la continuidad operacional de la corporación.

1.4 OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el desempeño de la metodología Advanced Work Packaging (AWP) en el contrato CC-126 del proyecto Andes Norte - Nuevo Nivel Mina, mediante el análisis de indicadores de planificación, control y la efectividad operativa de su ejecución en el frente de trabajo, con el fin de formular propuestas de mejora metodológicas a nivel de Workface Planning (WFP)

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar la estrategia de implementación de la metodología AWP en el proyecto CC-126, identificando sus principales componentes y sus mecanismos de planificación inicial
- Sistematizar los registros de planificación y control del proyecto CC-126, considerando planificación base, Curvas S, Reportes Trisemanal y Causas de No Cumplimiento (CNC) asociadas a la liberación de los Installation Work Packages
- Analizar principales desviaciones entre los resultados planificados vs los obtenidos. Determinando las causas raíz de las brechas y sus impactos en los plazos y productividad.

- Proponer mejoras operativas y metodológicas a nivel de Work Face Planning (WFP), orientadas a optimizar la gestión predictiva de restricciones ante las problemáticas observadas en el proyecto.

2 CAPITULO II: ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

2.1 ALCANCES

El alcance de la presente investigación se circunscribe formalmente a los siguientes límites operativos, temporales y metodológicos:

- **Ámbito Operacional y Geográfico:** El estudio se enfoca de manera exclusiva en el contrato de montaje electromecánico CC-126, ejecutado en los frentes de trabajo de interior mina del proyecto Andes Norte - Nuevo Nivel Mina de la División El Teniente de CODELCO.
- **Horizonte Temporal de Control:** El análisis de desviaciones e índices de desempeño de la Gestión del Valor Ganado (EVM) y del Porcentaje de Plan Completado (PPC) se restringe al periodo evaluado tras la implementación de la línea base del Programa Base de Construcción (PBC) Rev. 2
- **Profundidad Metodológica:** El diagnóstico causa-efecto se centra primordialmente en las tres variables raíz de alta incidencia identificadas en las bitácoras: Coordinación Operacional, Ingeniería y Diseño, y Seguridad y Sismicidad Dinámica.
- **Nivel de la Propuesta:** La propuesta de mejora metodológica se enfoca en la reingeniería de la "última milla" de la ejecución mediante la disciplina de Workface Planning (WFP), detallando el Flujo Predictivo de Restricciones a nivel de Installation Work

Packages (IWP), sin reestructurar las directrices de los paquetes macros de ingeniería (EWP) o suministros (PWP) que competen a la gobernanza corporativa del mandante bajo Advanced Work Packaging (AWP)

2.2 LIMITACIONES

Las restricciones y condicionantes metodológicas del entorno que delimitaron el desarrollo de este estudio corresponden a:

- Focalización según Criterio de Pareto: Si bien existieron otras desviaciones y micro restricciones cotidianas en el proyecto (como retrasos menores en consumibles o ausentismo menor de personal), estas se consideran parte de la variabilidad común de la obra. Por tanto, la exclusión de estas variables menores constituye una limitación deliberada para priorizar el impacto de los factores estructurales que provocaron el sobregasto de 178.471 HH
- Acceso y Confidencialidad de la Información: Debido a las políticas de confidencialidad de la corporación minera y de las empresas contratistas, el análisis económico se limita estrictamente a la cuantificación del esfuerzo laboral en Horas-Hombre (HH) y sus indicadores adimensionales de desempeño (SPI, CPI y PF). Se excluyen de manera explícita los valores monetarios, tarifas

comerciales de contratos, costos de penalizaciones o presupuestos financieros en divisas nominales.

- **Naturaleza Exógena de la Sismicidad:** La sismicidad dinámica inherente a la explotación minera profunda de El Teniente constituye una limitación de predictibilidad absoluta para el modelo WFP. Al ser un factor exógeno e incontrolable, la propuesta no pretende predecir el evento sismológico, sino limitar el impacto operativo mediante la gestión ágil de buffers de tiempo y buffers de frentes alternativos en el Backlog semanal.
- **Validación Teórica mediante Análisis de Sensibilidad:** Dado que el estudio se realiza sobre la base de registros históricos de un contrato ya ejecutado o en fases avanzadas, la validación del modelo WFP y la estimación del nuevo CPI = 0,98 (con la consecuente recuperación de 166.654 HH) se realiza mediante análisis de sensibilidad y proyecciones basadas en estándares internacionales del Construction Industry Institute (CII), sin la posibilidad de auditar empíricamente la herramienta en un nuevo ciclo constructivo real completo en terreno.

3 CAPITULO III: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

3.1 MARCO TEORICO

3.1.1 Gestión del Valor Ganado (EVM) y sus Indicadores de Desempeño

La metodología del Valor Ganado es un estándar internacional que integra el alcance, el cronograma y los recursos para medir el desempeño real de un proyecto. En este estudio, el marco analítico se rige por tres métricas fundamentales y sus respectivos índices dimensionales:

- Valor Planificado (PV): Representa el presupuesto autorizado de Horas-Hombre (HH) asignado al trabajo que se programó completar en la línea base de la Curva S.
- Valor Ganado (EV): Es la cuantificación del avance físico real capitalizado, expresado en función de las HH presupuestadas para el trabajo efectivamente ejecutado.
- Costo Real (AC): Representa el volumen total de HH Gastadas e imputadas directamente en frentes de trabajo durante el periodo de control.
- Índice de Desempeño del Cronograma ($SPI = EV / PV$): Mide la eficiencia del tiempo. Un valor inferior a 1,00 indica un atraso respecto a la línea base macro

- Índice de Desempeño del Costo ($CPI = EV / AC$): Mide la eficiencia del esfuerzo laboral. Revela cuántas horas físicas reales se ganaron por cada hora hombre gastada en terreno. Su inverso matemático determina el Factor de Productividad ($PF = AC / EV$), donde valores superiores a 1,00 evidencian una degradación en los rendimientos y sobregasto de horas.

3.1.2 El Ecosistema Advanced Work Packaging (AWP) y Workface Planning (WFP)

Advanced Work Packaging (AWP) es una metodología de flujo de trabajo alineada que abarca desde la ingeniería inicial hasta la puesta en marcha. AWP divide el proyecto macro en bloques lógicos denominados Construction Work Packages (CWP).

La última milla de esta metodología se denomina Workface Planning (WFP), la cual ejecuta la bajada micro operacional en el frente de trabajo mediante la creación de los Installation Work Packages (IWP). Un IWP es un paquete de trabajo de escala semanal diseñado para ser ejecutado por una sola cuadrilla. La literatura del Construction Industry Institute (CII) establece que para que un IWP sea exitoso, debe ser sometido a un proceso estricto de Gestión Predictiva de Restricciones (Constraint Management), asegurando que planos, materiales, coactividad y seguridad

estén 100% liberados antes de autorizar el ingreso del paquete a la semana
firme de construcción.

4 CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este apartado describe la ruta metodológica e instrumental seguida para el cumplimiento de los objetivos de la tesis, detallando el enfoque, el tipo de investigación y las etapas del proceso de análisis.

4.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACION

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis estadístico-matemático de registros de control de proyectos, curvas de avance y bitácoras operativas. El diseño es de tipo descriptivo-propositivo y con un carácter estudio de caso, centrado específicamente en diagnosticar las desviaciones del contrato CC-126 en la División El Teniente y diseñar una solución metodológica adaptada a dicha realidad.

4.1.1 Etapas de la Ruta Metodológica

El cumplimiento de los objetivos de la investigación se estructuró en cuatro etapas secuenciales:

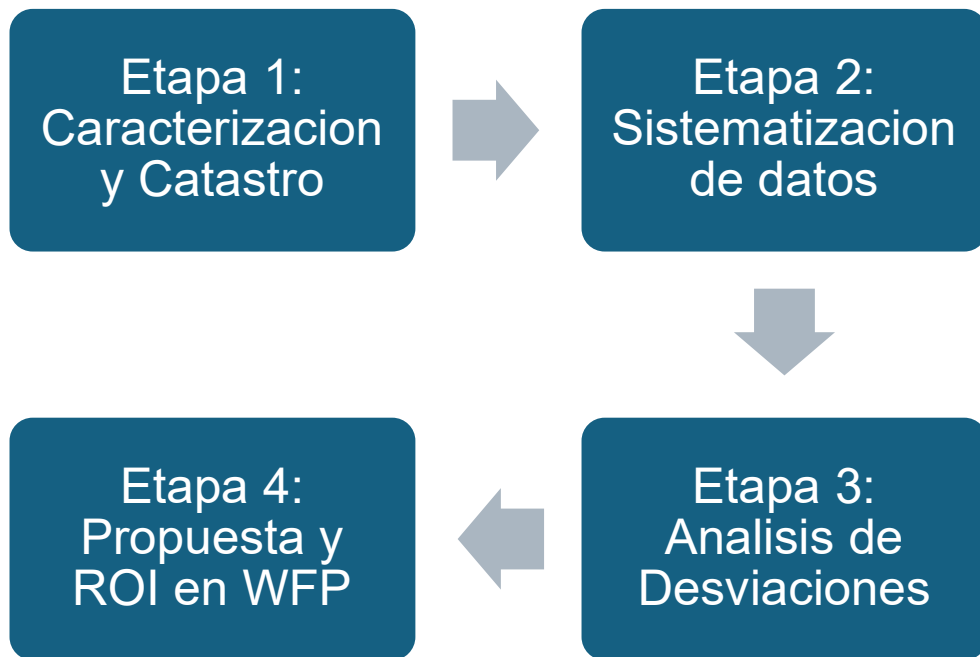


Imagen N°4-1: Etapas de la ruta metodológica

- Etapa 1: Caracterización del Estado Inicial (Objetivo Específico 1): Consistió en el catastro documental de la estrategia AWP macro implementada originalmente en el contrato, identificando los mecanismos de planificación inicial y la interacción teórica entre las áreas de ingeniería, adquisiciones y construcción.
- Etapa 2: Sistematización de Registros de Control (Objetivo Específico 2): Se recopilaron, ordenaron y cruzaron las bases de datos de la línea base del proyecto bajo el marco del PBC Rev. 2. Esto incluyó la unificación métrica de la Curva S contractual, los Reportes

Trisemanales de corto plazo y las bitácoras de Causas de No Cumplimiento (CNC).

- Etapa 3: Análisis de Desviaciones y Causas Raíz (Objetivo Específico 3): Se aplicaron las fórmulas de la Gestión del Valor Ganado (EVM) y del PPC nominal sobre los datos sistematizados. A través de un enfoque causa-efecto, se determinó el impacto de la falta de liberación de restricciones sobre el SPI, el CPI y el factor de productividad (PF), identificando los vectores críticos de variabilidad (Coordinación, Ingeniería y Sismicidad).
- Etapa 4: Diseño Operativo de la Propuesta WFP (Objetivo Específico 4 y Objetivo General): Con los cuellos de botella identificados, se diseñó el Flujo Predictivo de Restricciones introduciendo las compuertas de control en las ventanas T-3 y T-1. Finalmente, mediante análisis de sensibilidad basados en estándares del CII, se cuantificó el impacto esperado del modelo y el potencial de recuperación de Horas-Hombre (ROI)

5 CAPÍTULO V: CARACTERIZACION DEL PROYECTO Y BASE DE DATOS CONTRACTUAL

El presente capítulo tiene por objetivo caracterizar la estrategia de implementación de la metodología Advanced Work Packaging (AWP) en el marco del contrato CC-126, correspondiente a la “Construcción y Montaje Infraestructura Mina Niveles Inferiores NV-NT-ND” del proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina de Codelco. Para ello, se identifican en detalle sus componentes estructurales, su administración operativa y los mecanismos de planificación inicial diseñados para asegurar la predictibilidad del proyecto.

5.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LA METODOLOGIA AWP

La estrategia de implementación en el contrato CC-126 se fundamenta en la descomposición jerárquica del alcance global en unidades de control operacionales, cronológicas y geográficas. Siguiendo los lineamientos del Construction Industry Institute (CII), se estructuran los siguientes componentes esenciales, los cuales configuran el lenguaje común para la programación, el control del progreso y los procesos de valorización de estados de pago físico-financieros:

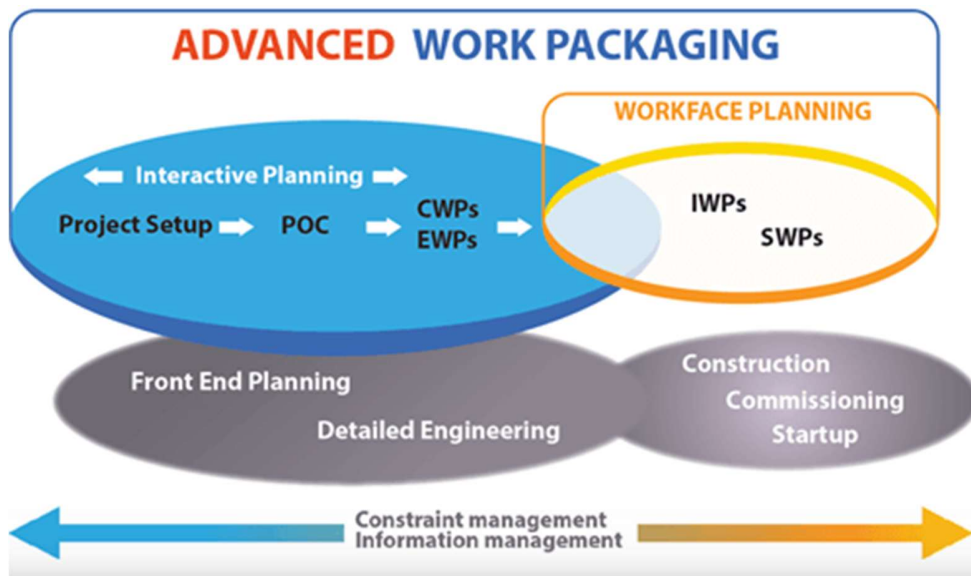


Imagen N°5-1: Secuencia global de Advanced Work Packaging.

5.1.1 Construction Work Area (CWA - Nivel 1):

Representa la macro división geográfica y espacial del contrato en el interior de la mina subterránea. Actúa como el primer nivel de empaquetamiento, aislando las áreas lógicas de trabajo según la distribución y arquitectura minera de la División El Teniente. En el contrato CC-126, las CWA coinciden con los horizontes operativos de Ventilación, Transporte y Drenaje.

5.1.2 Construction Work Packages (CWP - Nivel 2):

Constituyen los entregables de construcción ejecutables que delimitan un alcance específico por disciplina técnica dentro de un CWA. Cada CWP integra un presupuesto asignado en Horas-Hombre y costo, matrices de calidad, requerimientos de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA) y un cronograma maestro. En este contrato, un CWP típico (como el montaje de un buzón de traspaso o una sala hidráulica singular) contiene límites geométricos perfectamente definidos, la identificación de sus requerimientos de recursos y su correlación bidireccional con los planos de ingeniería.

5.1.3 Engineering Work Package (EWP):

Representa el paquete de alcance de ingeniería detallada diseñado específicamente para dar soporte y viabilidad a un CWP homólogo. En el proyecto Andes Norte, un EWP típico contempla la relación explícita con su CWP de destino, planos de detalle en última revisión, modelos tridimensionales (BIM), datos técnicos de proveedores para equipos críticos, listados de líneas de procesos y tags de equipos, asegurando que el constructor no inicie faenas con información técnica parcializada.

5.1.4 Installation Work Packages (IWP - Nivel 3):

Es la unidad mínima de ejecución controlada en el frente de trabajo, constituyendo el núcleo operativo del Workface Planning (WFP). Consiste en planes de acción detallados para una cuadrilla específica en un horizonte temporal de una a dos semanas (500 a 1.000 Horas-Hombre). Un IWP en el contrato CC-126 posee un carácter mandatorio y cerrado que incluye: una lista de chequeo de restricciones liberadas (*Constraint Checklist*), planos isométricos de fabricación e instalación, listado de materiales específicos validados en bodega, Análisis Seguro de Trabajo (AST) y los protocolos de calidad para la liberación física en terreno.

5.1.5 Workface Planning (WFP):

Se define como el proceso táctico de organización, secuenciamiento y entrega de todos los elementos necesarios (planos, materiales, herramientas, accesos) antes del inicio de las obras. Su propósito fundamental en el contrato es blindar la jornada laboral de las cuadrillas de montaje, eliminando los tiempos muertos e incrementando el tiempo efectivo de herramientas en mano (Tool Time).

5.2 CARACTERIZACION DEL ENTORNO DE APLICACIÓN: PROYECTO ANDES NORTE Y CONTRATO CC-126

Para comprender la dinámica de los componentes AWP, es imperativo caracterizar el entorno físico y técnico del proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina (NNM) de la Vicepresidencia de Proyectos para la División El Teniente (DET) de Codelco. El proyecto contempla el desarrollo de un nuevo nivel de explotación ubicado en el Nivel de Producción en la cota mina 1862, bajo la cota del actual nivel de transporte por ferrocarril, Teniente 8. Su objetivo principal es proporcionar la continuidad operacional de la DET mediante la incorporación a la explotación de nuevas reservas de mineral que, en una primera etapa, permitirán complementar y, en el mediano plazo, reemplazar los niveles de explotación ubicados en el nivel Teniente 8.

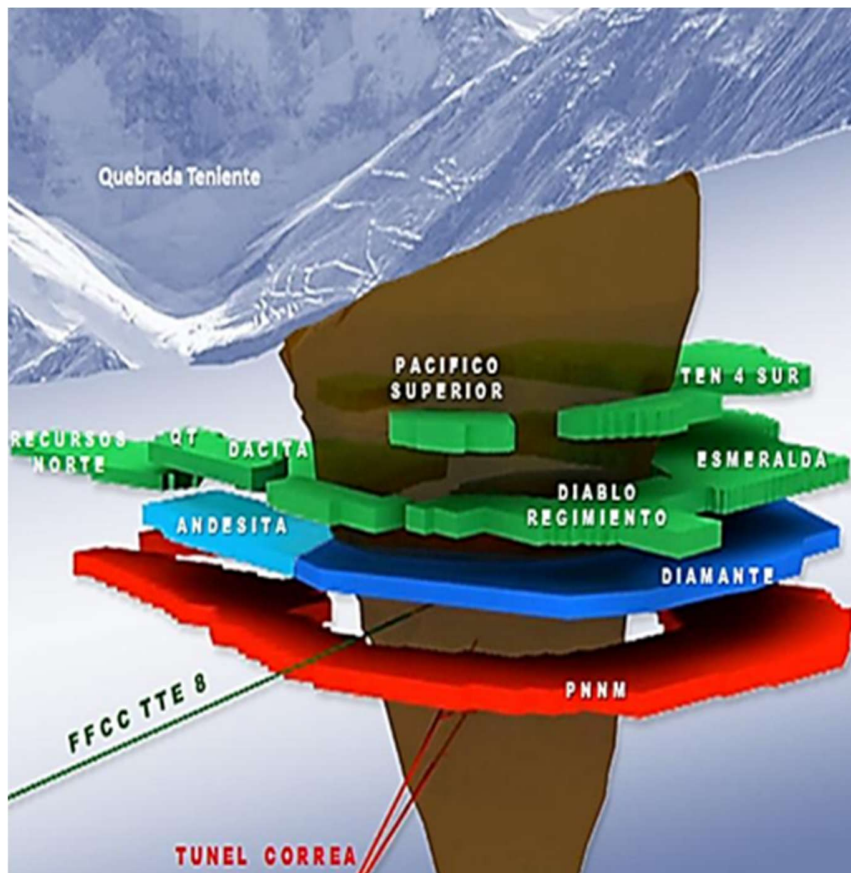


Imagen N°5-2: Modelo Geológico Mina El Teniente.

La profundización de la explotación demandará la construcción de una nueva mina e infraestructura para la división. Las obras descritas corresponden íntegramente al contrato CC-126 “Construcción y Montaje Infraestructura Mina Niveles Inferiores NV-NT-ND”, el cual se subdivide metodológicamente en las siguientes áreas geográficas y operacionales:

5.2.1 Nivel de Ventilación (Cota mina 1826)

En este horizonte se desarrollan todos los procesos relacionados con la inyección de aire limpio y la extracción de aire viciado desde los sectores de explotación e infraestructura asociada. Las obras civiles y de montaje vinculadas a este nivel corresponden a:

- Soportes y canalizaciones eléctricas generales.
- Suministro de energía para sistemas de puertas de ventilación y sistemas contra incendio.
- Habilitación de energía para el sistema de almacenamiento y suministro de combustibles.
- Energía para ventiladores secundarios.
- Instalación y montaje del sistema de red contra incendio.
- Implementación de la señalética general del nivel.



Imagen N° 5-3: Extracto Plano Planta General Nivel de Ventilación

5.2.2 Nivel de Transporte (Cota mina 1808)

En este nivel se concentran las actividades relativas al transporte, acarreo y traspaso del mineral extraído. Debido a su rol logístico, es el sector que presenta la mayor diversidad de obras de infraestructura, las cuales se desglosan a continuación:

- Obras Infraestructura para Talleres: Habilitación de energía para talleres, construcción de la Nave de Mantenimiento, Nave de Cambio de Neumáticos, Nave de Lavado, edificación de la Planta de Tratamiento de Residuos Líquidos Industriales (Riles), Oficinas y Baños

del personal técnico, áreas de Estacionamientos y el sector de Almacenamiento de Residuos Industriales Sólidos (Rises).

- Obras Infraestructura Pipa – Barrio Cívico NT: Sistemas de energía para el barrio cívico, módulos de oficinas, baños y lockers para el personal, junto con el andén de buses de tránsito.
- Obras de Infraestructura Pipa Transversal: Energía para puertas de ventilación y sistemas contra incendio, red de agua industrial pipa, distribución de agua potable, sistemas de agua contra incendio, soportes estructurales para cañerías de agua, red de alcantarillado, sistemas de ventilación industrial, obras de arquitectura menor y suministro de energía para el surtidor de petróleo.
- Obras Infraestructura Footprint NT: Energía para puertas de ventilación y contra incendio, habilitación de frontones eléctricos y salas hidráulicas estándar, frontones eléctricos y salas hidráulicas singulares, montaje de buzones de traspaso, sistemas de energía para la preparación mina y posicionamiento de refugios móviles.
- Obras Infraestructura Transversales NT: Construcción de accesos viales, galerías de conexión, señalética general de la mina y el despliegue de redes de comunicaciones móviles.

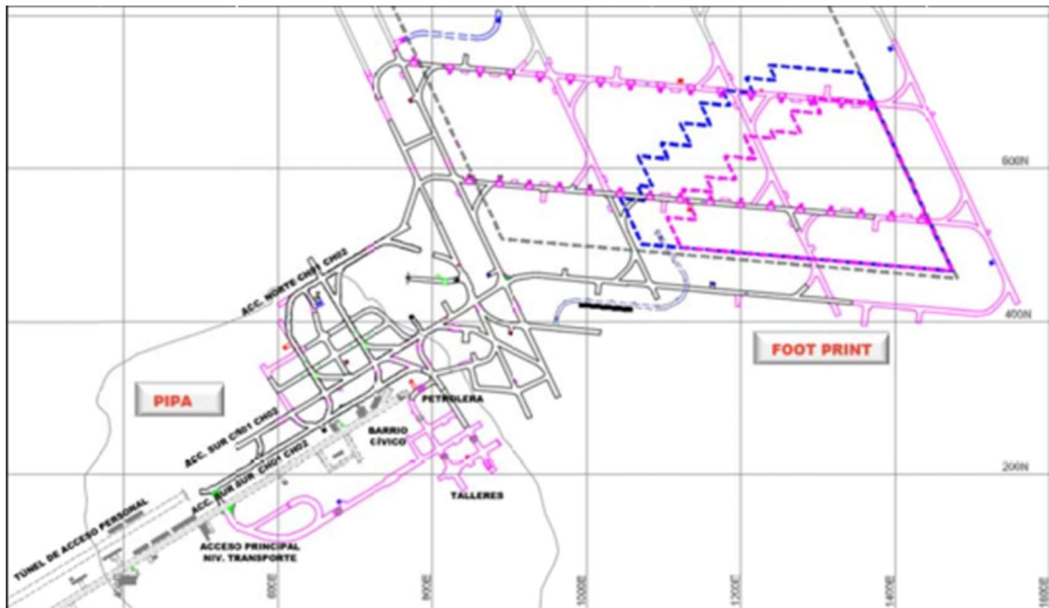


Imagen N°5-4: Extracto Plano Planta General Nivel de Transporte Intermedio

5.2.3 Nivel de Drenaje y Acceso a Nivel de Chancado (Cota mina 1790)

Este horizonte considera la infraestructura necesaria para la captación, limpieza, decantación y conducción de las aguas infiltradas hacia el exterior de la mina, así como de las aguas industriales residuales generadas en las etapas de preparación y explotación minera. Sus obras asociadas corresponden a:

- Obras Infraestructura Nivel de Drenaje: Construcción de desarenadores, cámaras de carga, pique de presión y Frontón Lanzadera Pig (sistema de limpieza de ductos), sistemas de

alimentación eléctrica general, energía para puertas de ventilación y contra incendio en el Nivel de Drenaje (ND), energía para refugios móviles, redes de distribución de agua industrial, red de aguas servidas y red de aguas contra incendio en el sector ND.

- Obras Infraestructura Acceso Nivel de Chancado: Energía para puertas de ventilación y contra incendio en el Nivel de Chancado (NCh), junto con los sistemas de energía para refugios móviles de dicho sector.
- Obras Transversales ND – NCh: Implementación de la señalética general del nivel.

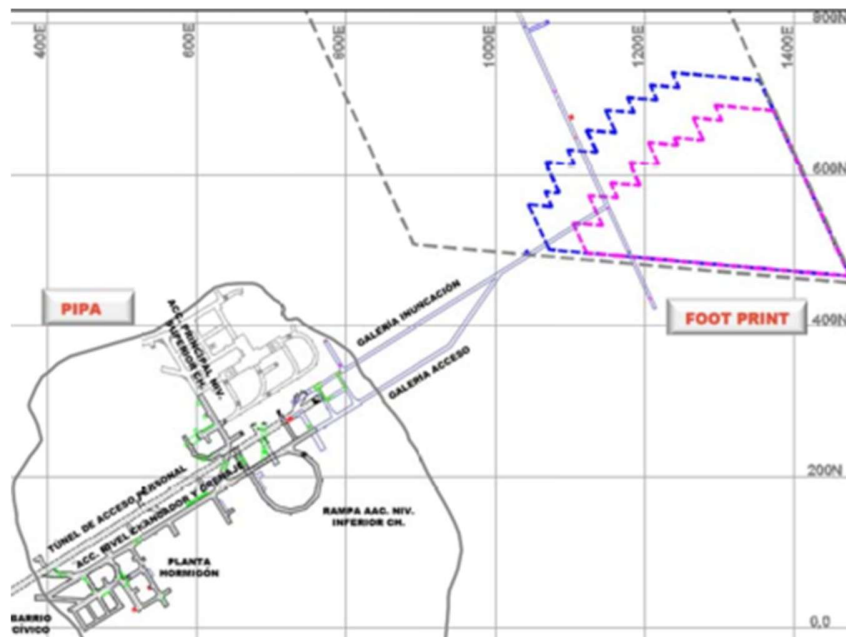


Imagen N°5-5: Extracto Plano Planta General Nivel de Drenaje

5.3 MECANISMOS DE PLANIFICACION INICIAL Y CONTROL OPERACIONAL DE LA ESTRATEGIA AWP

La estrategia de implementación en el contrato CC-126 no constituye una estructura de datos estática; por el contrario, se integra de forma orgánica en los procesos normales de gestión de construcción y en las rutinas del modelo de gestión de la Vicepresidencia de Proyectos (VP) de Codelco a través de los siguientes mecanismos de planificación inicial y control:

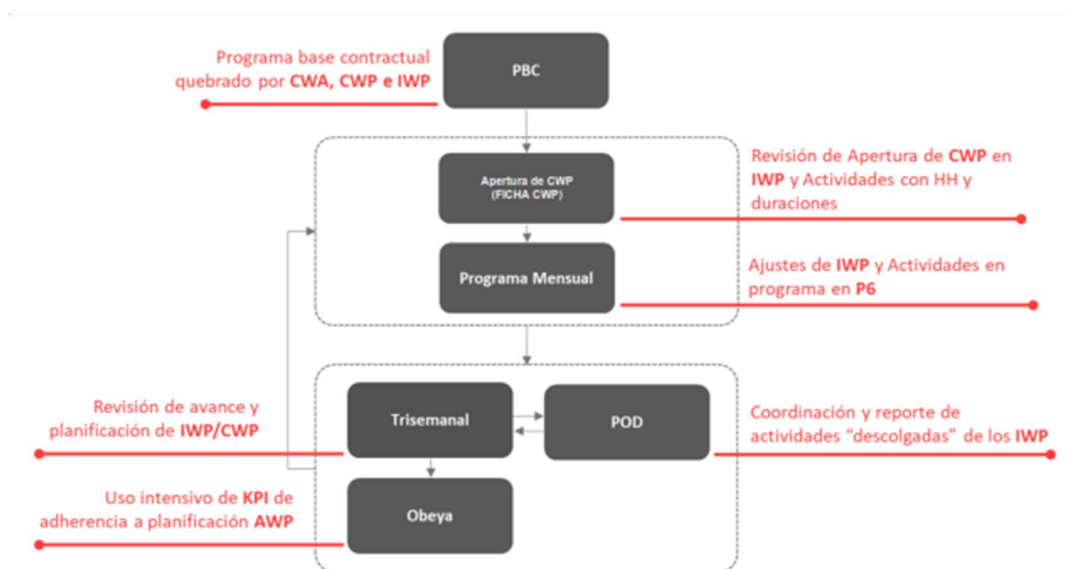


Imagen N°5-6: Mecanismos de Planificación y Control

5.3.1 Planificación Integrada en la Programación Trisemanal

La integración de la programación a corto plazo (trisemanal) bajo el marco de AWP exige una rigurosa jerarquización de la información. Toda actividad planificada debe responder a una estructura de descomposición donde los elementos de control se agrupan en Paquetes de Trabajo de Instalación (IWP), los cuales se desprenden a su vez de un Paquete de Trabajo de Construcción (CWP). El axioma fundamental de este modelo radica en que ninguna actividad puede ser incorporada al programa si no se encuentra estrictamente libre de restricciones, garantizando así la predictibilidad en la ejecución.

5.3.2 Mecanismo de Administración y Dinámica de la Gestión de Restricciones

Las restricciones corresponden a cualquier requisito previo (accesos, herramientas, recursos, permisos, etc.) que impida o retrase la ejecución exitosa del trabajo. El proceso metodológico transita desde la identificación temprana de estas interferencias en la Ficha del CWP hacia la constitución de un LOG de Restricciones, el cual opera como el instrumento matriz para el seguimiento y la liberación oportuna de los IWP.

Este flujo de información es dinámico y acumulativo; el registro debe nutrirse de manera permanente con las restricciones emergentes de las sesiones de Definición de Ruta de Construcción (Path of Construction - POD) y de los análisis de las sesiones trisemanales. La actualización y reporte semanal de este repositorio es un requisito metodológico previo a las instancias de coordinación, asegurando que las decisiones de planificación inicial se fundamenten en un horizonte de trabajo totalmente limpio.

5.3.3 Sinergia entre Causas de No Cumplimiento (CNC) y el Modelo AWP

La mejora continua y el análisis de productividad se articulan mediante la indexación de las Causas de No Cumplimiento (CNC). Al detectarse una desviación en la ejecución física, esta no se analiza de forma aislada, sino que se vincula y conecta directamente con su respectivo IWP y CWP por parte del equipo de planificación. Esta correlación sistemática permite realizar un análisis de causa raíz estructurado bajo la lógica de datos de AWP, facilitando la identificación inmediata de cuellos de botella metodológicos y operacionales.

5.3.4 Métricas de Desempeño y Control Visual (Sesiones Obeya)

La evaluación consolidada del comportamiento del contrato bajo la lógica de AWP se cuantifica mediante Indicadores Clave de Rendimiento (KPI AWP).

Estas métricas evalúan tanto el avance físico como la tasa de completitud de las obras tomando como unidad de medida las unidades constructivas CWP e IWP. Para garantizar una gobernanza colaborativa y una toma de decisiones eficiente en las etapas de planificación inicial, estos indicadores se exponen, revisan y analizan periódicamente en el entorno de gestión visual de las sesiones Obeya.

5.3.5 Correlación entre la Base de Medición, el Avance Físico-Financiero y el Cierre de Paquetes

Uno de los pilares de la estrategia de implementación es la convergencia entre el control de proyectos y la contabilidad de costos. Considerando que las Bases de Medición y Pago del contrato CC-126 establecen el avance físico y financiero en función del progreso y término de los IWP y CWP, se requiere generar y emitir los respaldos de la ejecución de las obras en sus distintas etapas (suministro, aprestamiento, ejecución y pruebas) asociados estrictamente a estas unidades, incluyendo las protocolizaciones y certificaciones de aseguramiento de calidad (QA/QC).

Los Estados de Pago, en consecuencia, deben ser presentados en total concordancia con estas estructuras de información, presentando a cobro las cantidades definidas en los CWP y/o IWP mediante el uso de un formato unificado provisto por Codelco, el cual integra de forma automatizada las

cantidades del itemizado con los paquetes de trabajo y sus respectivas reglas de medición y pago.

5.3.6 Trazabilidad Documental en el Ciclo de Vida del Proyecto (CRP y TOP)

Finalmente, el mecanismo de gestión documental debe alinearse con la partición geométrica y operacional de AWP. Al inicio del contrato, los equipos de Calidad y Puesta en Marcha de ambas partes deben revisar en conjunto la clasificación, registro y ordenamiento de las carpetas de Paquetes de Revisión de Construcción (CRP) y Paquetes de Entrega Operacional (TOP). Este ordenamiento sistemático previene la pérdida de trazabilidad en las fases terminales e indexa la información de calidad e inspecciones directamente a la estructura madre de AWP, asegurando un proceso de comisionamiento eficiente y controlado.

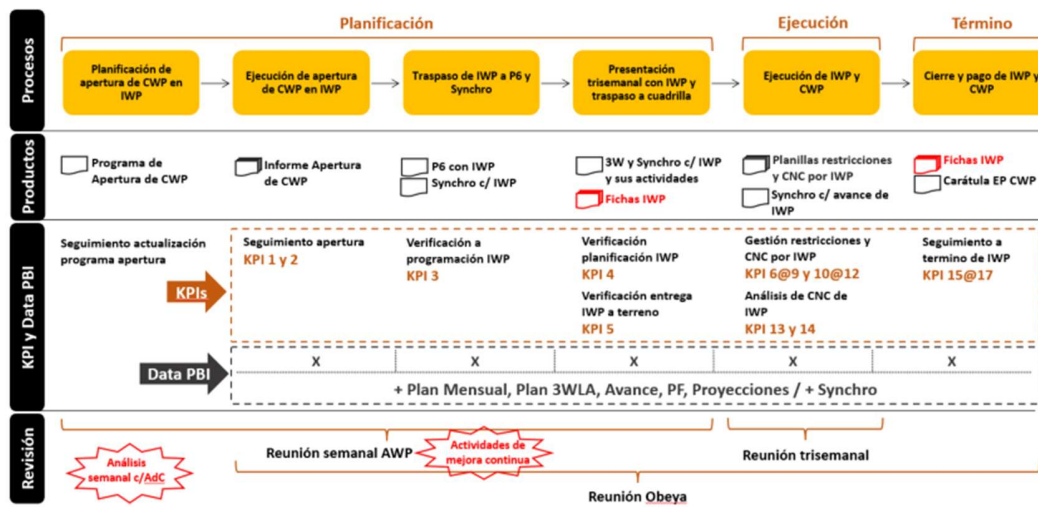


Imagen N°5-7: Ciclo de Vida del Proyecto

**6 CAPITULO VI: SISTEMATIZACIÓN DE LOS REGISTROS DE
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO CC-126**

El propósito de este capítulo es dar cumplimiento al objetivo específico de identificar de manera sistemática los registros, artefactos de control y bases de datos que constituyen el sistema de planificación del proyecto CC-126. Bajo el marco metodológico Advanced Work Packaging (AWP), los registros no operan de forma aislada, sino como un flujo documental interconectado que va desde la estrategia macro hasta la asignación diaria en el frente de trabajo.

Para asegurar un mapeo metodológico estructurado, los registros identificados se han clasificado en cuatro dimensiones esenciales:

- Registros de la Planificación Base, que congelan el alcance y la secuencia constructiva del proyecto.
- Registros de Curvas S, que consolidan la medición cuantitativa del avance real frente al planificado.
- Registros del Reporte Trisemanal, que constituyen las herramientas operativas de corto plazo y control de restricciones.
- Registros de Causas de No Cumplimiento (CNC), que documentan las desviaciones y eventos que impiden la liberación efectiva de los Installation Work Packages (IWP).

A través de esta identificación, se establecerá la línea base documental del proyecto, permitiendo comprender cómo fluye la información de control y cuáles son los soportes de datos disponibles para el posterior análisis de desempeño del CC-126.

6.1 Clasificación y Estructura de los Registros del Proyecto

A continuación, se detalla la matriz de registros identificados en el proyecto CC-126, especificando su nivel de control, el formato de soporte y el área responsable de su actualización:

Dimensión de Control	Nombre Técnico del Registro / Documento	Soporte / Software	Área Responsable
Planificación Base	Ficha Apertura de CWP (CWP e IWP)	MS Excel / Base de datos	Workface Planning
	Programa Base de Construcción	Primavera P6	Programación y Control
Curva S	Gráficos de Curva S de Avance Físico Real	Dashboard / PDF	Programación y Control
Reporte Trisemanal	Programa Trisemanal de Terreno	MS Excel / OPC	Jefe de Terreno / Planificador
	Matriz de Gestión de Restricciones (<i>Constraint Log</i>)	MS Excel / Software AWP	Ingeniería de Terreno / Planificador

Causas de No Cumplimiento	Registro Semanal de PPC (Porcentaje de Plan Completado)	MS Excel	Productividad / Programación y Control
	Registro de Causas de No Cumplimiento	MS Excel / Base de datos	Programación y Control

Tabla N° 1: Registros del Proyecto CC-126

6.1.1 Ficha Apertura CWP

Este registro de la planificación base oficializa la existencia de un Paquete de Trabajo de Construcción (CWP). Es un documento que detalla los recursos estimados, alcances físicos, estrategia constructiva, restricciones y detalle de los IWP.

A continuación, se presenta la estructura de campos correspondiente a una ficha CWP del proyecto CC-126 el cual corresponde al tendido, acometida y conexionado de los cables en el Area Footprint de Nivel de Ventilación del Proyecto CC-126.

6.1.1.1 Bloque de Control Documental y Metadatos Contractuales

Este bloque proporciona la trazabilidad legal y organizacional dentro del megaproyecto. En el ámbito académico este bloque nos proporciona los metadatos correspondientes al proyecto en estudio.

- Identificación del Mandante y Contratista: Registra la relación mandante-colaborador (Codelco VP – Salfa Montajes S.A.)
- Trazabilidad del Proyecto: Nombre oficial de la obra (Construcción y Montaje Infraestructura Mina – Niveles Inferiores NV-NT-ND), Gerencia

divisional (Andes Norte – Nuevo Nivel Mina) y Código de Contrato (4600027812)

- Codificación Única del CWP: Registra la codificación del archivo bajo el estándar del proyecto (4600027812-02000-INFCEB-00007) y su código de empaquetado AWP (FP-CWP-126.0-01-W-002)
- Matriz de Control de Revisiones: Registro histórico de cambios (Rev. A, B,0, Etc.) con fechas, propósitos de emisión (Uso, Aprobación, Construcción) y las firmas e iniciales de los roles claves del proyecto. (Líder AWP/BIM, Jefe P&C, Jefe Terreno, Administrador de Contrato)

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS

GERENCIA PROYECTO ANDES NORTE - NUEVO NIVEL MINA

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE INFRAESTRUCTURA MINA

NIVELES INFERIORES NV-NT-ND

N° CONTRATO 4600027812

AREA:	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS
SUBAREA:	NIVELES INFERIORES NV-NT-ND
CONTENIDO:	NV - FOOTPRINT SECTOR SEE-02 - CABLES
TIPO DE DOCUMENTO:	INFORME
CÓDIGO VP:	4600027812-02000-INTCB-00007

REV.	FECHA.	EMITIDO PARA.	POR Planificación AWP- BM	REV. Jefe P&C	APR. Jefe Terreno	REV. AWP-BM	REV. CONSTRUCCIÓN
2	07-03-2025	USO	Sebastián Roca G.	Victor Jaime C.	German Rivas C.	Rodrigo Bascuñan B.	Vicente Ortega / Esteban Pérez
1	16-10-2025	USO	Sebastián Roca G.	Ricardo Zilberuelo L.	German Rivas C.	Rodrigo Bascuñan B.	Raúl Zavala / Braulio Figueroa
0	03-12-2024	USO	Sebastián Roca G.	Ricardo Zilberuelo L.	German Rivas C.	Rodrigo Bascuñan B.	Vicente Ortega / Braulio Figueroa
C	15-10-2024	REVISION CODELCO	Sebastián Roca G.	Victor Jaime C.	German Rivas C.	Rodrigo Bascuñan B.	Vicente Ortega / Esteban Pérez
B	30-06-2024	REVISION CODELCO	Sebastián Roca G.	Ricardo Zilberuelo L.	German Rivas C.	Rodrigo Bascuñan B.	Vicente Ortega / Esteban Pérez
			EMPRESA COLABORADORA			CODELCO	

	SALFA MONTAJES S.A.	Pág. 1 de 10
	PP-CWP-126.0-01-W-002	REV. 2

Nota: Documento emitido con firma electrónica en última página, Ley 19.799

Imagen N°6-1: Caratula. Fuente: Ficha Apertura CWP

6.1.1.2 Identificación del CWP

En este apartado se identifica las características del CWP, como su nombre, código, revisión y fecha.

1.- IDENTIFICACION DEL CWP			
Nombre	NV - Footprint SEE-02 - Cables	Rev	2
CWP	126.0-01-W-002	Código	
Ruta Crítica	SI	Fecha	7-3-2026
Código CWP	FP-CWP-126.0-01-W-002		

Imagen N°6-2: Identificación del CWP. Fuente: Ficha Apertura CWP

6.1.1.3 Identificación del CWA

Corresponde a la información del CWA, identificando su código, la descripción del área, su duración cronológica en días, fecha de inicio y termino con sus respectivas HH junto con una identificación geográfica del Area.

2.- IDENTIFICACIÓN DEL CWA					
N° CWA	DESCRIPCION	Duración días	Fecha Inicio	Fecha Fin	HH
126.0-01	NV - Footprint Sector SEE-02	510	15-8-2024	6-6-2026	43.689

Imagen N°6-3: Identificación del CWA. Fuente: Ficha Apertura CWP

6.1.1.4 Matriz de cuantificación y atributos técnicos del CWP

Esta sección de la ficha corresponde a una matriz de control la cual nos permite tener una clara noción de los elementos considerados en el CWP, su identificación interna, unidades de medida, cantidad requerida estimativa, duración total, fechas de inicio y termino, HH asignadas y ponderadores de control de avance en función de las Bases de Medición y Pago

6.1.1.5 Dimensión del alcance

N° Partida: Constituye el código alfanumérico secuencial que indexa cada actividad dentro de la estructura de desglose del trabajo. Este código es crucial para la trazabilidad y la imputación de costos en las distintas herramientas de control de avance.

Descripción: Detalla de forma paramétrica las especificaciones técnicas del elemento a trabajar.

Unidad y Cantidad: Define la métrica dimensional para la cuantificación del alcance sirviendo de base para el cálculo de los rendimientos teóricos de instalación.

6.1.1.6 Dimensión temporal y de programación

Duración (Días): Constituye una variable discreta que establece el plazo total asignado para la ejecución de la construcción del CWP

Fecha inicio y termino: Determina la ventana temporal de la línea base del programa de construcción

6.1.1.7 Dimensión del Esfuerzo y Productividad.

HH (Horas Hombre): Representa la métrica fundamental del presupuesto de mano de obra directa. A diferencia de las variables monetarias, las HH reflejan el esfuerzo real requerido para la construcción. Evidenciando una correlación directa entre el volumen físico y las horas asignadas, permitiendo calcular el rendimiento estándar mediante la relación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Horas Hombre (HH)}}$$

6.1.1.8 Dimensión de control de avance y ponderadores BMP

Las columnas identificadas bajos las siglas BMP representan las reglas cuantitativas de avance. El progreso no se computa de forma binaria (0% o 100%), sino que se fragmenta en hitos de control ponderados que suman la totalidad del CWP terminado

SUM: Hitos de suministro. Acreditan la llegada, recepción y disponibilidad del material en obra.

PRE: Fase Preliminar: Contempla las actividades preparatorias en el frente de trabajo, tales como la gestión de sitios, traslados de materiales y toda actividad previa a la fase de construcción.

CON: Fase de Construcción. Representa el hito crítico del trabajo por lo que su ponderación tiende a ser la más alta de todas reflejando que es la actividad que más demanda recursos y esfuerzo. Los cuales se respaldan con sus debidos protocolos de trabajo y pruebas.

ENT: Entrega y Comisionamiento. Hito de cierre técnico donde se liberan los protocolos de calidad y se realiza la transferencia formal del sistema para su puesta en marcha.

3- IDENTIFICACIÓN DEL CWP																													
N° Punto	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD ACTUALIZADA	Duración días	Fecha Inicio	Fecha Fin	HY	Cod BMP	BMP (Barricade Modification)																				
									SUM-1	SUM-2	SUM-3	PMO-1	PMO-2	C2N-1	C2N-2	C2N-3	DET-1												
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	108	401	21-9-2024	20-12-2025		107	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%											
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	1038																783	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	1344																1.421	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	1170																991	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	3648																3.554	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	PP-CWP-125-D-01-00-002	300																270	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	1200																1.170	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	90																35	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.13A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 1 kV, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color verde, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	1812																688	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.21A	Cable de control 3x7.5 4 AWG, 600V, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color amarillo, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	8940																4.769	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.21A	Cable de control 3x7.5 4 AWG, 600V, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color amarillo, armado (Piggy back), libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles	m	17880																6.791	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%
21.5.6.23A	Cable de fuerza 3x4x4 0.9 AWG, 600V, 90°C, tipo TC, conductor Cu, aislamiento XLPE, cubierta color amarillo, resistente al fuego según IEC 331, libre de halógenos y bajo emisión de humos volátiles (Para señal de incendio)	m	504																235	W01	0%	0%	20%	2%	0%	50%	10%	5%	5%

Imagen N°6-5: Matriz Técnica del CWP

Corresponde al resumen grafico de los límites del CWP para luego aperturar sus correspondientes IWP de manera separada y detallada.



6.1.3 Matriz de liberación de restricciones

Sección crítica para el enfoque de AWP, diseñada para mitigar la variabilidad antes de la emisión a terreno. Estructura las restricciones activas bajo cuatro parámetros:

Familias/Sub-Familias: Categorías jerárquicas utilizadas para organizar, clasificar y agrupar las distintas restricciones bajo un mismo criterio

Descripción de la restricción: Identificación cualitativa del problema (Permisos de área, Suministros faltantes, Acreditación de equipos, etc.)

Responsables Nominal: Cada restricción debe ir asignado a un responsable que es el encargado de la gestión de dicha restricción.

Fecha requerida: Fecha en la cual la restricción debe estar 100% liberada para no impactar la línea del programa base de construcción.

S.- RESTRICCIONES DEL CWP						
N°	Familia	Subfamilia	Descripción	Responsable	Compañía	Fecha requerida
CSTR2504	Área	Liberación de área	Acceso restringido a NV - Footprint	Cristian Stormesan Bravo	VP Codeico	1-12-2025
CSTR2418	Área	Liberación de área	Acceso restringido a ventilador 2515-VEN-514, en Cruzado 5/6 (Footprint NV HW), para instalación del alumbrado para ventilador	Cristian Stormesan Bravo	VP Codeico	30-12-2025
CSTR2419	Área	Liberación de área	Acceso restringido a estocada Ventilador 2515-VEN-515, en Cruzado 5/6 (Footprint NV HW), para instalación del alumbrado para ventilador	Cristian Stormesan Bravo	VP Codeico	30-12-2025
CSTR2464	Área	Liberación de área	Acceso restringido a ventilador 2512-VEN-1221, en Cruzado 12/13(Footprint NV), para instalación de canalización y alumbrado para ventilador	Cristian Stormesan Bravo	VP Codeico	30-12-2025

Imagen N°6-8: Restricciones del CWP

6.1.4 Identificación grafica de los IWP

Representa el detalle grafico que abarca cada uno de los IWP aperturados en el CWP a construir.

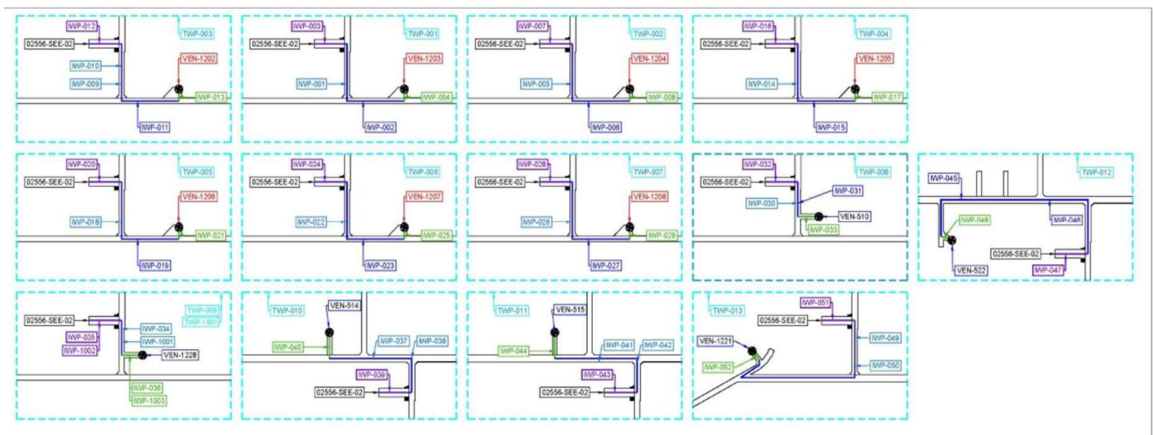


Imagen N°6-9: Identificación Grafica del IWP

6.1.5 Carta Gannt del CWP

Corresponde a la programación secuencial de los IWP's aperturados dentro del CWP, identificando el N° de IWP, su descripción y la duración.

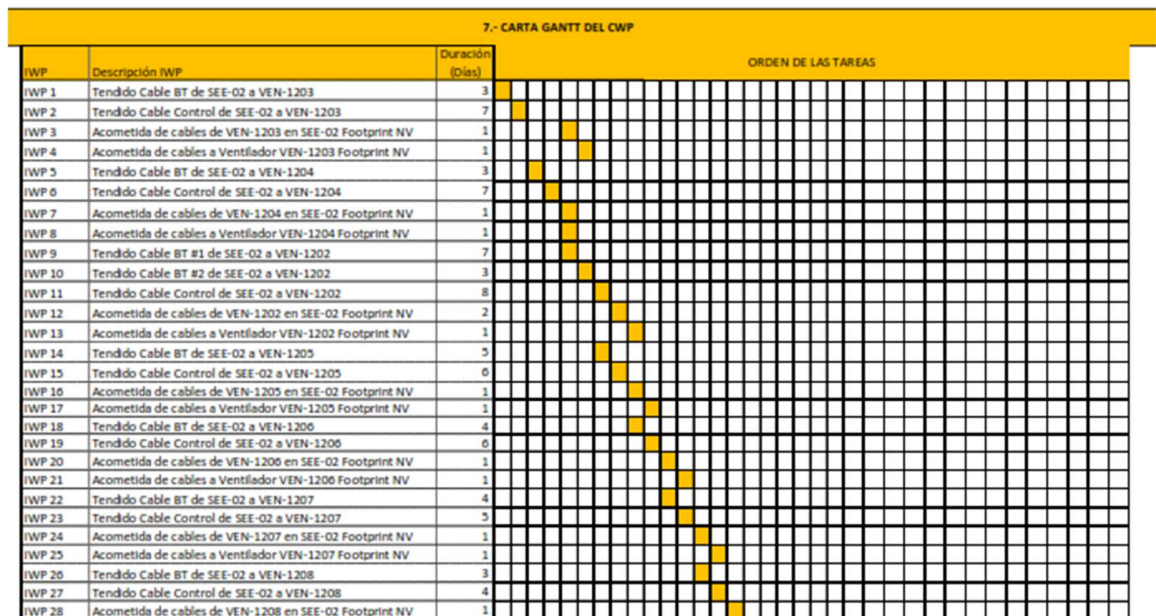


Imagen N°6-10: Carta Gantt del CWP

6.1.6 Matriz de IWP y TWP (Detalles del CWP)

Representa la descomposición física del alcance global del CWP en paquetes de menor escala para su asignación semanal en terreno.

Categoría: Corresponde al detalle de las tareas dentro del IWP (IWP 1, Tarea 1, Tarea 2, Tarea 3, Etc.)

Ítem: Representa el código de control de avance el cual vincula el elemento constructivo al IWP a ejecutar asegurando una trazabilidad.

Nombre IWP/Tarea: Muestra una descomposición secuencial del proceso constructivo para los distintos IWP como también su identificación

Unidad: Unidad de medida utilizada para cada elemento del IWP

Cantidad Forecast: Corresponde a la cantidad proyectada o presupuestada a instalar.

Rendimiento: Expresa el factor de consumo de recursos por unidad de medida (Cantidad/HH), indicando cuantas fracciones de HH se requieren para procesar una unidad de trabajo.

Ponderación: Define el peso relativo de cada tarea respecto al total del IWP.

HH Forecast: Representa el presupuesto final de HH asignadas para completar el IWP.

B. DETALLES DEL CWP								
ANÁLISIS APERTURADOS DE IWP				ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y TIEMPOS				HH Forecast
Categoría	ITEM	VEN	Nombre de IWP / Tarea	Unidad	Cantidad Forecast	Rendimiento	Ponderación	
IWP 1		1203	Tendido Cable BT de SEE-02 a VEN-1203	m	440			407,3
Tarea 1	2.1.5.6.1.10A	1203	Traslado de material	m	440	0,1388	15%	61,1
Tarea 2	2.1.5.6.1.10A	1203	Tender cable por EPC correspondiente	m	440	0,5554	60%	244,4
Tarea 3	2.1.5.6.1.10A	1203	Afianzar cable con amarras plasticas	m	440	0,2314	25%	101,8

Imagen N°6-11: Cuadro Detalle del CWP

6.2 Programa Base de Construcción.

El programa base de construcción (PBC) representa la base de datos cronológica y secuencial oficial que rige la ejecución del contrato CC-126. En el contexto de la investigación, actúa como el marco de referencia macro contra el cual se contrastará el avance real acumulado de las obras y se medirá el desempeño global a través de las Curvas S.

Estructuralmente, y bajo los lineamientos de la metodología AWP, este artefacto de control se caracteriza en el proyecto a través de los siguientes elementos de información.

6.2.1 Atributos de Identificación y Control de Actividades

Cada línea del programa base registra componentes de identificación que garantizan la rigurosidad del control.

- ID de la Actividad (Activity ID): Corresponde a la codificación alfanumérica única. En el ámbito académico este código permite la trazabilidad absoluta, ya que indexa cada tarea del cronograma con el avance

- Descripción de la actividad: Detalle operativo del esfuerzo. No solo incluye tareas de montaje directo, sino que registra explícitamente eventos de soporte y restricciones

6.2.2 Dimensiones temporales y Unidades de Calendario

Establece los parámetros de duración y fechas límites de configuran la línea base del proyecto.

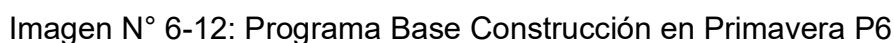
- Duración Original y Remanente: Medida cuantitativa del tiempo planificado en días laborales para cada tarea.
- Fechas de inicio y termino real/planificado (Start / Finish Dates): Registra las ventanas de tiempo cronológicas

6.2.3 Métricas de progreso y control de recursos (Carga de HH)

Es el bloque que conecta el cronograma con la Curva S

- Porcentaje de Avance Físico: Corresponde a la métrica porcentual (0% a 100%) que refleja el estado real de la tarea en la fecha de corte
- Carga de Recursos (HH): El volumen presupuestado de mano de obra asignado a cada ID de actividad. En este registro, la sumatoria de las HH cargadas a las actividades vigentes equivale al presupuesto base del contrato.

Una particularidad metodológica de este programa es que actúa como una “Bitácora Activa de Interferencias”. El programa base identifica eventos que impactan directamente en el rendimiento y que representan el origen de las Causas de No Cumplimiento (CNC)



6.3 Gráficos de Curva S de Avance Físico Real

La Curva S del proyecto CC-126 representa el instrumento cuantitativo maestro de control. Su propósito en este proyecto de título es evidenciar como se traduce el rendimiento de terreno en el cumplimiento global de los plazos contractuales del contrato.

Bajo el marco de Gestion del Valor Ganado (EVM), este registro se compone de los siguientes elementos y curvas analíticas

6.3.1 Curva de Valor Planificado (PV – Planned Value / Early – Late S-Curve)

Es la distribución en el tiempo de las HH presupuestadas en el PBC, el cual tiene como función definir el ritmo teórico al que debería avanzar el proyecto. La separación entre la curva temprana (Early S Curve) y la tardía (Late S Curve) genera la “Ventana de flexibilidad” o la holgura total disponible para la programación de los CWP

6.3.2 Curva de Valor Ganado (EV- Earned Value / Avance Físico Real)

Es el porcentaje de avance físico real multiplicado por el presupuesto de HH de la línea base. En un proyecto con enfoque AWP, el EV no se estima a criterio si no que el avance que alimenta a esta curva proviene estrictamente de la sumatoria de las HH de los IWP's

6.3.3 Curva de Costo Real (AC- Actual Cost)

Si bien esta curva se utiliza en un análisis enfocado al ámbito gerencial, esta representa el consumo real de recursos (HH Gastadas) utilizadas para ejecutar las tareas en el proyecto. Al realizar un contraste con el EV, permite deducir el Índice de Desempeño del Costo (CPI), identificando si el proyecto está gastando más o menos HH de las presupuestadas por unidad de obra instalada.

6.3.4 Indicadores Matemáticos de Variación Asociados

- Variación de Cronograma (SV – Schedule Variance): Es la medición del desfase en términos de HH ($SV = EV - PV$).

- Índice de Desempeño del Cronograma (SPI - Schedule Performance Index): Representa un factor adimensional donde un SPI < 1,0 indica que el proyecto se está retrasando respecto al PBC (SPI = EV/PV)

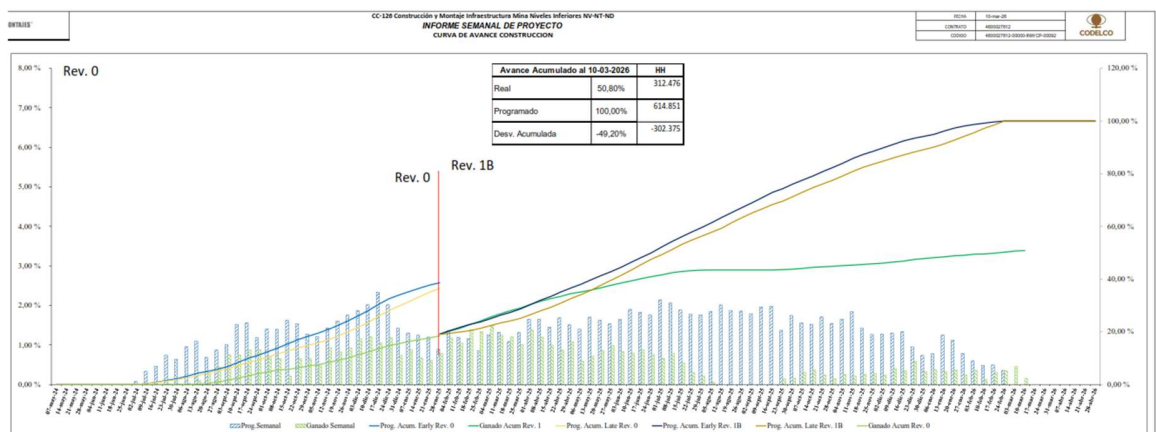


Imagen N°6-13: Curva de avance según PBC rev.2

6.4 Programa Trisemanal de Terreno (Lookahead de Corto Plazo)

El programa trisemanal constituye el motor operativo del proyecto CC-126. A diferencia del PBC, este registro es una herramienta dinámica (habitualmente gestionada en MS Excel o Softwares de control de producción) que detalla de forma exclusiva las actividades que se ejecutaran en una ventana móvil de 21 días.

Estructuralmente, este instrumento se divide en dos componentes interconectados que actúan como un sistema de control de flujos

6.4.1 Matriz de programación operativa (Lookahead Semanal)

- Identificación del frente de trabajo: Indexa cada tarea directamente al código único del IWP, partida e ID Programa, garantizando la trazabilidad con la planificación base.
- Ventana temporal de Compromiso: El horizonte se divide en cuatro bloques semanales (Semana 0, Semana 1, Semana 2 y Semana 3). Los días de la semana 0 corresponden al ciclo de control que ya fue ejecutado en terreno. Por otro lado, los días de la Semana 1 representan las actividades a realizar por las cuadrillas del ciclo actual.

Asignación de recursos Directos: Registra la cantidad de HH diarias necesarias para cumplir la meta física, permitiendo balancear la carga de trabajo en la obra.

CC-18 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE INFRAESTRUCTURA NIVELES INFERIORES NV-17 AD																			
SALFAMONTAJES®																			
Actualizar Programa																			
VERIFICAR																			
PERIODO:																			
desde 15-mar hasta 21-mar																			

Imagen N°6-14: Extracto Informe Trisemanal

6.4.2 Matriz de Proyección de Recursos y Balance de Carga de Trabajo

Esta matriz traduce las metas físicas en la asignación cuantitativa de HH. Se estructura de forma simétrica dividiendo el horizonte en tres bloques secuenciales emparejados con la rotación de la mano de obra.

- Estructura por Ventanas Semanales: Segmentado en Semana Actual (S1), Semana Siguierte (S2) y Semana Subsiguierte (S3)
- Desglose de Desempeño por Disciplinas: Consolida las métricas de esfuerzo para cada una de las especialidades del contrato, tales como: Minería, Obras Civiles, Estructuras, Etc.
- Atributos de datos por columnas: Para cada disciplina y semana, la matriz calcula tres variables clave
 - Total, a Ganar (HH): El presupuesto de Valor Planificado (PV) que se pretende ejecutar.
 - HH a Gastar (Disponibilidad / Dotación): La capacidad proyectada de mano de obra en terreno.
 - Factor PF Proyectado (Productividad): Índice de eficiencia esperado para el cumplimiento de la meta.

SALFAMONTAJES

PERIODO: desde 11-mar hasta 31-mar

SEMANA ACTUAL (S1)

SEMANA SIGUIENTE (S2)

SEMANA SUB SIGUIENTE (S3)

PROYECCIÓN GENERAL

	Total a Ganar [HH]	HH A GASTAR		PF Proyectado
		Disponible [Dotación]	Disponible [HH]	
Instalación de Faenas	120		-	
Obras Minería	152	3	231	1.74
Obras Civiles	924	13	1.001	1.08
Estructura-Mecánica	343	5	385	1.12
Cableñas	552	7	539	0.98
Electricidad	3.467	46	3.542	1.02
Andamios	-	10	770	
Puesta en Marcha	-			
	5.539	84	6.468	1.11

	Total a Ganar [HH]	HH A GASTAR		PF Proyectado
		Disponible [Dotación]	Disponible [HH]	
Instalación de Faenas	120		-	
Obras Minería	152	3	231	1.74
Obras Civiles	1.527	19	1.463	0.96
Estructura-Mecánica	653	7	539	0.83
Cableñas	209	3	231	1.10
Electricidad	3.635	44	3.388	0.93
Andamios	-	10	770	
Puesta en Marcha	-			
	6.277	86	6.622	1.05

	Total a Ganar [HH]	HH A GASTAR		PF Proyectado
		Disponible [Dotación]	Disponible [HH]	
Instalación de Faenas	120		-	
Obras Minería	152	3	231	1.52
Obras Civiles	1.013	13	1.001	0.99
Estructura-Mecánica	458	8	616	1.34
Cableñas	-	-	-	-
Electricidad	4.117	46	3.542	0.86
Andamios	-	10	770	
Puesta en Marcha	-			
	5.560	80	6.160	1.08

Imagen N°6-15: Proyección de recursos

6.5 Matriz de Gestion de Restricciones

Dentro de la arquitectura de control del Proyecto CC-126, la Matriz de Gestion de Restricciones constituye el mecanismo preventivo y de gobernanza fundamental de la metodología AWP. Su objetivo como instrumento de control es evaluar de forma anticipada la viabilidad técnica y logística de los frentes de trabajo, actuando como un filtro de madurez que impide la liberación de paquetes hacia la fase de ejecución si estos presentan interferencias activas.

Cada restricción se registra en una tabla identificando

- Fecha
- CWP
- Familia / Sub-Familia
- Descripción
- Responsable
- ID Restricción (Generado por Software OPC)

Mes	CWP	Familia	Subfamilia	Descripción	Responsable	Aplica a OPC	OBS	ID RESTRICCIÓN
JUNIO	126-0-09-R-002	Personal	Condiciones para ingreso al área en trámite	Credenciales de personal habilitado para trabajo en altura	RRL	Aplica		CS19379
JUNIO	126-0-09-R-002	Área de Trabajo	Permisos de ingreso al área en trámite	Entrega y liberación de áreas	N/A	N/A	Restricción Generada, no se considera ingresar a OPC, no aplica como restricción.	N/A
JULIO	126-0-04-R-002	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "Abastecimiento de Combustible en Terreno" (4600027812-02000 PROCS-00017)	Emanuel Soto	Aplica		CS19343
AUGO	126-0-11-C-001	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "Abastecimiento de Combustible en Terreno" (4600027812-02000 PROCS-00017)	Emanuel Soto	Aplica		CS19343
AUGO	126-0-04-R-002	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "Escalata" (4600027812-02000 PROCS-00027)	Emanuel Soto	Aplica		CS19344
AUGO	126-0-11-C-001	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "Escalata" (4600027812-02000 PROCS-00027)	Emanuel Soto	Aplica		CS19344
AUGO	126-0-04-R-002	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "MANIAT (ALZAHORABE)" (4600027812-02000 PROCS-00019)	Emanuel Soto	Aplica		CS19345
AUGO	126-0-11-C-001	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el procedimiento de "MANIAT (ALZAHORABE)" (4600027812-02000 PROCS-00019)	Emanuel Soto	Aplica		CS19345
JUNIO	126-0-01-R-002	Equipos	Equipos sin acreditación	Se requiere acreditación MANIPULADOR TELESCOPICO para inicio de trabajos en interior mina.	Emanuel Soto	Aplica		CS19349
JUNIO	126-0-02-R-002	Equipos	Equipos sin acreditación	Se requiere acreditación MANIPULADOR TELESCOPICO para inicio de trabajos en interior mina.	Emanuel Soto	Aplica		CS19349
AUGO	126-0-01-R-002	Equipos	Equipos sin acreditación	Se requiere acreditación MANIPULADOR TELESCOPICO para inicio de trabajos en interior mina.	Emanuel Soto	Aplica		CS19349
AUGO	126-0-02-R-002	Equipos	Equipos sin acreditación	Se requiere acreditación MANIPULADOR TELESCOPICO para inicio de trabajos en interior mina.	Emanuel Soto	Aplica		CS19349
AUGO	126-0-08-R-002	Suministros	Suministros Pendiente	Se requiere iniciar el proceso de compra correspondiente a CWP-08-R-002 Canalizaciones Escaleras 4600200 c/pesos especiales	Hosael Escarez	Aplica		CS19313
AUGO	126-0-08-R-002	Suministros	Suministros Pendiente	Se requiere iniciar el proceso de compra correspondiente a CWP-08-R-002 Cateria acero galvanizado, para uso en canalización de conductores BT, conductores de Tierra Menores y MPT GENERAL MINA.	Hosael Escarez	Aplica		CS19314
AUGO	126-0-08-R-002	Suministros	Suministros Pendiente	Se requiere iniciar el proceso de compra correspondiente a CWP-08-R-002 Conduit flexible c/peso 1"	Hosael Escarez	Aplica		CS19316
AUGO	126-0-08-R-002	Suministros	Suministros Pendiente	Se requiere iniciar el proceso de compra correspondiente a CWP-08-R-002 Cable mensajero de acero tipo enterrado 3/8" cableado.	Hosael Escarez	Aplica		CS19317
MAYO	126-0-09-C-001	Ingeniería	Detallamiento	Se requiere validación de forecast de suministro del foso de nave de mantenimiento	Joaquin Mige	Aplica		CS19319
MAYO	126-0-09-C-001	Ingeniería	Alcance	Se requiere validación del forecast de hornigado de los ralleires intermedios entre naves.	Joaquin Mige	Aplica		CS19320
AUGO	126-0-09-W-001	Personal	Acreditación personal	Se requiere Aprobación de Operador de Camion 3/4 para interior mina turno A	Emanuel Soto	Aplica		CS19321
AUGO	126-0-09-W-001	Personal	Acreditación personal	Se requiere Aprobación de Operador de Camion 3/4 para interior mina turno A	Emanuel Soto	Aplica		CS19321
MAYO	126-0-09-W-002	Personal	Acreditación personal	Se requiere Aprobación para operación en interior mina de Operador de Camion 3/4 turno A	Emanuel Soto	Aplica		CS19321
MAYO	126-0-09-C-001	Ingeniería	Itemizado	Actualizar ubicación y alcance de items pendientes por asignar planos	Joaquin Mige	Aplica		CS19322
MAYO	126-0-09-C-001	Ingeniería	Itemizado	Se requiere validar alcances de foso indicados en itemizado.	Joaquin Mige	Aplica		CS19323
JUNIO	126-0-09-S-001	Ingeniería	Planos	No existen planos asociados a item 3.1.3.2.2.1, 3.1.6.1.1.1 y 3.2.3.1.1.1, estos planos indican barandas y estructura metálica.	Joaquin Mige	Aplica		CS19324
JUNIO	126-0-09-R-002	Calidad	Procedimientos de trabajo	Aprobación de PIR electrico	Juan Acevedo	Aplica		CS19325
AUGO	126-0-04-R-002	Metodología	Falta procedimiento / Instructivo	Se requiere "generar" el Plan de Inspección y Ensayo Electrico (4600027812-02000-PUNCL-00003)	Juan Acevedo	Aplica		CS19325

Imagen N°6-16: Matriz de Restricciones

6.6 Mecanismos de Control de Desempeño: Porcentaje de Plan Completado (PPC) desde el enfoque Trisemanal

El Porcentaje de Plan Completado (PPC) constituye el indicador métrico fundamental dentro de la gobernanza de corto plazo en la metodología AWP. Su propósito en el Proyecto CC-126 es medir la confiabilidad del sistema de planificación, actuando como un filtro de calidad que evalúa la efectividad de los compromisos asumidos por la línea de supervisión antes de iniciar el turno en obra.

Para obtener este valor, el sistema de control de proyectos cruza dos variables discretas tabuladas en el cronograma operativo de detalle

- La cantidad de IWP's o tareas que fueron programadas en la semana
- La cantidad de esos mismos IWP's o tareas cuyo estatus de control finaliza el ciclo en condición de "Terminados".

$$PPC = \left(\frac{\sum \text{IWP o Actividades Ejecutadas}}{\sum \text{Total de IWP o Actividades Programadas}} \right) \times 100$$

Disciplina	C	NC	Total Actividades	% Cumplimiento N° de Actividades
Instalación de Faenas	1	0	1	100%
Obras Minería	0	2	2	0%
Obras Civiles	9	9	18	50%
Arquitecturas	0	0	0	0
Estructura-Mecánica	9	1	10	90%
Mecánica	0	0	0	0
Cañerías	3	0	3	100%
Electricidad	64	9	73	88%
Instrumentación	0	0	0	0
TOTAL	86	21	107	80%

Imagen N°6-17: Extracto registro actividades cumplidas y no cumplidas

6.7 Registro de Control: Bitácora de Causas de No Cumplimiento (CNC)

Dentro del sistema de control del proyecto CC-126, el Registro de Causas de No Cumplimiento (CNC) se identifica como el instrumento formal encargado de capturar cualitativamente las desviaciones de la planificación. Su propósito estructural dentro de la arquitectura del contrato es tipificar y registrar las razones por las cuales un IWP o Actividad de corto plazo no logro su término.

Estructura de captura y parámetros del registro

- Identificación de Origen: Código inequívoco del IWP afectado en los sectores de control (Por ejemplo. 126.0-07-L-002-001)
- Tarea: Descripción técnica del IWP afectado
- Causa Primaria/Secundaria: Taxonomía estandarizada para codificar la causa raíz de las CNC

- Atribución de Responsabilidad: Casilla de asignación administrativa que define si la causa es interna del contratista (Salfa Montajes) o del mandante (Codelco)
- Detalle de Causa: Explicación resumida de la causa raíz por la cual el IWP se vio afectado
- Métrica de Perdida Física: Campo cuantitativo para registrar las HH que debieron ser reprogramadas debido a la paralización de la actividad.

3. CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO													
Item	WFP	Tarea	Causa Primaria	Causa Secundaria	Nombre/Cargo Responsable	Detalle Causa	Responsable	Revisión Identificada	Plan de Mitigación	Mi Programada	Mi Cancelada	Porcentaje de Avance de la Actividad	Mi No Completada
1	126.0-07-0-002-001	Montaje Sistema de Alumbrado - Proyección LED - 200W - 022172042-40 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	14	0	0%	14
2	126.0-07-0-002-001	Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza - Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	15	0	0%	15
3	126.0-08-W-002-1004	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	60	0	0%	60
4	126.0-08-W-002-1015	Acortamiento Cable - Fuente - Tala N°500 MCM - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	160	80	50%	80
5	126.0-07-W-002-1006	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	112	0	0%	112
6	126.0-07-W-002-1006	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	504	0	0%	504
7	126.0-08-W-002-1016	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se reprograma a actividades dentro de plazo	33	0	0%	33
8	126.0-08-C-001-000	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Sala de Reuniones - En Obras de Arquitectura	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por terreno)	SALFA	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	SALFA		Se prioriza el cierre de WFP en sector BCV	76	41	54%	35
9	126.0-08-C-001-000	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Sala de Reuniones - En Obras de Arquitectura	Logística y Servicio	Faltas de red eléctrica	CODELCO	Actividad se retrasa por corte de energía de 9:00 a 10:00 am	CODELCO		Se llama a personal VIP	12	0	0%	12
10	126.0-08-C-001-048	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Ventileras Niveles de Lavado - En Obras de Arquitectura	Condición de Terreno	Liberación de área	CODELCO	Condición se deben retirar del área por condición técnica de peligro por	CODELCO		Se llama a personal VIP	12	0	0%	12
11	126.0-08-C-001-048	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Baños Talleres - En Obras de Arquitectura - Paga	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por terreno)	SALFA	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	CODELCO		Se prioriza el cierre de WFP en sector BCV	17	0	0%	17
12	126.0-08-C-001-048	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Baños Talleres - En Obras de Arquitectura - Paga	Ingeniería y diseño	Cambios de ingeniería	CODELCO	Termino se retrasa por cambios en estructura de trabajos establecidos	CODELCO		Se llama a personal VIP para poder seguir	17	0	0%	17
13	126.0-08-C-001-048	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Baños Talleres - En Obras de Arquitectura - Paga	Ingeniería y diseño	Cambios de ingeniería	SALFA	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	SALFA		Se prioriza el cierre de WFP en sector BCV	30	0	0%	30
14	126.0-08-C-001-048	Instalación Plancha - Yema Cables 12.1mm - Baños Talleres - En Obras de Arquitectura - Paga	Ingeniería y diseño	Cambios de ingeniería	CODELCO	Termino se retrasa por cambios en estructura de trabajos establecidos	CODELCO		Se llama a personal VIP para poder seguir	30	0	0%	30
15	USRR - Urea de Recursos	Retorno de arena línea de almacenamiento y Bodega de arena - Baños Cables - Paga - Nivel	Programación	Error estimación de recursos (Terreno)	SALFA	Falta programar actividades previas de levantamiento topográfico de	SALFA		Se reprograma con topografía para poder realizar actividad dentro de	44	0	0%	44
16	USRR - Urea de Recursos	Retorno GSI (sector alcantarillado) - Baños Cables - Paga - Nivel de Transporte	Programación	Error estimación de recursos (Terreno)	SALFA	Falta programar actividades previas de levantamiento topográfico de	SALFA		Se reprograma con topografía para poder realizar actividad dentro de	2	0	0%	2
17	USRR - Urea de Recursos	Vacío de Montaje - GSI - Baños Cables - Paga - Nivel de Transporte	Programación	Error estimación de recursos (Terreno)	SALFA	Falta programar actividades previas de levantamiento topográfico de	SALFA		Se reprograma con topografía para poder realizar actividad dentro de	29	0	0%	29
18	126.0-08-W-002-002	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por terreno)	SALFA	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	SALFA		Se prioriza el cierre de WFP	41	29	71%	12
19	126.0-08-W-002-002	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por terreno)	SALFA	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	SALFA		Se prioriza el cierre de WFP	85	0	0%	85
20	126.0-08-W-002-002	Terminación Cable - Fuente - Tala N°500 Acum - 022172042-41 - Fuente: Nivel de Montaje Sistema de Alumbrado - Limpieza	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por terreno)	CODELCO	Se desliza personal para dar mayor avance según SCD requerida	CODELCO		Se reprograma las actividades a las salas de NT3	85	0	0%	85

Imagen N°6-18: Registro de Causas de No Cumplimiento en Informe Trisemanal

7 CAPITULO VII: ANALISIS DE DESVIACIONES, CAUSAS RAIZ E IMPACTOS OPERACIONALES

El presente capítulo aborda el núcleo analítico de la investigación, cumpliendo con el objetivo de analizar las brechas entre la planificación base del proyecto CC-126 y los resultados reales obtenidos en terreno. El análisis desglosa la pérdida de desempeño del proyecto a través de un enfoque causa-efecto, demostrando cómo las restricciones micro operacionales terminaron por forzar una reestructuración macro del Programa Base de Construcción (PBC).

7.1 Análisis de las Brechas de Desempeño (Planificado VS Real)

7.1.1 Evaluación Macroscópica de la Curva S y Desviación Acumulada

El comportamiento histórico del avance físico del contrato evidencia un quiebre crítico en su secuencia lógica original. Como se observa en el gráfico de la Curva S (Ver Imagen N°7-1), el proyecto experimentó un periodo prolongado de estancamiento (meseta en la línea real verde), abriendo una brecha masiva respecto a las curvas tempranas (Early) y tardías (Late) de la línea base original

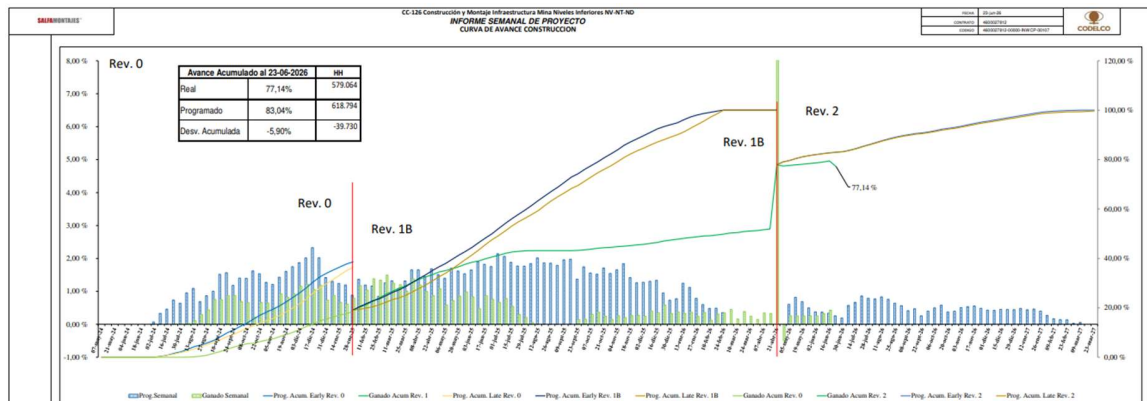


Imagen N°7-1: Curva S de Avance según PBC rev.2

Este descontrol operacional obligó a la organización a ejecutar un proceso de re-baselining (restablecimiento de la línea base), instancia en la que se sinceraron los plazos y se eliminaron alcances contractuales que resultaban inviables de ejecutar bajo las condiciones reales del frente de trabajo en interior mina. Tras el análisis de la Curva S definitiva bajo el marco del PBC Rev. 2, el estado de avance registra un avance programado del 83,04% (618.794 HH) frente a un avance real del 77,14% (579.064 HH), consolidando una desviación acumulada real del -5,90%. Este desfase demuestra con claridad que la actualización del cronograma sinceró la meta, pero la variabilidad intrínseca del proceso de producción en obra provoca que la brecha de atraso se mantenga latente y continúe impactando el desempeño actual de los frentes de trabajo.

7.1.2 Evaluación del Porcentaje de Plan Completado (PPC) en la Ventana de Corto Plazo

Al analizar la ventana de programación operativa a corto plazo, el reporte trisemanal emitido para el ciclo de control en estudio revela que, de un total de 54 actividades programadas firmes en el frente de trabajo, únicamente se completaron 32, lo que consolida un PPC nominal del 59,25%. Desde la perspectiva de la gestión de operaciones, este valor del 59,25% evidencia un quiebre crítico en la confiabilidad de la planificación: casi el 41% de los compromisos asumidos semanalmente por la línea de supervisión terminaron en condición de incumplimiento (22 actividades rezagadas), inyectando una severa variabilidad y desorden logístico al flujo de trabajo en terreno.

1. CUMPLIMIENTO DEL TRISEMANAL

1.1. CUMPLIMIENTO GENERAL POR CANTIDAD DE TAREAS PROGRAMADAS

Disciplina	C	NC	Total Actividades	% Cumplimiento N° de Actividades
Instalación de Faenas	1	0	1	100%
Obras Minería	0	0	0	0
Obras Civiles	12	3	15	80%
Arquitecturas	0	0	0	0
Estructura-Mecánica	12	1	13	92%
Mecánica	0	0	0	0
Cañerías	0	0	0	0
Electricidad	6	18	24	25%
Puesta en Marcha	1	0	1	100%
TOTAL	32	22	54	59%

Imagen N°7-2: Registro de Actividades Cumplidas VS Actividades no Cumplidas en Trisemanal N°107

Al indexar estos resultados con las bitácoras de Causas de No Cumplimiento (CNC), se constata que la imposibilidad de ejecutar estas 22 tareas planificadas no se originó por deficiencias de rendimiento en la mano de obra, sino por la infiltración de frentes inmaduros que ingresaron a la semana firme arrastrando restricciones latentes de ingeniería, sismicidad y coordinación operativa.

Item	IWP	Tarea	Causa Primaria	Causa Secundaria	Nombre/Cargo Responsable	Detalle Causa	Responsable
1	IWP-126.0-09-F-001-002	Pintura - Epóxica piso - Sector Oficinas (incluye preparación y sellado) - En Obras de Arquitectura - Pila - Nivel de Transporte	Ingeniería y diseño	Ingeniería faltante	CODELCO	La respuesta de SDIAR-00025 es deficiente; se realizan preparativos para iniciar la actividad.	CODELCO
2	IWP-126.0-07-W-002-1002	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil - 023811TR00001-F1 - En Buzónes TOP-3AS y 8OP-3AS - Footprint - Nivel de Transporte - Desde 02372-CCM-04 - Puntos Punch XC-Z 29/30 (unión TGM) y XC-Z 35/36 (3501, 3502)	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Desfase por sismicidad en el polígono Post Evento 2025 durante la semana; se avanza en los trabajos afectados en Footprint.	CODELCO
3	0		Coordinación Operacional	Cambio de secuencia constructiva (Por temo)	SALFA	Se pronzan actividades en XC 5/6 y el término de puntos punch.	SALFA
4	IWP-126.0-07-W-002-1005	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil - 022721TR42-F1 - En Buzón TOP-3AS - Footprint - Nivel	Personal	Falta de mano de obra	CODELCO	Falta de custodios en NT2 y NT3 para la acometida de cable a la sala eléctrica.	CODELCO
5	IWP-126.0-07-W-002-1006	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil - 022721TR41-F1 - En Buzón 8OP-3AS - Footprint - Nivel	Personal	Falta de mano de obra	CODELCO	Falta de custodios en NT2 y NT3 para la acometida de cable a la sala eléctrica.	CODELCO
6	IWP-126.0-08-W-002-1015	Acometida de circuitos en Sala CCM - Tendido Cable - Fuerza - 1x4c 500 MCM - 022721TR50-F1 - En Buzón	Personal	Falta de mano de obra	CODELCO	Falta de custodios en NT2 y NT3 para la acometida de cable a la sala eléctrica.	CODELCO
7	0	UURR: Pedestal compresor fuera de SEE-02	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025 desde las 08:50 hasta el final del turno; el	CODELCO
8	0	Puntos Punch XC-Z 29/30 (unión TGM) y XC-Z 35/36 (3501, 3502)	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025 desde las 08:50 hasta el final del turno; el	CODELCO
9	IWP-126.0-07-W-002-1005	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil - 022721TR42-F1 - En Buzón TOP-3AS - Footprint - Nivel	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025 desde las 08:50 hasta el final del turno; el	CODELCO
10	IWP-126.0-07-W-002-1006	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil -	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
11	IWP-126.0-08-W-002-1016	Acometida de circuitos en Sala CCM - Tendido Cable -	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
12	IWP-126.0-09-F-002-038	Montaje Canalización - Conduit AG - 1" - 022147D1-01/1	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia	SALFA	Se avanza en el término de luminarias del	SALFA
13	IWP-126.0-07-L-002-1001	Tendido Cable (incluye conexiones) - Fuerza - 1x4c	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
14	IWP-126.0-09-W-002-004	Montaje Sistema de Alumbrado - Luminaria - Holophane	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia	SALFA	Se avanza en el término de luminarias del	SALFA
15	IWP-126.0-09-W-002-004	Montaje Sistema de Alumbrado - Luminaria - Holophane	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia	SALFA	Se avanza en el término de luminarias del	SALFA
16	IWP-126.0-08-W-002-1017	Acometida de circuitos en Sala CCM - Tendido Cable -	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
17	IWP-126.0-07-W-002-1005	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil -	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
18	IWP-126.0-07-W-002-1006	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°500 kcmil -	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
19	IWP-126.0-08-W-002-1017	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c 40 AWG - 022721TR52-	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Sismicidad en el polígono Post Evento 2025	CODELCO
20	IWP-126.0-07-L-002-1001	Tendido Cable (incluye conexiones) - Fuerza - 1x4c	Seguridad	Condición insegura	CODELCO	Desfase por sismicidad en el polígono Post	CODELCO
21	IWP-126.0-09-W-002-007	Tendido Cable - Fuerza - 1x4c N°12 AWG -	Coordinación Operacional	Cambio de secuencia	SALFA	Se avanza en el término de luminarias del	SALFA

Imagen N°7-3: Registro de CNC en Trisemanal N°107

7.2 Análisis de la Disociación Métrico-Temporal e Índices de Desempeño (EVM)

El análisis cruzado de los indicadores operativos de corto plazo frente a las métricas del Valor Ganado (EVM) macro devela el "punto ciego" más complejo en la gobernanza del contrato: la total disociación entre el avance físico de los hitos y el consumo del presupuesto de tiempo. Mientras el proyecto logra sostener un Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) macro del 0,94 debido a la alta concentración de Horas-Hombre invertidas en las áreas remanentes, la Curva S contractual arrastra la brecha de atraso real del -5,90% previamente sancionada (77,14% real vs. 83,04% programado) y el PPC operativo se desploma al 59,25%.

Esta condición estadística es el reflejo inequívoco del síndrome de "Optimización Local Ineficiente". La línea de supervisión, al verse bloqueada por restricciones macro no resueltas en los Paquetes de Trabajo de Construcción (CWP) de la ruta crítica, tendió de manera reactiva a sobrepoblar y concentrar los recursos únicamente en las 32 actividades del trisemanal que se consideraban "seguros" o de baja complejidad. Si bien esta práctica permitió consumir e imputar de forma masiva las HH del periodo —lo que maquilla el indicador SPI global y lo eleva artificialmente a un aparente 0,94—, postergó sistemáticamente las 22 actividades restantes que empujaban el verdadero avance físico del proyecto. Como consecuencia, el lazo de control macro del mandante reflejaba un ritmo de gasto continuo de recursos, mientras la producción real en terreno sufría un estado latente de parálisis estructural.

7.3 Determinación de Causas Raíz de las Brechas

Para determinar por qué la Curva S macro requirió una reprogramación estructural, se identifican tres familias de causas raíz que actuaron directamente sobre los CWP e IWP en interior mina.

- Coordinación Operacional: La falta de un mecanismo de control diario a nivel de granularidad micro (IWP) permitió la superposición

física de cuadrillas de distintas disciplinas en los mismos sectores geográficos (CWA/CWP). Esta interferencia mutua generó colas de espera logísticas y tiempos muertos que destruyeron la secuencia constructiva del montaje.

- Ingeniería y Diseño: Se constata la presencia de inconsistencias severas entre los planos detallados emitidos para construcción (EWP) y las condiciones geométricas reales de los frentes de la mina subterránea. Al no ser detectadas estas brechas en la matriz de restricciones del CWP antes de emitir los IWP a terreno, las cuadrillas se detuvieron abruptamente en espera de aclaraciones técnicas y respuestas a solicitudes de información (RFI).
- Seguridad y Sismicidad Dinámica: Los eventos sismológicos inherentes a la operación minera profunda de la División El Teniente actuaron como restricciones dinámicas imprevistas. El sistema de planificación tradicional no logró incorporar la velocidad y el impacto de estos eventos en su programación trisemanal, provocando el incumplimiento inmediato de los IWP que ya se encontraban en ejecución y con sus recursos asignados en terreno.

7.4 Diagnóstico de Causa Raíz: El “Punto Ciego” de la Granularidad

Para determinar con precisión el origen de las desviaciones en el proyecto CC-126, no basta con listar los problemas logísticos de forma aislada. Es necesario comprender la secuencia de transmisión del error. El descalce de granularidad identificado en el sistema de planificación opera como un multiplicador de la variabilidad, transmitiendo las restricciones desde la etapa de diseño macro hasta el frente de trabajo micro.

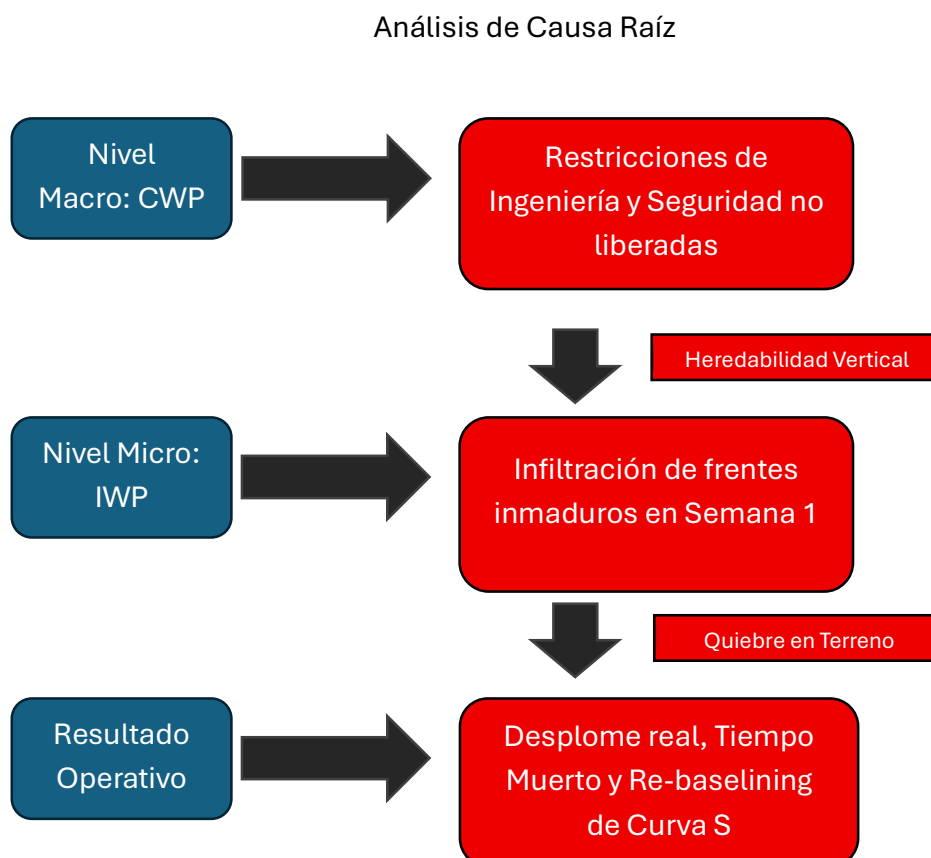


Imagen N°7-4: Análisis Causa Raíz

Las restricciones asociadas a coordinación, ingeniería y seguridad son identificadas de forma tardía a nivel macro (CWP). Al no existir un filtro intermedio auditable que descomponga estas variables en horizontes operacionales claros, se activa el principio de heredabilidad vertical, permitiendo que los IWP completamente inmaduros se infiltren de forma inadvertida en las actividades programadas de la semana firme (S1). El eslabón final de esta cadena se traduce en el quiebre físico en terreno: las cuadrillas detienen sus labores al encontrarse con una interferencia no resuelta, lo que genera una desviación severa en las HH programadas registradas en las bitácoras de Causas de No Cumplimiento (CNC). Al acumularse estos eventos, la organización se ve obligada a recurrir al re-baselining de la Curva S para sincerar el atraso global.

7.5 Impactos en los Plazos y la Productividad

7.5.1 Impacto en plazos: El traspaso de la incertidumbre a la ruta crítica

El impacto directo de no controlar las restricciones a nivel de granularidad IWP fue el retraso en cadena de las actividades en los distintos horizontes (Ventilación, Transporte y Drenaje). Aunque el proceso de re-baselining ajustó formalmente el cronograma, la desviación real del -5,90% restante impactó los hitos parciales del contrato, alterando de forma definitiva las ventanas de entrega de los entregables de construcción comprometidos con la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

7.5.2 Impacto en Productividad: Degradación de los Índices de Eficiencia en HH

La variabilidad no controlada y la falta de madurez de los frentes impactaron de manera directa la eficiencia de la mano de obra directa en el interior de la mina. Cada vez que un IWP ingresaba a la semana de ejecución (S1) arrastrando restricciones latentes, la secuencia de montaje se rompía, obligando a las cuadrillas a detenerse. Para intentar mitigar estos retrasos operativos, la organización del proyecto activó de forma reactiva la saturación de las dotaciones por turno en los frentes de trabajo

Desde la perspectiva del control de proyectos, esta sobrepoblación de personal en espacios restringidos de interior mina congestionó las áreas de operaciones, deprimiendo aún más la eficiencia individual (evidenciando un factor de productividad (PF) real global degradado de 1,31 frente al estándar estimado de 1,00). Como se constata cuantitativamente en los registros consolidados de la Gestión del Valor Ganado (EVM) vinculados estrictamente al alcance del contrato, el proyecto reporta un avance físico capitalizado de 579.064 HH Ganadas (EV) bajo el alcance de la línea base del PBC Rev. 2. Sin embargo, aislando las actividades adicionales y las horas por detenciones ajenas al plan contractual, el reporte de control operativo registra un consumo real de 757.535 HH Gastadas (AC) aplicadas directamente a dichas partidas.

Descripción	HH Ganadas	HH Gastadas	PF
Contrato Base Construcción	296.803	426.859	1,44
Subtotal Base Construcción + Obras Adicionales Aprobadas	296.803	426.859	1,44
Programa PCB Rev 0			
Instalaciones de Faena	20.602	28.884	1,40
Partidas Apoyo Puesta en Marcha y Gestión BIM	1.441	1.441	0,00
Obras Adicionales con Orden de Cambio (Adicionales)	153.890	168.246	1,09
Obras Adicionales con Orden de Cambio (Homologadas)	34.316	60.094	1,75
Obras Adicionales Indirectas con Orden de Cambio (Rev.2)	72.013	72.013	1,00
Programa PCB Rev 2	579.064	757.536	1,31
Obras Adicionales con Orden de Cambio	74.750	75.099	1,00
Obras Adicionales con Orden de Cambio Indirecta	5.570	4.970	0,89
Obras Adicionales Acordadas	13.878	18.424	1,33
Obras Adicionales Acordadas Indirectas	0	0	0,00
Obras Adicionales en Revisión	26.655	28.288	1,06
Obras Adicionales en Revisión Indirectas	43.369	43.369	1,00
Obras Adicionales en Preparación	0	0	0,00
Obras Adicionales Indirectas en Preparación	0	0	0,00
Otros Potenciales	11.171	11.171	1,00
Otros Potenciales Indirectos	0	0	0,00
Otros Gastos	89.576	104.394	1,17
Total Proyecto	844.032	1.043.251	1,24

Imagen N°7-5: Extracto HH Ganadas, HH Gastadas y PF de informe Weekly N°107

Matemáticamente, este escenario consolida un Índice de Desempeño del Costo (CPI) acumulado de 0,76 (0,764). Al contrastar de manera directa el esfuerzo humano invertido frente al avance neto efectivamente capitalizado, se evidencia un sobregasto neto directo de 178.471 HH que fueron absorbidas por las fricciones y tiempos muertos operacionales en terreno. De este modo, la ineficiencia logística capturada en las bitácoras semanales se transformó en una desviación financiera estructural, demostrando científicamente que el contrato opera con una pérdida del 23,6% en su productividad laboral planificada debido al descalce de granularidad en la liberación preventiva de restricciones antes del inicio del turno.

7.6 Matriz de Clasificación de Impacto por Tipo de Restricción

Como síntesis del proceso analítico de este capítulo, y con el propósito de establecer el puente metodológico hacia la propuesta de optimización de Workface Planning (WFP), se sistematizan las tres principales variables raíz de indisponibilidad identificadas:

Variable Raíz	Naturaleza de la Restricción	Predictibilidad en la Ventana de 21 días	Impacto Primario en el Sistema de Control
---------------	------------------------------	--	---

Coordinación Operacional	Endógena (Controlable)	Alta (Panificable entre contratos)	Derrumbe de la productividad del turno (Pérdida de PF) y generación de CNC en S1.
Ingeniería y Diseño	Mixta (Oficina Técnica / ITO)	Media (Requiere revisión previa de constructibilidad)	Paralización de IWP en terreno, solicitudes de información (RFI) y retraso de hitos civiles.
Seguridad y Sismicidad	Exógena (Incontrolable/Entorno)	Baja (Dinámica e impredecible en el largo plazo)	Bloqueo inmediato de frentes, obligando a reprogramaciones de emergencia y buffers de tiempo.

Tabla N°2: Clasificación de Restricciones

8 CAPITULO VIII: PROPUESTA DE MEJORA METODOLOGICA Y OPERATIVA BAJO EL ENFOQUE WORKFACE PLANNING (WFP)

Este capítulo presenta el diseño de un modelo operativo y metodológico basado en la disciplina de Workface Planning (WFP), estructurado específicamente para resolver el descalce de granularidad detectado en el proyecto CC-126. La propuesta se orienta a transformar el control reactivo tradicional en un sistema de Gestión Predictiva de Restricciones, aislando a los Installation Work Packages (IWP) de la variabilidad impuesta por los vectores de interferencias observados durante la fase de construcción.

8.1 Arquitectura del Modelo: El Flujo Predictivo de Restricciones (FPR)

8.1.1 Delimitación del alcance operativo: Focalización en las Restricciones de Alta Incidencia

Antes de detallar la arquitectura del modelo propuesto, es imperativo establecer una precisión metodológica respecto al diagnóstico del Capítulo III. Las tres variables raíz analizadas —Coordinación Operacional, Ingeniería y Diseño, y Seguridad y Sismicidad— no constituyen la totalidad de las restricciones registradas en las bitácoras del proyecto CC-126 durante su ciclo de vida.

Durante la fase de construcción coexistieron múltiples restricciones cotidianas de menor envergadura (tales como retrasos menores en consumibles o ausentismo menor de personal), las cuales forman parte de la variabilidad

inherente a cualquier obra de montaje. Sin embargo, aplicando un criterio de criticidad basado en el principio de Pareto, esta propuesta de mejora se enfoca exclusivamente en estas tres variables por ser los factores de mayor incidencia y severidad estructural en los frentes de trabajo.

Fueron estos tres vectores críticos los que, al carecer de un lazo de control preventivo, desencadenaron el sobregasto contractual de 178.471 HH y el consecuente déficit del 23,6% en la productividad planificada del contrato base. Por lo tanto, el modelo de WFP propuesto no busca saturar la gestión con micro restricciones anecdóticas, sino blindar el proyecto controlando de manera predictiva los componentes que realmente destruyen el valor del contrato.

8.2 Las Compuertas Operacionales del Flujo Predictivo

Para evitar de manera sistemática el ingreso de frentes inmaduros a la programación semanal y la consecuente saturación ineficiente de dotaciones por turno, el Flujo Predictivo de Restricciones (FRP) reconfigura la interacción entre el CWP y los IWP, introduciendo un lazo de control preventivo compuesto por tres compuertas analíticas secuenciales. Para evitar de manera sistemática el ingreso de frentes inmaduros a la programación semanal y la subsecuente caída del PPC nominal (el cual se desplomó al 59,25% en el modelo reactivo), el Flujo Predictivo de Restricciones (FPR) reconfigura la

interacción entre el CWP macro y los IWP micro, introduciendo un lazo de control preventivo compuesto por tres compuertas analíticas secuenciales:

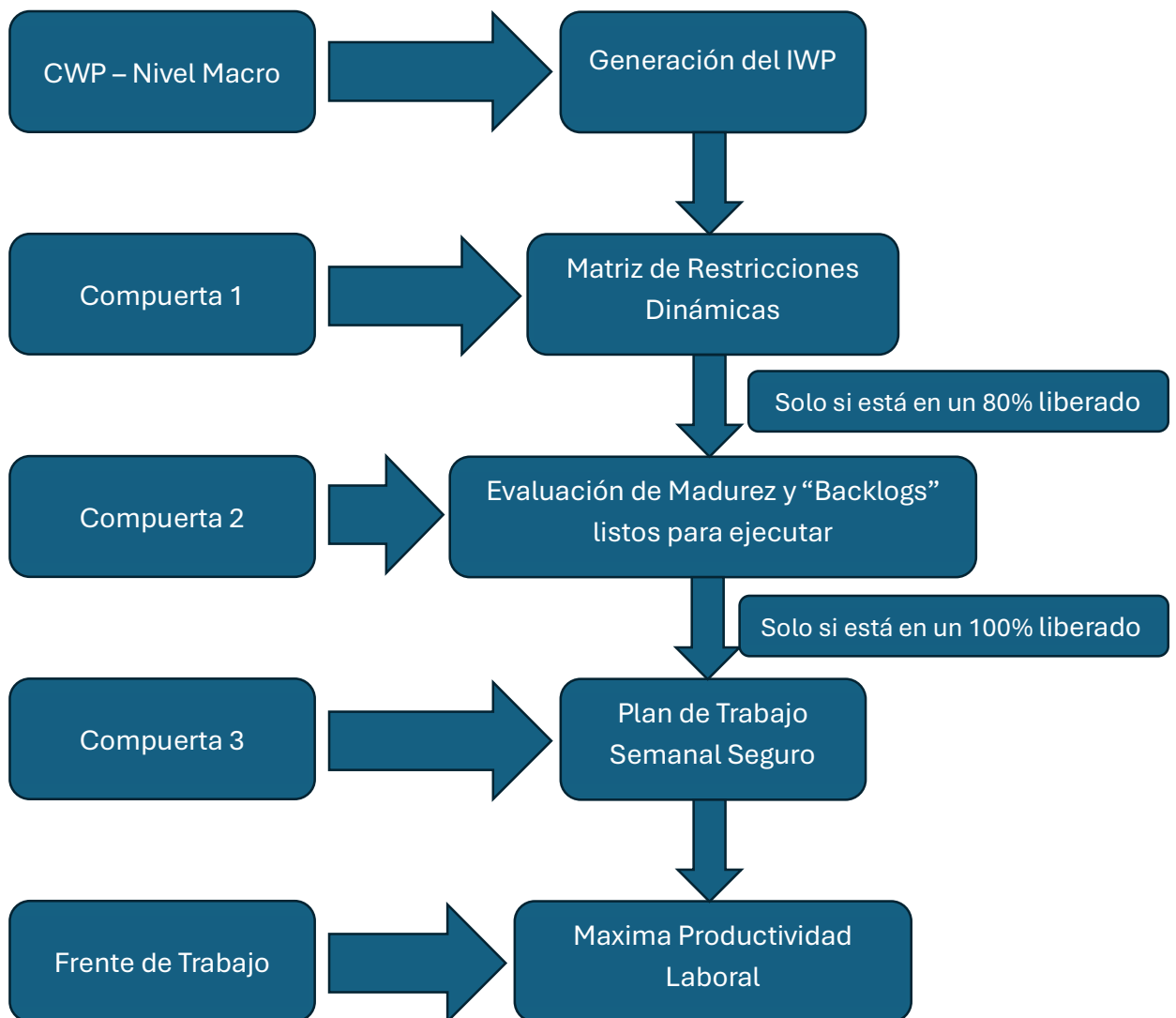


Imagen N°8-1: Compuertas del flujo predictivo

- **Compuerta Operacional 1 - Análisis Móvil de Restricciones (Ventana T-3 Semanas):** Cada IWP derivado de los distintos CWP es sometido a un tamizaje obligatorio donde se evalúan los factores de alta incidencia (planos, coactividad y accesos). Las restricciones se consolidan dinámicamente en el Constraint Log. Para avanzar a la siguiente etapa, el paquete debe registrar un mínimo del 80% de liberación en sus restricciones controlables
- **Compuerta Operacional 2 - Evaluación de Madurez y Blindaje (Ventana T-1 Semana):** A diferencia del sistema reactivo anterior — donde se programaban actividades asumiendo de forma optimista que las restricciones se liberarían en el camino—, el nuevo modelo establece que ningún IWP podrá formar parte de la planificación de la Semana Firmes (S1) si no cuenta con un 100% de liberación en sus restricciones controlables. Si el paquete no cumple este requisito, se retiene automáticamente en el Backlog de diseño, impidiendo la movilización en vano de personal y la saturación ineficiente de las dotaciones por turno.
- **Compuerta Operacional 3 - Plan de Trabajo Semanal Seguro (Semana Actual S1):** Al alimentar la semana de ejecución real únicamente con frentes certificados como libres de restricciones (Constraint-Free Backlog), el PPC nominal operativo se estabiliza en rangos de alta confiabilidad. El cumplimiento de corto plazo conversa

armónicamente con el avance físico real de la Curva S macro, protegiendo el rendimiento de la mano de obra directa.

8.3 Estandarización de Herramientas WFP para Factores de Alta Incidencia

Para operativizar la propuesta, se diseñan herramientas metodológicas estandarizadas a nivel de WFP que atacan directamente las causas raíz del déficit de productividad.

8.3.1 El “IWP Readiness Sheet” (Hoja de Madurez del IWP)

Un documento de control mandatorio propiedad del Workface Planner, el cual actúa como un "pasaporte" auditable para el frente de trabajo. Ninguna línea de supervisión en interior mina podrá iniciar el montaje de una partida sin la firma de este documento, el cual certifica que los materiales, los planos aptos para construir (AFC) actualizados y los accesos coordinados están físicamente disponibles en la Ventana T-1

8.3.2 Matriz de Intersección Espacial (Control de Coactividad)

Herramienta visual que mapea semanalmente en un plano esquemático los sectores de alta densidad operacional. Al cruzar los IWP de las distintas

especialidades, la matriz genera una alarma de "Coactividad Crítica" si detecta un sobrepaso en el límite de Horas-Hombre permitidas por metro cuadrado, forzando una reprogramación de micro secuencia antes de enviar al personal a terreno.

8.4 Ciclo Operativo de Maduración para IWP

Para asegurar de manera auditable que las dotaciones por turno operen únicamente en frentes de trabajo con alta productividad y constructibilidad resuelta, se establece un Ciclo de Maduración de IWP estructurado en cuatro etapas consecutivas y obligatorias:

- **Etap 1 – Filtrado Geográfico y Control de Coactividad (Ventana T-3):** El paquete de trabajo en estado preliminar ingresa a la primera compuerta operacional, donde se cruza con la programación concurrente de obras mediante la Matriz de Intersección Espacial. Si se detecta que dos cuadrillas distintas o contratos concurrentes requieren el mismo espacio físico de forma simultánea, el IWP se retiene de forma predictiva para evitar la congestión de las áreas operacionales.
- **Etap 2 – Validación y Conciliación Geométrica de Ingeniería (Ventana T-2):** La oficina técnica contrasta el alcance de diseño del paquete de ingeniería (EWP) con los planos aprobados para construcción (AFC) y las condiciones topográficas reales de la obra.

Esta revisión sistemática detiene tempranamente aquellos paquetes que arrastran inconsistencias geométricas o de diseño, gatillando las correspondientes Solicitudes de Información (RFI) de manera oportuna.

- **Etapa 3 – Aseguramiento de Recursos e Indicadores de Seguridad (Ventana T-1):** Se verifica la disponibilidad física de los suministros críticos en bodega, así como de las herramientas especiales, equipos de izaje y los Análisis Seguros de Trabajo (AST) vigentes. El Workface Planner recopila estas aprobaciones en terreno y procede al llenado formal de la IWP Readiness Sheet. Si el paquete no alcanza un 100% de liberación de restricciones controlables, es denegado para la programación semanal, impidiendo la movilización ineficiente de personal.
- **Etapa 4 – Emisión Firme y Ejecución en Terreno (Semana Actual S1):** Únicamente los paquetes de trabajo certificados como libres de restricciones (Constraint-Free Backlog) ingresan al programa trisemanal operativo firme y son entregados formalmente al equipo de construcción. Al ejecutar tareas con su logística resuelta, se elimina el riesgo de detenciones forzadas, permitiendo que el CPI retorne a su umbral de eficiencia planificado ($>1,0$)

8.5 Matriz de Responsabilidades (RACI) para la Gestión de Restricciones

Para operativizar el nuevo Flujo Predictivo de Restricciones (FPR) y asegurar que cada vector de variabilidad sea gestionado y mitigado por el actor contractual adecuado, se establece la siguiente matriz de asignación de responsabilidades dentro de la estructura organizativa del proyecto:

Definición de roles:

R: Responsable de la ejecución (*Responsible*).

A: Responsable último de la aprobación (*Accountable*).

C: Consultado (*Consulted*).

I: Informado (*Informed*)

Actividad / Hito del Ciclo de Maduración	Administrador de Contrato	Workface Planner	Jefe de Terreno	Oficina Técnica (Contratista)	Inspección Técnica / Mandante (ITO)
Identificación de restricciones en Ventana T-3	I	A	R	R	C
Resolución de Interferencias / Co-actividad	C	R	R	C	A
Conciliación Geométrica de Ingeniería (T-2)	I	C	I	R	A / C
Validación de Materiales y Recursos (T-1)	I	A	R	R	I
Firma del "IWP Readiness Sheet"	I	R	C	C	I
Aprobación del Plan de Trabajo Semanal (S1)	A	R	R	C	C

Tabla N°3: Modelo RACI para la gestión de restricciones

8.6 Cuantificación del Impacto Esperado y Retorno de la Implementación (ROI)

La implementación del modelo WFP y su Flujo Predictivo de Restricciones constituye una estrategia de mitigación financiera directa para futuros proyectos equivalentes o saldos de obra del contrato. Para proyectar el impacto económico de la propuesta, se realiza un análisis de sensibilidad

sobre el balance final de HH del contrato, aislando el escenario degradado actual frente al escenario optimizado con WFP

8.7 Recuperación del Índice de Desempeño del Costo de Mano de Obra

Como se demostró en el diagnóstico del Capítulo III, el proyecto operó contractualmente con un CPI de 0,76 (0,764), lo que significó que por cada hora invertida en terreno solo se capitalizó el 76% en avance físico real debido a las interferencias operacionales.

Al asegurar mediante la herramienta de IWP Readiness Sheet que el 100% de los paquetes de trabajo ingresen a la planificación semanal completamente libres de restricciones, el modelo elimina de la ruta crítica los tiempos muertos por esperas logísticas y los trabajos rehechos. Metodológicamente, la literatura internacional del Construction Industry Institute (CII) y las experiencias en contratos similares de Codelco estiman que un ecosistema WFP maduro estabiliza el CPI en un rango de 0,95 a 1,02. Para efectos conservadores de esta investigación, se proyecta un escenario de estabilización con un CPI = 0,98 para los saldos de obra o proyectos equivalentes bajo este estándar.

Aplicando la fórmula de mitigación sobre las 757.535 HH reales invertidas en el contrato base:

$$\Delta HH \text{ Recuperadas} = HH \text{ Gastadas Actual} - \frac{HH \text{ Ganadas}}{\text{Nuevo } CPI}$$

$$\Delta \text{HH Recuperadas} = 757.535 - \frac{579.064}{0,98} = 757.535 - 590.881 = \mathbf{166.654 \text{ HH}}$$

Este diferencial demuestra que el lazo de control preventivo del WFP tiene el potencial teórico de mitigar y recuperar 166.654 HH del sobregasto contractual, lo que equivale a rescatar un 93,3% del déficit total de productividad (178.471 HH) provocado originalmente por la variabilidad en la liberación de restricciones.

8.8 Resumen Comparativo de Escenarios Operacionales

Para sintetizar el beneficio de la transición metodológica propuesta, se contrastan los indicadores clave de rendimiento (KPI) en la siguiente tabla:

Indicador de Gestión (KPI)	Enfoque Reactivo Tradicional (Línea Base Histórica)	Enfoque Predictivo Propuesto (Modelo WFP)	Impacto y Beneficio Operativo Inmediato
Ingreso de frentes a programa	Por intuición o presión de plazo (Frentes inmaduros)	Restringido por la <i>Compuerta T-1</i> (100% Libre)	Eliminación de detenciones forzadas de cuadrillas.
Porcentaje de Plan Completado (PPC)	59,25% (Alta Variabilidad y compromisos fallidos)	85% - 92% (Predictibilidad real y confiable)	Sincronización real entre el programa semanal y la Curva S.
Dotación de frentes de trabajo	Saturación reactiva por turno (Congestión y pérdidas de eficiencia)	Dimensionamiento óptimo por capacidad del IWP	Mejora en las condiciones de seguridad y rendimientos individuales.
Factor de Rendimiento global (PF)	1,31 (Eficiencia deprimida, sobregasto severo)	1,02 (Cercano al estándar planificado)	Control de la variabilidad y estabilización de rendimiento en interior mina
Métrica de Costo Laboral (CPI)	0,76	0,98	Reducción drástica del déficit productivo del contrato, del 23,6% al 2%

Tabla N°4: KPI de comparación teórica entre Línea Histórica y Propuesta de Mejora

9 CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones de la Investigación

A partir del desarrollo analítico de esta investigación y en estricto cumplimiento de los objetivos planteados para el contrato de montaje electromecánico CC-126 en el proyecto Andes Norte - Nuevo Nivel Mina, se presentan las siguientes conclusiones:

9.1.1 Conclusión Objetivo Específico 1 (Caracterización de la estrategia AWP)

La caracterización de la estrategia de implementación de Advanced Work Packaging (AWP) en el proyecto permitió identificar que la organización disponía de una estructura macro definida para la formulación de los paquetes de alcance. No obstante, el análisis de los mecanismos de planificación inicial sugiere la existencia de una brecha en la articulación entre los paquetes de nivel superior y la ejecución en el frente de trabajo. Si bien el modelo conceptual de AWP promovía la alineación entre ingeniería y suministros, los antecedentes analizados indican que la ausencia de instancias intermedias y auditables de control operativo pudo haber incidido en el traspaso de restricciones no resueltas hacia la programación de corto plazo.

9.1.2 Conclusión al Objetivo Específico 2 (Sistematización de registros de planificación y control)

La sistematización e integración de los registros de control del contrato bajo el marco del Programa Base de Construcción (PBC) Rev. 2 facilitó el contraste entre los instrumentos de seguimiento macro y microoperacionales. El análisis conjunto de la planificación base, las Curvas S, los Reportes Trisemanales y las bitácoras de Causas de No Cumplimiento (CNC) sugiere la presencia de una disociación métrica entre el avance reportado a nivel global y el desempeño operativo en terreno. La evidencia analizada indica que los sistemas tradicionales de control de recursos no capturaban con suficiente granularidad las interferencias previas en la liberación de los Installation Work Packages (IWP), lo que se asocia a la falta de métricas para evaluar la madurez previa de los frentes de trabajo antes de autorizar el inicio de los turnos en interior mina.

9.1.3 Conclusión al Objetivo Específico 3 (Análisis de desviaciones, causas raíz e impactos)

La cuantificación de las brechas del proyecto y sus impactos permitió dimensionar las desviaciones en plazos y uso de recursos. Los registros analizados muestran una relación consistente entre la presencia de restricciones no resueltas y la reasignación operativa de recursos hacia actividades alternativas, fenómeno afín al concepto de "optimización local". Ante frentes con interferencias en la secuencia principal, la concentración de

recursos en tareas secundarias se asoció a un Porcentaje de Plan Completado (PPC) nominal del 59,25% (32 de 54 actividades completadas), mientras que el indicador global de cronograma (SPI) se situó en 0,94 debido al volumen de horas acumuladas. Asimismo, las detenciones vinculadas a coactividad, ingeniería y sismicidad coincidieron con un Factor de Productividad (PF) real de 1,31. Bajo la metodología del Valor Ganado (EVM), el contrato registró un CPI de 0,76, con un consumo de 757.535 HH reales frente a 579.064 HH ganadas, lo que representó una brecha de 178.471 HH (equivalente a una menor eficiencia del 23,6% respecto a la línea base) y una desviación de -5,90% en la Curva S contractual.

9.1.4 Conclusión al Objetivo Específico 4 (Propuesta de mejoras operativas a nivel WFP)

A partir de las brechas identificadas, se formuló una propuesta metodológica en el marco de Workface Planning (WFP), estructurada en torno a un Flujo Predictivo de Restricciones y herramientas de apoyo como el IWP Readiness Sheet y la Matriz de Intersección Espacial. El esquema plantea compuertas de control en las ventanas T-3 y T-1 (con un criterio de liberación del 100% para variables controlables), con el propósito de mitigar la incidencia de tiempos muertos e interferencias en la ruta crítica. Los análisis de sensibilidad y proyecciones basadas en estándares de la industria sugieren que una estabilización del desempeño del costo en un $CPI = 0,98$ presentaría un

potencial teórico de recuperación de hasta 166.654 HH, lo que equivaldría a reducir en cerca de un 93,3% la brecha de horas observada en el contrato en estudio.

9.1.5 Respecto al Objetivo General (Evaluación global del desempeño de la metodología AWP):

Como conclusión general de la investigación, la evaluación del desempeño de la metodología AWP en el contrato CC-126 indica la existencia de una brecha en la etapa de ejecución operativa en el frente de trabajo, a pesar de la articulación formal de los paquetes macro en la planificación inicial. Los resultados sugieren que los beneficios esperados de AWP se encuentran estrechamente vinculados a la rigurosidad operativa de su última milla (WFP). En el caso estudiado, las dificultades en la gestión y liberación oportuna de restricciones a nivel de granularidad IWP se asociaron con una menor efectividad de la paquetización superior, coincidiendo con una diferencia de 178.471 HH respecto al presupuesto base y un desempeño de costo equivalente a un CPI de 0,76 (PF = 1,31). En respuesta a este diagnóstico, se formuló una propuesta metodológica a nivel de Workface Planning (WFP) estructurada en torno a un Flujo Predictivo de Restricciones (FPR) y herramientas estandarizadas de soporte (compuestas operacionales T-3/T-1 e IWP Readiness Sheet). Mediante análisis de sensibilidad sustentados en estándares de la industria, se proyectó que la incorporación de estos filtros

preventivos presenta el potencial teórico de estabilizar el CPI en torno a 0,98, lo que equivaldría a mitigar hasta 166.654 HH de la brecha observada en el contrato en estudio. Se concluye, por tanto, que la efectividad de AWP en obras de infraestructura minera subterránea profunda requiere de mecanismos de gobernanza que fortalezcan la preparación previa de los frentes de trabajo, promoviendo la liberación verificable y auditable de las restricciones operacionales antes del inicio de las faenas.

9.2 Recomendaciones para la Industria y Futuras Líneas de Investigación

- **Institucionalizar el Rol del Workface Planner:** Se sugiere mandatar contractualmente la incorporación de la figura del Workface Planner dentro de la organización del contratista. Este rol debe actuar de forma independiente a la presión de la producción diaria, teniendo la autoridad jerárquica para vetar y retener en el Backlog aquellos IWP que no cumplan con el 100% de madurez en la ventana T-1
- **Vincular el Pago de Hitos Contractuales al Estado de Madurez de los CWP:** Se recomienda al mandante (Vicepresidencia de Proyectos de Codelco) transicionar desde un modelo de pago basado exclusivamente en avance físico plano hacia un modelo de incentivos vinculado a la madurez de la planificación. Condicionar la liberación de frentes a la entrega anticipada de paquetes de ingeniería (EWP) y suministros certificados rompe la inercia del traspaso vertical de incertidumbre.
- **Digitalización y Automatización de la Matriz de Intersección Espacial:** Es clave migrar el control de coactividad desde planillas estáticas hacia plataformas de modelamiento 4D (BIM integrado al cronograma). Automatizar las alertas de interferencia espacial en la ventana T-3 optimizará la toma de decisiones antes de que las cuadrillas inicien el turno en interior mina.

- Capacitación temprana y cambio cultural en la línea de supervisión: Es perentorio diseñar e implementar un programa de gestión del cambio y capacitación técnica temprana dirigido específicamente a la línea de supervisión directa (Jefes de Área, Supervisores y Capataces). Es necesario transformar la cultura operativa tradicional de "avanzar a como dé lugar" —la cual gatilló la sobrepoblación ineficiente de los frentes— hacia una cultura basada en la disciplina de ejecución bajo el estándar WFP. La supervisión debe internalizar que respetar las compuertas de control y no iniciar frentes inmaduros es la única vía para proteger la seguridad, asegurar el cumplimiento del programa trisemanal y erradicar los tiempos muertos en interior mina.

BIBLIOGRAFIA

- Ballard, H. (2000). The Last Planner System of Production Control [Tesis de doctorado, University of Birmingham]. Institutional Repository of University of Birmingham.
- Construction Industry Institute. (2013). Advanced Work Packaging: Research Summary 272-1. The University of Texas at Austin.
- Construction Industry Institute. (2015). Transforming the Industry: Advanced Work Packaging Implementation Guide (Implementation Resource 272-2, Vol. 1-3). The University of Texas at Austin.
- Corporación Nacional del Cobre de Chile. (2018). Proyecto Estructural Andes Norte – Nuevo Nivel Mina: Modelo Geológico y Estrategia de Explotación. Vicepresidencia de Proyectos, CODELCO.
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). Earned Value Project Management (4.^a ed.). Project Management Institute.
- Hamdi, O. (2013). Advanced Work Packaging: Highlighting the Concepts, Insights, and Stakeholders' Perspectives. Construction Industry Institute.
- Long International. (2020). Introduction to CII's Advanced Work Packaging – An Industry Best Practice. Long International, Inc.
- Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7.^a ed.). Project Management Institute.

- Salfa Montajes S.A. (2024). Estándar de Gestión y Control de Proyectos: Planificación bajo Metodología AWP y WFP. Vicepresidencia de Operaciones, Salfa Montajes S.A.
- Salfa Montajes S.A. (2026). Informe Semanal de Avance y Control de Proyecto: Contrato CC-126 "Construcción y Montaje Infraestructura Mina Niveles Inferiores NV-NT-ND" (Informe Técnico N.º 107). CODELCO Vicepresidencia de Proyectos.

ANEXO N° 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

- Actual Cost (AC / Costo Real): Métrica de la Gestión del Valor Ganado (EVM) que representa el volumen real de Horas-Hombre (*HH*) o recursos monetarios consumidos para ejecutar las actividades en un periodo determinado.
- Advanced Work Packaging (AWP): Metodología integral de flujo de trabajo alineado que abarca desde la ingeniería temprana hasta la puesta en marcha, dividiendo el alcance del proyecto en paquetes ejecutables para mejorar la productividad y predictibilidad.
- Construction Work Area (CWA): Macro división geográfica o espacial de un proyecto que actúa como el primer nivel de descomposición AWP.
- Construction Work Package (CWP): Paquete de trabajo de nivel medio que define un alcance específico de construcción por disciplina técnica dentro de una CWA, respaldado por presupuesto en *HH*, programa y criterios de calidad.
- Cost Performance Index (CPI / Índice de Desempeño del Costo): Métrica EVM dada por la razón EV/AC . Un $CPI < 1,0$ indica sobregasto de horas respecto al avance real capitalizado.

- Earned Value (EV / Valor Ganado): Cuantificación del avance físico real de la obra expresado en términos del presupuesto de *HH* autorizado para ese trabajo.
- Engineering Work Package (EWP): Paquete de ingeniería detallada (planos AFC, especificaciones, BIM) diseñado para dar soporte a un CWP homólogo.
- Installation Work Package (IWP): Unidad mínima de ejecución en terreno asignada a una sola cuadrilla para un horizonte de 1 a 2 semanas (500 a 1.000 *HH*).
- Path of Construction (POD): Sesiones interactivas de planificación donde se define la secuencia lógica y óptima de construcción antes de congelar los diseños de ingeniería.
- Planned Value (PV / Valor Planificado): Presupuesto autorizado de *HH* asignado al trabajo programado en la línea base para un periodo dado.
- Porcentaje de Plan Completado (PPC): Indicador de confiabilidad de la planificación de corto plazo, calculado como el porcentaje de tareas ejecutadas frente a las programadas en la semana.
- Schedule Performance Index (SPI / Índice de Desempeño del Cronograma): Métrica EVM dada por EV/PV . Un $SPI < 1,0$ indica atraso físico respecto a la línea base.

- Tool Time (Tiempo de Herramienta en Mano): Porcentaje de la jornada laboral en que los trabajadores ejecutan trabajo directo de montaje, excluyendo esperas, traslados o búsqueda de materiales.
- Workface Planning (WFP): Proceso táctico de la "última milla" de AWP encargada de la preparación, gestión de restricciones y entrega de los IWP directamente a las cuadrillas en el frente de trabajo.