



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO IBBS A CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN DE  
ALTA COMPLEJIDAD EN PROYECTO MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEO  
– CODELCO CHILE.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE  
EMPRESAS**

**ALEJANDRA FABIOLA AGUILERA ROJAS**

**PROFESOR GUÍA:  
IVÁN BRAGA CALDERON**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ENRIQUE SILVA RAMOS  
MANUEL ROJAS VALENZUELA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2021**

## **EVALUACIÓN DEL MÉTODO IBBS A CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN DE ALTA COMPLEJIDAD EN PROYECTO MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEO – CODELCO CHILE.**

Los desafíos de la industria minera del cobre en Chile en materia de productividad se han vuelto cada día más relevante y vital, ya que de ello depende la sustentabilidad de la industria en el largo plazo.

En particular, CODELCO se está transformando tecnológica y culturalmente para hacer frente a escenarios cada vez menos auspiciosos, con operaciones mineras antiguas, con la caída permanente de sus leyes de mineral, unido además a un deterioro de sus instalaciones, donde la ejecución de proyectos juega un rol importantísimo a través del desarrollo de proyectos estructurales para extender la vida útil de los yacimientos por otros 40 a 50 años<sup>1</sup>, con altos estándares medioambientales e incrementando la productividad para cumplir con los actuales niveles de producción de 1,7 millones de toneladas de cobre fino anuales.

Para ello la ejecución de proyectos debe cumplir la promesa de valor en la ejecución de sus contratos, para que una vez adjudicados los aumentos de montos, plazos y nuevos alcances que se incorporan a través de órdenes de cambio, sea posible poder prever con anticipación, el verdadero impacto de estos crecimientos en la productividad de la mano de obra, de tal manera de no afectar su promesa de valor.

En la Vicepresidencia de proyectos, no existe una metodología que permita evaluar este riesgo de crecer de manera sostenida en un contrato, tampoco se conoce el impacto de incorporar tardíamente órdenes de cambio a sus contratos, es por ello que la finalidad del presente trabajo, es medir la pérdida de productividad por órdenes de cambio a contratos de construcción del Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, mediante el Método teórico de IBBS, como una herramienta complementaria a los estándares de productividad de la VP para sus contratos.

Lo anterior, permitirá contar con herramientas complementarias de apoyo al área de gestión de contratos, con el fin controlar y monitorear de manera más precisa y oportuna el impacto de la incorporación de órdenes de cambios a los contratos, comprendiendo las ventajas de tener dicho control en una etapa temprana versus la incorporación tardía del cambio, ya que podría implicar un aumento en la improductividad laboral, debido a la reestructuración y ajustes de incorporar nuevas partidas sucesivas a lo largo de la ejecución de los contratos.

---

1

[https://www.codelco.com/prontus\\_codelco/site/artic/20200701/asocfile/20200701141033/codelco\\_reporte2019.pdf](https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20200701/asocfile/20200701141033/codelco_reporte2019.pdf)

## Tabla de contenido

<b>CAPÍTULO N°1: INTRODUCCION</b> .....	1
1.1 <b>ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO</b> .....	3
1.2 <b>OBJETIVOS</b> .....	4
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivo específicos</i> .....	4
1.3 <b>ALCANCE DE TRABAJO</b> .....	5
1.3.1 <i>Limitaciones de la tesis:</i> .....	5
1.4 <b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	6
<b>CAPÍTULO N°2: MARCO CONCEPTUAL</b> .....	8
2.1 <b>CONTRATO Y SUS RIESGOS</b> .....	8
2.1.1 <i>Tipos de conflictos</i> .....	8
2.2 <b>DEL EFECTO DE LAS OBLIGACIONES PARA MODIFICACIONES EN LOS CONTRATOS</b> .....	9
2.3 <b>DEL EFECTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA GRAN MINERÍA, SEGÚN INFORME DE LA COMISIÓN CHILENA DE PRODUCTIVIDAD (2017)</b> .....	10
2.4 <b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE IMPRODUCTIVIDAD LABORAL DE LA MANO DE LA OBRA</b> .....	11
2.4.1 <i>Método de Agrupación Estadística</i> .....	12
2.4.2 <i>Método de la Milla Medida</i> .....	13
2.4.3 <i>Método del Costo Total</i> .....	13
2.4.4 <i>Método del Costo Total Modificado</i> .....	14
2.4.5 <i>Análisis del Valor Ganado</i> .....	14
2.4.6 <i>Factores de la MCAA</i> .....	15
2.5 <b>MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE IMPRODUCTIVIDAD LABORAL SEGÚN IBBS</b> .....	16
2.5.1 <i>Justificación A priori de la elección del método</i> .....	16
2.5.2 <i>Marco teórico del método IBBS</i> .....	16
2.5.3 <i>Descripción del método IBBS</i> .....	19
2.5.4 <i>Metodología de investigación de IBBS</i> .....	20
2.5.5 <i>Resultados de la investigación de IBBS</i> .....	20
2.5.5.1    Tasa de cambios acumulados .....	21
2.5.5.2    Productividad de la construcción frente a la incorporación de cambios .....	22
2.5.5.3    Curvas de temporalidad de cambios .....	23
<b>CAPÍTULO N°3: PRODUCTIVIDAD EN CODELCO</b> .....	28
3.1 <b>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b> .....	28
3.2 <b>ANTECEDENTES DE PRODUCTIVIDAD EN CODELCO</b> .....	31
3.3 <b>¿CÓMO SE MIDE LA PRODUCTIVIDAD EN CODELCO?</b> .....	32
3.4 <b>FILOSOFÍA LEAN FULL POTENCIAL (C+): EXCELENCIA OPERACIONAL</b> .....	32
3.5 <b>DIMENSIONES C+</b> .....	33
3.6 <b>PRINCIPALES RESULTADOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE CODELCO (2019)</b> .....	34

3.7	PRODUCTIVIDAD EN LA VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS EN CODELCO .....	35
3.7.1	<i>Contexto estratégico</i> .....	35
3.7.2	<i>Modelo de gestión de productividad (MGP)</i> .....	36
3.8	PRODUCTIVIDAD EN EL PROYECTO MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA- UN CASO DE ÉXITO..	41
3.8.1	<i>Descripción del PMCHS</i> .....	41
3.8.2	<i>Implementación del MGP en el PMCHS</i> .....	41
3.8.3	<i>Mejora continua y búsqueda de aporte de valor desde la gestión de contratos a la productividad</i> .....	44
<b>CAPÍTULO N°4: PRODUCTIVIDAD LABORAL EN CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS MINEROS</b> .....		46
4.1	CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD. ....	46
4.2	ENFOQUE DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL DE LA MANO DE OBRA. ....	47
4.3	FACTORES QUE CAUSAN PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD LABORAL EN UNA OBRA DE CONSTRUCCIÓN. 47	
4.3.1	<i>Factores externos</i> .....	48
4.3.2	<i>Factores internos</i> .....	48
4.3.3	<i>Factores operacionales</i> .....	49
4.4	DEL EFECTO DE LAS ÓRDENES DE CAMBIO EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL .....	50
<b>CAPÍTULO N°5: GESTIÓN DE CONTRATOS EN LA VP</b> .....		53
5.1	GESTIÓN DE CAMBIOS EN CONTRATOS EN LA VP .....	53
5.1.1	<i>Detectar el potencial Cambio</i> .....	53
5.1.2	<i>Informar el potencial cambio</i> .....	54
5.1.3	<i>Registrar, categorizar y estimar potencial cambio</i> .....	54
5.1.4	<i>Reunión de revisión de potenciales cambios</i> .....	54
5.1.5	<i>Evaluación para acción de mitigación</i> .....	55
5.1.6	<i>Aprobación del potencial cambio por el gerente del proyecto</i> .....	56
5.1.7	<i>Cambio clasificado como “cambio de alcance significativo o relevante”</i> .....	56
5.1.8	<i>Requerimiento de información para emitir nota de cambio</i> .....	56
5.1.9	<i>Entrega de la información requerida para solicitar cotización al Contratista</i> .....	57
5.1.10	<i>Envío de nota de cambio al Contratista</i> .....	57
5.1.11	<i>Valorización del cambio por el Contratista</i> .....	57
5.1.12	<i>Revisión de la valorización presentada por el Contratista</i> .....	57
5.1.13	<i>Preparación y envío de SAM</i> .....	58
5.1.14	<i>Orden de cambio (OC)</i> .....	59
5.2	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE AVANCE FÍSICO.....	60
5.3	REPORTE DE ENTREGA DIARIA.....	61
5.2.1	<i>Definiciones de horas de operación</i> .....	62
<b>CAPÍTULO N°6: ANÁLISIS DE CASOS PARA LOS PRINCIPALES CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN CON EL MÉTODO IBBS</b> .....		64

6.1	INTRODUCCIÓN.....	64
6.2	CASO N°1: CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE REDES ELÉCTRICAS, SUBESTACIONES PRINCIPALES Y PIPING INTERIOR MINA Y SUPERFICIE. ....	65
6.2.1	<i>Descripción general del servicio</i> .....	65
6.2.2	<i>Acceso frentes de trabajo</i> .....	66
6.2.3	<i>Equipos de construcción</i> .....	67
6.2.4	<i>Dotación directa total contratada</i> .....	68
6.2.5	<i>Evolución de estados de pagos</i> .....	68
6.2.6	<i>Registro de cambios al contrato</i> .....	69
6.2.7	<i>Cálculo del Porcentaje de cambio</i> .....	71
6.2.8	<i>Determinación de la Curva de Productividad</i> .....	72
6.3	CASO N°2: OBRAS CIVILES Y MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PRINCIPAL.....	74
6.3.1	<i>Descripción General del Servicio</i> .....	74
6.3.2	<i>Implementación del modelo de productividad</i> .....	75
6.3.3	<i>Aplicación Método IBBS</i> .....	76
6.4	RESUMEN COMPARATIVO DE CONTRATOS ANALIZADOS CON IBBS .....	79
6.5	LIMITACIONES Y DEBILIDADES METODOLOGÍA IBBS.....	83
CAPÍTULO N°7: PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO IBBS COMO HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA LA GESTIÓN DEL CAMBIO.....		86
CAPÍTULO N°8: CONCLUSIÓN .....		93
CAPÍTULO N°9: BIBLIOGRAFÍA .....		98
9.1	ANEXOS .....	99
	<i>Anexo N°1: Modelos de la gestión de cambio VP</i> .....	99

## **Índice de Ilustraciones**

Ilustración 1 : Ejes estratégicos de la agenda estratégica de prod y costos 2020.....	31
Ilustración 2: Dimensiones C+ .....	33
Ilustración 3: Modelo de gestión de productividad en la vp (mgs).....	37
Ilustración 4: Lean full potential para proyectos VP-CODELCO.....	38
Ilustración 5: Diagrama constructivo estudio caso contrato N°1.....	66
Ilustración 6: Acceso frentes de trabajo contrato N°1 .....	67
Ilustración 7: Diagrama constructivo estudio caso contrato N°2.....	75
Ilustración 8: Ciclo de un sprint (time box).....	88
Ilustración 9: Incremento de un Sprint .....	89
Ilustración 10: Ciclo de un Sprint .....	90

## **Índice de Tablas**

Tabla 1: Benchmark desarrollos mineros .....	43
Tabla 2: Ejemplo ponderación de actividades constructivas para medir avance físico en un contrato.....	61
Tabla 3: Medición de horas de operación dentro de un contrato PMCHS.....	62
Tabla 4: Distribución de horas hombre caso N°1 .....	65
Tabla 5: Revisión de estados de pagos según avance físico acumulado .....	69
Tabla 6: Resumen estados de pago caso N°1 .....	69
Tabla 7: HH Actividades críticas contrato caso N°1 .....	70
Tabla 8: Registro crecimiento de contrato en horas hombre. ....	71
Tabla 9: Resumen curvas IBBS contrato caso N°1 .....	72
Tabla 10: Resumen estados de pago caso N°2 .....	76
Tabla 11: Resumen curvas IBBS contrato caso N°2.....	76
Tabla 12: Tabla comparativa casos N°1 y N°2.....	80
Tabla 13: Detalle de eventos de un sprint .....	89
Tabla 14: Modelo de notificación de cambio. ....	99
Tabla 15: Modelo solicitud autorización modificación contrato (SAM).....	100
Tabla 16: Modelo de orden de cambio .....	101

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1: Tasa de cambios acumulados.....	22
Gráfico 2: Productividad de la construcción versus cambio de proyecto.....	23
Gráfico 3: Curvas de temporalidad de cambios (ibbs and mceniry, 2008) .....	24
Gráfico 4: Evolución productividad 2014-2019 .....	34
Gráfico 5: Medición de avance contrato minero .....	42
Gráfico 6 : Performance factor (PF) proyecto Chuquicamata subterráneo.....	42
Gráfico 7: PF histórico en PMCHS.....	43
Gráfico 8: Evolución contratos mineros PMCHS .....	43
Gráfico 9: Acreditación dotación PMCHS .....	44
Gráfico 10: Curva dotacional contrato caso N°1.....	68
Gráfico 11: Curva avance prog. v/s real actividad enfierradura contrato caso N°2.....	79

## **Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1: Indicador de Productividad semanal.....	12
Ecuación 2: Costo total de Mano de obra reclamada.....	14
Ecuación 3: Costo total modificado .....	14
Ecuación 4: Porcentaje de cambio de una obra .....	24
Ecuación 5: Cálculo de la curva temprana de IBBS.....	25
Ecuación 6: Cálculo de la curva normal de IBBS .....	25
Ecuación 7: Cálculo de la curva tardía de IBBS.....	25
Ecuación 8: Cálculo pérdida de productividad IBBS .....	25
Ecuación 9: Índice de productividad .....	46
Ecuación 10: Índice de Productividad Mano de Obra .....	47
Ecuación 11: Porcentaje de cambio Caso N°2.....	77
Ecuación 12: Índice de Productividad Caso N°2 .....	77
Ecuación 13: Porcentaje de Cambio Caso N°2.....	77
Ecuación 14: Curva IBBS Normal Caso N°2 .....	78
Ecuación 15: Porcentaje de Pérdida de Productividad Caso N°2.....	78

## **CAPÍTULO N°1: INTRODUCCION**

La minería en general y en especial la minería de cobre, ha llegado a ser el sector más activo en el desarrollo de la economía chilena, debido al monto de sus inversiones y la magnitud alcanzada en la producción de cobre, donde CODELCO cumple un rol protagónico, siendo el principal productor de cobre del mundo y una empresa del Estado de carácter estratégico, con una contribución en los últimos 20 años, equivalente al 11% de los ingresos fiscales totales. Durante 2010, 10 de cada 77 pesos que ingresaron a las arcas fiscales fueron aportados por CODELCO.<sup>2</sup>

No obstante, estos aportes de CODELCO podrían estar en riesgo, debido a los crecientes costos de la energía, la escasez de agua, la disminución de las leyes de mineral en sus actuales yacimientos, afectando gravemente la productividad y la eficiencia.

Por esta razón, hoy en día CODELCO está viviendo un gran proceso de transformación tecnológica y cultural, que busca hacer frente a este escenario poco auspicioso con operaciones mineras antiguas, con la caída permanente de sus leyes de mineral, unido además a un deterioro de sus instalaciones, debido a que durante muchos años no se realizaron inversiones para renovar su infraestructura.

Para ello, Codelco lleva adelante el mayor programa de inversiones de su historia, para transformar las grandes reservas de sus yacimientos en excedentes para el Estado de Chile y beneficios para sus ciudadanos, que asciende a US\$40.000 millones, en el periodo 2019 – 2028, con seis proyectos estructurales para extender la vida útil de sus operaciones: Chuquicamata Subterránea, Traspaso Andina, Proyecto Desarrollo El Teniente, Rajo Inca, Desarrollo Futuro Andina, y RT Sulfuros Fase II.

Los proyectos estructurales son fundamentales no sólo porque permiten transformar en valor económico los recursos y reservas mineras, sino que también porque ayudarán a mantener en el tiempo la capacidad de generar excedentes. Para el año 2021 se proyecta que un 10% de la producción corresponderá a la contribución de los proyectos estructurales, para 2026 esa cifra llegará a 55%.

En consecuencia, el futuro de Codelco depende de construir estos proyectos en tiempo, en forma y a menores costos, incorporando más eficiencia, productividad y modernidad en cada operación, de forma tal de mantener sus niveles de producción y asegurar su sitio de liderazgo y competitividad que ocupa en la industria minera.

En este escenario, CODELCO impulsa el desarrollo y ejecución del proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, en adelante PMCHS, que extiende la explotación de la

---

<sup>2</sup> [https://www.codelco.com/la-empresa-que-mas-aporta-al-estado-de-chile/prontus\\_codelco/2012-10-24](https://www.codelco.com/la-empresa-que-mas-aporta-al-estado-de-chile/prontus_codelco/2012-10-24).



mina Chuquicamata hasta el año 2060. Las reservas mineras asociadas al PMCHS son aproximadamente 1.700 millones de toneladas con una ley media de 0,7% de CuT y 499 ppm de Molibdeno, con una inversión cercana a los US\$ 5.800 millones.

Este cambio en la forma de operar implica diseñar y construir una mina subterránea, que permita sostener el nivel de producción de la actual mina a rajo abierto, que llegó a su etapa terminal tras cumplir su vida económica, debido a la profundidad actual (898 metros), que impacta en las distancias de transporte y una mayor relación lastre/mineral, que hace inviable seguirla operando como un rajo abierto debido a los altos costos de producción.

Además de los beneficios económicos para el país, con una producción estimada de 340.000 toneladas de cobre fino y 19.000 toneladas de molibdeno por año en su peak, traerá beneficios para el medio ambiente, ya que considera disminuir en un 97% las emisiones de material particulado (PM 10) a la atmósfera, producidas por el rajo. Por otra parte, permitirá recuperar la competitividad en costo y seguir entregando importantes excedentes al Estado de Chile, todo ello gracias al menor movimiento de materiales y operaciones automatizadas.<sup>3</sup>

Para la materialización de este proyecto PMCHS, se licitan y adjudican contratos comerciales de obras y servicios con empresas especialistas, donde uno de los grandes desafíos será administrar dichos contratos cumpliendo la promesa de valor, la cual no se trata sólo de costos y plazos sino también de poder cumplir de manera integral todos los aspectos de seguridad, calidad y sustentabilidad durante toda la ejecución.

Para cumplir esta promesa de valor de los contratos, es necesario maximizar el valor del diseño con el mínimo de desperdicios, en un escenario cada vez más exigente de ejecutar los proyectos con más eficiencia y productividad, asegurando el máximo rendimiento del mercado, a través de una coordinación efectiva entre las diferentes partes involucradas.

Es por ello que resulta importante comprender la importancia de administrar correcta y exitosamente un proyecto, donde no resulta fácil hacer convivir de manera simultánea, contratos de gran envergadura constructiva, con otros de servicios generales (alimentación, vigilancia, transporte y atención de salud primaria, entre otros) y de apoyo (Inspección Técnica, Ingenierías, Asesorías Expertas), entre otros; siendo clave para un Administrador de Contrato, poder contar con herramientas técnicas, administrativas y tecnológicas que permitan administrar un contrato con mayor eficacia y eficiencia. Una mala administración podría implicar atrasos, accidentes, reclamos o solicitudes de compensación, que afecten al proyecto en términos de seguridad; plazo, rentabilidad, calidad y/o abastecimiento, entre otros aspectos contractuales.

---

<sup>3</sup> API Reformulado Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo

## 1.1 Origen y propósito del estudio

Es importante comprender que el área de gestión de contratos, cumple un rol desafiante para adaptarse y evolucionar frente a los cambios en la industria cada vez más digitalizada y globalizada, donde es urgente poder sincronizar y responder a las actuales necesidades de una administración que busca cada vez más ser productiva para capturar el máximo valor en la ejecución de los contratos, a través un control y monitoreo más preciso y oportuno sobre cada compromiso de cada uno de los integrantes y actores dentro de un proyecto.

Dentro de la administración de contratos, según distintos expertos consultados en la materia, es que existe información disímil entre mandante y contratista, con sistemas y forma de hacer seguimiento a las obras muy dispares entre mandante y terceros, donde aún predomina una fuerte tendencia a procesos de reportabilidad manual, que podrían terminar en controversias entre mandate y contratista, poniendo en riesgo la ejecución de los contratos y del proyecto en general.

Gran parte de las reclamaciones, se basan en una incorrecta distribución del riesgo y desconocimiento del negocio, que producen cambios de alcance que se materializan en órdenes de cambio que generan mayores costos y plazos que podrían impactar negativamente en una productividad menor a la planificada, a causa del aumento de la mano de obra, el equipo y los costos de materiales<sup>4</sup>.

Estas modificaciones en los contratos suponen entonces una perturbación del proyecto y por tanto un riesgo para el cumplimiento de dichos contratos, por tanto resulta recomendable en la medida de lo posible, evitar los cambios de alcance en los proyectos contratados. Para ello sería necesario profundizar en la verdadera necesidad y motivación detrás de una solicitud de cambio, evitando modificaciones que no contribuyan al objetivo y motivación inicial del proyecto, o que no formen parte del alcance contratado, ya que estos aumentan el riesgo sin necesariamente incrementar el beneficio esperado.<sup>5</sup>

Por tanto, dotar a la Administración de Contratos de más y mayores herramientas disponibles que le permitan acometer su labor y en particular controlar de manera óptima el uso de recursos y la introducción de cambios a los contratos de manera oportuna, resulta indispensable. Esto permitiría prever oportunamente el riesgo de solicitudes de compensaciones asociados a la pérdida de productividad laboral en contratos de construcción en proyectos mineros, en particular para el caso de Chuquicamata Subterráneo.

Si bien es posible encontrar metodologías directas de evaluación de la pérdida de productividad que se aplican en otras industrias de construcción, no obstante, no existe suficiente comprobación empírica de la aplicación de estos modelos a contratos

---

<sup>4</sup> (Jones, 2003).

<sup>5</sup> <https://www.rekursosenprojectmanagement.com/gestion-de-cambios/>

de construcción en proyectos mineros. Por tanto, el presente trabajo abordará desde un aspecto práctico y metodológico la aplicación del Método IBBS y sus resultados para los dos principales contratos de construcción y montajes del proyecto mina Chuquicamata Subterránea.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Medir la pérdida de productividad por órdenes de cambio a contratos de construcción del Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, mediante el Método teórico de IBBS.

### **1.2.2 Objetivo específicos**

Por medio de las siguientes actividades se conseguirá la consecución del objetivo principal:

- Revisar el estado de arte de la teoría de la productividad aplicada al factor mano de obra en obras de construcción minera.
- Revisar las formas de medición de productividad en la industria de construcción de proyectos mineros, principalmente CODELCO.
- Estimar la pérdida de productividad laboral debido a la temporalidad de los órdenes de cambio en los principales contratos de construcción y montajes, del Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, a través del método IBBS.
- Comparar los valores predichos de aplicación del método IBBS, respecto a las solicitudes y montos reales de compensación del contratista.
- Evaluar la recomendación de incorporación de la metodología IBBS de pérdida de productividad laboral, para ampliar el espectro de medición de productividad en la Vicepresidencia de Proyectos de CODELCO, como herramienta complementaria de apoyo para la evaluación de reclamos por parte del contratista a causa de improductividades.
- Iniciar la construcción de una mayor base de datos evaluativa de contratos en proyectos de la Vicepresidencia de proyecto, para contar con un espectro mayor que permita obtener conclusiones estadísticas más robustas en el futuro.

### **1.3 Alcance de trabajo**

La presente tesis aborda el estudio de la aplicación del método IBBS comparativamente en los dos (2) contratos de construcción y montajes más relevantes del proyecto mina Chuquicamata Subterránea, para estimar la pérdida de productividad laboral tomando como única variable de impacto la incorporación de órdenes de cambio durante el transcurso de cada uno de estos contratos, dejando el resto de variables constantes tanto externas (falta de integración institucional, legislación laboral, entre otras) o internas (marco contractual o criterios de inversión, etc.) limitando el análisis a sólo este aspecto.

Lo anterior, se basa en la necesidad que el área de gestión de contratos del proyecto, no dispone actualmente de herramientas de análisis cuantitativas que permitan medir teóricamente la improductividad laboral de la mano de obra al interior de los proyectos, donde actualmente, sólo se dispone de la expertiz de los gestores para revisar información entregada por los contratistas, tales como los reportes diarios que evidencian el día a día de aquellas actividades afectadas durante la obra que podrían generar improductividades.

Por tanto, disponer de mecanismos de medición, permitirá prever oportunamente el riesgo de solicitudes de compensación asociados a la pérdida de productividad laboral en contratos de construcción en proyectos mineros u otros, permitiendo controlar de manera óptima el uso de recursos y la introducción de cambios a los contratos de manera oportuna.

#### **1.3.1 Limitaciones de la tesis:**

- Explícitamente se deja fuera del alcance de esta tesis, la evaluación y análisis de otros métodos conocidos en la literatura tales como: métodos Línea Base, Milla medida y Valor Ganado, Costo Total Método del Costo Total Modificado Análisis del Valor Ganado Factores de la MCAA, considerando para ello que dichos métodos consideran variables distintas a la órdenes de cambios, que es objeto de esta tesis, no obstante igual se hará una descripción de cada uno de ellos en el marco teórico.
- Lo anterior, bajo el entendido que la elección del método más apropiado dependerá de muchos factores, así como del tipo y calidad de los antecedentes que se tenga de la obra de construcción, ya que cada uno de los métodos requiere de diferente información.
- Asimismo, existe dificultad en medir y estandarizar los inputs y output para la productividad de una obra, ya cada obra de construcción conlleva una gran variedad de subtemas, que van desde obras simples (por ejemplo caminos de ripio) a obras muy complejas y grandes (por ejemplo túneles, montaje electromecánicos de chancadores, etc). Esta gran variedad de productos hace a la construcción y a cada proyecto “único en su tipo” (Koskela, 1992) debido a

que la naturaleza de cada proyecto, la ubicación y la organización nunca van a repetirse entre una obra y otra.

- Por lo cual se deja establecido, que esta aplicación es sólo nivel de evaluación y como prueba de concepto (proof of concept) a fin de evaluar la viabilidad de utilización de este tipo de mecanismos que junto a otros, podría mejorar la gestión de contratos en proyectos mineros.
- Más aún la elección de la metodología IBBS, se basa principalmente en que se cuenta con información exhaustiva y accesible de dos (2) obras de construcción y montaje de gran envergadura en el proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, no obstante para la poder validar la metodología, se propondrá iniciar la construcción de una base de contratos única, accesible y robusta en un plazo de 3 años, la cual va estar favorecida por todo el proceso de transformación digital que en el área de abastecimiento con la plataforma de SAP Ariba y el proceso único de contratación de CODELCO (PUC), que permitirá obtener de manera más rápida y fidedigna los datos de todos los contratos de construcción que está llevando la VP, para luego someterlos a validación con el método IBBS de una manera estadísticamente más robusta, dado que no existe evidencia en Chile en la cual se use esta metodología para calcular la pérdida de productividad laboral de la mano de obra.

#### **1.4 Metodología de trabajo**

Se realizó una revisión bibliográfica de las distintas herramientas disponibles para la medición de la productividad de la mano de obra, con el fin de conocer el estado del arte en esta materia y donde es sabido que las prácticas actuales para tal estimación de productividad en obras de construcción, aún se basan en juicios personales, datos publicados de productividad y datos históricos de operaciones similares (Song, L. y AbouRizk, S. M., 2008)” (Kisi, P. K., 2015), que no necesariamente se ajustan a cada obra en particular.

Entendiendo para que ello que la productividad de la mano de obra es un factor fundamental en el éxito de un proyecto de construcción, ya que depende principalmente del esfuerzo y desempeño humano (Jarkas, A. M., 2012)” (Mani, N., et al 2014), que principalmente se basa en datos de terreno de productividad laboral, donde se saca un promedio de productividad diaria, considerando los días interrumpidos como los no interrumpidos. Luego se compara estos resultados con los de años anteriores, sacando un promedio histórico.

Si bien existen varios métodos como por ejemplo el Método de la Milla Medida, Método de Agrupación Estadística o Costo Total, entre otros, que están bien documentados en bibliografía específica, la elección de uno o de otro depende del tipo y calidad y cantidad de información disponible que se tenga en el control de una obra en particular y cual sea el objetivo de medición, ya que cada uno de los métodos requiere diferentes tipos de información no necesariamente disponible para un proyecto en particular.

En particular esta tesis presenta un foco exclusivo de medir la improductividad debido a los cambios en un contrato, que es una de a variables más relevantes en el área de gestión de contratos, para ello la propuesta metodológica cuenta con las siguientes etapas:

- I) Inicia con una revisión exhaustiva del estado de arte de la literatura existente sobre productividad laboral de la mano de obra, para contratos de construcción en la industria en general y luego con especial foco en la industria minera de Chile.
- II) Luego se realizó un diagnóstico de la situación actual, consultando la opinión experta en la industria, de diferentes empresas constructoras y dentro de la propia organización del proyecto mina Chuquicamata subterráneo.
- III) Posteriormente se revisan los estudios internacionales sobre medición de improductividad laboral, principalmente enfocados en el cálculo de pérdidas de productividad laboral en la construcción, debido a la incorporación de órdenes de cambio en los contratos.
- IV) Teniendo en consideración toda la información recopilada y las experiencias que se tiene desde el área de gestión de contratos, los proyectos y el know how de las empresas constructoras participantes en el proyecto, se evaluó y analizó la factibilidad de aplicar la metodología IBBS, por sobre otros métodos, para la medición y control de productividad laboral debido a la incorporación de cambios en los contratos.
- V) Se estudió y cuantificó las posibles pérdidas de productividad laboral en comparación a las solicitudes de compensación de mayores costos de mano de obra en el proyecto inversional Mina Chuquicamata Subterránea, ejecutado por la Vicepresidencia de Proyectos de CODELCO.
- VI) Se propondrá la implementación de la metodología IBBS como herramienta complementaria de medición de la improductividad laboral al actual procedimiento de Gestión de Cambio de Vicepresidencia de Proyectos de CODELCO.

Con este método de IBBS se busca disponer de una herramienta metodológica directa y trazable, por sobre otros métodos, para prever con mayor antelación y precisión la pérdida de productividad laboral debido la incorporación de órdenes de cambios a los contratos, comprobando cómo el impacto de la temporalidad de los cambios puede afectar con mayor intensidad la productividad y junto con prevenir reclamos a causa de los cambios tardíos durante la gestión de los contratos de la Vicepresidencia de proyectos de Codelco.

## **CAPÍTULO N°2: MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Contrato y sus riesgos**

El Código Civil en Chile, en el artículo 1438, define “Contrato”, como un acto por el cual una parte se obliga para con otra a dar, hacer o no hacer alguna cosa. Cada parte puede ser una o muchas personas, es decir, son acuerdos de voluntades de dos o más personas, que generan una relación vinculante que crea derechos y obligaciones.

Asimismo, en el Artículo N° 1444 del Código Civil, se distinguen en cada contrato las cosas que son de su esencia, las que son de su naturaleza, y las puramente accidentales. Son de la esencia de un contrato aquellas cosas sin las cuales o no produce efecto alguno, o degenera en otro contrato diferente; son de la naturaleza de un contrato las que, no siendo esenciales en él, se entienden pertenecerle, sin necesidad de una cláusula especial; y son accidentales a un contrato aquellas que ni esencial ni naturalmente le pertenecen, y que se le agregan por medio de cláusulas especiales.

No obstante, a pesar de que los contratos están regulados desde siglos atrás, y se cuentan con años de experiencia en la administración de contratos, actualmente se continúan repitiendo las mismas problemáticas, donde empresas mandantes y contratistas siguen enfrentándose en costosas reclamaciones debido a perjuicios provocados por su contraparte, ya sea el mandante o el contratista, aunque generalmente es el contratista quien presenta los reclamos. Esta situación finalmente son conflictos que convendrá prevenir y solucionar en forma definitiva.

El primer paso para solucionarlo será descubrir la causa raíz del conflicto, que pueden ser según los involucrados o según forma<sup>6</sup>:

#### **2.1.1 Tipos de conflictos**

Según estadísticas de la Cámara Chilena de la Construcción, un tercio de los contratos de construcción que se celebran en el país, alcanzan un alto grado de conflicto durante su desarrollo, y muchos llegan a instancias judiciales<sup>7</sup>.

Los tipos de conflictos pueden clasificarse de la siguiente manera:

##### **A. Según los Involucrados:**

1. Individual o Interno (inestabilidad, confusión, estrés).
2. Entre Empleados (lucha de poderes, personalidades).

---

<sup>6</sup> Administración de Proyectos, Tercera Edición, Mario Campero y Luis Alarcón.

<sup>7</sup> <http://clasetest.emol.cl/articulos/ricardo-nicolau/solucionar-alto-grado-conflicto-los-contratos-construccion/>

3. Entre jefes y subalternos (desconfianza, personalidades).
4. Entre especialistas y la jerarquía administrativa (responsabilidad).
5. Entre departamentos (intereses distintos).
6. Entre la empresa y servicios contratados (interpretación de contratos, lucha de protagonismo).
7. Entre la empresa y su entorno (prestación de servicios, contaminación).

B. Según su forma:

1. Visibilidad (manifiesto, subyacente)
2. Intensidad (amplitud, profundidad)
3. Expresión (grados de violencia)
4. Frecuencia (raros, frecuentes)
5. Importancia (consecuencia económica)
6. Realidad (auténtico, ficticio)

La presente tesis, se enfoca en el punto A.6, es decir, en abordar un mecanismo de cuantificación de conflictos entre la empresa y servicios contratados, y B.5 respecto a Importancia y consecuencia económica de dicho conflicto, en el marco de los contratos mineros y de construcción y montaje en el Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, ya las otras variables no tienen relación con el impacto de los trabajos adicionales en los contratos de construcción mineros.

## **2.2 Del efecto de las obligaciones para modificaciones en los contratos**

La modificación de un contrato, es la manifestación del consentimiento de alterar alguno o algunos de los términos acordados, objeto de la licitación, y es que aquí que resulta esencial distinguir el real valor legal del consentimiento, que se define como la voluntad reflejada en el contrato, y para que el consentimiento sea apto para crear un acto jurídico válido debe estar exento de vicios. El artículo 1451 del Código de Comercio señala que *“los vicios de que puede adolecer el consentimiento son error, fuerza y dolo”*.

Para que se forme el consentimiento se requiere la concurrencia de dos actos sucesivos: la oferta y la aceptación, no obstante una modificación de un contrato, puede no necesariamente estar reflejada en un documento firmado por las partes.

En consecuencia, lo óptimo sería el “reconocimiento temprano” de los potenciales problemas y comunicaciones abiertas respecto a las alternativas o cambios al plan, para crear un ambiente colaborativo, de manera que los problemas y diferencias se resuelvan antes de impactar al proyecto o en su defecto se pueda mitigar su impacto.

La falta de seguimiento a los cambios, generalmente trae asociados costos adicionales, y cuando los contratistas no son capaces de trabajar tan eficientemente



como estaba previsto en su oferta original, se genera una disminución de productividad con respecto a la planificada, que impactaría en aumentos de la mano de obra, el equipo y los costos de materiales. (Jones, 2003).

En consecuencia, la pérdida de productividad laboral debido a cambios en las obras de construcción es un elemento relevante que necesita ser analizado en profundidad. Conocer el costo del cambio que afecta a la productividad, es una de las principales causas de conflictos entre propietarios y contratistas (Schwartzkopf, 2004), esta disminución de la productividad de la mano de obra, genera gran pérdida de horas hombres, los cuales plantean serios desafíos para mandantes y constructores por igual (Moselhi, Assem and El-Rayes, 2005).

### **2.3 Del efecto de la productividad en la gran minería, según informe de la Comisión chilena de productividad (2017).**

La Comisión Chilena de Productividad, publicó en el año 2017 un informe sobre la Productividad en la Gran Minería, destacando una preocupante desaceleración en la productividad agregada de la economía chilena, afectada fuertemente por la caída en la productividad minera la cual registró un deterioro de un 75% desde el año 2000.

Conjuntamente con lo anterior, es necesario considerar que la industria del cobre no controla el precio ni la ley del mineral, por tanto, en lo que sí puede influir es en su productividad y sus costos. Asimismo, el tremendo impacto que tiene el cobre en la economía de Chile, es que resulta relevante cuantificar la productividad minera tanto a nivel agregado como desagregado y analizar los factores que la condicionan, es decir, mejorar la productividad es una de las palancas principales para alcanzar desarrollo futuro de Chile.

Es por ello que la Comisión Chilena de Productividad, por encargo de la Presidencia de la República, desarrolló el “Informe de la Productividad en la Gran Minería del Cobre”, que a través de un conjunto de recomendaciones propuestas, tanto para el sector público como para el privado, constituyen las bases de una estrategia minera que asegura la continuidad del sector, su expansión y su adaptación a los nuevos desafíos Tecnológicos y exigencias sociales.

Se destaca en este informe que existen yacimientos de la gran minería chilena (sobre 100.000 toneladas de cobre anual) con diferencias de más del 100% en sus niveles de productividad laboral, explicado tanto por factores externos e internos a las empresas, tales como: distancia, pendientes, capacidad de carga en camiones y la ley del mineral, por lo que el grueso de las diferencias es atribuible a razones propias de las faenas, y en especial a la gestión de personal y activos junto con el diseño y adherencia al plan minero.

Uno de los resultados más sorprendente, es el obtenido al comparar la muestra chilena con la internacional, donde se evidenció que los yacimientos de mejores

prácticas a nivel mundial para mover mil toneladas de material (30 horas-hombre) es menos de la mitad del promedio nacional (67 horas-hombre), es decir, en promedio las faenas de la muestra nacional requieren más del doble de horas-hombre que la muestra internacional, para ejecutar la misma labor durante el año 2015.

Las estimaciones de productividad minera realizadas en dicho estudio muestran caídas del orden del 1% anual en el periodo 2000-2014. Esta caída se mantiene usando indicadores de productividad parcial del trabajo (producto por trabajador) y productividad total de factores (PTF).

Por lo cual, la productividad parcial de trabajo sirve para focalizar la atención en una medida de esfuerzo de la operación (horas-hombre). Una faena con alta “productividad parcial de trabajo” requiere una proporción menor de horas-hombre por unidad de material movido, procesado o apilado. Cabe aclarar, que no implica que el desempeño es responsabilidad exclusiva del trabajador, puesto que otros factores afectan el resultado. Por ejemplo, la cantidad y calidad de capital disponible, el diseño organizacional, el nivel de especialización y capital humano, etc., también afectan la métrica. En resumen, la medida aquí utilizada no refleja solo la capacidad productiva del trabajador, sino la influencia conjunta de los distintos factores productivos.

Si bien, los factores caracterizados para los proveedores de la minería chilena y su relación con la productividad son multidimensional (localización, tamaño de la empresas, composición y variación del empleo; calificación de los empleados; composición de las ventas; entre otros) y no se abordó en el estudio los aspectos particulares de la gestión contractual que afecten a la productividad laboral tal como lo es la introducción de cambios a los contratos, es decir, el informe no abarcó aspectos de la micro productividad, al interior de los proyectos.

En consecuencia, en relación a la presente tesis, el foco principal que considera parte de este marco teórico, corresponde a los desafíos de la productividad laboral parcial de trabajo, tomando como principal énfasis, estudiar la productividad en relación sólo al factor de la relación *estratégica con contratistas*, en el corto plazo, particularmente debido a factores *gestionables por la propia empresa minera* (un “bien privado”), basado en la relacionados con las empresas contratistas (un “bien club”), incorporando al análisis, aspectos de la microproductividad, al interior de los proyectos, a través de la gestión de cambios con la metodología IBBS.

## **2.4 Métodos de estimación de improductividad laboral de la mano de la obra**

En un análisis de la literatura especializada en improductividad laboral de la mano de obra, el que cuenta con mayor detalle, estudios de casos y el más usado dentro de las empresas constructoras chilenas es el método de Milla Medida, debido a que no considera los valores presupuestados, sino que, utiliza información real de la obra, incorporando como variable relevante la curva de aprendizaje, el cual no se puede considerar como una improductividad reclamable ya que es parte del proceso constructivo de cada partida.

Así mismo, los métodos existentes de mayor uso y conocimiento aplicado actualmente son los siguientes:

#### 2.4.1 Método de Agrupación Estadística

El Método de agrupación estadísticas o K-means method en la literatura en inglés, se trata básicamente del agrupamiento k-medias, que cuando se usan heurísticas como el algoritmo de Lloyd (1957), es fácil de implementar incluso para grandes conjuntos de datos. Por lo que ha sido ampliamente usado en muchas áreas como segmentación de mercados y minería de datos entre otras aplicaciones.

Para el caso de medir productividad se usa a partir del análisis de datos reales de la obra, determinar la línea base del proyecto (mejor desempeño de la constructora) para estimar la pérdida de Productividad que pudo experimentar la obra.

Este análisis determina la pérdida de productividad total que experimentó la obra, sin distinguir las causas que lo producen, ya sean propias de la constructora o generada por factores externos, como el mandante.

Para el cálculo de línea base, el método opera con datos estadísticos, y en base a varias iteraciones, con lo cual se eliminan las subjetividades utilizadas en otros métodos similares de cálculo de línea base, que están dados por los criterios tomados por los analistas. El método busca identificar dos grupos o “cluster” de productividades del proyecto, las altas y bajas productividades. Las altas productividades de obra son aisladas, y definen en conjunto la línea base del proyecto, en cambio las bajas productividades no se consideran para la determinación de dicha línea base.

El método de agrupación estadística requiere, como datos para el análisis, las HH (horas hombre) gastadas periódicas de un intervalo de tiempo, con la respectiva producción de la partida, permitiendo calcular la razón de productividad, según fórmula extraída de la tesis Charles A. Leonard (1988):

ECUACIÓN 1: INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD SEMANAL

$$\text{Indicador de Productividad}_{\text{semanal}} = X_i = \frac{\text{HH semanales de partida}}{\text{Producción semanal de partida}}$$

Se utilizan para determinar la improductividad de una partida específica, no de toda la obra, y para su uso se requiere de los registros periódicos (idealmente diarios o

---

<sup>8</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/K-means\\_clustering](https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering)

semanales) de mano de obra directa utilizada y sus rendimientos durante todo el desarrollo de la partida.

#### **2.4.2 Método de la Milla Medida**

El método de Milla Medida, fue desarrollado por Zink,1986, donde consideraba períodos cortos de la producción sin impacto comparándolos con períodos en el mismo proyecto que han sufrido una pérdida sustancial de productividad, estrictamente debido a las acciones de una de las partes, ya sea el mandante o el contratista.

Este método es fácil de implementar y es el método más aceptable como respaldos para para reclamaciones por pérdida de productividad de la mano de obra directa en los proyectos de construcción, pudiendo evidenciar o comparar su productividad respecto a periodos sin interferencias o impactos que afectarán el desempeño laboral, con el cual es posible predecir la productividad laboral y por ende el resultado final del trabajo en horas-hombre y costos.

Zink (1986) propone definir y calcular la milla medida utilizando el siguiente procedimiento de tres pasos:

1. Trazar las horas de trabajo reales ejecutadas en un proyecto contra el porcentaje de trabajo completo;
2. Eliminar el primer y último 10% para tratar solo con el intermedio 80%; esto porque el primer y el último 10% son "acumulación" y "cola" y no son representativos de lo esperado o promedio sostenido del costo; e
3. Identificar una porción razonable lineal o casi lineal en el 80% de la curva de trabajo, que muestra un segmento sin obstáculos con la tasa de progreso más eficiente. Este será el Milla medida;

No obstante, esta metodología es altamente dependiente de los libros de registros del contratista y también sobre la presencia de un área o periodo no impactado e impactado para poder realizar la comparación correcta o establecer la relación de productividad.

Por lo cual, podría ser subjetivo y difícil de acordar determinados tipos de actividades propias de la obra, como curva de aprendizaje, demoras e interrupciones por inspecciones de calidad, visitas de autoridades u otros que pudieran constituir verdaderamente disrupciones como causas raíz de improductividad laboral de la mano de obra.

#### **2.4.3 Método del Costo Total**

El método de costo total desarrollado en la tesis de Acevedo (2015), se puede evidenciar que es un método muy sencillo para estimar la pérdida de la productividad, no tiene un único autor, el cual se muestra a continuación:

#### ECUACIÓN 2: COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA RECLAMADA

$$\text{Costo total de Mano de obra (M/O) reclamada} = \text{Costo total de M/O gastada} - \text{Costo total del M/O presupuestada}$$

Cuando se utiliza una metodología de base de costos, el contratista debe recordar que los costos laborales son una función tanto del número de horas-hombre y el costo unitario de estas horas. Por lo tanto, el trabajo total costo gastado podrá superar el costo laboral total pagado debido a un aumento en el costo unitario promedio del trabajo no es una pérdida de productividad (es decir, más horas gastadas de lo previsto).

La desventaja de este método es que su resultado incluye todas las causas posibles de improductividad, como por ejemplo, por parte del contratista, los errores de presupuesto (tales como rendimientos sobre o subvalorados y errores de cuantificación de obra) y la gestión deficiente de los recursos como la mano de obra. Por parte del mandante, cambios de proyecto y mala gestión por parte del mandante, entre otros muchos factores.

#### 2.4.4 Método del Costo Total Modificado

Este método es el mismo que el método del costo total, también extraído de la tesis de Acevedo (2015) y Luna (2010), el contratista resta los errores conocidos del presupuesto de licitación, los costos excesivos, problemas de ejecución en que el contratista fuese responsable, etc. Como resultado, la fórmula es la siguiente.

#### ECUACIÓN 3: COSTO TOTAL MODIFICADO

$$\text{Costo total de Mano de obra (M/O) reclamada} = \text{Costo total de M/O gastada} - \text{Costo total de M/O presupuestada} - \text{Costos de M/O por errores del contratista}$$

No es recomendable utilizar este método cuando existe la posibilidad de usar un método de mayor precisión. Sin embargo, al restar se ocupa de las tres últimas pruebas de manera afirmativa. Del mismo modo, un contratista que corrige sus errores ya sea en su oferta o su presupuesto hará frente, al menos en parte, a la segunda, tercera y cuarta de pruebas descritas en el método anterior del “Método del Costo Total”.

#### 2.4.5 Análisis del Valor Ganado

Según la tesis de José Contreras (2007 - U. Chile), el método del Valor Ganado<sup>9</sup> mide el rendimiento y el avance del proyecto en forma objetiva, a través del programa de trabajo contractual, para ello se determina el costo presupuestado del trabajo realizado o valor ganado y se compara con el costo real del trabajo realizado.

<sup>9</sup> Abba, Wayne, “How Earned Value Got to Primetime” – PMI, Houston, Texas 2000.

Para ello se toman los precios unitarios de la oferta, los cuales vienen con sus respectivos rendimientos en horas hombre (HH) y se analiza cuanto se gastaron según las actividades reportadas.

Las unidades físicas de la obra terminada multiplicadas por los precios unitarios de presupuesto pueden ser utilizados para determinar las horas ganadas. Las horas ganadas se comparan con las horas reales gastados en el período del impacto y la diferencia entre los dos puede ser utilizado para calcular la pérdida de productividad experimentada.

La medición del valor obtenido de la documentación del proyecto real, tales como porcentajes completados de la actualización de la programación o los estados de pago pueden ayudar con el cálculo de la productividad del trabajo. Además, el demandante podrá calcular los ingresos reales por hora de trabajo en comparación con los ingresos previstos por hora, como una alternativa. El análisis del valor ganado también puede ser utilizado para calcular las horas de trabajo estimadas.

Cuando se utiliza la técnica de análisis de valor ganado, se recomienda que el presupuesto utilizado para generar los cálculos del valor ganado debe ser cuidadosamente revisado para verificar que no tenga errores. Cualquier análisis del valor ganado en base a un presupuesto con errores es altamente riesgoso.

#### **2.4.6 Factores de la MCAA**

La Asociación de Contratistas Mecánicos de América (MCAA) emitió el Boletín N° 58 en 1976, titulado "*Factores que afectan la productividad laboral.*" Este documento presenta dieciséis factores que potencialmente afectan la productividad y proporciona una gama de pérdidas de productividad para cada factor que depende de la severidad de las condiciones. Los factores más destacados que incluyen son: Aglomeración de trabajos, Moral y actitud, Reasignación de Recursos Humanos, cantidad de personal, entre otros.

En 2005, la MCAA emitió un documento llamado "*Change Orders, Productivity, Overtime - A Primer for the Construction Industry*" (Órdenes de Cambio, Productividad, Horas Extras - Una Guía para la Industria de la Construcción). En este documento, el MCAA incluye una tabla con los mismos dieciséis "Factores que afectan la productividad laboral". Los nombres de los factores, las descripciones y los impactos estimados se han mantenido sin cambios desde las publicaciones anteriores de la MCAA.

Los factores de la MCAA pueden ser usados específicamente para cuantificar los impactos de los cambios acumulados, separadamente de otras ineficiencias tales como aquellas provocadas por aceleración. La MCAA entrega causas típicas para cada factor de pérdida de productividad y específicamente identifica el impacto del "cambio" por la gravedad del factor (porcentaje).

Por último, un aspecto negativo relevante de este método, que no indica si los factores son aplicados a todo el proyecto, una parte del proyecto, sólo al trabajo con cambios o sólo a áreas específicas.

## **2.5 Método de estimación de improductividad laboral según IBBS**

### **2.5.1 Justificación A priori de la elección del método.**

La medición de los variables que podrían afectar la productividad en una obra de construcción resulta problemático, debido a la alta variabilidad que se presenta durante la ejecución de cada obra, como por ejemplo: el tiempo de trabajo productivo de un trabajador, la cantidad de material que se pierde por mal uso o cuidado, la necesidad de reparar o rehacer obras previas, etc. Llevan a la necesidad de utilizar promedios o distribuciones probabilísticas como inputs<sup>10</sup>.

Principalmente, las mediciones de productividad pueden ser clasificadas en mediciones de Productividad Factor Único (PFU), relacionadas a medir un output con respecto a un solo input, o a mediciones de Productividad de Factores Múltiples (PFM), relacionando la medida del output a un grupo de inputs, según la OCDE.

Tampoco resulta fácil discriminar el origen de las causas de la improductividad y dependiendo del método que se use se obtendrán diferentes resultados y no es un trabajo sencillo, determinar cuando realmente la pérdida de productividad, puede ser atribuido íntegramente a causa del mandante o más específicamente a cambios de proyecto.

Por este motivo, el interés de esta tesis es centrarse como único factor de productividad, el impacto en la ordenes de cambio, dejando todo lo demás constante y para ello los métodos teóricos más apropiados para el objetivo de esta tesis, son el método de IBBS (2005), que está basado y mejorado a partir del método de Leonard (1988), donde es posible determinar en forma directa la pérdida de productividad debido a los cambios de proyectos, tal como lo recomienda Acevedo (2015) Tesis Pérdida de Productividad Laboral por Cambios en los Proyectos en Obras de Construcción.

### **2.5.2 Marco teórico del método IBBS**

Hay muchos tipos de cambios en la construcción y cada tipo puede tener un efecto sobre la productividad laboral. Hasta cierto punto el tipo específico de cambio no es tan importante como la mera presencia del cambio y, más aún el momento de ese cambio.

---

<sup>10</sup> CALDERA LE CLERCQ (2015)

La investigación documentada del método IBBS<sup>11</sup> ampliamente difundida demuestra que la incorporación de cambios en los contratos de construcción, es disruptivo y perjudicial para la productividad laboral.

El método IBBS evidencia que analizaron para la confección de metodología, un total de 57 contratos (proyectos de construcción) que fueron analizados estadísticamente a través de tres curvas de temporalidad que representan el impacto que genera la incorporación de cambios por trabajos adicionales en la productividad laboral para situaciones tempranas, normales y tardías.

Las implicaciones y beneficios del método IBBS mostró, por una parte: -que si los cambios son necesarios-, deben reconocerse e incorporarse lo antes posible. Los profesionales pueden usar estos datos y curvas para precios futuros o fijación de precios mirando en retrospectiva los cambios. Otros investigadores pueden usar estos hallazgos para probar sus propios hallazgos y explorar problemas de tiempo en más detalle.

IBBS plantea que todo cambio se define como *“cualquier variación del alcance original, puede ser físico, es decir, más unidades de trabajo o más cualitativo, como por ejemplo cambiar alguna parte de las bases de licitación, o como volver a secuenciar el programa de trabajo, cambiando las prioridades constructivas”*. El cambio puede ser responsabilidad del propietario, el contratista, el diseñador o un tercero.

La cuantificación de cantidades de obra (cubicación) es una tarea fundamental en los costos de construcción. Si la cuantificación de una obra tiene 10% de error, el presupuesto por tanto tendrá al menos 10% de error. Entonces, si se sobre-estiman los costos en un presupuesto, se perderá muy probablemente la licitación; si por el contrario se subestiman, se perderá dinero.

Por lo tanto, la metodología IBBS dividió su investigación en dos categorías: impactos discretos versus impactos acumulativos. Aunque existe más literatura sobre el tema del impacto de los cambios discretos que en el tema del impacto acumulativo, tales como el estudio realizado por Grimm y Wagner (1974) y Koehn y Brown (1985) que estudiaron los efectos del clima, especialmente la temperatura y la humedad, sobre la productividad. Thomas (2000) examinó los efectos en la productividad de acelerar un programa. Ninguno de estos estudios examinó el impacto de la sincronización del cambio en la productividad.

Asimismo, Diekmann y Nelson (1985) encontraron que las órdenes de cambios agregaron alrededor del 6% al costo directo. Un estudio de Semple y Col (1974) analizó 24 proyectos canadienses y encontró que los promedios pueden ser engañosos: el 50% de los proyectos en este el conjunto de datos tenía declaraciones de costos de más del 30% de la oferta original valor. Estos proyectos también tenían

---

<sup>11</sup> 1Professor of Construction Management, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720; and The Ibbs Consulting Group, Inc.



grandes reclamos por extensiones de plazo, y en algunos casos el 80% de la duración del contrato original.

El impacto acumulativo de los cambios en la productividad, es difícil de medir. El contratista puede adelantar el precio de cada cambio individual en una forma que es literalmente precisa para el cambio por sí mismo, pero la acumulación y el momento de tales cambios es tan profundo que la productividad puede verse afectada por los cambios mismos, lo que podría aumentar su conflictividad.

Esto es consistente con los hallazgos de Hester et al. 1991 quien dirigió un equipo de investigadores dedicado específicamente a seguimiento de la gestión de cambios dentro de los proyectos. A pesar de su recopilación de datos contemporánea y observación en terreno, estos investigadores de Berkeley demostraron que no pudieron rastrear con precisión todos los aspectos interconectados de las actividades laborales afectadas por un cambio.

El primer estudio que analizó este problema con rigor fue el de Método de Leonard (1988) y Moselhi (1991), donde coinciden que los cambios por sí mismos crean interrupciones en el entorno, ritmo e impulso natural de un proyecto. Incluso si el contratista es compensado por el trabajo de cambio, los efectos en el contrato base restante son reales y sutiles, difíciles de medir anticipadamente.

Para probar su teoría, estudió 90 reclamaciones en 57 proyectos diferentes en diversos proyectos de Canadá. Dividió estos proyectos en tres categorías: 1) aquellas en las que las órdenes de cambio eran la única causa principal del impacto en la productividad; 2) aquellos en los que hubo otro importante factor inhibidor de la productividad; y 3) donde otros dos factores de este tipo fueron prominentes.

IBBS (1998) analizó los efectos de la productividad para proyectos con inicio Fast Track, es decir con procesos de licitación con ingeniería inferior al 50% del diseño final, probando la hipótesis de que los proyectos más agresivos, es decir, la construcción, comenzó antes de la fase de diseño final, tuvo más cambios que los proyectos con menos Fast Track. Sorprendentemente, se encontró que la cantidad de cambio no afectó significativamente la productividad para los diferentes grupos de proyectos. Una posible explicación podría ser que los gerentes de proyecto, preparan y planifican más a fondo, porque creen que el cambio puede ser más problemático en los proyectos agresivamente acelerados, teniendo una mayor y mejor control de cambios.

Por supuesto que hay instancias donde el cambio puede ser realmente positivo y reducir el costo de un proyecto o mejorar su valor de ciclo de vida general. Pero un cambio incorrecto puede aumentar el costo de los proyectos y reducir el valor económico de un proyecto. Un aspecto del cambio que no ha sido bien investigado es el tema del momento del cambio. Ibbs (1994) postula que un cambio implementado

tarde en el proyecto tendrá un impacto más inquietante en la productividad laboral, que el mismo cambio implementado anteriormente en el proyecto.

### 2.5.3 Descripción del método IBBS

El método Ibbbs, denominado así por su autor William Ibbbs, profesor de Construcción y Administración del departamento Civil & Ingeniería Ambiental en la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos, analizó la pérdida de productividad, producida en una obra de construcción, debido a los efectos de las modificaciones de obra (Cambios de proyecto), solicitadas y/o generados por El Mandante, y basado en el Método de Leonard (1986)<sup>12</sup>.

El método de Leonard, fue el primer estudio a nivel mundial que analizó este problema rigurosamente y revisado ya actualizado por el mismo Leonard, junto a Moselhi (et al. 1991). Su tesis estaba basada en que los cambios por sí mismos crean interrupciones en el ritmo y el impulso natural de un proyecto. Incluso si el contratista es compensado por el cambio, los efectos sobre la productividad del contrato base son reales y medibles y perjudiciales.

Los factores inhibidores que evaluó fueron la coordinación y programación inadecuada; aceleración; acceso impedido; y prioridades cambiantes. Él luego desarrolló curvas que muestran la cantidad de pérdida de productividad para diferentes niveles de cambio. Leonard utilizó datos de productividad reales de los proyectos estudiados, y realizó un análisis estadístico de los datos para determinar la relación entre las órdenes de cambio y la productividad.

Con esta base teórica y práctica de Charles Leonard, Williams Ibbbs lo actualiza en los años 1995 y 2005, analizando 170 contratos de proyectos del sector público y privado, en diferentes estados de avance y sus montos varían desde los US\$2 millones a US\$14.000 millones, con un valor promedio de US\$44 millones, incorporando a este análisis la variable de temporalidad de la introducción de los cambios en el contrato o proyecto<sup>13</sup>.

También se demostró que los cambios tienen un efecto significativo en la productividad, cuando el proyecto experimentó menos del 6%, superando la productividad real de la construcción sobre la productividad planificada. La productividad real de la fase de diseño nunca excedió la planificada productividad, independientemente de la cantidad de cambios.

---

<sup>12</sup> Leonard, Ch (1988) The Effects Of Change Orders on Productivity. Canada: Tesis for the Degree of Master of Engineering (Building), Concordia University. Recuperado de: <https://spectrum.library.concordia.ca/5043/1/ML49088.pdf>.

<sup>13</sup> Ibbbs, W and McEniry ,G (2008). Evaluating the Cumulative Impact of Changes on Labor Productivity —an Evolving Discussion. Cost Engineering, The AACE ® International Journal 50(12). Recuperado desde: <http://> <https://ascelibrary.org/>.

El valor de cada proyecto estudiado por Ibbs varía de manera importante entre dichos contratos, demostrando que las órdenes de cambio individuales interrumpían y retrasaban el desempeño de las actividades principales y, a menudo, las afectaba indirectamente en una pérdida de productividad. En aproximadamente el 65% de los casos examinados, se demostró que las órdenes de cambio tienen un efecto acumulativo significativo en el rendimiento del trabajo.

En general, dicho efecto se experimentó cuando las horas de la orden de cambio excedieron más allá del 10% a 15% de lo ganado (o normal) horas de contrato, que es el nivel máximo de cambios que los contratistas generalmente mantienen, es decir, se descubrió que los retrasos y las interrupciones en las actividades laborales individuales causadas por las órdenes de cambio provocan un deterioro gradual de los horarios originales.

#### **2.5.4 Metodología de investigación de IBBS**

Los datos informados en este el estudio de la metodología fueron recopilados durante 9 años, comenzando con el estudio original de Ibbs y Allen (1995), sumando un total de 162 proyectos, con 93 contratistas de construcción, ingeniera y mandantes. Otros hechos destacados son:

- 45% son proyectos del sector público y 55% del sector privado.
- 63% de los contratos eran de Ingeniera y licitados.
- el tamaño del proyecto varía entre \$ 3.9 millones y \$ 14.5 mil millones
- 35% de los proyectos fueron de viales y complejos; 16% son comerciales, y 49% industrial.
- los datos corresponden a la productividad laboral experimentada por el contratista principal de un proyecto y 10% contaba con subcontratistas.

Los datos de costos, horas de trabajo, horarios y cambios se recopilaron en los hitos de avance físico al 25, 50, 75, 80, 85, 90, 95 y 100%, tanto en contratos de ingeniería como construcción. Los datos fueron analizados mediante análisis de regresión convencional.

La productividad fue medida en este estudio en relación con el rendimiento, es decir, la productividad real dividida por la productividad planificada, donde los valores sobre 1, indica un rendimiento mejor de lo esperado.

Este análisis se basó además en los valores de productividad al final del proyecto. Una suposición clave en este análisis es que el nivel de productividad planificado era exacto; ya que, de manera contraria, si no era precisa, entonces esta relación de productividad real versus la planificada, declararía erróneamente la cantidad de productividad perdida.

#### **2.5.5 Resultados de la investigación de IBBS**

### **2.5.5.1 Tasa de cambios acumulados**

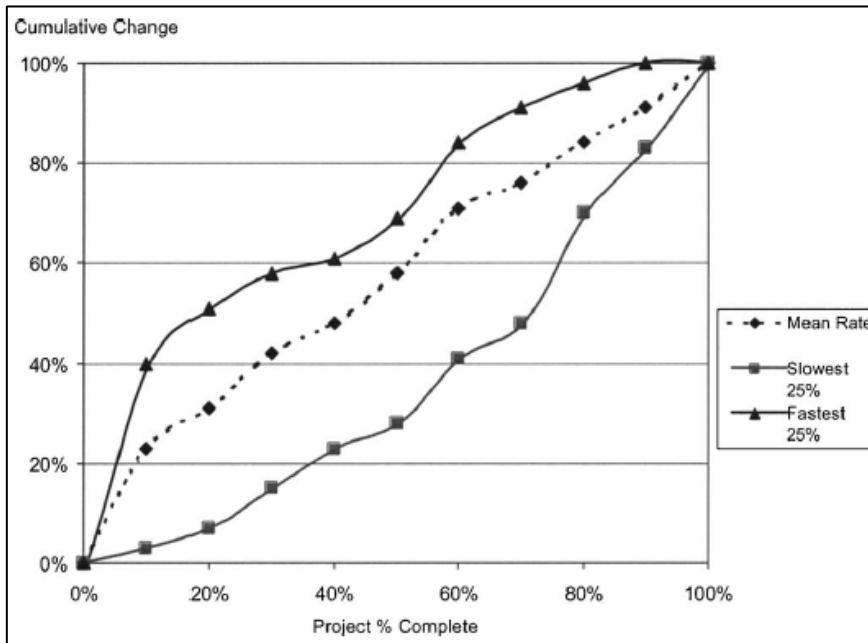
En el gráfico N°1 se resume la tasa de cambios acumulados durante el plazo total del proyecto, según la base de datos. El programa de construcción del proyecto es representado a lo largo del eje horizontal y en el eje vertical se representa la cantidad de cambios incurridos en el proyecto desde el principio de construcción. El cambio se mide en términos absolutos, lo que significa que un proyecto que cambia USD\$1 de cambios deductivos y UDS\$1 de cambio aditivos, se suman y tratarían como el total del cambio, es decir USD\$2.

Para mayor abundamiento, el análisis de costos por trabajos adicionales puede elaborarse de manera inductiva, es decir, marcha desde lo más particular hacia lo más general, es decir, se emplea la observación, registro y contraste de la información, para construir premisas generales que puedan servirles de sustento o de explicación o de manera deductiva, es decir, marcha de lo más general a lo más específico (hechos concretos), por tanto a través del razonamiento se parte del todo conocido, para llegar a las partes desconocidas, lo para IBBS sumaron el total de costos por trabajos adicionales.

El fundamento es que el cambio deductivo puede ser perjudicial para medir la productividad por sí sólo, al igual que el cambio aditivo. Asimismo, para usar la diferencia neta entre cambios aditivos y deductivos, se podría subestimar esa interrupción. Por ejemplo, compensar la diferencia entre \$1 de cambio aditivo y \$ 1 de deductivo indicaría que no hubo cambios, aunque probablemente hubo perturbaciones en la productividad.

IBBS ordenó los proyectos estudiados por rango de acuerdo con el momento (fecha) en que el cambio fue reconocido formalmente, es decir, la aprobación la notificación de cambio en el caso de la VP. Cabe mencionar, que consideró para esta la fecha real de la formalización del cambio por escrito, que era la mejor información disponible.

Gráfico 1: Tasa de cambios acumulados



Fuente: Journal of Construction Engineering and Management © ASCE/Nov.2005

La línea media en la Fig.1 muestra la tasa media de cambios incurrida para estos trabajos, donde aproximadamente el 58% de los cambios se produjo cuando el proyecto se completó en un 50%. Las dos líneas exteriores representan límites de confianza con tasa de aprobación más rápidos y tasas más lentas de los cambios incurridos. Casi el 40% de todos los cambios fue reconocido por el punto del 10% de avance en los proyectos rápidos, mientras que el 40% fue alcanzado hasta el punto del 60% en los proyectos lentos.

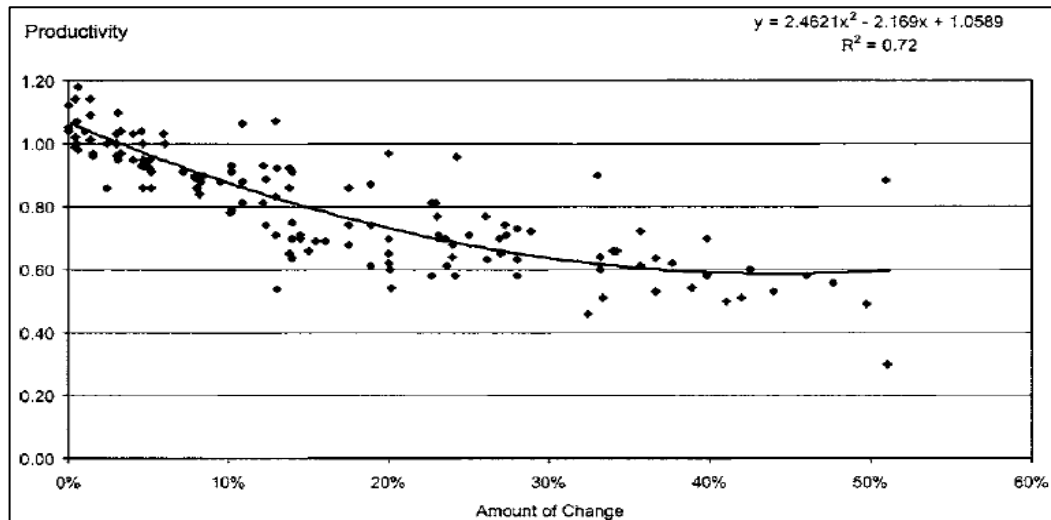
### 2.5.5.2 Productividad de la construcción frente a la incorporación de cambios

En el gráfico N°2 se muestra la tasa en la productividad laboral de la construcción disminuye con cantidades crecientes de cambios en el proyecto, donde proyectos sin cambios, la productividad laboral real fue un 6% superior planificado. Los proyectos con un 3% de cambio tuvieron una productividad laboral de 1, lo que significa que la tasa real es igual a la tasa planificada.

La curva se va inclinando descendente y asintótico a 0,60, lo que representa un 40% de productividad pérdida. La ecuación polinomial enumerada en el gráfico N°4 representa el mejor ajuste. También se probaron formas lineales y exponenciales.

El coeficiente de correlación  $R^2 = 0,72$  que se muestra el gráfico N°4 indica una bondad de ajuste relativamente alta. Los datos revelan que la productividad es más predecible a bajas cantidades de cambio que a mayores tasas de cambio. Por ejemplo, la desviación estándar de la productividad de los proyectos con un cambio entre 0% a 10% es 0,09, mientras que para proyectos con un cambio del 40% al 50% es 0,15.

**GRÁFICO 2: PRODUCTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN VERSUS CAMBIO DE PROYECTO**



Fuente: Journal of Construction Engineering and Management © ASCE / Nov.2005

### 2.5.5.3 Curvas de temporalidad de cambios

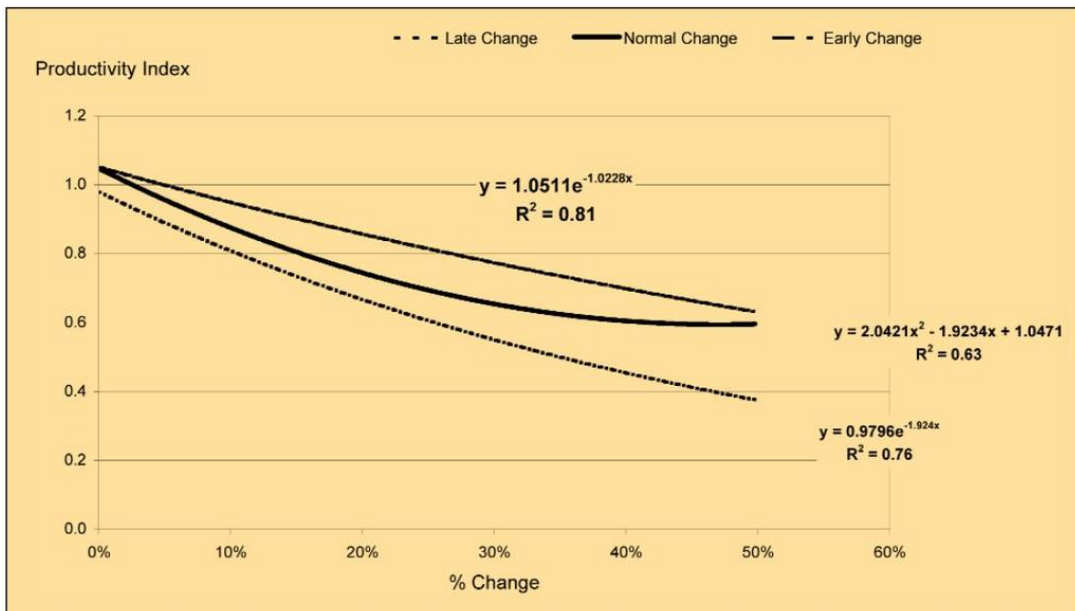
El método analizó el impacto de introducir un cambio en una etapa temprana del contrato, versus si el cambio fue introducido tardíamente o muy avanzada la obra en ejecución, analizando con esto, cómo se afectaban las partidas sucesivas del contrato.

Para ello, el método IBBS, ordenó los proyectos por rango según la temporalidad en que fue reconocido el cambio, quedando los siguientes tres grupos:

- En el 25% de los proyectos se reconoció el cambio más rápido
- el 50% medio normal
- y el 25% más lento más tardío.

Lo anterior se ve reflejado en el gráfico N°3, donde los resultados evidencian que los proyectos tempranos y normales tienen curvas menos profundas y en realidad pueden tolerar mejor una pequeña cantidad de cambio antes de que la productividad caiga por debajo de 1,00. La distancia vertical entre estas dos curvas es relativamente pequeña.

**GRÁFICO 3: CURVAS DE TEMPORALIDAD DE CAMBIOS (IBBS AND MCENIRY, 2008)<sup>14</sup>**



Fuente: <https://www.ibbsconsulting.com>

El método considera tres curvas, cada una se hace cargo de la temporalidad de la Introducción de un cambio en el proyecto. En efecto, si el cambio se encuentra en una etapa temprana del proyecto, el impacto es menor permitiendo anticiparse y reprogramar si es necesario en la obra; en contraste, si el cambio es tardío en su oportunidad, el impacto es alto, por la reestructuración, ajustes, y las consecuencias en las partidas sucesivas.

Al observar las curvas de temporalidad de los cambios se tiene que las curvas normal y temprana, para porcentajes de cambio menores a 6% (aproximadamente), indican productividades mayores al 100%, lo que no sería real. Por este motivo se recomienda, en estos casos, el uso de este método para porcentajes de cambios mayores al 6%.

Para calcular la pérdida, Ibbs establece que primero se debe conocer el porcentaje de cambio de una obra, para lo cual se usa la siguiente fórmula:

**Ecuación 4: Porcentaje de cambio de una obra**

$$\% \text{ cambios} = \frac{HH \text{ directas asociadas a adicionales del contrato}}{HH \text{ directas reales del contrato}} \quad (\text{Ec. 1})$$

<sup>14</sup> Acevedo, R.A. (2015) Pérdida de Productividad Laboral por Cambios en los Proyectos en Obras de Construcción. Santiago:Tesis Universidad de Chile.

Donde:

- **HH directas asociadas a adicionales del contrato:** son las HH incurridas en obras adicionales, extraordinarios y/o disminuciones, que se encuentran aprobadas por el mandante. Corresponden a trabajos de personal pertenecientes a la constructora y a subcontratos, sin considerar a la supervisión y personal indirecto como jornal de aseo, capataces, entre otros.
- **HH directas reales del contrato:** son las HH gastadas en todo el proyecto (incluyendo los cambios) a la fecha del análisis. Corresponde tanto a trabajos de personal de la constructora en todo el proyecto, sin considerar al personal indirecto.

Dependiendo de la temporalidad del cambio, la productividad tiene diferentes comportamientos, las tres curvas que permiten separar dichos comportamientos de productividad son las siguientes:

#### Ecuación 5: Cálculo de la curva temprana de IBBS

$$Productividad (\%) = 1,0511 * e^{-1,0228 * \% \text{ cambios}}$$

**Temprana:** Proyectos con el 20% del avance completado, y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

#### Ecuación 6: Cálculo de la curva normal de IBBS

$$Productividad (\%) = 2,0421 * (\% \text{ cambios})^2 - 1,9234 * \% \text{ cambios} + 1,0471$$

**Normal:** Proyectos con 40% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

#### Ecuación 7: Cálculo de la curva tardía de IBBS

$$Productividad (\%) = 0,9796 * e^{-1,924 * \% \text{ cambios}}$$

**Tardía:** Proyectos con 70% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

Por lo tanto, la Pérdida de Productividad se obtiene de:

#### Ecuación 8: Cálculo pérdida de productividad IBBS



### ***Pérdida de productividad = 100% – Productividad (%)***

La incorporación de cambios tardíamente, puede ocurrir por varias razones, una de las explicaciones es que algunas discrepancias, omisiones y alteraciones del alcance contratado no se descubren hasta que el proyecto o contrato está relativamente avanzado. Esto es particularmente cierto en las operaciones de acabado detalladas, que tienden a ocurrir en las últimas etapas de un proyecto. Personas, especialmente propietarios de proyectos que no están acostumbrados al proceso de construcción y la construcción propiamente tal.

Otra razón de los cambios tardíos es que las partes (Mandante-Contratista) del proyecto tengan la esperanza de que puedan resolver los desacuerdos de manera amistosa. También podría ser que tales desacuerdos pueden tener que escalar a niveles cada más alto en la organización, momento en el cual los impactos en el costo y el tiempo ya se han vuelto más graves.

Una razón final para el cambio tardío, podría ser que los propietarios quieren agregar más alcance y características al proyecto, considerando que tienen los fondos disponibles por contingencia no gastada, que decidan usarlo como una fuente de financiamiento para tales "alcances adicionales".

La investigación reportada en el método IBBS y otros estudios reafirman que el cambio de proyecto es perjudicial para la productividad laboral. Hay muchos tipos de cambios y cada tipo tiene un efecto único en productividad. Hasta cierto punto, aunque el tipo específico de cambio no es tan importante como la mera presencia de cambio, lo relevante en este estudio es el real impacto en el momento de ese cambio.

Lo anterior refuerza la hipótesis que, en igualdad de condiciones, se debe alentar el cambio cuando es oportuno y pertinente y la organización del proyecto busque los mecanismos para desalentar el cambio tardío y numeroso (N° de cambios).

Uno de esos instrumentos es incorporar al análisis KPI más estrictos que obstaculicen la decisión, como por ejemplo una denominada tasa de obstáculo financiero, como una relación más exigente de beneficio/costo antes de ser aceptado, incluso, esta tasa podría ser variable según la temporalidad, es decir, tasas menos exigentes al inicio del contrato y tasas cada vez más exigentes sobre el 50% de avance físico de la obra, con un tope máximo al 75% de avance, lo que incentivaría los cambios tempranos.

En consecuencia, considerando que muchas veces los cambios son inevitables, según el nivel de ingeniería con que se adjudique un contrato, u otras variables exógenas: como el clima, condiciones del lugar; incluso nuevas condiciones políticas y culturales, como el estallido social en Chile o la pandemia COVID-19, se vuelve necesario también poder contar con un indicador de eficiencia respecto a los cambios

en un contrato, obligando a la administración del contrato a evitar aumentar el costo de la obra productos de impactos en la productividad (Schwartzkopf, 2004), asumiendo que los cambios en la obra, podrían disminuir la productividad de la mano de obra, generando con ello pérdida de horas hombres (Moselhi, Assem and El-Rayes, 2005).

Por lo cual, el enfoque principal que se busca demostrar al aplicar este método en la presente tesis, para los principales contratos del proyecto Chuquicamata subterráneo, es analizar ex post si realmente se afectó la productividad de los contratos con la incorporación de Órdenes de cambio al alcance original del trabajo y más aún si este impactó se multiplicó al realizarse tardíamente.

## **CAPÍTULO N°3: PRODUCTIVIDAD EN CODELCO**

### **3.1 Diagnóstico de la situación actual**

Se realizó un análisis exploratorio a través de entrevistas a diversos actores expertos en materia de productividad tanto al interior de Codelco como representantes de empresas contratistas.

Las entrevistas se llevaron a cabo vía zoom en función de la disponibilidad horaria de cada uno de los participantes, a través de un cuestionario semiestructurado, que permitió reflexionar en extenso desde su propia experiencia y juicio en esta materia, que se resume brevemente a continuación:

#### **1) ¿Qué factores crees que afectan e impiden tener una mejor productividad en los contratos?**

*“Muchas veces la falta de control y aseguramiento que permita identificar que el diseño original y el crecimiento por trabajos adicionales no se dupliquen, así como también la falta de sinergia del marco regulatorio, donde la estructura de contrato no se adapta al tipo de contratos que requiere un proyecto de gran envergadura y altas interferencias, la mayoría son por serie de precios unitarios, lo que no permite mayor flexibilidad, como a través del uso de recursos. Y por qué además, el riesgo del negocio está todo por el lado del contratista, donde los adicionales podrían ser un incentivo perverso de cubrir dicho riesgo. Situación que se agrava aún más con la rígida estructura organizacional, tanto del mandante como las empresas contratistas, que no permiten una rápida de toma de decisiones”.*

**Andrés Avendaño F.**  
**Gerente Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea**  
**Vicepresidencia de Proyectos - CODELCO**

*“Los factores internos que afectan a la productividad en los contratos a mi juicio son los Rediseños de los paquetes de ingeniería y PEM, que al no están integrados al final el contratos se deben incorporar múltiples cambios.*

**Fabián Olivares Pardo**  
**Director de Programación y Control Proyecto Mina Chuquicamata**  
**Subterránea**  
**Vicepresidencia de Proyectos - CODELCO**

**2) ¿Qué aspectos recomendarías para alcanzar mejores resultados en productividad?**

*“Creo que es muy relevante, generar alianzas estratégicas de largo plazo, donde el constructor participe en la ingeniería, ya que la experiencia no indica que la ingeniería muchas veces no tiene sentido con la realidad y se nota la mano inexperta de quienes las redactan. Cuando se licita un contrato, no hay total transparencia respecto del real avance de la ingeniería.*

**Rodrigo Hubner Grasso**  
**Gerente General**  
**Empresa de Montajes Industriales Salfa S.A.**

*“Una buena práctica que impactarían en una mejor productividad en los contratos sería mejorar la coexistencia temporal y física, esto significa mejorar el arte de paquetizar (quiebre de disciplinas de los contratos por hitos), donde el quiebre busque una visión de negocio global junto con la identificación de las interferencias de manera anticipada”.*

**Andrés Avendaño F.**  
**Gerente Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea**  
**Vicepresidencia de Proyectos - CODELCO**

*“Polifuncionalidad de operadores; Operadores multimarca; Simplificar el Protocolos Operacional y automatizar procesos; Módulo de falla más robusto; Eliminar las carpetas TOP y establecer el concepto real de calidad total por sistema; Seguridad en terreno y eliminar tanto papel innecesario; Implementar el Programa de Observadores de Conducta al 100%; Mantener POD tipo Célula (15 a 20 min).*

**Marcelo Zabala.**  
**Director de contratos**  
**Züblin Chuquicamata SpA.**

**3) ¿Qué consejos darías a los administradores de contratos para alcanzar mejores resultados en productividad?**

- Involucramiento temprano del área de ingeniería para visualizar los cambios de diseño.
- Mantener los itemizados de contratos actualizados a través de forecast, para tener una mejor visión de los cambios en el contrato.
- Mantener KPI de productividad justos y claros.
- Involucramiento temprano del área de PEM, para evitar problemas de integración al cierre.

**Ricardo Durán Monardes**  
**Director de Excelencia Operacional**  
**División Ministro Hales**  
**Vicepresidencia de Proyectos - CODELCO**

**4) ¿Qué aspectos de innovación le permitirían alcanzar sus metas de productividad?**

*“Preocuparse en lo realmente importante, ya que nos permitiría hacer más con los mismo recursos. Incorporar tecnología que permita bajar la burocracia, tanto en operaciones como en la parte administrativa. Implementar tecnología que permita simplificar el levantamiento de datos en terreno y evitar la redundancia excesiva. Ejemplo, escanear túnel y eliminar el dibujar perfiles. Restringir el papel como medio de respaldo y ocupar bases integrales”.*

**Leonardo Sierralta.  
Director Productividad Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea  
Vicepresidencia de Proyectos - CODELCO**

En base a lo anterior, es posible consensuar de la opinión de estos profesionales, una percepción común que los cambios podrían afectar la productividad en los contratos. En general hay consenso dentro del proyecto que las órdenes de cambio podrían alterar los programas del trabajo y reducir la productividad, pero no existe ninguna herramienta que permita medir este impacto.

También coinciden que los efectos de las órdenes de cambio en la productividad no son completamente comprendidos por todos los profesionales de las áreas de ingeniería o construcción, quienes a menudo toman decisiones de cambio de diseño o mejoras constructivas que se deben llevar a cabo a través de órdenes de cambio, con demasiada frecuencia, sin un mayor análisis de real necesidad o por falta de completitud de la ingeniería.

Si bien se coincide que los resultados obtenidos en productividad en PMCHS, son auspiciosos, consideran que, desde el ámbito de acción de la gestión de contratos, es posible captar oportunidades para mitigar impactos en la productividad, midiendo la pérdida de productividad, producida en una obra de construcción, debido a los efectos de las órdenes de cambio en la obra.

En consecuencia, se podría inferir que sería un aporte a la organización lograr estudiar en profundidad el real impacto de la incorporación de los cambios a los contratos y comprobar la hipótesis de que un crecimiento descontrolado y tardío de los cambios, puede impactar en la pérdida de productividad laboral de la mano de obra, incorporando una metodología como IBBS, que permita demostrar que el efecto positivo de tener un control del crecimiento del contrato a través de órdenes de cambios.

### 3.2 Antecedentes de productividad en CODELCO

CODELCO, actualmente está enfrentado unos de los momentos más complejo, duro y desafiante, en palabras de la Presidencia Ejecutiva: *“la encrucijada es clara: “cambiar o morir”*<sup>15</sup>.

En el período 2000 – 2013, CODELCO retrocedió 15 lugares en competitividad en la minería mundial, operando yacimientos con menor ley y a mayores distancias, con un aumento de los costos indirectos de un 29% entre 2011 y 2014.

Para ello CODELCO impulsó Agenda Estratégica de Productividad y Costos 2020, que apunta garantizar el futuro de la compañía con una provocadora reducción de costos operacionales y llevar a cabo una ambiciosa agenda de proyectos estructurales, con una racionalización en sus costos de inversión, a través de 8 (ocho) ejes estratégicos:

Ilustración 1 : Ejes estratégicos de la agenda estratégica de productividad y costos 2020.



Fuente: [www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)

En consecuencia, los resultados no se hicieron esperar. En el año 2016 un estudio dado a conocer por el Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales de la Universidad Católica, Clapes- UC, demostró que CODELCO presentaba un 30% por sobre el índice de productividad registrado por la industria minera respecto a las demás empresas del sector.

15 Nelson Pizarro, presidente ejecutivo Codelco, Santiago, enero 2016 en Agenda Estratégica de Productividad y Costos 2020.

Durante 2018, en materia de reducción de costos, CODELCO registró US\$ 321 millones de menores gastos respecto de la base definida en el Plan de Negocios y Desarrollo 2016. A cierres del mismo período, la Agenda de Productividad y Costos 2020 acumula US\$ 1.659 millones de menores gastos, cercana a la meta presupuestada de US\$ 2.000 millones al cierre del 2020.<sup>16</sup>

### **3.3 ¿Cómo se mide la productividad en CODELCO?**

En 2019 la empresa estatal puso el foco en resolver dos grandes inquietudes: 1) ¿cómo se mide la productividad? y 2) ¿qué puede hacer cada persona para impactar en los resultados?<sup>17</sup>

Para responder la primera consulta, se consolidó el cálculo de la productividad laboral en los procesos; mientras que para el segundo, se reforzó la importancia de aplicar en todo orden de proyectos, la excelencia operacional, que en CODELCO se denomina C+.

Para ello CODELCO, impulsó mejoras en los procesos operativos que redundan en una mayor productividad de cada una de las fases del proceso operativo, lo cual impacta en la productividad divisional, que se refleja en la corporativa y, como consecuencia, en los excedentes que se entregan en un beneficio directo a las arcas fiscales del país.

El año 2019 fue clave en definir una única forma de medir la productividad laboral de todos los procesos, permitiendo comparar los resultados de todas las divisiones y buscar sinergias y buenas prácticas entre ellas.

Durante el año 2020, CODELCO puso a disposición los índices de productividad, buscando que las personas puedan proponer cambios que permitan mejorar sus propios indicadores diarios y, de esa forma, aumentar los excedentes que se entregan al Estado de Chile, objetivo que se busca con la presente tesis.

### **3.4 Filosofía Lean Full Potencial (C+): Excelencia Operacional**

En 2015 CODELCO inició la implementación de una profunda transformación en toda la Corporación denominada C+, que se basa en la metodología Lean Management, alcanzando un despliegue en todos los centros operativos y en un 70% de los procesos productivos.

---

<sup>16</sup> [www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)

<sup>17</sup> Memoria Anual de CODELCO 2019. Capítulo “Gestión de productividad de excelencia”.

En concreto, C+ persigue el empoderamiento de las personas, diseño de palancas de gestión y el cambio cultural necesario para conseguir transformaciones estructurales.

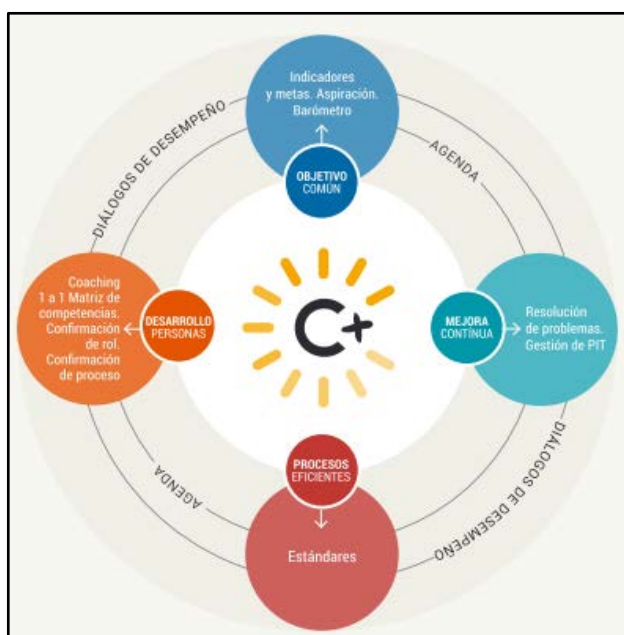
En línea con la estrategia de CODELCO, la transformación C+ es un habilitador de la excelencia para elevar el desempeño del negocio de cada centro de trabajo, a través del fortalecimiento de las habilidades analíticas de las personas que cumplen el rol de “agentes de cambio”, quienes deben generar análisis estadísticos robustos que eliminen la variabilidad y “desperdicios” (concepto Lean, que se refiere a aquellas prácticas que impiden tener un proceso productivo perfecto).

El principal desafío del 2020 fue asegurar la captura de valor de la estrategia corporativa en sus prioridades de excelencia en operaciones, abastecimiento y mantenimiento, a través de la co-construcción de los planes de implementación tácticos que desafían los límites técnicos de los procesos involucrados para alcanzar dicha aspiración.

### 3.5 Dimensiones C+

En CODELCO, constantemente están diseñando indicadores que se identifiquen con los procesos de valor, a los cuales les hacen seguimiento a través diálogos de desempeño. En ellos se generan compromisos y se identifican oportunidades de mejoras, que se transforman en Resolución de problemas que determinan la causa raíz y luego para el cierre de las brechas detectadas, se elaboran planes de implementación tácticos, para conseguir una mejora continua, que permitan hacer más eficientes los procesos, a través del desarrollo de competencias técnicas y adaptativas en las personas, de acuerdo al siguiente círculo virtuoso:

Ilustración 2: Dimensiones C+



Fuente: [www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)



Donde se identifican:

- **Sistemas operativos:** Identificar la mejor manera de operar las fases del negocio, para lograr eliminar la variabilidad de nuestros procesos, estandarizar prácticas y actividades, para capturar el mayor valor y fomentar el trabajo colaborativo, a través de la transferencia de buenas prácticas.
- **Sistemas de gestión:** Implementar prácticas y herramientas que permitan eliminar “desperdicios” en el diario quehacer, identificar las causas raíces de los problemas operacionales y realizar un seguimiento efectivo de los indicadores clave del negocio, aspirando siempre a un objetivo común.
- **Mentalidades y comportamientos:** Instalar una cultura basada en los principios C+, fomentando la inteligencia colectiva y empoderando a los equipos de trabajo.

### 3.6 Principales resultados en la productividad de CODELCO (2019)

A continuación es posible evidenciar que la productividad en CODELCO durante el año 2019, fue impactada negativamente por factores externos, como los eventos climáticos de febrero a causa del fenómeno climático en febrero conocido como invierno altiplánico como causa externa y como causa internas ocurrieron distintas huelgas de trabajadores del cobre durante el 2019.

GRÁFICO 4: EVOLUCIÓN PRODUCTIVIDAD 2014-2019



Fuente: Memoria Anual de CODELCO 2019.

La productividad se mide igual para todas las unidades productoras de cobre, que son todas las Divisiones de CODELCO (Radomiro Tomic; Chuquicamata; Gabriela Mistral; Ministro Hales; Salvador; Andina y El Teniente); y también se mide en la Vicepresidencia de proyectos, en adelante VP, con su propio modelo de gestión de productividad, bajo el entendido que operaciones y proyectos no se puede ser medido de la misma forma. El modelo de gestión de productividad de la VP, busca mejorar el desempeño de los megaproyectos que tiene a su cargo y busca mitigar las desviaciones en costos y plazos, que se detalla a continuación.

### **3.7 Productividad en la Vicepresidencia de proyectos en CODELCO**

#### **3.7.1 Contexto estratégico**

En este proceso de transformación que se encuentra CODELCO, con su nueva política corporativa de productividad C+, fue necesario también incorporar a la Vicepresidencia de Proyectos, a través de un modelo de gestión de Productividad, cambiando la manera en que gestionarían en adelante sus proyectos, considerando para ello, que se invertiría en el mayor programa de inversiones de su historia, donde podría transformar las grandes reservas de sus yacimientos en excedentes para el Estado de Chile y por ende generar beneficios para los ciudadanos chilenos, con una inversión estimada para el período 2019-2028 de US\$40.000millones.

La historia de CODELCO hacía presagiar que resultados en la construcción de grandes proyectos mineros no serían muy alentadores, según varios autores (Siemiatycki (2015); Flybjerg y Budzier (2011); entre otros). En promedio los proyectos con un valor de CAPEX superior a los mil millones de dólares terminaban con un sobrecosto del 40% y en muchos casos requerían hasta un 25% más de tiempo que el plan original y así se comprobaba también en CODELCO, para ellos se debían desafiar para lograrlo a través de la excelencia en proyectos, que se resume a continuación:

Siemiatycki (2015) menciona que cuanto más grande es el proyecto, más probabilidades habrán de sobrepasar el presupuesto y los plazos. Agrega que las tres principales explicaciones de sobrecostos y retrasos son los desafíos técnicos, el exceso de optimismo y las tergiversaciones estratégicas.

Flybjerg y Budzier (2011) estudió 1.471 megaproyectos en Estados Unidos y Europa, donde el sobrecosto promedio fue de un 27% y destaca que no hubo diferencias en el rendimiento según la ubicación, ni entre proyectos realizados por organizaciones públicas o privadas.

Singh (2010) estudió 894 proyectos de 17 sectores de infraestructura en India (entre 1992 y 2009). Entre otros resultados econométricos, menciona que las fallas contractuales e institucionales son causantes económica y estadísticamente significativas detrás de los sobrecostos y aumento de plazos.

En consecuencia, frente a este escenario poco auspicioso, se definieron herramientas para maximizar el valor del diseño y la forma de ejecutar los proyectos que apuntaba a la “Excelencia en proyectos”, para ello era indispensable transferir conocimientos y medir siendo la transformación producida, bajo los siguientes objetivos:

- I) Transformar a los colaboradores (contratistas) con un enfoque de productividad.
- II) Asegurar que los contratos se ejecuten con Factor de Desempeño (PF) < 1.
- III) Reducir costos y plazos en sus proyectos y contratos.



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

Lo anterior con la finalidad de promover una cultura Lean desde el inicio de la ejecución de los contratos, donde estas herramientas de LEAN FULL POTENTIAL serán los pilares fundamentales para el éxito de los contratos y del proyecto generando cultura, capturando valor y estandarizando procesos, a través del Modelo de Gestión de productividad, en adelante MGP, que se explica en el siguiente punto.

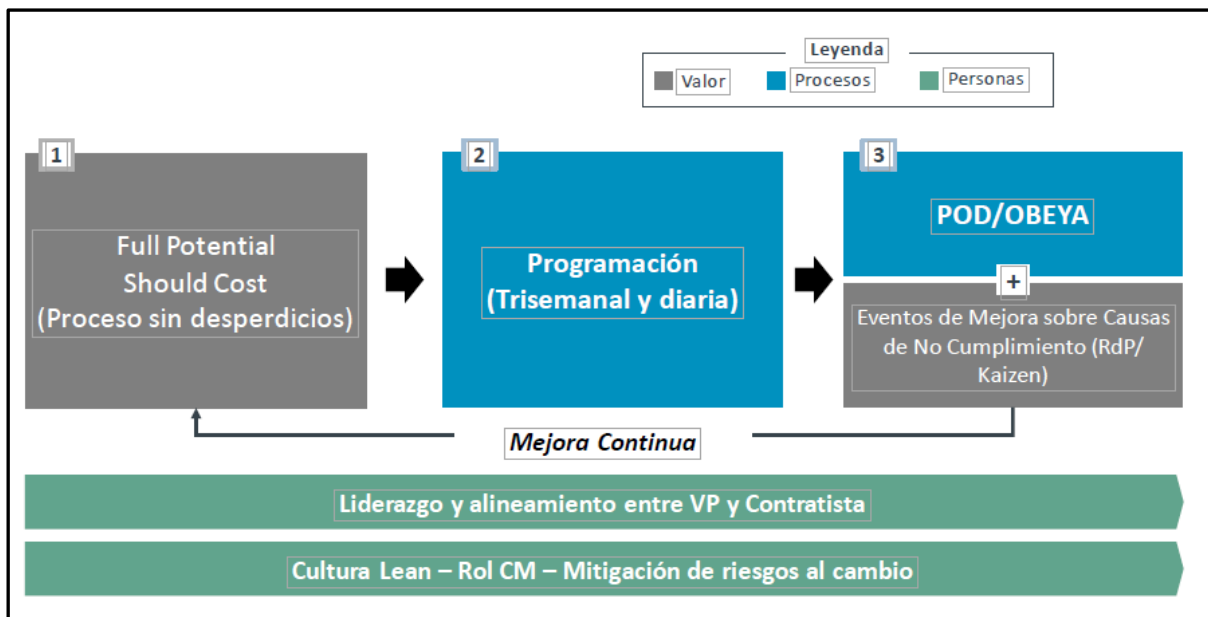
### 3.7.2 Modelo de gestión de productividad (MGP)

El Modelo de Gestión de Productividad o también conocido por sus siglas MGP, se aplica en todas las etapas de los contratos y está basado en 3 pilares:

- 1) Búsqueda de valor.
- 2) Generación de procesos

### 3) Cambio en las personas (cultura).

Ilustración 3: Modelo de gestión de productividad en la vp (mgp).



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

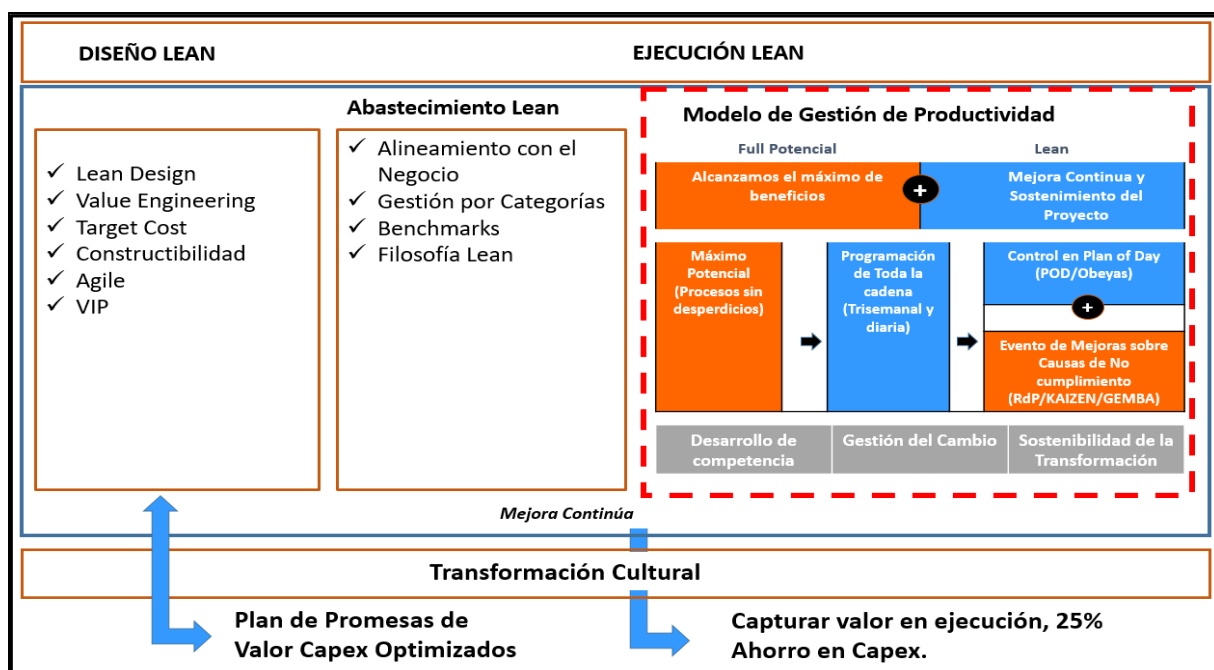
Este modelo se incorpora para las empresas contratistas desde el proceso de licitación a través de las Bases Requerimientos de Productividad para Contratos cuyo encargo comprenda Construcción y/o Montajes, donde el Contratista deberá determinar los objetivos de productividad asociados a su Contrato, alineado a los objetivos del proyecto. Estos deben ser medibles y trazables, con metas y planes de acción específicos para su cumplimiento, asignando responsable(s), plazos y recursos, basado en la metodología LEAN, donde deberá integrar los principios, disciplinas de gestión y prácticas enfocados en hacer las cosas de manera correcta, en el tiempo necesario y la cantidad necesaria. Lean busca minimizar los desperdicios y la variabilidad, siendo flexible y abierto a los cambios manteniendo el foco en el cliente interno y externo.

Para ello se utiliza el concepto de Full Potential, que se mide y calcula en base a desempeños históricos y a *benchmarks* de la industria mundial, resultando en un “Full Potential Teórico”, que no toma en cuenta las restricciones que no pueden ser modificadas en el plazo de realización del proyecto.

Una vez identificadas esas restricciones no controlables, se define un “Full Potential Alcanzable”, la meta práctica inicial del proyecto, para luego examinar los obstáculos para lograr la meta deseada, analizando cada uno de los procesos y revelando los cuellos de botella y las brechas críticas.

Para cada brecha, restricción o cuello de botella se desarrollan iniciativas basándose en análisis de causa raíz, entrevistas con las operaciones, reuniones de discusión con los contratistas y la opinión de expertos. Por otro lado, al usar herramientas Lean (como resolución de problemas, eventos Kaizen y otras), la metodología LFP permite una mejora continua, según se puede apreciar en la siguiente ilustración N°4:

Ilustración 4: Lean full potential para proyectos VP-CODELCO.



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

Específicamente, el modelo de productividad contempla tres etapas para su implementación:

### 1º Productividad Estratégica

En esta etapa el foco está puesto en la negociación de los contratos con base en un análisis exhaustivo de costos y desempeño en un escenario de máxima eficiencia y mínimo desperdicio, denominado etapa Full Potential Benchmark, que es proyectar el plazo de contrato más exigente posible desde un punto de vista teórico, considerando el mejor desempeño de la industria para cada uno de los rubros que componen el contrato.

Para verificar y asegurar que la corporación contará con todos los habilitadores que el contrato necesita para realizar de manera correcta y eficiente se realiza un taller de Pre-Pull Planning.

Finalmente, el contrato se negocia con el apoyo analítico de las etapas anteriores, apuntando a su Full Potential comparado, con el objetivo de firmar un contrato que asegure el mejor plazo y costo para CODELCO y sea beneficioso para el contratista.

## **2º Productividad Operacional**

La ejecución de esta etapa comienza con la determinación del Full Potential Alcanzable que tiene como objetivo establecer el máximo rendimiento que se puede lograr en la ejecución de la obra, identificando las principales "palancas" que cerrarán la brecha entre la situación actual y la optimizada.

Los "rendimientos de potencial completo alcanzables" para cada operación unitaria se incluyen en un plan de tres semanas.

Además, se implementa un grupo de tres herramientas para permitir la coordinación del Full Potential y la ejecución de los activos. Esto sucede a través de las reuniones Diarias (PoD), Semanales (Obeya) y Pull Planning, que tienen como objetivo:

- a) Asegurar el máximo rendimiento
- b) Crear una coordinación efectiva entre las diferentes partes involucradas
- c) Establecer las condiciones para la mejora continua.

Las herramientas implementadas se enfocan en diferentes horizontes temporales y se complementan entre sí. El programa definido de tres semanas se traduce en un horario diario, que se revisa diariamente en la reunión POD (Plan Of Day).

La reunión de Obeya se realiza semanalmente y tiene como objetivo verificar la marcha del contrato dentro de la semana, analizar las causas de incumplimiento generadas dentro de la semana, definir y acordar acciones de mejora continua asociadas a estas causas, así como visualizar y consensuar el programa, durante las próximas tres semanas.

Durante esta etapa y con el fin de garantizar hitos críticos del trabajo o contrato, los habilitadores se identifican y gestionan para garantizar el cumplimiento a través de sesiones de Pull Planning. A través de la gestión de Causas de Incumplimiento (CNC) se aplican las herramientas de mejora continua establecidas en C +.

Como último elemento de esta etapa, la Gestión e Integración de Equipos reúne todas las prácticas asociadas a la gestión de los esfuerzos de mejora y que están relacionadas con la ejecución y adecuación de las acciones realizadas dentro de la estructura formal de la organización.

### **3º Gestión del cambio**

Con el fin de facilitar la aceptación de los nuevos paradigmas asociados a la transformación C + y prácticas asociadas por parte de la organización, se han implementado diversas herramientas e iniciativas. Una de estas iniciativas es el programa “Change Leaders”, en el que se han identificado y capacitado personas clave de la organización en Lean Full Potential y en la implementación de herramientas de liderazgo para el cambio.

El modelo de VP de Proyectos de CODELCO considera que la Gerencia de Obra (CM) es responsabilidad del VP de Proyectos. Para asegurar que se ejerce en los principios de la transformación C +, es necesario que el liderazgo de la organización transmita claramente las expectativas en torno a ella y se genere un fuerte alineamiento en torno a esta idea.

Finalmente, para asegurar la comprensión de los conceptos por parte de todos los involucrados (VP y Contratistas) la implementación del modelo contempla la realización permanente de un Modelo de Productividad Capacitación.

En este modelo de gestión de la productividad, se logra evidenciar como el Diseño Lean, impacta positivamente en la metodología de Captura de valor de la VP, en la etapa de ejecución y Puesta en Marcha, de manera de alcanzar el máximo potencial de sus operaciones en base a benchmarks de la industria y capacidad optimizada, con resultados sorprendentes en la productividad para el proyecto Chuquicamata Subterránea.

Al extrapolar estos resultados a la cartera de toda la Vicepresidencia de proyectos, la ganancia de valor potencial será enorme.

Para ello, se deben cumplir algunas condiciones:

- 1) La transformación que se debe generar en el mercado de proveedores y contratistas asociados a grandes proyectos de construcción en minería, para que adopten los principios y metodologías C +.
- 2) El VP debe convertirse en un actor relevante para promover el cambio en el mercado y así elevar la productividad dentro de su cadena de valor.

### **3.8 Productividad en el Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea- Un caso de éxito.**

#### **3.8.1 Descripción del PMCHS**

CODELCO para continuar expandiéndose y generando riquezas, lleva adelante el programa de inversiones más ambicioso de su historia, de tal manera de transformar las grandes reservas de sus yacimientos en excedentes para el Estado de Chile y con ello financiar los programas de índole pública, donde particularmente el Proyecto Chuquicamata Subterránea, está transformando la mina a cielo abierto más grande del mundo en una moderna operación subterránea de gran magnitud, extendiendo al menos en 40 años su vida productiva.

El Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo en adelante PMCHS, tiene por finalidad incrementar el valor de la Corporación mediante la explotación Subterránea de los recursos remanentes del cuerpo mineralizado de la mina Chuquicamata aumentando su vida útil por 39 años. Los recursos extraíbles que han sido incorporados en este proyecto son 1.760 Mt con ley de cobre de 0,712% y Ley de Molibdeno 512 ppm.

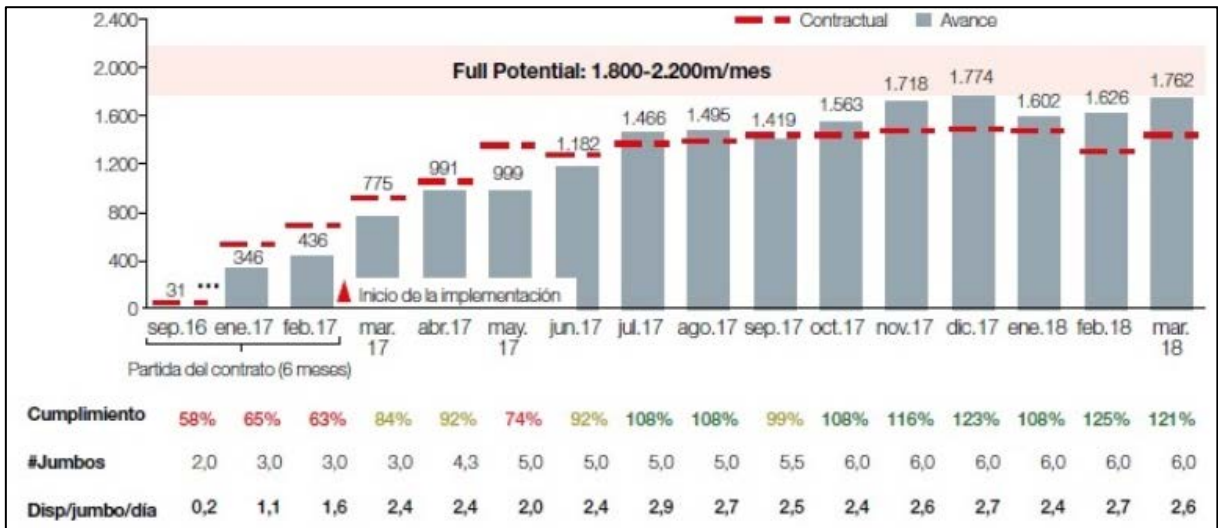
El proyecto tiene carácter de sustitución productiva de la actual mina Chuquicamata rajo, y por tanto, el caso recomendado fue estructurado para dar conformidad al plan estratégico de CODELCO 2012 y así ofrecer continuidad de largo plazo al giro de negocio. La explotación del yacimiento Chuquicamata, mediante minería subterránea se realizará con recursos propios; dado a que la Corporación posee la experiencia, recursos financieros y humanos para gestionar exitosamente una operación de la magnitud postulada por el proyecto.

#### **3.8.2 Implementación del MGP en el PMCHS**

La implementación del modelo de gestión de productividad en el Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo de la Vicepresidencia de Proyectos de CODELCO, es un ejemplo de caso exitoso, donde los resultados obtenidos en la evolución de productividad medida para el principal contrato minero encargado de construir las obras mineras de los Subniveles Superiores en Macrobloques y de Barrio Industrial Norte, presentó un incremento del avance mensual en metros horizontales, donde antes de iniciar la metodología Lean Full Potential (LFP), el avance era apenas de 436 metros en febrero de 2017 (sólo 63% de la meta comprometida por el contrato a esa fecha), luego se estableció Full Potential Alcanzable en un rango de 1.800 a 2.200 metros horizontales mensuales (+20% superior al compromiso del contrato), y a diciembre de 2017 estaba 23% por sobre la meta contractual y ya rozando el rango definido como Full Potential.



Gráfico 5: Medición de avance contrato minero



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

Además, el proyecto bajó sustancialmente su Performance Factor (PF), que es la razón entre las horas hombre gastadas efectivamente y las estimadas en el proyecto (horas ganadas), con un aumento de 66,3% en la productividad de los más de 6.000 contratistas en el proyecto (ver Gráfico 1).

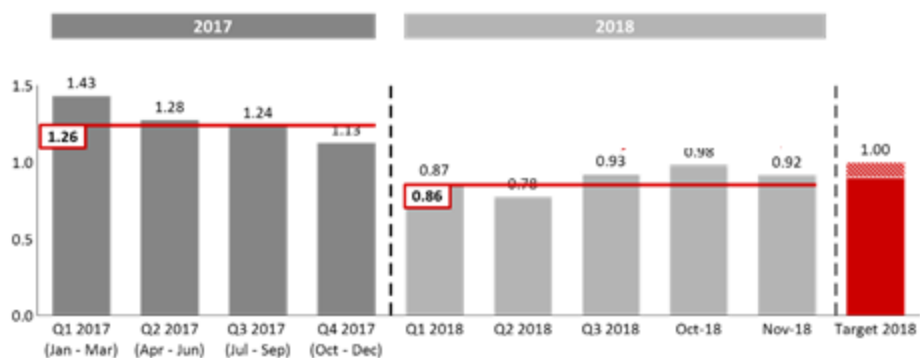
Gráfico 6 : Performance factor (PF) proyecto Chuquicamata subterráneo.



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

La disminución de la FP se explica por el fuerte incremento en el avance de los contratos asociados a los desarrollos mineros, así como por el desempeño extraordinario presentado en los contratos clave de montaje asociados a la construcción del Sistema de Manejo de Minerales, donde se ve claramente una mejora sustancial desde el caso base (2017), con respecto al 2018. A continuación es posible observar un análisis comparativo.

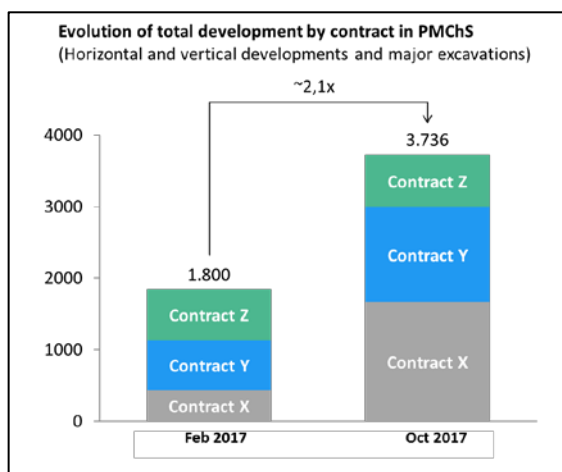
Gráfico 7: PF histórico en PMCHS.



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

En cuanto a los contratos asociados a los desarrollos mineros, en 6 meses, PMChS logró duplicar las tasas de desarrollo subterráneo en sus contratos más críticos, considerando prácticamente las mismas condiciones y recursos con respecto a la situación base.

GRÁFICO 8: EVOLUCIÓN CONTRATOS MINEROS PMCHS



Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS

Este aumento de productividad colocó a PMChS en la cima de los indicadores de productividad de la industria.

TABLA 1: BENCHMARK DESARROLLOS MINEROS

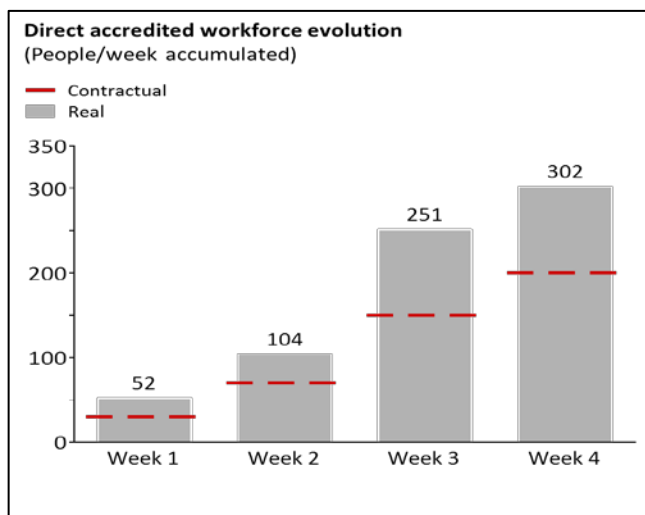
PMChS Oct/17	> 3.600 m/month
Grasberg	3.250 m/month
Olympic Dam	~2.900 m/month
El Teniente (NNM forecast)	2.450 m/month

Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS .

La experiencia ha demostrado que la implementación de la metodología de productividad a uno de los principales contratos de montaje permitió reducir, en la etapa de Productividad Estratégica, el plazo contractual en un 30% vs el presupuestado (16 de 22 meses).

En la etapa de ejecución y aplicando las herramientas asociadas a la Productividad Operacional, la movilización se logró en prácticamente un tercio del tiempo histórico:

**GRÁFICO 9: ACREDITACIÓN DOTACIÓN PMCHS**



**Fuente: Gerencia de planificación estratégica PMCHS**

Los resultados obtenidos en el PMChS permitieron asegurar el avance de los principales hitos del año 2019, que llevaron adelantar la producción de cobre, y en mayo de 2019, ya se habían extraído más de ocho mil toneladas de mineral de las cinco bateas ya habilitadas que fueron transportadas por camiones de bajo perfil hasta el fondo del rajo.

### **3.8.3 Mejora continua y búsqueda de aporte de valor desde la gestión de contratos a la productividad**

Los resultados obtenidos en productividad en PMCHS, sentaron las bases para generar un nuevo estándar para los desarrollos futuros en PMChS y en todos los proyectos de CODELCO, no obstante, el proceso de transformación C+ está lejos de estar concluido, y en esta búsqueda constante de mejora continua, es que esta tesis se atreve a explorar la opción de sumarse a esta invitación, desde el ámbito de acción de la gestión de contratos, donde se visualizan oportunidades para captar aún más valor en la mitigación de impactos a través del análisis del método de pérdida de productividad, producida en una obra de construcción, debido a los efectos de las órdenes de cambio en la obra.

La reflexión anterior, se basa en que todos los resultados de mejora en la productividad en el PMCHS, apuntan a mejorar los rendimientos de cada unidad de

medida constructiva, por ejemplo, para un contrato minero, se miden los metros de excavación y fortificación horizontal o metros de cañería instalada u otra medida de constructiva, y esta medida se le aplica el FULL POTENCIAL para mejorar su rendimiento y efectividad, eliminando los desperdicios e interferencias, a través de las mejoras en la planificación y seguimiento constante, pero ¿qué ocurriría con la productividad, cuando se incorporan cambios no negociados o no visualizados durante la etapa de licitación.

Acaso ¿Existe un análisis de la productividad cuando se incorporan cambios al contrato, que desvíen los recursos de nuevas obras a ejecutar, que no se logran estudiar a cabalidad para ver su real conveniencia o impacto a la obra principal?

La respuesta a las preguntas anteriores lamentablemente es un rotundo “**no**”; aunque en general, hay consenso dentro del proyecto que las órdenes de cambio podrían alterar los programas del trabajo y reducir la productividad, sin embargo, los efectos de las órdenes de cambio en la productividad no son completamente comprendidos por todos los profesionales de las áreas de ingeniería o construcción, quienes a menudo toman decisiones de cambio de diseño o mejoras constructivas que se deben llevar a cabo a través de órdenes de cambio, con demasiada frecuencia, debido a que en los procesos de licitación no fueron previstos, debido principalmente a la incompletitud o complejidad de la ingeniería.

Para ello, es necesario medir el real impacto de la incorporación de los cambios a los contratos y comprobar la hipótesis de que un crecimiento descontrolado y tardío de los cambios, puede impactar en la pérdida de productividad laboral de la mano de obra, medido a través de un método altamente estudiado a nivel internacional, pero que no ha sido aplicado a casos reales en los contratos de la industria minera, denominada Metodología de IBBS, que permita demostrar que el efecto positivo de tener un control del crecimiento del contrato a través de órdenes de cambios.

No obstante lo anterior, se sabe de manera empírica que el impacto acumulativo de los cambios en la productividad, es difícil de medir. El contratista puede adelantar el precio de cada cambio individual en una forma que es literalmente precisa para el cambio por sí mismo, pero la acumulación y el momento de tales cambios es tan profundo que la productividad puede verse afectada por los cambios mismos, lo que podría aumentar su conflictividad.<sup>18</sup>

Por otra parte, queda fuera del alcance de esta tesis, el estudio, seguimiento y comprobación de una de las variables principales de contrapeso, en la toma de decisiones para licitar con ingenierías incompletas: donde la razonabilidad técnico-económica del verdadero costo e impacto de ejecutar obras sin contar con el diseño completo sería menos relevante en comparación con el mayor retorno a la inversión compensada con la anticipación de obras que permitan producir cobre.

---

<sup>18</sup> IBBS

## CAPÍTULO N°4: PRODUCTIVIDAD LABORAL EN CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS MINEROS

### 4.1 Concepto de productividad.

La productividad es un resultado, es la derivación de hacer las cosas de una determinada manera y para esto es necesario saber qué hacer, tener la tecnología y practicar eficazmente la técnica. La productividad no es una herramienta sino una consecuencia del uso de ellas (Puente, 2006).

Para el autor Benjamín Niebel, en su libro “Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del trabajo” define a la productividad como el incremento de la producción por horas de trabajo o por tiempo gastado. Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se encuentran los recursos humanos, ya que estos son el capital más importante de toda la empresa (Alpuche, 2004).

Diversos escritos sobre la productividad tales como: Centro de Productividad de Japón, 1965; Serpell y Peralta, 1991; Josephon, 1994; Jonsson, 1996; Shimizu, Wainai y Nagai (2001), Schwartzkopf (2004) coinciden en que en términos simples, la productividad es definida comúnmente por medio de la siguiente fórmula:

Ecuación 9: Índice de productividad

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas\ (outputs)}{Factores\ de\ producción\ usados\ (inputs)}$$

Existen distintos enfoques que apuntan al mejoramiento de la productividad (López, 2007):

- 1 Mantener igual la producción y disminuir los recursos.
- 2 Aumentar la producción manteniendo los mismos recursos utilizados.
- 3 Aumentar la producción junto con reducir recursos usados, el cual es el escenario ideal de un sistema productivo.

La construcción de obras se caracteriza por la transformación de recursos, que se subdividen principalmente en a) materiales, b) maquinaria o equipos y c) mano de obra<sup>19</sup>.

Para medir la productividad en materiales y máquinas se requiere conocer las características técnicas y su rendimiento será conocido estandarizado y previsible en el trabajo.

---

<sup>19</sup> Botero & Alvarez, 2004.

No obstante para medir la productividad de la mano de mano de obra, no es simple ni previsible, ya que además de ser el factor más intensivo en la construcción, el resultado de su trabajo, tampoco es estandarizado ni repetitivo como en las industrias intensivas en capital y debido a dicha dificultad el foco de la presente tesis, es determinar el impacto en los costos que tiene la productividad laboral de la mano de obra en la construcción de contratos para el proyecto Mina Chuquicamata subterráneo.

#### **4.2 Enfoque de la Productividad laboral de la mano de obra.**

La productividad laboral de la mano de obra es una relación entre la producción y la mano de obra ocupada y refleja que tan bien se está utilizando dicha mano de obra en el proceso productivo. Además, permite estudiar las variaciones en el desarrollo del trabajo, en la movilidad ocupacional, en proyección de requerimientos futuros de mano de obra, evaluar el comportamiento de los costos laborales, comparar entre diversos actores los avances de productividad, etc. (Martínez, 1995), que se traduce en la siguiente fórmula:

**Ecuación 10: Índice de Productividad Mano de Obra**

$$Productividad\ Mano\ de\ Obra = \frac{Avance\ de\ Obra\ (outputs)}{Horas\ Hombre\ (inputs)}$$

La productividad laboral de mano de obra, mide el avance de obra por unidad de tiempo, generalmente expresado en horas hombre (HH) u Hombre día (HD).

#### **4.3 Factores que causan pérdida de productividad laboral en una obra de construcción.**

La pérdida de productividad, es experimentada cuando un contratista no logra los rendimientos establecidos o no cumple con la producción prevista, en el caso de la mano de obra se traduce en la menor producción de cantidades de obra por horas hombre utilizadas. De esta manera, el contratista gasta más recursos por unidades de construcción de lo que originalmente tenía planificado, resultando en una pérdida de dinero (Association for the Advancement of Cost Engineering, 2004).

En Chile, existen múltiples factores que inciden en la productividad laboral, según la publicación del libro “En búsqueda de la productividad perdida” (Fantuzzi et al., 2017), que coinciden con los presentados por McKinsey a nivel mundial:

### 4.3.1 Factores externos

- **Integración institucional:** Tanto para la industria minera u otro tipos de obras, existen diversas instituciones públicas que afectan ya sea a través del marco regulatorio, permisología, y en particular en el caso de CODELCO, entidades como Cochilco, Contraloría, entidades ambientales, que no consideran mecanismos de coordinación formales, sinergias, y muchas veces visiones n contrapuestas sobre la real necesidad de un proyecto minero, que afectan la planificación, diseño e implementación del proyecto.
- **Sinergia del marco regulatorio:** El marco regulatorio existen diversas instituciones públicas encargadas de dar la autorización de diferentes aspectos de un proyecto de inversión para su ejecución, las cuales regularmente no conversan entre sí y tiene muchas veces con criterios diferentes de evaluación respecto de un mismo proyecto.
- **Legislación laboral:** La legislación laboral chilena tiene muchas rigideces que impiden aumentar la productividad laboral, donde por ejemplo, inhiben la multifuncionalidad, debiéndose contar con más personal para mismas actividades en faena internacionales.

Por otra parte, la última reforma laboral significó un fortalecimiento de los sindicatos, especialmente inter-empresas, que por definición tratan de estandarizar beneficios, sin preocuparse de la situación particular de una empresa o ciclos económicos, que aumentan la inflexibilidad laboral que dificulta el dinamismo del mercado laboral y su productividad.

### 4.3.2 Factores internos

- **Marco contractual de proyectos:** Es conocido que existen espacios de mejora en los procesos de licitación, tales como mejorar los diseños y/o procedimientos de contratación que tengan como objetivo medible mejorar la productividad. No obstante, no hay una total claridad de sobre los riesgos existentes, es por ello que con la finalidad de resguardarse de riesgos no conocidos, se encarecen las ofertas al incorpora márgenes de imprevistos que generan sobrecostos desconocidos.

Un ejemplo claro de esto, es que los contratistas que generalmente trabajan para proyectos de construcción en CODELCO, conocen de antemano que existe una alta jerarquización en la toma de decisiones, regulada en el Manual de Alcance de Facultades, anticipando que no permiten una rápida toma de decisiones, y esta burocratización podría generar impactos en sus flujos de caja, por esta razón abultan su porcentaje de contingencia.

Otro factor que se podría ver afectado por el marco contractual interno, en las distintas etapas del proceso licitatorio, en las distintas etapas de ingeniería, en especial la de detalles, las empresas son diferentes y sin interacción con aquellas que construirán. Por otra parte, no se estimula formalmente a que los contratistas propongan mejoras técnicas y muchas veces tampoco se selecciona la propuesta, ya que una vez cumpliendo técnicamente, la decisión se toma con mayor relevancia por la oferta más baja económicamente y no necesariamente el que genera el mayor valor.

- **Criterio de inversión balanceada como política estabilizadora de ciclos:** En general el mercado de la construcción, en todo tipo de industrias, incluida la minera, está caracterizado según el estado del ciclo económico. En este sentido, el mercado de la construcción ve altamente fragmentada como para internalizar los beneficios y costos de invertir en mejoras tecnológicas que eleven la productividad de la construcción como un todo.

En tiempos de recesión, las empresas tienden a ajustar sus pasivos más flexibles, por ejemplo, recurriendo al despido de trabajadores para minimizar el riesgo de generar pérdidas y caer en quiebras.

La dinámica cíclica del mercado de la construcción podría ser contrarrestada con una adecuada planificación y diseño de proyectos de inversión pública con horizontes a mediano y largo plazo-independiente del ciclo económico-anclando las expectativas de los inversionistas y reduciendo la incertidumbre del mercado. Esto implicaría una disminución del costo de oportunidad de invertir en tecnología y por ende elevar la productividad.

- **Mercado laboral de la construcción:** el nivel educacional del trabajador en la construcción es bajo comparado con otros sectores, lo que limita la capacidad de innovar en los procesos productivos. Varios estudios en Chile han caracterizados la mano de obra de construcción, revelando cifras abrumadora en cuanto al bajo nivel educacional, donde 8 de cada 10 trabajadores de la construcción pertenece a la categoría de maestros, ayudantes o jornales y no cuentan con mecanismos formales de certificación de competencias que permitan una mayor movilidad laboral en cargos similares.

#### 4.3.3 Factores operacionales

- **La complejidad de los proyectos:** Los proyectos de construcción y en especial de construcción minera, son cada vez más complejos, situación que eleva los costos de ajuste a la inversión. En especial deben satisfacer las expectativas de diversas partes interesadas, que muchas veces no están ni coordinadas. Esto hace que la empresa constructora llegue en etapas tardías, para proponer cambios, con ajustes de costos a los



presupuestos originales, que podrían ocasionar mayor conflictividad y reducir la productividad.

- **Poca integración de tecnologías de la información:** La introducción de mayor tecnología de la información está más retrasado en la industria de la construcción, con respecto a otras industrias, que puede ser explicado desde dos ángulos: (i) gran atomización de la industria de la construcción, hace que haya muchos actores pequeños donde es difícil introducir este tipo de tecnología y; (ii) la gran diferencias de obras, hace que muchas veces cada obra sea única, no habiendo un mercado suficientemente grande que permita una mayor especialización o estandarización de tipologías de obras.

#### **4.4 Del efecto de las órdenes de cambio en la productividad laboral**

Es necesario tener en cuenta que ninguna medida de productividad es mejor que otra y que se puede medir de diferentes formas, no obstante, si hay consenso que todas las medidas buscan poner en relación la producción alcanzada con los recursos empleados para lograrla.

Una empresa o un país son más productivos si son capaces de producir más con los mismos medios o lo mismo empleando menos recursos. Por otro lado, no solamente interesan las unidades que se producen, sino su valor y el propósito con el cual se quiere utilizar. Es por ello, que la presente tesis busca de estimar y evaluar las pérdidas de productividad laboral debido al crecimiento de los contratos por órdenes de cambio, ya que son una de las causas más comunes y significativas de los impactos en costo y plazo en los contratos de construcción y montaje, las cuales pueden alterar los programas de trabajo y reducir la productividad.

Si bien la normativa de CODELCO regula que ningún cambio pueda llevarse a cabo sin la debida autorización en una orden de cambio, que contenga un completo análisis de impactos de su implementación, la velocidad de la construcción de una obra, no permite conocer el verdadero costo de este impacto de las órdenes de cambio propuestas antes de autorizar su ejecución.

Los contratistas por su parte prefieren enviar sus cálculos de costos de impacto de manera individual y generalmente se presentan sobre la base de que los costos de impacto no pueden aislarse para cada orden de cambio ni calcularse con precisión por adelantado debido interdependencia de las actividades de construcción. De hecho, pocos contratistas mantienen registros de trabajo adecuados que permitan la evaluación de los costos de impacto para cada orden de cambio

La administración de contratos en la Vicepresidencia de Proyectos, no cuenta con una metodología estandarizada para medir el costo del impacto de las órdenes de cambio antes de autorizar su ejecución, los cálculos generalmente se presentan sobre la base de que los costos de impacto no pueden aislarse para cada orden de cambio ni

calcularse con precisión por adelantado debido a la interdependencia de las actividades de construcción.

Se evidencia a través de la experiencia en la área de gestión de contratos en la VP, que no todos los contratistas mantienen registros de trabajo adecuados y precisos que permitan la evaluación de los costos de impacto para cada orden de cambio. Lo que lleva a presumir que algunos contratistas no se dan cuenta de que han incurrido en costos de impacto hasta que las declaraciones finales de ganancias y pérdidas indiquen una pérdida considerable, por los cuales solicitan al mandante solicitudes de compensación por dichos impactos.

Los costos por compensación de impactos pueden clasificarse en general en dos categorías:

- 1) **Relacionados con el tiempo:** Los costos relacionados con el tiempo son aquellos asociados principalmente con la duración extendida, es decir, la extensión del proyecto más allá de la fecha de finalización contractual original y que por naturaleza resulta más trazable y fácil de acordar una compensación por este efecto.
  
- 2) **Relacionados con la productividad:** Los costos relacionados con la productividad son los que resultan de las pérdidas de productividad. Y para precisar, la pérdida de productividad puede definirse como "la disminución de la eficiencia laboral debido a causas específicas versus un escenario sin ineficiencias". A diferencia de los costos relacionados con el tiempo, los costos relacionados con la productividad rara vez se pueden establecer con precisión simplemente porque es difícil demostrar en qué costos se habría incurrido sin la ineficiencia.

La productividad en el mercado de la construcción se mide principalmente con respecto a la mano de obra, no solo porque la construcción requiere mucha mano de obra sino también porque la mano de obra es la entrada más variable.

Por lo tanto, el crecimiento sostenido de los volúmenes de obra en un contrato, ya sea por modificaciones, correcciones, cambios y otras obras que no fueron previstas, resultan difíciles de planificar. Y generalmente surgen cuando se está en el peak de actividades y todas las especialidades trabajando simultáneamente, obligando a la empresa constructora a ejecutarlas con baja productividad.

La acumulación de cambios afecta los precios unitarios y la estrategia utilizada por el contratista en la presentación de su oferta original, respecto de su personal y expertise, como también del equipo considerado y es posible que los volúmenes de obra estimados al inicio con la ingeniería básica resultan muy inferiores a los reales ejecutados al fin del proyecto, debido al menor grado de avance de la ingeniería al momento de licitar.

En consecuencia, es posible plantear que las órdenes de cambio por sí solas afectan la productividad de la construcción (Change orders impact on labor productivity – Moselhi, Assem and El Rayes, ASCE, 2005). Y que su acumulación podrá llevar al contrato a su desnaturalización, convirtiéndolo en otro distinto, al variar los elementos de la esencia y naturaleza de lo pactado.

Por esto resulta importante no sólo contar con una robusta metodología de manejo y gestión de cambios en contratos en la VP, como se describe a continuación, sino también poder contar herramientas metodológicas que permitan estimar y/o anticipar los impactos económicos de la acumulación de órdenes de cambio respecto del contrato original que permitan anticipar o mitigar este efecto, como ejemplo, a través de la incorporación complementaria de la metodología IBBS a los contratos del PMCHS.

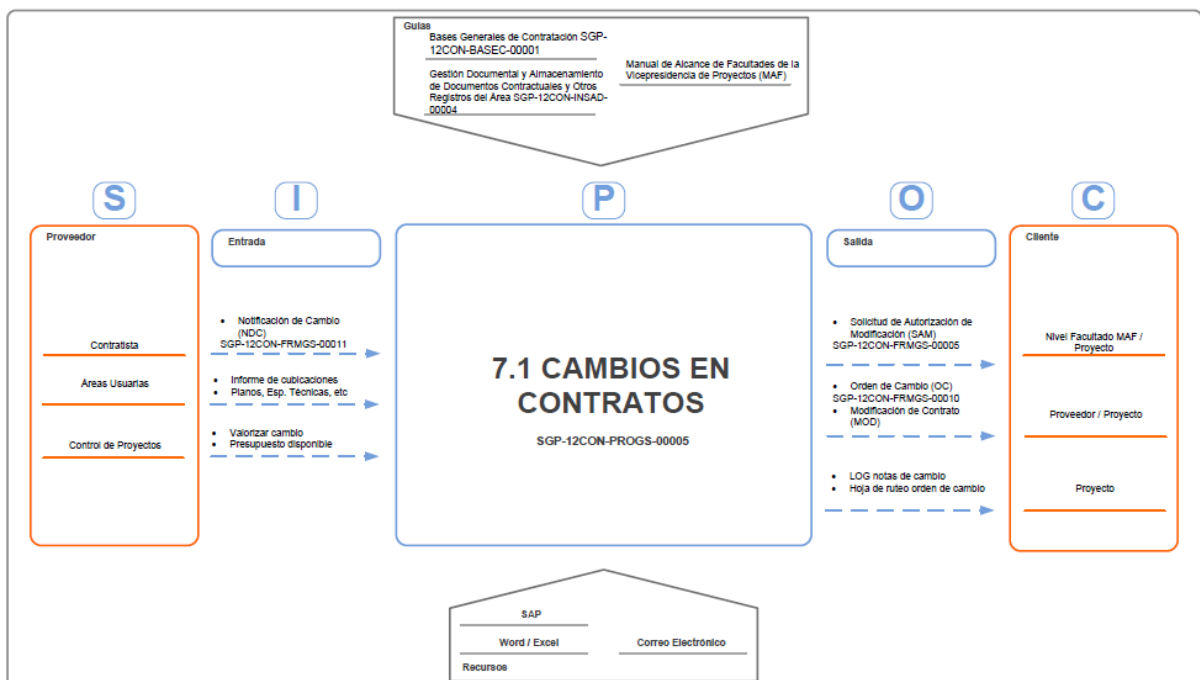
## CAPÍTULO N°5: GESTIÓN DE CONTRATOS EN LA VP

### 5.1 Gestión de cambios en contratos en la VP

En las Bases Generales de Contratación se establece que durante el desarrollo del Contrato, CODELCO podrá introducir los cambios que estime convenientes para llevar a mejor término el Encargo, los cuales en modo alguno podrán considerarse causal de vicio o nulidad del Contrato y sin perjuicio de las compensaciones que sean procedentes de acuerdo a lo establecido en estas Bases.

Cabe también mencionar que un Cambio tendrá el carácter de potencial mientras dicho cambio no sea aprobado por el Nivel Facultado de CODELCO. El procedimiento de cambio en general, ya sea por Cambios generados por el mandante como el contratista, al menos incluye la siguiente metodología paso a paso:

Diagrama 1: Gestión de cambio SIPOC



#### 5.1.1 Detectar el potencial Cambio

La actividad de detectar e informar en forma temprana el Potencial Cambio, es de vital importancia para el control de costos, pues permite iniciar el proceso de gestión del cambio, adoptando medidas que permitan eliminar el Potencial Cambio o en su defecto mitigar sus impactos con la mayor anticipación posible.

La detección de un Potencial Cambio, será responsabilidad del Gerente o Jefe de Ingeniería del Proyecto y en subsidio de los Jefes de Disciplina. El Gerente o Jefe de

Ingeniería deberá definir una metodología o proceso dentro de su organización que asegure la detección temprana del Potencial Cambio. Dicho sistema de detección, deberá ser sometido a la aprobación del Gerente del Proyecto, con el previo visto bueno del área funcional de Ingeniería y Constructibilidad, con objeto de aplicar las mejores prácticas recogidas en los diferentes proyectos de la Vicepresidencia de Proyectos.

### **5.1.2 Informar el potencial cambio**

Es relevante que, una vez detectado el Potencial Cambio, éste sea informado de manera completa y oportuna, en el menor plazo posible (3 días como máximo desde su detección), pues ello permitirá iniciar el proceso de gestión, con el objetivo de generar opciones que permitan eliminar el Potencial Cambio o en su defecto, mitigar sus impactos con la mayor anticipación posible. La responsabilidad de informar el Potencial Cambio será del Gerente o Jefe de Ingeniería del proyecto y en forma subsidiaria de los Jefes de Disciplina.

El aviso de Potencial Cambio será informado al Jefe de Control de Proyecto mediante el formulario "Aviso de Potencial Cambio"; este documento debe contener la mejor información a la fecha de emisión. Se adjunta en Anexo 1 el formato requerido.

### **5.1.3 Registrar, categorizar y estimar potencial cambio**

El área de Control de Proyectos a través del Especialista de Cambios será responsable de gestionar y coordinar el proceso de Gestión del Potencial Cambio. El Jefe de Control de Proyecto transmitirá el Aviso de Potencial Cambio al Especialista de Cambios para su registro en el log de Potenciales Cambios (anexo 10) y efectuar su categorización.

De igual forma, será su responsabilidad estimar los impactos en costo y plazo; este proceso requiere el involucramiento colaborativo del área de Ingeniería. Si el cambio afecta a uno o más Contratos en ejecución, será también responsabilidad del Gerente de Construcción (o Gerente de Operaciones), del Director de Construcción (o Jefe de Construcción), y de(los) Administrador(es) de (los) Contrato(s) afectados, apoyar la estimación del impacto. El Potencial Cambio se registrará y categorizará conforme a las pautas establecidas en el instructivo SGP-GCP-DCP-INS-009.

### **5.1.4 Reunión de revisión de potenciales cambios**

Para la revisión de los Potenciales Cambios, el Gerente de Proyecto generará un Equipo de trabajo Integrado, cuya misión será gestionar el impacto del Potencial Cambio, con el objetivo de generar opciones que permitan eliminar el Potencial Cambio o en su defecto, mitigar sus impactos.

Para tal efecto, se desarrollará una reunión semanal liderada por el Gerente del Proyecto, en la cual se revisarán los Potenciales Cambios y se analiza su impacto en el Proyecto, tanto en costos como en plazos, así como las opciones que permitan eliminar el Potencial Cambio o en su defecto, mitigar sus impactos.

Dado que esta reunión es la principal instancia donde se puede analizar en conjunto la viabilidad, competencia, oportunidad, costos e impacto en los plazos de un Potencial Cambio, se requerirá la presencia de al menos los siguientes roles, sin limitarse a la necesidad de incorporar otras áreas según corresponda:

- Gerente de Proyecto,
- Jefe de Planificación Estratégica
- Gerente o Jefe de Ingeniería,
- Gerente de Construcción (o Gerente de Operaciones)
- Directores de Construcción (o Jefe de Construcción)
- Jefe de Contratos
- Jefe de Adquisiciones
- Jefe de Control de Proyecto
- Especialista de Cambios
- Jefe de Sustentabilidad
- Jefe de Seguridad
- Otros (según se requiera).

El Gerente de Proyecto y los otros miembros del equipo señalados, deberán programar sus actividades con el fin de asegurar su asistencia a la reunión semanal de revisión de Potenciales Cambios. El Especialista de Cambios como líder del proceso, deberá registrar la asistencia e indicar el porcentaje de concurrencia de las personas, lo cual será informado mensualmente al Gerente del Proyecto y al Director de Control de Proyecto.

### **5.1.5 Evaluación para acción de mitigación**

De acuerdo con la complejidad del Potencial Cambio, aquellos que no puedan ser resueltos en la reunión semanal, podrán ser derivados por el Gerente del Proyecto a un integrante del Equipo de Trabajo Integrado para el estudio de los impactos y opciones de mitigación pudiendo requerirse reuniones focalizadas, realizando sesiones de generación de ideas para encontrar opciones que permitan eliminar el Potencial Cambio o en su defecto, mitigar sus impactos por medio de planes de mitigación.

Los planes de mitigación se desarrollan como parte del proceso y para una mayor planificación, el responsable designado por el Gerente del Proyecto, deberá revisar las medidas sugeridas y dirigirá las actividades del equipo del proyecto para preparar un plan de mitigación.

El plan, deberá contener suficiente información, de manera que el área de Control de Proyectos pueda asignar valores al dicho plan e incorporarlas al log de Potenciales Cambios, de manera de hacer seguimiento al plan de mitigación, sujeto a la revisión y aceptación final del Gerente de Proyecto.

### **5.1.6 Aprobación del potencial cambio por el gerente del proyecto**

Una vez definidas las medidas de mitigación, y el valor más actualizado al estimado del Potencial Cambio, el Jefe de Control de Proyecto deberá solicitar la aprobación del Gerente del Proyecto por medio del formulario “Aprobación del Potencial Cambio”, cuyo formato se acompaña en anexo 2. Un Cambio tendrá el carácter de POTENCIAL mientras dicho cambio no sea aprobado por el Nivel Facultado conforme al MAF VP.

### **5.1.7 Cambio clasificado como “cambio de alcance significativo o relevante”**

El Cambio, podrá clasificarse como “Cambio de Alcance Significativo o Relevante”. En relación con esta clasificación, el documento SIC-M-001 señala que, si el estudio o proyecto presentara cambios relevantes al concepto, alcance, costo o programación, deberá solicitar fondos a través de una propuesta reformulada. Las normas y procedimientos para la presentación de proyectos de inversión de CODELCO señalan textualmente, “si el proyecto presenta uno o más cambios significativos o relevantes en el concepto y/o alcances aprobados originalmente, o en la última reformulación, independientemente de si estos cambios modifican o no el costo del proyecto, será causal de Reformulación del API”. Por lo expuesto, no es atribución del Gerente del Proyecto autorizar este tipo de cambios, debiendo cumplirse con los procedimientos normativos de CODELCO.

Sin ser taxativo ni limitante, caerán dentro de la categoría de “Cambio en el Alcance Significativo o Relevante” las variaciones en las capacidades de diseño, las modificaciones de layout, los cambios en el uso de tecnología, entre otros.

### **5.1.8 Requerimiento de información para emitir nota de cambio**

Corresponde al documento formal en que el Administrador o Administradora del Contrato de CODELCO informa un cambio requerido en la Obra, Trabajo o Servicio incluido en el Contrato. También se entenderá como Notificación de Cambio al documento que presente el Contratista para solicitar la compensación por alguna variación a las condiciones originales del Contrato.

Las Notificaciones de Cambio planteadas por el Contratista deberán presentarse en el formato tipo establecido para dicho efecto, con los presupuestos y estudios de precios que sean necesarios y adjuntando toda la información de respaldo para que CODELCO pueda analizar debidamente la solicitud presentada por el Contratista. En caso que el Contratista considere que el cambio afecta el plazo de ejecución del contrato o de algún hito parcial, también debe incluirlo en la Notificación de Cambio, con los antecedentes que justifiquen su solicitud.

En forma excepcional, a través de una Notificación de Cambio, puede instruirse a un Contratista para que efectúe un trabajo que corresponde a un cambio en su Contrato, sin otro procedimiento previo, siempre que se trate de una emergencia que lo amerite, lo que será calificado e informado por CODELCO.

Para su validez, toda Notificación de Cambio, valorizada y aprobada, debe ser formalizada con una Orden de Cambio o Modificación de Contrato, según proceda, en un plazo no superior a 60 días, desde su aprobación por CODELCO.

En el caso que el Cambio afecte a un Contrato en ejecución, el Administrador del Contrato será responsable de gestionar con el Gerente o Jefe de Ingeniería del Proyecto, todos los antecedentes necesarios para requerir al Contratista una valorización del Cambio por medio de una Nota de Cambio, conforme lo determina la cláusula 35.1 de las Bases Generales de Contratación y cuyo formato se adjunta en el anexo.

#### **5.1.9 Entrega de la información requerida para solicitar cotización al Contratista**

El Gerente o Jefe de Ingeniería del Proyecto será responsable que su área prepare toda la información requerida por el Administrador de Contrato (actualización de documentos de diseño, planos, especificaciones, etc.) junto con el Informe de cubriciones con objeto de solicitar al Contratista una valorización del Potencial Cambio.

#### **5.1.10 Envío de nota de cambio al Contratista**

Conforme lo determina la cláusula 35.1 de las BGC, el Especialista de Abastecimiento prepara la Nota de Cambio para ser enviada al Contratista con objeto que éste valore el Potencial Cambio requerido, y cuyo formato se adjunta en anexo 3.

#### **5.1.11 Valorización del cambio por el Contratista**

Recibida la documentación del Potencial Cambio, el Contratista procede a analizar, valorar y emitir la Notificación de Cambio valorizada.

#### **5.1.12 Revisión de la valorización presentada por el Contratista**

Una vez que el contratista haya entregado la Notificación de Cambio (NC), ésta será sometida por el Especialista de Abastecimiento a revisión interna por parte de la VP.

- La revisión se inicia con el análisis de Ingeniería, quien chequea que los trabajos comprendidos en la Nota de Cambio (NC) enviada por el Contratista, obedecen a una correcta interpretación de los cambios contenidos en los planos, especificaciones y demás antecedentes enviados para su valorización.



- Construcción, Calidad y Puesta en Marcha, según corresponda y conforme al alcance del Potencial Cambio, deben revisar la metodología empleada y los requisitos adicionales del nuevo alcance.
- Control de Proyecto revisa los precios unitarios, además de verificar que los presupuestos se encuentren contenidos en los montos aprobados por el Gerente del Proyecto.
- La Inspección Técnica de Producto (ITP) debe revisar las cubicaciones contenidas en la Nota de Cambio. En ausencia de dicha ITP, el área de Ingeniería verificará dichas cubicaciones.

Si las áreas tienen observaciones, el Especialista de Abastecimiento informará al Contratista las observaciones efectuadas a la Nota de Cambio. No obstante dicha comunicación, el Administrador del Contrato en conjunto con el Especialista de Abastecimiento deberán gestionar las reuniones que sean necesarias con el Contratista con objeto de transmitir con la mayor precisión las observaciones de las áreas y un rápido término del proceso.

Las negociaciones que deban efectuarse, serán lideradas por el Administrador del Contrato junto con el Especialista de Abastecimiento. El contratista deberá emitir una revisión de la Nota de Cambio para efectos de su aprobación final. Para efectos de constancia del proceso de revisión de la Nota de Cambio, se utilizará una hoja de ruteo, cuyo formato se acompaña en el capítulo de Anexos.

En señal de conformidad con los términos negociados, el Administrador del Contrato y el Especialista de Abastecimiento firmarán la Nota de Cambio.

#### **5.1.13 Preparación y envío de SAM**

El Especialista de Abastecimiento elaborará la Solicitud de Autorización de Modificación (SAM) en caso de que los cambios surgidos no estén dentro de lo autorizado para el contrato por parte de los niveles facultados de CODELCO, conforme al formato que se acompaña en el anexo.

Esto incluye la elaboración del documento, la presentación en PPT (en caso que el nivel de aprobación conforme a MAF VP sea el GASP o nivel superior) y el posterior seguimiento hasta su aprobación final. Será responsabilidad del Jefe de Contratos la tramitación de la SAM. En caso de que el Nivel Facultado requiera mayores antecedentes, éstos deberán ser preparados por el Especialista de Abastecimiento y el Administrador de Contratos y ser reenviados formalmente.

Si la SAM no es aprobada por el Nivel Facultado, el Especialista de Abastecimiento informará al Gerente de Proyecto, al Administrador de Contrato, al Jefe de Control de Proyectos, al Gerente o Jefe de Ingeniería y al Contratista, del rechazo y se efectuará el registro correspondiente. En señal de conformidad con los términos negociados, el Administrador del Contrato y el Especialista de Abastecimiento firmarán la Nota de Cambio.

#### **5.1.14 Orden de cambio (OC)**

Respecto de cualquier Obra material, Trabajo o Servicio, CODELCO podrá ordenar al Contratista los siguientes cambios, si procediere, los que se formalizarán mediante una Orden de Cambio:

- Aumento o disminución de las cantidades estimadas.
- Cambio o sustitución, en todo o en parte, de especificaciones, disposición, ubicación o dimensiones.
- Incorporación de nuevas partidas.
- Modificación del método de trabajo.
- Modificación del programa de trabajo.
- Aumento o disminución del Plazo de Ejecución y/o Vigencia del Contrato

Las obras que se generen producto de estos cambios, se denominarán “Obras Adicionales”. Para requerir, evaluar, valorizar e incorporar tales cambios al Contrato, las Partes se ceñirán a lo indicado en la cláusula denominada Compensaciones por Efecto de Cambios de estas BGC.

El Contratista deberá informar a CODELCO mensualmente, o en las oportunidades que lo instruya CODELCO, acerca de las variaciones positivas y negativas en las cantidades de Obra o Servicios estimadas en el Contrato.

Las materias que son permitidas de ser incorporadas al Contrato mediante Órdenes de Cambio son aquellas indicadas bajo el título CAMBIOS de las Bases Generales de Contratación. Otras materias deben formalizarse mediante Modificación de Contrato. La emisión de una Orden de Cambio debe cumplir con dos requisitos formales básicos:

- Debe incluir sólo Notas de Cambio que estén aprobadas, según lo indicado en el presente Instructivo.
- Los montos a comprometer mediante la Orden de Cambio deben estar aprobados en una SAM por los niveles facultados según MAF.

El Especialista de Abastecimiento es el responsable de la preparación de las Órdenes de responsabilidad, conforme al formato adjunto.

Varias Notas Cambio se pueden formalizar a través de una Orden de Cambio. La Orden de Cambio será aprobada por el Administrador de Contrato, quien también podrá objetarla por motivos de forma debiendo reemitirse, o bien podrá rechazar la Orden de Cambio producto de que las condiciones en las cuales se aprobó la Nota de Cambio se han modificado, lo cual hace innecesario o improcedente materializar dicho cambio.

Transitoriamente, mientras no se efectúe el curso de capacitación a los Administradores de Contratos, la aprobación de la orden de Cambio recaerá en el Gerente de Proyecto.

Una vez firmada la Orden de Cambio por el Administrador de Contrato o el Gerente de Proyecto según corresponda, el Especialista de Abastecimiento envía la Orden de Cambio al Contratista para su firma. Una vez firmada la orden de Cambio por las partes, ésta está formalmente incorporada al contrato, por lo que es ingresada a SAP por la unidad de Contratos del proyecto.

Posteriormente se enviará una Copia de la Orden de Cambio al Jefe de Control de Proyectos, a fin de registrar su compromiso y asignación de presupuesto, de modo de asegurar que la información actualizada de Contratos esté incorporada en las proyecciones de costo del Proyecto.

El Analista de Abastecimiento debe mantener actualizado el registro (LOG) de las NC; OC, Resumen Ejecutivo del Contrato, documento que contiene el resumen de la información de cada contrato (Datos iniciales del contrato, SAM con sus valores, Órdenes de Cambio y Notificaciones de Cambio en curso).

## **5.2 Metodología de Medición de Avance Físico**

Para aplicar el método IBBS, se debe mencionar que la medición del avance en la fase de construcción para los proyectos de Vicepresidencia de Proyecto, está regulado en el instructivo SGP-GASP-DPC-INS-002, en el cual se obliga a todos los Contratistas utilizar el “**Método de las HH Ganadas**”, es decir, las cantidades de obra física de las disciplinas que aportan al avance se expresarán en horas-hombre obtenidas del producto entre el rendimiento considerado en el API para cada actividad y las cantidades de obra del Estimado a Término (Presupuesto Aprobado API + Tendencias Aprobadas).

La ponderación de cada ítem en la fase de construcción será en base a las HH directas de cada actividad.

El avance físico real de cada ítem se calcula de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) La cantidad de obra ejecutada a la fecha de control sobre el total del ítem estimado a término. El estimado a término no necesariamente será igual al valor presupuestado. Por ejemplo:

La ponderación se calcula en función de las HH directas de la actividad respecto a la suma total de HH directas de las actividades que aportan al avance físico del contrato.

Por ejemplo:

Ítem hormigón fundaciones: cantidad total estimado= 200 m<sup>3</sup>, la obra ejecutada al mes de control es= 50 m<sup>3</sup>, por lo tanto el avance físico es 25%.

El avance siempre debe medirse respecto de la obra a ejecutar y no respecto del presupuesto ya que la gestión de control debe contemplar la realidad, aunque esta difiera de lo que se presupuestó.

Considerando los estándares del Contratista de obra para las etapas del proceso constructivo, a menos que no lo tenga o que su aplicación no represente el esfuerzo realizado. Por ejemplo, en un montaje de bomba se puede tener lo siguiente:

TABLA 2: EJEMPLO PONDERACIÓN DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MEDIR AVANCE FÍSICO EN UN CONTRATO

Actividad	% Avance
Presentación	5%
Montaje - Posicionamiento	45%
Montaje - Alineación y calibración	30%
Conexión Línea, Realineamiento	15%
Prueba de Sentido de Giro	5%

- b) Para el caso de la medición del avance de los contratos de construcción se deberá usar el mismo método descrito anteriormente pero basándose en los rendimientos de las ofertas adjudicadas.

De lo anterior se desprende que el elemento comunicante entre el(los) contratistas serán las **cantidades de obras reales y las horas-hombre realmente gastadas** en la ejecución de las actividades.

### 5.3 Reporte de entrega diaria

Para el reporte diario de fuerza laboral y descripción de actividades realizadas, en formato que entregará CODELCO al Contratista, se define lo siguiente:

- Personal: se entenderá como todo recurso humano dispuesto por el Contratista para ejecutar la obra. Se identificará la descripción del cargo (Ingenieros de Terreno, Capataces, Maestros, entre otros).
- Directos: se entiende por directos a aquella dotación laboral directamente relacionada con el avance físico de la obra. Para este bloque laboral se debe reportar la cantidad de personas y las horas hombre de trabajo asociadas.
- Indirectos: se entiende por Indirectos a aquella dotación laboral abocada a la supervisión y administración de la obra más aquella mano de obra manual no directamente relacionada con actividades que dan avance a la obra. Ejemplo: pañoleros, personal de aseo, rondines, y otros.
  
- Para este bloque laboral se debe reportar la cantidad de personas y las horas hombre de trabajo asociadas.
  
- Descanso: considera la dotación que se encuentra en períodos de descanso o bajadas, de acuerdo a la definición de personal directo o indirecto indicada anteriormente.
  
- Equipos: se debe entregar una descripción de los equipos utilizados, indicando la cantidad de horas de trabajo de cada uno de ellos.

### 5.2.1 Definiciones de horas de operación

El proyecto definió para los contratos 4 (cuatro) KPI diferentes para medir las horas de operación de los contratos del Proyecto:

**TABLA 3: MEDICIÓN DE HORAS DE OPERACIÓN DENTRO DE UN CONTRATO PMCHS.**

KPI	Definición	Método de cálculo
Horas disponibles en turno.	Horas disponibles en el turno.	12 horas del turno menos tiempo de ingreso hasta instalaciones de faena.
Horas disponibles en frente.	Horas disponibles para operar.	12 horas del turno menos tiempo de ingreso hasta el frente de trabajo, colación y traslado hacia y desde casino.
Horas contributivas.	Horas en que el trabajador está en el frente.	Horas disponibles en frente menos charla de seguridad, ART, reuniones, espera por herramientas, equipos y materiales.
Horas efectivas (herramienta en mano)	Horas en que el trabajador está con herramienta en mano.	Horas contributivas menos tiempo de planificación.

La Vicepresidencia cuenta con una robusta metodología de manejo y gestión de cambios en contratos en la VP, así como también indicadores de gestión de productividad de las horas efectivas reales que se dispone una obra, que llevan a un riguroso control del avance real de una obra. No obstante, como se puede apreciar

no existen herramientas metodológicas que permitan estimar y/o anticipar los impactos económicos de la acumulación de órdenes de cambio respecto del contrato original.

En la práctica, la organización no dispone de herramientas para medir completamente que hay pérdida de productividad resultante de las órdenes de cambio. Esto se deriva de la dificultad para determinar los costos de impacto por la pérdida de productividad debido a la acumulación de órdenes de cambios y también debido a la incapacidad de los contratistas para cuantificar adecuadamente dichas pérdidas, ya que no cada orden de cambio no puede aislarse ni calcularse con precisión por adelantado debido interdependencia de las actividades de construcción.

Por esta razón, la metodología IBBS es una herramienta complementaria, que puede validarse junto a los otros métodos planteados, para medir el impacto de las órdenes de cambio y como se podría agravar dicho impacto con la incorporación tardía de dichos cambios, según se puede evidenciar en la aplicación de esta metodología a los dos contratos de construcción más relevante del proyecto Chuquicamata subterráneo, que se detalla en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO N°6: ANÁLISIS DE CASOS PARA LOS PRINCIPALES CONTRATOS DE CONSTRUCCIÓN CON EL MÉTODO IBBS**

### **6.1 Introducción**

Los dos casos que examinan a continuación, corresponden a dos contratos más relevantes de construcción y montaje dentro del proyecto Mina Chuquicamata subterránea de Codelco, en relación a montos económicos adjudicados, junto con la complejidad del trabajo, intensidad del trabajo (es decir, rigidez en el horario); sumado al nivel de cambios ejecutados en relación con la envergadura y alcance de la iniciativa.

No obstante, uno de estos contratos analizados, se distingue debido a que se trabajó con el procedimiento de productividad establecido en la compañía y en el marco de la VP (Caso N°2) y el otro contrato analizado no consideró este análisis de productividad (Caso N°1). Este caso en particular, presenta un conjunto de riesgos y afectaciones que no fueron evaluadas oportunamente, lo cual podría haberse afectado las relaciones y comunicación entre las distintas partes, afectando en mayor medida el desempeño durante el ejercicio de la iniciativa y presentar el desarrollo del proyecto con brechas significativas, lo anterior por el hecho de presentar menos supervisión por parte del mandante.

Ambas iniciativas de proyectos y sus consecuentes contratos se regían por un idéntico marco normativo contractual así como también por el mismo estándar y procedimiento para procesar las órdenes de cambio. Sin embargo, se evidencia que el tiempo de procesamiento tanto en la preparación como la aprobación del mismo, fue distinto en cada caso analizado.

Otra diferencia observada en el análisis, corresponde al nivel de detalle de especificaciones de ingeniería de cada proyecto, en el caso N°1 la adjudicación del proyecto y su contrato consideró una ingeniería de detalle menor al 30%, en contraste el caso N°2 analizado, el nivel de ingeniería de detalle menor es cercana al 70%, se debe considerar que un menor nivel de ingeniería de detalle involucra una mayor gravedad de errores de diseño y omisiones durante la ejecución del proyecto, ámbito que impacta directamente en la gestión y administración del proyecto, presentando mayores desafíos de gestión contractual para los líderes de proyectos y administradores del contrato.

Con estos ámbitos generales a continuación se realiza en estudio y evaluación de cada uno de los casos indicados para realizar la aplicación de la metodología IBBS.

## 6.2 Caso N°1: Construcción y puesta en marcha de redes eléctricas, subestaciones principales y piping interior mina y superficie.

### 6.2.1 Descripción general del servicio

El presente caso a analizar trata de un contrato adjudicado en agosto del 2018, con la finalidad de construir todo el sistema de Redes eléctricas, subestaciones eléctricas principales y el sistema de redes de Piping al interior y en superficie del proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, con un monto inicial adjudicado por **US\$92.223.858** para un plazo total de ejecución de 562 días corridos (18 meses), con la siguiente distribución de HH.

TABLA 4: DISTRIBUCIÓN DE HORAS HOMBRE CASO N°1

Ítem	Partidas	HH Contrato
1	Instalación de Faenas	28.248
2	Desmovilización	
3	Costo Directo	1.163.823
4	PEM	138.420
5	Ingeniería Terreno	5.000
6	Gastos Generales	
7	Utilidades	
	<b>Total Horas Hombre</b>	<b>1.335.491</b>

Fuente: Informe mensual contrato N°1 PMCHS.

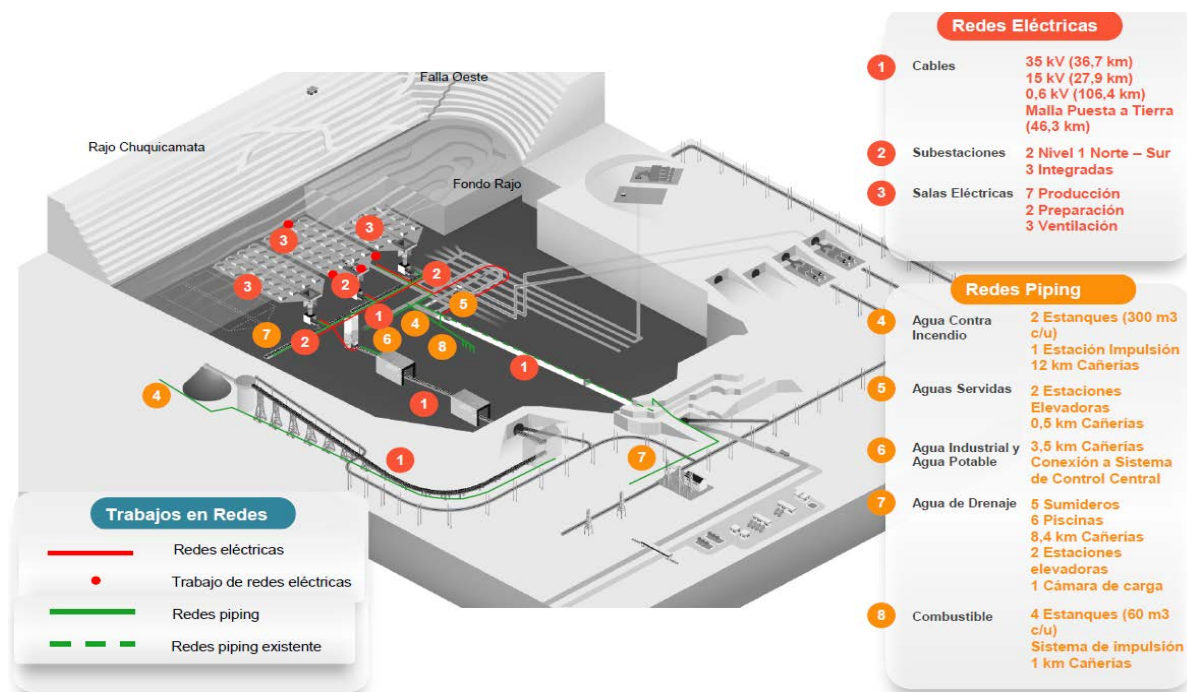
El alcance del contrato consideraba la intervención en sectores con alta interferencia con otros contratistas especialmente en la zona de la Subestación Tchitack, Túnel de Acceso Principal (TAP), Túnel de Transporte Principal (TTP), Rampa de acceso Planta Hormigón y Shotcrete, Rampa de acceso a subniveles, los túneles de correas colectoras, correas intermedias, subnivel de extracción de aire y las unidades productivas propiamente tal (Macrobloques MB).

En estas áreas se realizó el montaje de soportaciones para cañerías y canalizaciones para alimentar eléctricamente las subestaciones y salas eléctricas que permitirán la operación del proceso productivo. Además, el Contratista realizó el montaje y conexión de la totalidad de los equipos al interior de las salas y subestaciones eléctricas definidos dentro del alcance del contrato (Pruebas eléctricas de construcción inclusive).

Por otro lado, también se realizó la instalación de soportes y cañerías para los sistemas de agua de incendio, drenaje, industrial, potable y combustible; además de la habilitación multidisciplinaria para la totalidad de los sistemas dentro del encargo.



Ilustración 5: Diagrama constructivo estudio caso contrato N°1.



Fuente: Base técnica base de licitación contrato N°1 PMCHS.

En resumen el alcance de este contrato corresponde a:

- Sistema de distribución eléctrica en superficie
- Sistema de distribución eléctrica interior mina
- Construcción de subestaciones y salas eléctricas interior mina
- Sistema de alumbrado calles y túneles
- Sistema de agua contra incendio
- Sistema agua de drenaje
- Sistema agua industrial y potable
- Sistema de aguas servidas
- Sistema de almacenamiento y suministro de combustible

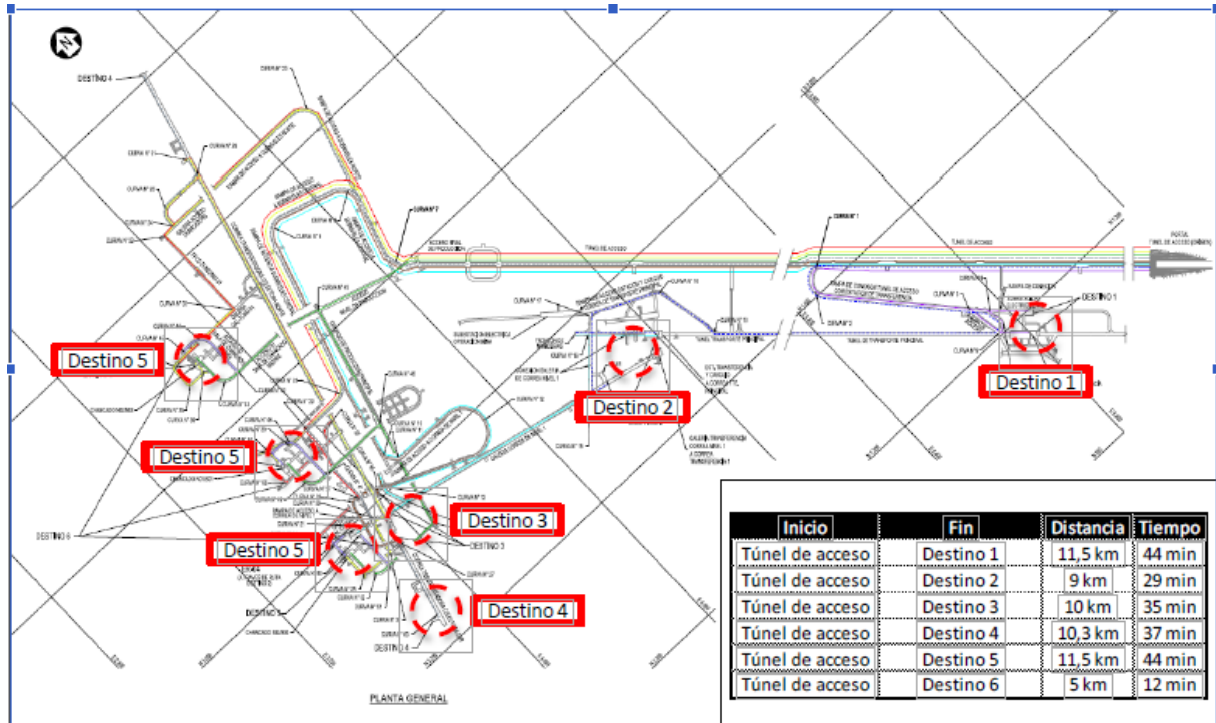
### 6.2.2 Acceso frentes de trabajo

Los trayectos al interior mina, están descritos en la imagen adjunta. Los destinos mencionados, están descritos a continuación:

Los tiempos y distancias mencionadas, consideran solo la llegada a los destinos mencionados, sin embargo, hay algunos frentes de trabajo que no están contemplados debido a falta de información. Velocidad considerada en interior túnel: 25 km/hr hasta rotonda y 10 km/hr a partir de ese punto \*La distancia y tiempo indicado considera el trayecto desde el túnel de acceso.

- Destino 1: Estación de transferencia y subestación eléctrica transporte principal subterráneo.
- Destino 2: Estación de transferencia correa de nivel 1 a correa de transporte principal.
- Destino 3: Sistema de acopio subterráneo de nivel 1 – Sector de alimentación correa de nivel 1.
- Destino 4: Galería de correas colectores y correa reversible.
- Destino 5: Sala de chancado nivel 1
- Destino 6: Correa intermedia.

Ilustración 6: Acceso frentes de trabajo contrato N°1



Fuente: Formulario técnico de la Oferta adjudicada contrato N°1 PMCHS.

### 6.2.3 Equipos de construcción

Mayoritariamente los equipos de construcción considerados para la ejecución de los trabajos son de propiedad del Contratista, por tanto con disponibilidad inmediata una vez indico los trabajos.

El parque de equipos ofertados aseguró disponibilidad de acuerdo con el programa de trabajo.

- Disponibilidad total en obra del 97,5% para cada equipo\*
- Cumplimiento de plan de mantenimiento del 100%
- Respuesta inmediata de mecánicos ante fallas de equipos
- Entrega de suministros críticos en 24 hrs\*\*
- Máximos estándares y desempeño en seguridad y calidad

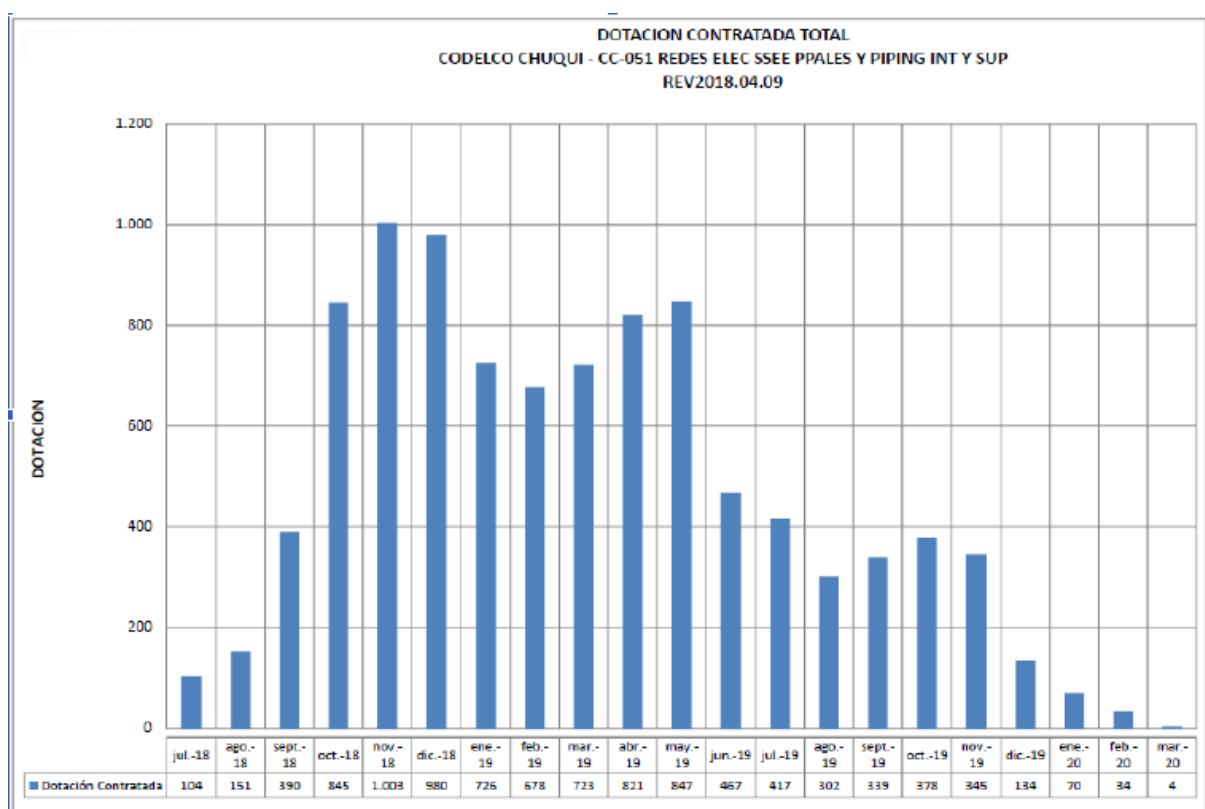
- Completo respaldo administrativo del mantenimiento de los equipos
- Completo respaldo administrativo de sistemas de seguridad y medio ambiente requeridos

### 6.2.4 Dotación directa total contratada

Para el cálculo de las dotaciones, se considera 165 horas mensuales de trabajo. Además, están considerados los capataces, equivalente al 8% de las HH directas totales. Con esto, se tiene un peak de 1003 trabajadores contratados (Día+Noche), y esto ocurre en el mes de Noviembre del 2018.

El sistema de turnos considerado para el personal directo corresponde 10 x 10 días, por lo cual se tienen 2 turnos, estando siempre 1 turno presente y el otro en su período de descanso, con lo cual dotación directa presente corresponde a la mitad de la contratada.

Gráfico 10: Curva dotacional contrato caso N°1



Fuente: Informe mensual Contrato Caso N°1 PMCHS

### 6.2.5 Evolución de estados de pagos

Para el contrato de Construcción y Puesta en Marcha de Redes Eléctricas, Subestaciones Eléctricas Principales y Redes de Piping Interior Mina y Superficie se revisaron cada uno de los estados de pago hasta identificar el avance físico del 70% según se detalla a continuación

**TABLA 5: REVISIÓN DE ESTADOS DE PAGOS SEGÚN AVANCE FÍSICO ACUMULADO**

EP	Av. Físico Real Acumulado	Fecha Estado de Pago
1	0,35%	28-09-2018
2	5,93%	26-10-2018
3	20,38%	30-11-2018
4	26,25%	14-12-2018
5	30,52%	28-12-2018
6	37,34%	25-01-2019
7	40,38%	08-02-2019
8	45,94%	01-03-2019
9	50,27%	15-03-2019
10	53,98%	29-03-2019
11	57,99%	12-04-2019
12	62,06%	26-04-2019
13	71,21%	24-05-2019
14	81,83%	28-06-2019
15	84,18%	09-08-2019
16	89,85%	30-08-2019
17	96,64%	27-09-2019

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.6 Registro de cambios al contrato

En la revisión de los estados de pago y los informes mensuales para las 3 curvas de temporalidad de IBBS:

**TABLA 6: RESUMEN ESTADOS DE PAGO CASO N°1**

EP	mes	Av. Físico Real Acumulado	HH Ganadas	HH Pagadas	Dif.	Brecha Físico/Financ.	Fecha Estado de Pago
3	nov-18	20,38%	237.202	104.191	133.011	44%	30-11-2018
7	feb-19	40,38%	486.237	238.057	248.180	49%	08-02-2019
13	may-19	71,21%	958.184	320.814	637.370	33%	24-05-2019

Fuente: Elaboración propia.

Al Estado de pago N° 3 según Informe Mensual de Noviembre de 2018 existían partidas en el itemizado que no podían ser cobradas debido a cambios en las partidas por cambios de algunos o varios de los elementos de los precios unitarios, cambio de diseño y reemplazo de trazados en las redes eléctricas y de Piping.

Asimismo, el contratista tenía problemas con su oficina técnica que a pesar de los cambios ocurridos no formalizaban los cambios, ámbito que genera una brecha de avance físico/financiero superior al 11%, con una condición real de la obra con 0% de cambios aprobados.

Al Estado de pago N° 7 según Informe Mensual de Febrero de 2019, el Contratista ha ganado un total de 486.237 horas hombres, no obstante sólo pudieron ser cobradas 238.057 HH.

Las HH faltantes que no cobraron están asociadas a las siguientes partidas por falta de aprobación de un nuevo Forecast y Notificaciones de Cambio de acuerdo con el siguiente detalle:

- Cambio Línea de Drenaje equivalente a 23.696 HH
- Alternativas de Soportación para redes eléctricas equivalente a 36.569 HH
- Línea de drenaje exterior mina tramo de 200 mm de pexgol por 2.611 HH
- Puertas Críticas de Ventilación V-5050 por 16.724 HH

**TABLA 7: HH ACTIVIDADES CRÍTICAS CONTRATO CASO N°1**

<b>Puertas Críticas de Ventilación V-5050</b>	<b>HH</b>
Emplantillado H30 e= 50 mm	21
Hormigón H30 - Muro e=200 mm	943
Hormigón H30 - Fundación Muro	121
Hormigón H30 - Poste de contención (cant=4)	43
Hormigón H15 - Radier e= 15 cm - Tableros de Fuerza y	135
Suministro e instalación Armadura de refuerzo A63-42H	123
Suministro e instalación Armadura de refuerzo A63-42H	59
Suministro e instalación Armadura de refuerzo A63-42H	16
Suministro e instalación Malla Acma C-196 Radier	4
Suministro y instalación Pernos de anclaje a roca	310
Montaje Puerta ventilación V-5050	5.330
Montaje de tablero de fuerza y control	356
Montaje de Sensor de presencia (2un x Puerta tipo	198
Montaje de accionamiento local (Tirador o botonera)	370
Montaje de límites de carrera (2un apertura + 2un cierre)	193
Montaje de Baliza	121
Montaje Sirena	121
Tapado hormigón tunel	1.250
Habilitación eléctrica Portones (en revisión)	7.010
<b>TOTAL</b>	<b>16.724</b>

Fuente: Elaboración propia.

Y aproximadamente existen 168.580 HH que pudieron ser cobradas por gestión de contratistas en respaldos del avance de su obra al estado de Pago N°7 con protocolos de construcción o avances con no conformidades.

En consecuencia, al Estado de pago N°7, se puede confirmar que sólo se habían formalizados 2 órdenes de Cambio, que generó una brecha de avance físico/financiero de 21%.

## 6.2.7 Cálculo del Porcentaje de cambio

TABLA 8: REGISTRO CRECIMIENTO DE CONTRATO EN HORAS HOMBRE.

Detalle de Actividades	HH PO	HH POM 8	FORECAST A TERMINO
Construcción	1.163.823	1.034.627	1.034.627
Instalación de Faenas	28.248	28.530	28.530
Ingeniería de Terreno	5.000	14.874	14.874
PEM	138.420	149.304	163.861
Ordenes de Cambio Aprobadas		482.017	482.017
Items Afectos en Forecast			-
NDC en Revisión y POT			34.894
NDC Aprobadas que no aportan a PBC			290.836
<b>SubTotal</b>	<b>1.335.491</b>	<b>1.709.352</b>	<b>2.049.640</b>
HH Indirectas PEM			
<b>Total</b>	<b>1.335.491</b>	<b>1.709.352</b>	<b>2.049.640</b>

Fuente: Elaboración propia.

Define a las HH como ponderador único para la fase de construcción, por lo tanto las HH a considerar para el cálculo serán sólo las que aportan al Programa Base para la construcción:

Por lo tanto, el contrato creció en Órdenes de cambio por trabajos adicionales y extraordinarios solicitados por el Mandante en 352.821 HH.

A continuación, se calcula el porcentaje de cambios medido en HH directas:

$$\% \text{ cambios} = \frac{\text{HH directas asociadas a adicionales del contrato}}{\text{HH directas reales del contrato}}$$

$$\% \text{ cambios} = \frac{352.821}{2.049.640} = 17,2\%$$

Luego, el porcentaje de cambio en el contrato corresponde a **un 17,2%**

## 6.2.8 Determinación de la Curva de Productividad

Para determinar la curva de productividad revisamos los siguientes logs de control donde registran todos los aspectos contractuales administrativos:

- Log de Notificaciones de Cambios
- Log de Órdenes de Cambio
- Log de Estados de Pagos
- Informe Diario de actividades entregado por el contratista.
- Detalle del Estimado a Término Mensual de control del Mandante

Lo anterior, con la finalidad de conocer con precisión las fechas en que el mandante reconoció los cambios:

**TABLA 9: RESUMEN CURVAS IBBS CONTRATO CASO N°1**

Curva	Requisito	Condición Real de Obra	Cumplimiento
Temprana	En la fecha del 20% de avance (Nov-2018) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 0% de los cambios	No se cumple
Normal	En la fecha del 40% de avance (feb-2019) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 9% de los cambios	No se cumple
Tardía	En la fecha del 70% de avance (May-2019) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 51% de los cambios	Se cumple

Nota: Basado idéntico en Tabla N°6 de Acevedo, Rodrigo (2015) Tesis Pérdida de Productividad Laboral por Cambios en los Proyectos en Obras de Construcción: Cuadro de determinación de la curva de productividad.

Con los datos obtenidos anteriormente, la Productividad queda definida con la ecuación anterior, de la siguiente forma:

### **PORCENTAJE DE CAMBIO DE UNA OBRA TARDÍA:**

$$Productividad (\%) = 0,9796 * e^{-1,924 * \% \text{ cambios}}$$

$$Productividad (\%) = 0,9796 * e^{-1,924 * 17,2\% \text{ cambios}}$$

$$Productividad (\%) = 70,3\%$$

Por lo tanto, la Pérdida de Productividad se obtiene de:

$$\text{Pérdida de productividad} = 100\% - 70,3\% = 29,7\%$$

Lo anterior significa que del universo total de Horas Hombre gastadas en el contrato de Construcción y Puesta en Marcha de Redes Eléctricas, Subestaciones Principales y Rede de Piping Interior Mina y Superficie del Proyecto Chuquicamata Subterráneo, resultó un **29,7%** de HH improductivas.

Posteriormente se calcula el costo de la mano de obra, para ello se considera el universo original de HH y el costo total de la Mano de la Mano de obra detallado en el Formulario Económico 03 de la oferta adjudicada, lo que resulta un costo unitario de la mano de obra por horas hombre de \$13.972:

HH Directas que aportan al avance PBC	1.335.491
---------------------------------------	-----------

Costo HH Mano de Obra	16.261.178.954
-----------------------	----------------

En consecuencia, el costo estimado en pérdida por productividad es CLP8.493.535.624.- en mano de obra improductiva:

Total de HH gastadas en la obra	2.049.640
Total HH Improductivas equiv. al 29,7%	607.888
Costo en CLP (1HH=\$ 13.912)	CLP 8.493.535.624

Lo anterior, se ve comprobado en el cobro que presentó el Contratista por compensación de improductividad **\$7.733.306.171**, lo que explica en un **91%** la pérdida de productividad reclamada por el contratista.

El presente análisis inicial permite considerar el uso de la metodología IBBS como un mecanismo que posibilita realizar un análisis razonado de la productividad y la pérdida de la misma durante el desarrollo de proyectos mineros, permitiendo evaluar cuantitativamente y mediante métricas objetivas las desviaciones en contratos.

La aplicación de la metodología IBBS permite realizar una cuantificación de impacto financiero en un proyecto de minería de una manera más directa, incorporando una gestión contractual más ágil y directa, sin tener que recurrir a una mesa de revisión adicional para solucionar el conflicto.



## **6.3 Caso N°2: Obras Civiles y Montaje del Sistema de Transporte Principal.**

### **6.3.1 Descripción General del Servicio**

El segundo caso objeto de análisis corresponde a contrato de Construcción y Montaje del Sistema de Transporte Principal Subterráneo y del Sistema de Transporte Principal de Superficie, además se incluyen todos los equipos, facilidades, estructuras y obras civiles que ambos sistemas requieren para su operación.

El alcance del Proyecto de Traspaso tiene como objetivo reemplazar el actual Sistema de Chancado "Don Luis" por una nueva Estación de Chancado Primario emplazada en la plataforma denominada Nodo 3500 y un nuevo sistema de Transporte de Mineral que alimentara a la Planta Cordillera existente.

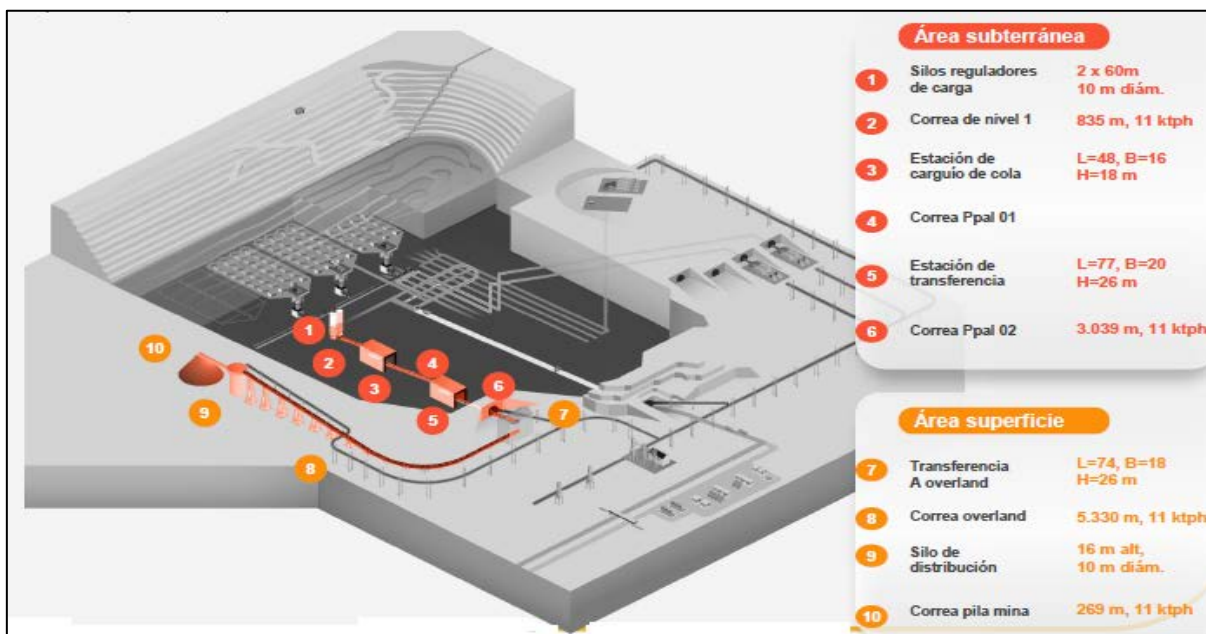
Las principales áreas de trabajo son las siguientes:

- Infraestructura
- Estación de Chancado Primario
- Sistema de Transporte
- Centro de Distribución de Mineral
- Chancador Secundario
- Sistema de Ventilación

Incluye trabajos de todas las especialidades, tanto de Movimiento de Tierra, Obras Civiles, Montaje de Estructura, Mecánico, Cañerías y Eléctrico e Instrumentación. Además se considera como actividad complementaria de ICSK, la Administración de la Bodega del Proyecto.

Para este contrato se considera que todos los equipos de los sistemas serán suministrados por el Cliente, y su manejo logístico será responsabilidad de ICSK.

Ilustración 7: Diagrama constructivo estudio caso contrato N°2



Fuente: Base técnica base de licitación contrato N°1 PMCHS.

### 6.3.2 Implementación del modelo de productividad

A diferencia del caso N°1 este fue el primer contrato de construcción de montaje sometido a la metodología y seguimiento de Lean Full Potential (LFP), junto con un componente fundamentado en la gestión del cambio para crear valor

La primera etapa consistió en identificar el máximo rendimiento de un proceso basado en benchmarks, rendimientos históricos, cálculos de capacidad de equipos y tiempos productivos. Una vez definido el máximo potencial se definieron las palancas de valor que permitieron alcanzar los siguientes resultados:

- Se obtuvo una disminución del factor de rendimiento (PF), de 1.26 en 2017 a un rango entre 0.80 y 0.95 durante el 2018.
- Reducción de la etapa de Producción Estratégica en un 30% con respecto al contractual (16 de 22 meses) y un Full Potential alcanzable reducido en un 20%.
- Disminución de tiempo de movilización en un tercio del promedio histórico.
- Con respecto a la construcción, se obtuvo un avance acumulado de 2.5% sobre el contractual y un PF promedio de 0.75
- El resultado global es producto de las metas alcanzadas en las operaciones unitarias clave, que tuvieron un incremento entre un 30% y 80% comparado con el rendimiento ofertado

### 6.3.3 Aplicación Método IBBS

No obstante, los excelentes resultados en productividad obtenidos en este contrato, igualmente aplicaremos la metodología IBBS, y tal como se describió detalladamente el caso N°1 se revisaron los log´s de control de Notificaciones de cambio, órdenes de cambio, estados de pago, informes semanales, mensuales (Weekly), forecast y programas de trabajo, determinado que en este caso se cumplió la curva normal de IBBS, se analiza a continuación:

**TABLA 10: RESUMEN ESTADOS DE PAGO CASO N°2**

EP	Mes	Av. Físico Real Acumulado	HH Ganadas	HH Gastadas	PF	HH Pagadas	Brecha Físico/Financ.	Fecha Estado de Pago
5	01-06-2018	20,10%	604.870	454.872	0,75	601.380	99,42%	30-05-2018
7	10-08-2018	39,89%	1.151.434	859.867	0,75	1.148.755	99,77%	25-08-2019

Fuente: Elaboración propia.

Al estado de pago N°5 se llevaba un acumulado de un 20,1% de avance físico de la obra. A esta misma fecha existían 16 Notificaciones de cambio presentadas con una estimación de 152.131 HH en presupuestos para trabajos adicionales, pero en este caso sólo se trataban de estimaciones de posibles trabajos adicionales, pero ninguno había sido iniciado.

Lo anterior, se explica que parte principal de este grupo de NDC, existían 2 Obras extraordinarias, que representaban un 92% de las HH estimadas en adicionales:

- Muro TEM 8 y 9 con una estimación con 23.625 HH
- Vestidura interior Túneles Tramo 2 con 116.377 HH

Las cuales, por tratarse de obras extraordinarias, no podían iniciar su ejecución sin la aprobación de la SAM N° 1 que solicitaba autorización al directorio de CODELCO.

No obstante, el único cambio que existía era la formalización de un Forecast, es decir, de un ajuste de cantidades del itemizado original, que implicó un aumento de 109.783,61 HH, es decir un 4,1% aumento por cambios en la obra, que estaba debidamente formalizado en Orden de cambio.

**TABLA 11: RESUMEN CURVAS IBBS CONTRATO CASO N°2**

Curva	Requisito	Condición Real de Obra	Cumplimiento
Temprana	En la fecha del 20% de avance (Jun-2018) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 100% de los cambios aprobados	Se cumple

Fuente: Elaboración propia.

También se evidencia una performance muy productiva con un PF de 0,75, es decir, el trabajo se ejecutó con un rendimiento menor a lo programado, gastando menos horas hombres que las presupuestadas para el total de trabajo programado al 01 de junio de 2018.

Por tanto si aplicamos la curva temprana de IBBS, obtenemos:

**Ecuación 11: Porcentaje de cambio Caso N°2**

$$\% \text{ cambios} = \frac{HH \text{ directas asociadas a adicionales del contrato}}{HH \text{ directas reales del contrato}}$$

$$\% \text{ cambios} = \frac{109.784}{2.649.612} = 4,1\%$$

**Ecuación 12: Índice de Productividad Caso N°2**

$$Productividad (\%) = 1,0511 * e^{-1,0228 * 4,1\% \text{ cambios}}$$

$$Productividad (\%) = 100\%$$

Este resultado es completamente concordante, con los resultados en PF por cada ítem del contrato, así como también el resultado acumulado al 20% de avance con un PF promedio de 0,75.

Se procede a analizar qué ocurre con la productividad cuando hay un avance de obra al 40%, con la incorporación de trabajos adicionales. Igualmente que en el caso al 20% no se considerarán las obras extraordinarias, las cuales ya estaban aprobadas y en ejecución, ya que estas obras contaban con recursos directos propios, más una estructura distinta de gastos generales y programa de trabajo independiente, que no impactaba la obra original contratada.

Por lo tanto, al 40% de avance físico real del contrato, coincidió con el cobro del estado de pago N°8, donde ya se habían presentado 15 Notificaciones de cambio con trabajos incorporados a agosto de 2018 por un total 205.390 HH, de las cuales el 100% de dichas HH estaban aprobadas en ordenes de cambio.

**Ecuación 13: Porcentaje de Cambio Caso N°2**

$$\% \text{ cambios} = \frac{205.390}{2.569.106,78} = 8\%$$

Curva	Requisito	Condición Real de Obra	Cumplimiento
Normal	En la fecha del 40% de avance (Agos-2018) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 100% de los cambios aprobados	Se cumple

Fuente: Elaboración propia.

**Normal:** Proyectos con 40% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

Ecuación 14: Curva IBBS Normal Caso N°2

$$Productividad (\%) = 2,0421 * (\%cambios)^2 - 1,9234 * \% cambio + 1,0471 \text{ (Ec. 3)}$$

$$Productividad (\%) = 90,6\%$$

Ecuación 15: Porcentaje de Pérdida de Productividad Caso N°2

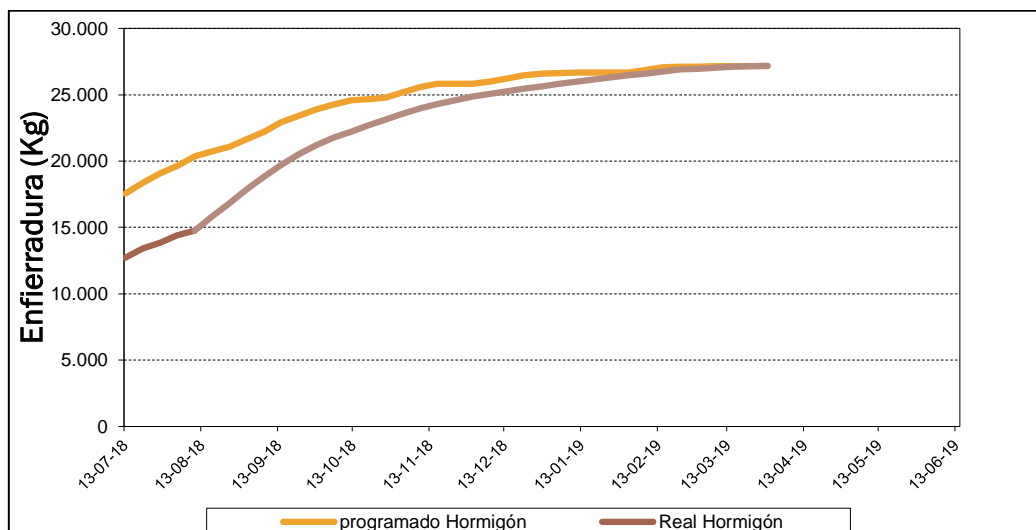
$$Pérdida de productividad = 100\% - 90,6\% = 9,4\%$$

Lo anterior significa que del universo total de Horas Hombre gastadas en el contrato resultó un **9,4%** de HH improductivas debido a trabajos adicionales, resultando un costo estimado en pérdida por productividad es CLP 1.003.357.417.- en mano de obra improductiva:

Total de HH gastadas en la obra	853.251
Total HH improductivas	79.878
Costo en CLP (1HH = \$ 12.561)	1.003.357.417

Si se considera aceptar la hipótesis de la curva normal, se podría explicar este factor de improductividad principalmente por los impactos generados en las actividades relativas a “Vaciado de Hormigón”, con -27% respecto a lo programado.

GRÁFICO 11: CURVA AVANCE PROG. V/S REAL ACTIVIDAD ENFIERRADURA CONTRATO CASO N°2



Fuente: Elaboración propia.

Donde el contratista, reclamó en el informe semanal las siguientes alertas como interferencias que afectarían la productividad y normal desarrollo de la obra:

- Interferencia en fundaciones asociadas al retiro de línea 100 Kv.
- Atrasos en la llegada de estructura Pila Mina
- Revisión de programa Rev.2 por VP.
- Interferencias con terceros por prearmado truss 35 en sector entre cepas 36-37.
- Falta estructura de soporte de cañería en edificio transferencia OVL - C02
- Atraso en la llegada de los transformadores de la ER-05<sup>a</sup>
- Confirmación de sistema de Pilotes para fundación F12 Correa Pila Mina.

Lo anterior derivó en un cobro por nuevos precios de Hormigón, donde se ajustó el rendimiento y se incorporaron nuevas áreas según la actualización de la ingeniería por un total de \$931.325.472, lo que explicaría en un **92,8%** la pérdida de productividad reclamada por el contratista.

#### 6.4 Resumen comparativo de contratos analizados con IBBS

En consideración del análisis efectuado, si bien no es posible concluir una tendencia de comportamiento en los contratos al usar el modelo de gestión de productividad de la VP con sólo 2 contratos, es posible evidenciar que existen diferencias significativas en los resultados de análisis al aplicar el Método IBBS.

Para ello primero es necesario considerar y comprender que el manejo de los cambios de manera temprana, normal y tardía si genera impactos en la gestión de un contrato.

Para el presente análisis de casos, los resultados fueron sorprendentes desde el punto de vista comparativo entre un contrato con seguimiento exclusivo que corresponde al

análisis del contrato del caso N°2, con el equipo de productividad que baso el seguimiento y control según el propio Modelo de Gestión de Productividad de la VP (MGP), versus un contrato de alta complejidad sin interacción de este equipo de productividad del proyecto. En el análisis del caso N°2 tuvo resultados que podrían considerarse exitosos desde el punto de vista de productividad, ya que el contratista no se presentó ningún cobro solicitud de compensación por afectación en su productividad laboral, en contraste con el análisis del caso N°1 que si presentó cobros por improductividad.

En este sentido es posible observar que para el contrato del caso N°1, el cual no tuvo una intervención con el modelo de productividad de la VP, es posible observar que tiene un comportamiento similar a la curva de IBBS tardía. Lo anterior considerando que al instante del 70% de avance físico del proyecto, existía un nivel de poco más del 50% de cambios formalizados de acuerdo con el marco normativo del contratante y los acuerdos contractuales vigentes. En un contraste significativo, el caso N°2 tuvo una gestión y un acompañamiento durante la ejecución y construcción del proyecto por parte del equipo de productividad, donde al realizar la evaluación del método en comparación con las tres curvas de IBBS, se detectó que al tener una temprana gestión del cambio, se logró prevenir cobros por improductividad laboral, lo anterior en consideración que al instante del 20% de avance físico del proyecto (Jun-2018) se registró un 100% de las órdenes de cambio debidamente aprobadas de acuerdo con el marco normativo del contratante y los acuerdos contractuales vigentes, lo mismo se evidencia al instante 40% de avance físico del proyecto (Agos-2018) tenía el 100% de las órdenes de cambio aprobadas.

La situación anterior contrasta con lo ocurrido en el caso N°1 del análisis, donde en fecha de análisis se evidencia que al 70% de avance físico del proyecto (May-2019), recién se registra exclusivamente un 51% de las órdenes de cambio formalizadas, donde en consideración de ello, el contratista presentó una solicitud de compensación por impactos en la productividad laboral cercano al 27% HH improductivas.

Por otra parte, el caso N°2, si bien no presentó cobros por improductividad, se puede inferir que gracias a un seguimiento exhaustivo, el contratista pudo evaluar con antelación las nuevas condiciones en terreno, que permitieron justificar la necesidad de presentar nuevos precios de por la partida de “Hormigón”, donde se ajustó el rendimiento y se incorporaron nuevas áreas según la actualización de la ingeniería. El enfoque anticipado permitió evitar pérdidas de productividad laboral, formalizando anticipadamente dicho cambio y este cambio en las condiciones permitieron acordar a las Partes, re planificar las actividades sin impactar la obra.

**TABLA 12: TABLA COMPARATIVA CASOS N°1 Y N°2**

<b>Casos</b>	<b>HH improductivas</b>	<b>Costo de la Improductividad (CLP)</b>	<b>Cobrada</b>	<b>Pagada</b>
Caso N°1 sin MGP	29,70%	11.372.509	Si	Si
Caso N°2 con MGP	9,40%	1.475.526	No	No

Fuente: Elaboración propia.

No obstante todo lo anterior, en ambos casos, no es posible medir exactamente el nivel de impacto relacionado con la productividad de una orden de cambio individual. Sin embargo, es posible inferir que todas las órdenes de cambio tuvieron un efecto acumulativo negativo en la productividad de acuerdo con el estudio de IBBS y otras metodologías analizadas.

En consideración del análisis se requiere una cantidad mayor de contratos para determinar con exactitud, si este impacto negativo no se debió también a otros factores no estudiados en esta tesis, tales como el ausentismo laboral, disponibilidad y competencia de mano de obra especializada, fallas de coordinación con proveedores y/o subcontratos o la curva de aprendizaje, entre otros aspectos mencionados en punto 5.3 de esta tesis.

En el proceso de análisis un ámbito central corresponde a que no fue posible ratificar que los datos y antecedentes son completamente precisos respecto del avance físico del proyecto declarado por el contratista. Una situación similar ocurre con el real gasto de las horas laborales. Estas situaciones de medición descritas anteriormente, aumenta la dificultad de aislar totalmente las ineficiencias del contratista y el efecto de las órdenes de cambio en la productividad laboral.

En relación al caso N°1 analizado, los administradores del contrato, tanto del contratista como la VP, reconocieron que se ejecutó trabajo fuera de la secuencia original, debido a los cambios de ingeniera e interferencias con otros contratistas, que produjo interrupciones reiteradas, que obligaron al contratista a realizar el trabajo en una secuencia diferente a la planificada originalmente, debido a cambios solicitados por el mandante (VP) que afectaron el ritmo del trabajo.

Es posible también inferir para el caso N°1, que la gran cantidad de cambios, en algunos casos, privaron al contratista de beneficiarse de la curva de aprendizaje, principalmente por reducción de alcance no prevista que requería tareas repetitivas, viéndose obligados a despedir trabajadores y luego volver a contratarlos y entrenarlos a medida que el trabajo estaba disponible, debido a interferencia con otros contratistas principalmente.

Asimismo, producto de las condiciones ambientales y las intensas precipitaciones ocurridas en febrero de 2019, debido al fenómeno climático conocido como invierno altiplánico, el proyecto Chuquicamata subterráneo tuvo que evacuar totalmente a sus trabajadores propios y contratistas debidos las inundaciones de sus instalaciones, en este escenario es posible inferir que también existió una pérdida de productividad relacionado a las condiciones climáticas adversas de ese momento, que llevaron a ambos contratos a salir de su secuencia constructiva original, la cual quedó fuera del análisis de esta tesis.



En general, es posible comprobar que el efecto negativo y acumulativo de las órdenes de cambio, se potencia cuando las horas por órdenes de cambio excedieron el 10% - 15% de las horas ganadas en el contrato, ya que corresponde al nivel máximo generalmente aceptado de cambios que los contratistas generalmente resisten sin afectar el trabajo. Este ámbito se afirma en las propias bases de licitación de administración que tiene actualmente CODELCO, donde establece que si al término del contrato el precio total inicial de las referidas partidas, excluido los gastos generales y utilidades, experimenta un aumento de más del 10% (diez por ciento) de su precio total inicial excluido los gastos generales y utilidades, entonces el Contratista podrá solicitar una compensación por mayores gastos generales y utilidades.

No obstante a pesar de las limitaciones propias de no contar con una mayor base de contratos, es posible inferir y confirmar la metodología IBBS, donde la productividad disminuye a medida que aumenta el porcentaje de órdenes de cambio no aprobadas oportunamente, donde se podría presumir que el contratista no pudo llevar a cabo el trabajo tal como lo estudió en su oferta, ya que las reales condiciones de obras obligaron en algunos caso improvisar o introducir cambios no estudiado a cabalidad debido a la celeridad de obra, pudiendo haber subestimado el alcance del trabajo adicional, donde claramente las condiciones y requisitos resultaron ser diferentes de los previstos originalmente en su oferta adjudicada.

En los dos casos examinados en el desarrollo de esta tesis, se pudo evidenciar que existe una variación creciente entre las curvas estimadas en las ofertas adjudicadas y las curvas reales ocurridas, producto de un flujo continuo de cambios de diseño, errores y omisiones no previstas en las bases de licitación, no obstante esta situación se agrava en el caso N°1, donde la licitación se llevó a cabo con bajo nivel de ingeniería de detalle terminada (inferior al 50%), versus el caso N°2 que licitó con un 70% de ingeniería de detalle terminada.

Para finalizar, es posible aseverar que la productividad mejora cuando se lleva un control exhaustivo del avance de la iniciativa en terreno, donde el mandate tendrá un rol protagónico como facilitador y preventivo de interferencias.

En este sentido cada que vez que el mandante prevea un cambio, debe cumplir con su responsabilidad de entregar toda la información técnica requerida, tales como la actualización de documentos de diseño, planos, especificaciones, entre otros, para el Contratista logre realmente estudiar un correcta valorización del Potencial Cambio, esta situación ha sido estudiado por distintos autores<sup>20</sup>, como Jones (2001) que indica que los trabajos adicionales generalmente comienzan con un diseño incompleto e inadecuado que se tiene que corregir a medida que el contratista avanza qué lógicamente afectará la productividad del contrato total.

---

<sup>20</sup> Ibbs, C. W., and Allen, W. E. (1995). "Quantitative impacts of Project change", Construction Industry Institute, Univ.of Texas, Texas.

## 6.5 Limitaciones y debilidades metodología IBBS

Luego de la utilización y aplicación de la metodología IBBS, una de las grandes limitaciones para proyectos de construcción para la minería en Chile, es que este modelo no considera los ciclos económicos de los commodities, principalmente la relación que existe entre el presupuesto original por un proyecto (CAPEX) versus el sobrecosto de capital real de los proyectos mineros respecto a dichos ciclos.

Varios autores<sup>21</sup> concluyen, que entre 2003 y 2014, Chile vivió un boom minero importante. Según Cochilco, el precio del cobre en términos reales alcanzó su mínimo histórico en 2002. Desde entonces y en 8 años subió un 177% real, el tercer nivel más alto desde 1960. En parte por esto, la inversión minera pasó de 4,5% del PIB en 2008 a 8,1% en 2013, su máximo histórico absoluto.

En aquel entonces, el debate era si Chile sufría “enfermedad holandesa”, es decir, la disminución en la competitividad de sectores exportadores y sustituidores de importación producto de la apreciación real del tipo de cambio como consecuencia de algún shock que favorece a un sector exportador particular.

Otra limitante, tiene que ver con la exactitud de los datos con los cuales es retroalimentado la metodología IBBS, ya que el buen funcionamiento de un sistema de planificación, no sólo dependen del sistema o metodología en sí, también depende del logro de compromisos confiables, donde el aspecto humano es responsable de más del 50% de los mejoramientos que puedan obtenerse del sistema mismo<sup>22</sup>.

Si la información ingresada no es correcta, imprecisa o no se hace a tiempo es muy probable que la metodología arroje errores, que implicará ciertamente trastornos o inexactitudes con los cálculos y conclusiones obtenidas de la metodología, que no aprovechará el real valor de la herramienta IBBS para prevenir mayores costos por improductividad laboral en los contratos.

Es posible asumir que la mayoría de las empresas utiliza software´s como apoyo para realizar la planeación y el control, no obstante, existe una oferta más accesible de softwares más específico para el análisis de precios unitarios y presupuestación, y no así para la planeación y el control de proyectos<sup>23</sup>. Lo anterior permite inferir que la mayoría de las empresas no cuenta con un sistema de información adecuado a sus necesidades y posibilidades para integrar y automatizar la gran cantidad de datos que se genera en el todo proceso de administración de proyectos de construcción, y que es indispensable para una buena toma de decisiones. En particular, las empresas mineras producen gran cantidad de datos, sin embargo, menos del 1% de esta información es usada en el proceso productivo para desarrollar predicciones y estrategias<sup>24</sup>.

---

<sup>21</sup> [https://fen.uchile.cl/images/revista\\_mirada/revista\\_165.pdf](https://fen.uchile.cl/images/revista_mirada/revista_165.pdf)

<sup>22</sup> Campero y Alarcón (1999), Administración de proyectos civiles, capítulo XIV Un sistema de planificación y control de producción: El último planificador.

<sup>23</sup> <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v9n1/art03.pdf>

<sup>24</sup> Meller y Salinas (2019) Revolución Tecnológica 4.0 y Capital Humano, Una Mirada desde la Minería.

Para terminar, es posible mencionar como limitante a la implementación de la metodología IBBS, son las competencias técnicas y habilidades administrativas y de gestión de proyectos de los profesionales de la construcción en minería, donde el gran desafío que se presenta para mejorar la planificación y control de los contratos, es contar con equipos de alto desempeño para la construcción y gestión de grandes proyectos mineros, lo cual no resulta siempre tan evidente.

Para Olaz (2003), la formación constituye un elemento clave para mejorar la productividad de las personas, en función de optimizar la adecuación de la persona al puesto de trabajo. Al respecto, señala que, de acuerdo con la teoría del capital humano, un nivel educativo elevado del personal es indicativo de mayor productividad, por lo que, cualquier aumento del nivel educativo se transformaría en un incremento de la productividad (Garrido, 2007; Mungaray & Ramirez-Urquidy, 2007).

Otras investigaciones sugieren que la mayor parte del valor de las empresas se encuentra en las personas, pues éstas conforman el capital intelectual de las organizaciones. Por lo cual, precisan de una actualización permanente de habilidades y conocimientos (formación y educación continuas), además de la evaluación constante de su desempeño, a fin de contar con un talento humano más competente y comprometido, que les brinde una fuente de ventaja competitiva sostenible.

Ahora bien, las denominadas soft skills, traducidas al español como habilidades blandas, están revolucionando el entorno laboral en la era post-covid y las nuevas tendencias para el 2022, según el informe "Future of Jobs Survey 2018, World Economic Forum, se ha identificado la necesidad de integrar competencias muy distintas en la empresa. Por ello, aunque las habilidades técnicas y la experiencia laboral todavía priman en muchos de los procesos de selección, cada vez es más común buscar perfiles que integren las llamadas soft skills, tales como:

- Pensamiento analítico e innovación
- Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje
- Creatividad, originalidad e iniciativa
- Diseño y programación de tecnología
- Pensamiento crítico y análisis
- Resolución de problemas complejos
- Liderazgo e influencia social
- Inteligencia emocional
- Razonamiento, resolución de problemas con creatividad
- Análisis y evaluación de sistemas

No obstante lo anterior, en relación con la utilización de la metodología IBBS no es fácil ni directo incorporar este tipo de metodologías que requieren niveles medios/altos de comprensión estadística, matemática y lectora. Esta situación en particular queda en evidencia por estudios existentes sobre el bajo nivel de competencias laboral en Chile, que indican un bajo nivel relativo a las ambiciones del país de alcanzar alta productividad y una economía desarrollada (Siamesi y Van Reenen, 2003) y (Gambin et al., 2009). Lo anterior, presenta el desafío y redundante en mejorar la redacción de los

documentos contractuales para evitar, incorrectas, deficientes o derechamente malas interpretación de los términos contractuales.

Según el estudio denominado Revolución Tecnológica 4.0 y Capital Humano, Una Mirada desde la Minería de Meller y Salinas (2019), la tecnología está cambiando las habilidades que requerirán los trabajadores y profesionales para poder entrar al mercado laboral en un futuro no muy lejano (Muro et al. 2017). Es difícil anticipar los conocimientos técnicos que van a requerir con toda la incertidumbre que tenemos respecto a las tecnologías que van a prevalecer en el futuro. Por esto, es importante que los profesionales desarrollen habilidades digitales, de análisis de datos y computación al mismo tiempo que habilidades blandas, como la flexibilidad, la creatividad, la coordinación y liderazgo de equipos de personas y la capacidad de adaptarse a nuevos escenarios, pero alerta menciona a este respecto que los indicadores de calidad de los profesionales chilenos es precaria.

Sumado a ello requiere el desafío operacional de mejorar la coordinación entre los contratistas entre turnos, permita proyectar, anticipar, evitar y/o mitigar las situaciones que mermen el desempeño y para ello el poder incorporar, implementar y disponer de nuevas herramientas que permitan estimar a través de métodos teóricos, cuantitativos y cualitativos sobre la pérdida de productividad en distintas etapas de un proyecto, como por ejemplo el método IBBS, ayudaría a prevenir y comprender mejor los beneficios de un control y seguimiento exhaustivo de los proyectos redundará en mejores resultados en cuanto a costos, plazos, calidad y menos conflictos entre las partes.

En consecuencia, resultará importante que los profesionales de proyectos en todas las áreas involucradas, tanto mandante como contratista, desarrollen habilidades digitales, de análisis de datos y computación al mismo tiempo que habilidades blandas, como la flexibilidad, la creatividad, la coordinación y liderazgo de equipos para adaptarse a nuevos escenarios cambiantes para la industria de la construcción.

## CAPÍTULO N°7: PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO IBBS COMO HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA LA GESTIÓN DEL CAMBIO

Dentro del proceso de transformación que está viviendo Codelco y en particular la Vicepresidencia de proyectos, bajo el impulso de identificar ahorros, simplificar procesos y resolver problemas, se ha incorporado la metodología Agile, basado en el manifiesto Ágil<sup>25</sup>, que surgió el 17 de febrero del 2001.

El término “Agile” es mucho más que una metodología para el desarrollo de proyectos que precisan de rapidez y flexibilidad es una filosofía que supone una forma distinta de trabajar y de organizarse. De tal forma que cada proyecto se divide en pequeñas partes que tienen que completarse y entregarse en pocas semanas. El objetivo es desarrollar productos y servicios de calidad que respondan a las necesidades de unos clientes cuyas prioridades cambian a una velocidad cada vez mayor.



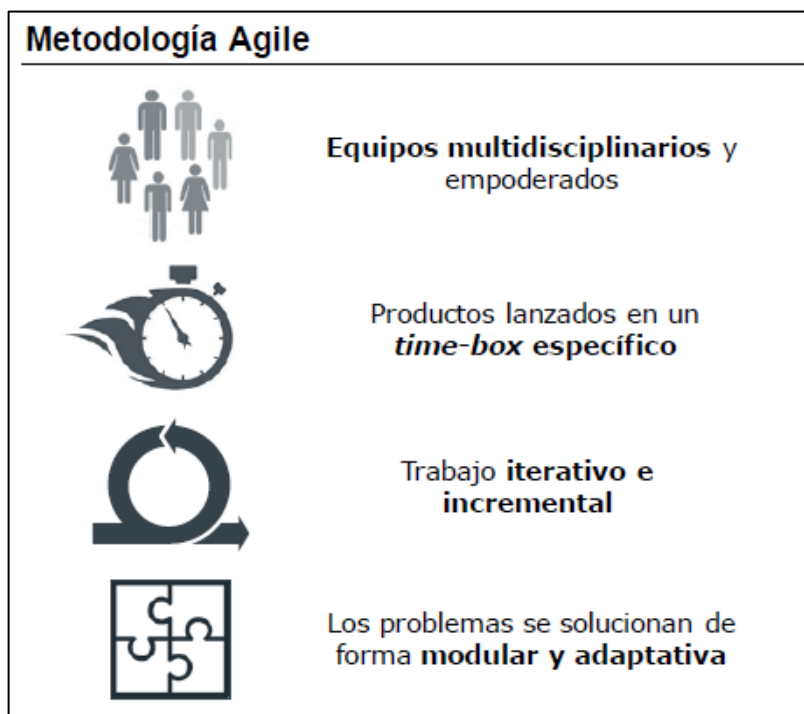
Fuente: CODELCO.

Si bien el estudio de esta metodología no es parte la presente tesis, será a través de esta metodología Agile, la cual ya está instaurada como forma de abordar los desafíos y las nuevas problemáticas en la VP, es que se propone desarrollar utilizar este mecanismo para diseñar la propuesta inicial para la implementación del método IBBS como herramienta complementaria para la gestión del cambio en la compañía.

Para abordar esta propuesta de implementación de método IBBS a continuación se establece una propuesta basada en el contexto actual, utilizando técnicas vigentes en la compañía.

<sup>25</sup> <http://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html>

La metodología Agile está basado en la capacidad de un equipo para equilibrar la flexibilidad y estabilidad. La gestión de proyectos Agile especialmente, implica la adaptabilidad durante la creación de un producto, servicio o cualquier otro resultado, que se resume a continuación:



Fuente: CODELCO.

**7.1 Equipos Multidisciplinarios y empoderados:** Se invitará a un equipo de máximo 9 personas, que sean altamente flexibles y adaptativos, para cumplir los siguientes roles:

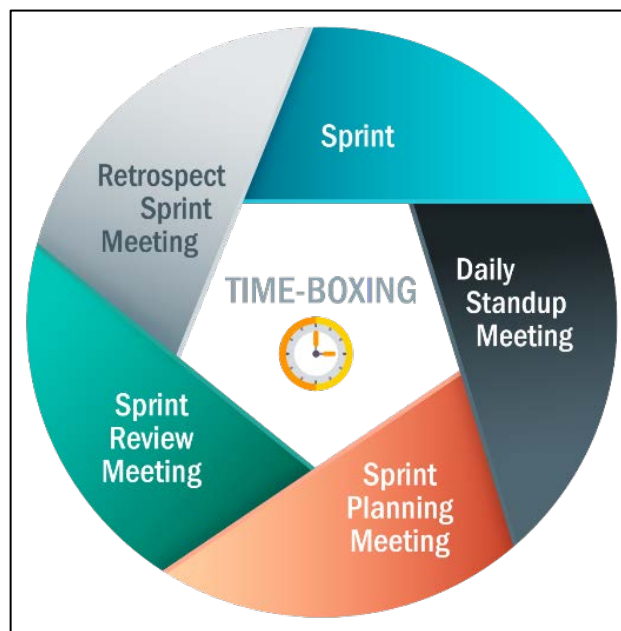
- Propietario del producto:** 1 profesional del área de construcción se busca especialmente que sea un administrador de contratos con gran experiencia, que pueda entender y apoyar las necesidades e intereses de todos los Stakeholders.
- Scrum Master:** 1 profesional del área de abastecimiento, responsable de promover y apoyar Scrum como se define en la Guía de Scrum, capaz de ayudar a las personas externas al Equipo Scrum a entender qué interacciones con el Equipo Scrum pueden ser útiles y cuáles no.
- Equipo de desarrollo:** Se buscará apoyo del gerente del proyecto, para empoderar al Equipo de Desarrollo, para que estos se organicen y gestionen el trabajo de manera eficiente y estará conformado por:

- 1 Profesional del área de construcción y montaje
- 1 Profesional del área de planificación minera
- 1 Profesional del área de Seguridad y Salud Ocupacional
- 1 Profesional del área de Calidad
- 1 Profesional del área de Programación y control
- 1 Profesional del área de Costos
- 1 Profesional del área de Relaciones laborales

Con este equipo Scrum se busca que sean autoorganizados y multifuncionales, de tal forma de optimizar la flexibilidad, la creatividad y la productividad.

**7.2 Productos lanzados en un time box específicos:** La duración máxima del sprint será de 4 semanas, con todas las ceremonias obligatorias dentro de un sprint:

ILUSTRACIÓN 8: CICLO DE UN SPRINT (TIME BOX)



Fuente: Curso Certificación Scrum Master. <https://www.innovate.cl>.

Scrum prescribe cuatro eventos formales, contenidos dentro del Sprint, para la inspección y adaptación:

TABLA 13: DETALLE DE EVENTOS DE UN SPRINT

Scrum Event	Time-box (for 1-month Sprint)	Participants
Sprint Planning	8 Hours	Scrum Master, Product Owner, Development Team
Daily Scrum	15 Minutes	Scrum Master (optional), Product Owner (optional), Development Team
Sprint Review	4 Hours	Scrum Master, Product Owner, Development Team and all key stakeholders
Sprint Retrospective	3 Hours	Scrum Master, Product Owner, Development Team

Fuente: Curso Certificación Scrum Master. <https://www.innovate.cl>.

**7.3 Trabajo iterativo e incremental:** Los productos que entregan serán de forma iterativa e incremental, maximizando las oportunidades de obtener retroalimentación.

El Incremento es la suma de todos los elementos de la Lista de Producto completados durante un Sprint y el valor de los incrementos de todos los Sprints anteriores. Al final de un Sprint el nuevo Incremento debe estar “Terminado”.

Un incremento es un cuerpo de trabajo inspeccionable y terminado que respalda el empirismo al final del Sprint.

El incremento debe estar en condiciones de utilizarse sin importar si el Dueño de Producto decide liberarlo o no.

ILUSTRACIÓN 9: INCREMENTO DE UN SPRINT



Fuente: Curso Certificación Scrum Master. <https://www.innovate.cl>.



**7.4 Los problemas se solucionan de manera modular y adaptativa:** En la metodología Scrum se apuesta por una dinámica de reuniones con objetivos muy concretos para maximizar la productividad del equipo, que se resumen a continuación:

ILUSTRACIÓN 10: CICLO DE UN SPRINT



Fuente: Curso Certificación Scrum Master. <https://www.innovate.cl>.

En consecuencia, a través del uso del Scrum, con un sprint de 4 semanas, se contará con una propuesta metodológica para implementar la metodología IBBS con un equipo multidisciplinario, de manera rápida, adaptativa, iterativa y flexible, asegurado un ambiente de responsabilidad y progreso continuo.

Durante este proceso, se buscará demostrar y validar el Sprint con revisiones regulares de aquellos entregables que permitan implementar la metodología IBBS, como una herramienta complementaria a la Gestión de cambios, donde se propone al menos, sin ser excluyente el siguiente listado de entregables:

Los incrementos esperables para la implementación del método IBBS como herramienta complementaria para la gestión del cambio, serían al menos sin ser excluyentes, desarrollados en las siguientes historias con sus respectivos entregables esperados:

**Historia N°1: “Diseñar una guía práctica de implementación para el método IBBS para contratos en ejecución en el PMCHS”,** con las siguientes tareas:

**1) Mapeo de la información**

Iniciar un proceso para consolidar una base de datos (BD) sólida, confiable y trazable, que capture la información de la cartera de contratos completa de la

Vicepresidencia de proyectos, por lo que es recomendable mapear el flujo de proceso de la información desde la captura del cambio en terreno hasta su formalización.

La elección del sistema de Reportabilidad debe considerar, entre otros aspectos, la capacidad para mover un alto flujo de información en el menor tiempo posible, facilitando así la toma de decisiones tanto a nivel de contratos como a nivel de la proyecto o funcional de contratos. Se propone implementar reportabilidad digital (Dashboard de PowerBi o similar), basada en bases de datos que permita centralizar información y tomar decisiones oportunas.

## 2) Definir pasos: Identificación de los tipos de cambios contractuales a levantar.

Orientada a la mejora continúa de procesos implementada en la VP a través de la metodología de Resolución de problemas en 3 pasos, que es una metodología sencilla orientada a la mejora continua de procesos del Modelo de gestión de Productividad de la VP.

Con el objetivo es crear una cultura de mejora continua, cada vez que se detecte un cambio o desviación al alcance original del contrato, donde deberá promoverse la realización de análisis del cambio y la real de necesidad de incorporarlo o no a un contrato. Para esto se sugiere un RDP (Resolución de problemas) con los siguientes pasos de ejemplo:

### I. Definición del problema

Definir la problemática de la gestión de cambios en los contratos respondiendo las siguientes preguntas:

<b>¿Qué?</b> ¿Qué Determina el cambio?	<b>¿Cual?</b> ¿Cuál contrato sufrió el cambio?	<b>¿Cuando?</b> ¿Cuándo comenzó a ocurrir la desviación, que produjo el cambio?	<b>¿Donde?</b> Lugar físico en donde ocurrió la desviación	<b>¿Cuanto?</b> Consecuencia de la desviación
---	---	---	---	---

## II. Identificación de causas raíces

Aplicar el método de los “cinco por qué”<sup>26</sup> a una lluvia de ideas de las posibles causas que producen los cambios en los contratos, para comprender las causas de un problema y ahondar en él lo suficiente hasta entender la causa fundamental.

2.1 Lluvia de ideas de causas	2.2 Encontrar causas raíces				
Causas:	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
1.- Pernos quedan largos en el montaje.					
2.- Largo de pernos fuera de estándar.					
3.- Dureza de roca impide perforación más profunda					

## III. Definición de acciones, finalmente proponer acciones para controlar causas raíces:

Causas raíces:	Plan de acción	Responsable	Fecha de compromiso
1.- Causa raíz 1			
2.- Causa raíz 2			
3.- Causa raíz 3			

- 3) **Elaborar la Guía práctica de implementación para el método IBBS**, de tal manera de sistematizar la experiencia del uso de método IBBS en el análisis de cambios en la gestión de los contratos y proyectar su desarrollo y escalamiento a toda la VP
- 4) **Plan de difusión:** Contando con una estrategia de implementación del método IBBS a la gestión de cambio, se requiere generar un plan de difusión, tanto al interior de la VP como hacia el mercado de Construcción, para establecer esta modalidad como parte de una cultura de trabajo.

<sup>26</sup> <https://quesignificado.com/los-5-por-que/>

## **CAPÍTULO N°8: CONCLUSIÓN**

A continuación en el presente capítulo se resumen las conclusiones obtenidas a partir del trabajo de tesis realizado, desde el proceso de recolección de datos de los contratos hasta el análisis y estudio del impacto de la improductividad laboral medido con la metodología IBBS aplicada a los contratos del proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo, para obtener los resultados de dos (2) grandes obras de construcción, que suman una inversión aproximada de más 2 millones de HH directas. Finalmente, se proponen posibles líneas de investigación para continuar con el trabajo realizado en este estudio.

Primeramente se confirma la importancia que tiene para el futuro de Codelco las obras de construcción de los proyectos estructurales, ya que permitirán transformar en valor económico los recursos y reservas mineras, sino que también ayudarán a mantener en el tiempo la capacidad de generar excedentes a Chile.

En consecuencia, resulta esencial construir los proyectos en tiempo, forma y a menores costos de tal manera de cumplir con la promesa de valor de los contratos, por tanto resulta fundamental que la administración y ejecución de los contratos en la Vicepresidencia, pueda alcanzar el Full Potencial de los contratos con la metodología C+, aumentando con ello la productividad para asegurar el sitio de liderazgo y competitividad que ocupa CODELCO en la industria minera.

De la investigación y análisis realizado, se puede concluir que en el Proyecto Chuquicamata Subterráneo, los contratos asociados a los desarrollos mineros, logró duplicar las tasas de desarrollo subterráneo en su contrato más crítico denominado CC-10, considerando prácticamente las mismas condiciones y recursos con respecto a la situación base, usando para ello las herramientas del Modelo de gestión de productividad (MGP), registrando un incremento del avance mensual de 436 metros lineales en febrero de 2017 a un rango de 1.800 a 2.200 metros horizontales mensuales (20% superior al compromiso del contrato) en diciembre de 2017 llegando muy cerca del rango definido como Full Potential, según revisó en el capítulo cuarto.

No obstante, el full potencial analizó los rendimientos y efectividad de la partidas asociadas al alcance principal contratado, pero no existe análisis trazable de la productividad para aquellas obras adicionales incorporadas a través de órdenes de cambio y aunque existe consenso en el mismo proyecto que los cambios desvían recursos que no se logran estudiar a cabalidad para ver su real conveniencia o impacto a la obra principal, dado la velocidad de ejecución de las mismas, tal como vimos en el capítulo tres, concluyendo con esto que la órdenes de cambio se aprueban o rechazan según los criterios establecidos en el Procedimiento de Gestión de Cambio visto en el capítulo cinco, pero dicho procedimiento no contempla herramientas que permitan analizar el impacto en la productividad, menos aún es posible analizar el

impacto que podría agravarse cuando estos ocurren tardíamente, es decir sobre el 70% de avance físico de la obra, porque dicho procedimiento no contempla ninguna restricción ni evaluación al respecto.

Se pudo evidenciar que el 100% de los contratos que se han ejecutado en el proyecto, todos han tenido ordenes de cambio, por lo cual es posible concluir que en los contratos de construcción es altamente probable que se incurran en costos adicionales por trabajos no previstos en su oferta original, que pueden afectar la productividad laboral e incurrir en mayores costos por aumentos en la mano de obra, equipos y/o costos de materiales (Jones, 2003).

No obstante, falta un análisis propio de la productividad cuando se incorporan cambios al contrato, así como sus causas e impactos de la desviación de los recursos por las nuevas obras a ejecutar, siguen siendo incomprendidos por algunos profesionales de las áreas de ingeniería o construcción, quienes a menudo toman decisiones de cambio de diseño o mejoras constructivas que se deben llevar a cabo a través de órdenes de cambio, con demasiada frecuencia, debido a que en los procesos de licitación no fueron previstos, debido principalmente a la incompletitud o complejidad de la ingeniería, pero la solución más rápida de ejecutar estos trabajos a través de órdenes de cambio podría no ser siempre la solución más conveniente, por ello se recomienda estudiar otras alternativas como podría ser tener un contrato de obras misceláneas que ejecute obras adicionales de manera permanente que acompañe a contratos de gran envergadura, con costo de mano de obra y estructuras de gastos generales más livianas a estos de gran envergadura.

Por tanto se vuelve relevante para el área de gestión de contratos, incorporar herramientas como los métodos teóricos Ibbs y Leonard, los cuales son los únicos dos métodos que determinan en forma directa la pérdida de productividad debido a las órdenes de cambio, que permitan advertir los impactos de la productividad de la mano de obra, utilizada en la ejecución de los cambios que podrían resultar mayores a los presupuestados, lo que produce una pérdida que el contratista no tiene considerada, lo implicaría solicitudes de compensaciones que el mandante tampoco tiene considerada.

También se pudo verificar que existen otros métodos para la determinación de la improductividad pero la elección del método que elija un proyecto o empresa en particular, dependerá del tipo y calidad de los antecedentes que se tenga del proyecto, ya que cada uno de los métodos requiere de diferente información, para esta tesis el foco principal fue medir la improductividad a través de la metodología de IBBS, ya que analiza la pérdida de productividad, producida en una obra de construcción en la industria minera en particular, debido a los efectos de las modificaciones de obra que son solicitadas y/o generados por El Mandante.

Por tanto, a lo largo del desarrollo de esta tesis, se pudo comprobar con la aplicación práctica del método IBBS a los 2 principales contratos de construcción y montaje dentro del proyecto Chuquicamata Subterráneo lo siguiente:

- Se logró evidenciar que el control de Horas – Hombre es exhaustivo, la disponibilidad de información respecto de la cantidad de mano de obra real utilizada en la obra se controla de manera diaria, semanal y mensual, por tanto el seguimiento, confiabilidad y registro constante de la productividad de todas las partidas de la obra es una condición que se cumplió para este estudio.
- Lo anterior, permitió contar con información precisa y relevante para aplicar el Método IBBS, que determina en forma directa la pérdida de productividad debido a los cambios de proyectos, por lo cual resulta confiable aplicarlo a los contratos de construcción y también a contratos de construcción en proyectos mineros, a través del análisis de las HH como factor relevante de medición del real impacto que los trabajos adicionales generan a la secuencia constructiva y por ende a la productividad.
- También es posible concluir que una ingeniería más completa a la hora de licitar y adjudicar, genera menos cambios en los contratos, considerando para ello que en el caso N°1 licitó con un avance de la ingeniería de detalle menor al 50% versus el caso N°2 que licitó un ingeniería de detalle sobre el 70%.

El estudio de ambos casos contó con información detallada y no fue necesario estimar ningún dato, sólo se utilizaron datos reales, que entregaron resultados confiables y precisos de la cantidad real de mano de obra perdida producto de los cambios en los contratos. Se revisó cada uno de los registros de control, verificando con exactitud la cantidad de cambios, su temporalidad y su fecha de realización, evidenciando que se cumplió la curva tardía para el caso N°1 y una curva temprana para el caso N°2.

En el caso N°1, los tiempos de procesamiento de las órdenes de cambio fue mayor y tardío, por lo tanto, sus efectos sobre la productividad se vieron fuertemente impactado.

Lo anterior, implicó que el Proyecto Chuquicamata Subterráneo, como mandate de la obra reconoció apenas el 51% del total de cambios introducidos al contrato, cuando llevaba un 70% de avance físico de la obra, generando un 29,7% de pérdida de productividad que es del orden a lo solicitado formalmente como pérdida de productividad por parte del contratista (27%).

Y para el caso N°2 con un proceso de licitación que consideraba un avance de la ingeniería de detalle sobre el 70%, resultó beneficioso durante el desarrollo del contrato, que al 20% de su avance físico, este llevaba apenas un crecimiento de un 4% en obras adicionales, lo que implicó que el Proyecto Chuquicamata Subterráneo, como mandante de la obra, logró reconocer y formaliza sin mayores inconvenientes y de manera oportuna el 100% del total de cambios introducidos al contrato, es decir, 0% de impacto en su productividad, (100% de productividad), ratificado por un PF promedio de 0,75, es decir, el trabajo se ejecutó con un rendimiento menor a lo programado, gastando menos horas hombres que las presupuestadas para el total de trabajo programado al mes junio de 2018, con un 20% de avance físico.

Se puede concluir que a pesar de la toda la data confiable que se genera en los contratos de proyectos en ejecución no existe una herramienta metodológica que permita prever anticipadamente la pérdida de productividad laboral. A su vez, el área de contratos no cuenta con una normativa clara en el procedimiento de cambio que considere parámetros para anticipar, evaluar y valorizar la pérdida de productividad de manera trazable y permanente en los contratos.

No obstante, se comprueba la eficacia del Modelo de Productividad, con rendimientos muy sorprendes y sostenibles a lo largo del contrato para el caso N°2, versus los resultados del caso N°1 sin Modelo de Productividad.

En consecuencia, para los contratos de la Vicepresidencia de Proyectos, no está definido el riesgo de crecer de manera sostenida en un contrato, y menos aún se conoce el impacto de incorporar tardíamente los cambios, por tanto se comprueba que no existen herramientas para prevenir pérdida de productividad laboral por crecimientos en los contratos.

Es recomendable, para ello crear una cultura de análisis, validación y seguimiento de los datos, fomentando la incorporación y nivelación de habilidades digitales, de análisis de datos y computación junto con habilidades adaptativas, como la flexibilidad, la creatividad, la coordinación y liderazgo de equipos para adaptarse a nuevos escenarios cambiantes para la industria de la construcción.

Aplicar el método IBBS como una herramienta de prevención, resulta de fácil integración como indicador de eficiencia (KPI) de un contrato para el rol de la gestión de Contrato, a fin de disminuir mitigar los costos, a través de la prevención de la pérdida de productividad y por efectos de las modificaciones de obra, lo cual se recomienda incorporar en un mediano plazo una vez efectuados estudios adicionales que puedan complementar este trabajo.

Como recomendaciones finales al trabajo de tesis se mencionan las siguientes:

- Avanzar en el desarrollo de un modelo estándar de Administración de Contratos de Codelco para mejorar la ejecución de proyectos, teniendo en consideración una gestión de contratos con herramientas metodológicas que permitan fortalecer los análisis de los cambios en los contratos, para asegurar y maximizar la captura de la promesa de valor, tal como lo ha demostrado la el uso de metodología IBBS y otras.
- Contar con estrategias definidas para abordar los cambios y que no incorporen variables de costo, plazo y seguridad, sino también productividad y oportunidad del cambio.
- Analizar otras alternativas por sobre las ordenes de cambio para ejecutar obras adicionales, como por ejemplo contratos de obras misceláneas, con estructuras de gastos generales más livianas, que trabajen con uso de recursos, como contratos integradores y permanentes que acompañen a contratos de gran envergadura.
- Trabajar como equipo administrador multidisciplinario para someter al diseño del proyecto a las menores modificaciones posibles.
- Apoyar el proceso de transformación de sus proveedores en socios estratégicos, donde el control de las pérdidas de productividad sea también un aspecto clave en la gestión conjunta, por cuanto afectan a ambos por igual.

Esto permitirá migrar a un estándar de cultura productiva, que redunde en contratos más eficientes y efectivos con una lógica de negocio de hacer más con menos creando valor para CODELCO y sus socios estratégicos vía una alianza ganar-ganar. En este ámbito, los administradores de contrato son indispensables para lograr este objetivo, el que, mediante un enfoque anticipado de gestión, cumpla la meta de reducir al máximo las reclamaciones por pérdida de productividad laboral.




## CAPÍTULO N°9: BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, Rodrigo (2015) Tesis Pérdida de Productividad Laboral por Cambios en los Proyectos en Obras de Construcción (2015). Tesis de Pregrado. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142099/perdida-de-productividad-laboral-por-cambios-en-los-proyectos-en-obras-de-construccion>.
- Administración de Proyectos, Tercera Edición, Mario Campero y Luis Alarcón. <http://clasetest.emol.cl/articulos/ricardo-nicolau/solucionar-alto-grado-conflicto-los-contratos-construccion>.
- Agenda Estratégica 2020 Productividad y Costos (Marzo 2016)
- <http://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html>
- API Reformulado Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo
- Bases Generales de Contratación (BGC) Rev.3, del 10 de Junio de 2014.
- Change Orders Impact on Labor Productivity Osama Moselhi, F.ASCE1; Ihab Assem, M.ASCE2; and Khaled El-Rayes, M.ASCE3.
- Campero y Alarcón (1999), Administración de proyectos civiles, capítulo XIV Un sistema de planificación y control de producción: El último planificador.
- Código Civil de la República de Chile
- Ertel, Dany, Sánchez Francisco J. y Falcao Horacio (1999). Preparándose para Negociar, CMI INTERNATIONAL GROUP, LLC.
- Fuerza laboral de la gran minería chilena 2019-2028, Diagnóstico y recomendaciones; EQUIPO CONSEJO MINERO.
- Ibbs and Liu (2005). Improved Measured Mile Analysis Technique. Journal of Construction Engineering and Management. 131(12). Recuperado de: [http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Ibbs\\_Liu\\_JCEM\\_2005.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Ibbs_Liu_JCEM_2005.pdf). 96
- Ibbs, W and McEniry, G (2008). Evaluating the Cumulative Impact of Changes on Labor Productivity —an Evolving Discussion. Cost Engineering, The AACE® International Journal 50(12). Recuperado desde: <http://www.aacei.org/>.
- Ibbs, C. W., and Allen, W. E. (1995). “Quantitative impacts of Project change”, Construction Industry Institute, Univ.of Texas, Texas. [https://fen.uchile.cl/images/revista\\_mirada/revista\\_165.pdf](https://fen.uchile.cl/images/revista_mirada/revista_165.pdf)
- Leonard, Ch (1988) The Effects Of Change Orders on Productivity. Canada: Tesis for the Degree of Master of Engineering (Building), Concordia University. Recuperado de: <https://spectrum.library.concordia.ca/5043/1/ML49088.pdf>
- Meller y Salinas (2019) Revolución Tecnológica 4.0 y Capital Humano, Una Mirada desde la Minería.
- Mejía Mendoza Pablo (2008), Propuestas de Mejoras en la Gestión de Contratos en CODELCO, Tesis de Pregrado. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103062>.
- Memoria Anual de CODELCO 2019. Capítulo “Gestión de productividad de excelencia”.
- Presentaciones de las clases del Módulo Abastecimiento, profesor Iván Braga, MBA versión Minera 2018.
- Presentaciones de las clases del Módulo Entorno Normativo y Regulatorio Aplicable a la Minería, profesor Marcelo Olivares, MBA versión Minera 2018.
- <https://www.construccionminera.cl/la-disputa-entre-el-avance-y-el-rendimiento/#.X6gZimhKjIU>.
- [https://www.codelco.com/la-empresa-que-mas-aporta-al-estado-de-chile/prontus\\_codelco/2012-10-24](https://www.codelco.com/la-empresa-que-mas-aporta-al-estado-de-chile/prontus_codelco/2012-10-24)
- <https://www.recursosenprojectmanagement.com/gestion-de-cambios>


## 9.1 Anexos

### Anexo N°1: Modelos de la gestión de cambio VP


Tabla 14: Modelo de notificación de cambio.

	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS		SGP-12CON-FRMGS-00011 Rev.0
	<b>NOTIFICACIÓN DE CAMBIO DE CONTRATOS</b>		LOGO CONTRATISTA
		NDC N° <input type="text"/> REV <input type="text"/>	
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CONTRATO</b>			
PROYECTO/GERENCIA		CONTRATO N°	DEN
NOMBRE CONTRATO			
CONTRATISTA			RUT
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CAMBIO SOLICITADO</b>			
ORIGINADOR DEL CAMBIO		CONTRATISTA	
	CODELCO <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
NOMBRE DEL SOLICITANTE		ÁREA	
TÍTULO DEL CAMBIO		FECHA	
DESCRIPCIÓN Y/O RAZONES DEL CAMBIO			
<i>Si es necesario, adjuntar anexos indicando el n° de páginas</i>			
<b>IMPACTOS DEL CAMBIO EN EL CONTRATO</b>			
¿GENERA CAMBIOS EN EL MONTO DEL CONTRATO?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	MONEDA <input type="text"/>	MONTO DEL CAMBIO <input type="text"/>
			(Según corresponda, adjuntar Itemizado, formato EP, ECO-01, ECO-01B, APU)
¿GENERA CAMBIOS EN EL PROGRAMA DEL CONTRATO?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	FECHA INICIO TRABAJO ADICIONAL	FECHA TÉRMINO TRABAJO ADICIONAL
		N° DÍAS DE ATRASO <input type="text"/>	HITOS AFECTADOS
		<i>Si es necesario, adjuntar anexos indicando el n° de páginas</i>	
¿IMPACTA LA RUTA CRÍTICA DEL CONTRATO?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	N° DÍAS DE ATRASO <input type="text"/>	NUEVA FECHA DE TÉRMINO DEL CONTRATO <input type="text"/>
ADJUNTOS <i>Indicar los documentos adjuntos y N° de páginas</i>			
<b>CONTRATISTA</b>			
ADMINISTRADOR/A DEL CONTRATO			
FIRMA Y FECHA			
NOMBRE: <input type="text"/>			
La incorporación de estos trabajos o servicios al Contrato debe perfeccionarse mediante una Orden de Cambio o Modificación de Contrato; por lo tanto, la aprobación de la presente Notificación de Cambio no autoriza al Contratista a ejecutar los servicios o trabajos descritos.			
<b>REVISIÓN DE CODELCO</b>			
¿ES UN CAMBIO AL CONTRATO?		TIPO DE CAMBIO AL CONTRATO:	
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	AUMENTO DE OBRAS <input type="checkbox"/>	OBRAS EXTRAORDINARIAS <input type="checkbox"/>
CONTRATOS			
REVISAR			
ÁREA SOLICITANTE	ESPECIALISTA DE CONTRATOS	JEFATURA DE CONTRATOS	JEFATURA CONTROL DE PROYECTO
FIRMA Y FECHA	FIRMA Y FECHA	FIRMA Y FECHA	FIRMA Y FECHA
NOMBRE: <input type="text"/>	NOMBRE: <input type="text"/>	NOMBRE: <input type="text"/>	NOMBRE: <input type="text"/>
<b>APROBACIÓN CODELCO</b>			
ADMINISTRADOR/A DEL CONTRATO CODELCO			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	FIRMA Y FECHA	
		NOMBRE: <input type="text"/>	
<b>OBSERVACIONES PARA SU APROBACIÓN</b>			

**Tabla 15: Modelo solicitud autorización modificación contrato (SAM)**

	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS		SGP-12CON-FRMGS-00005 Rev.2
	<b>SOLICITUD DE AUTORIZACION DE MODIFICACIÓN DE CONTRATO</b>		
	SAM N° <input style="width: 50px;" type="text"/>		
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CONTRATO</b>			
PROYECTO/GERENCIA			CONTRATO N°
NOMBRE CONTRATO			
CONTRATISTA			RUT
FECHA DE ADJUDICACIÓN			FECHA INICIO EJECUCIÓN
PROCESO	LICITACIÓN <input type="checkbox"/> ASIGNACIÓN DIRECTA <input type="checkbox"/> PROVEEDOR ÚNICO <input type="checkbox"/>		
NIVEL FACULTADO QUE APROBÓ ADJUDICACIÓN	(elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)		
MONTO ORIGINAL DE CONTRATO		USD	
PROVISIONES (Bonos, etc.)		USD	
MONTO ORIGINAL AUTORIZADO	0	USD	0,00
MONTO PRESUPUESTADO EN API		USD	
		TIPO DE CAMBIO <input style="width: 30px;" type="text"/>	
		OTRA MONEDA (*): <input style="width: 30px;" type="text"/>	
(*) Ingresar abreviación moneda			
PLAZO EJECUCIÓN (DIAS)		FECHA TÉRMINO EJECUCIÓN	FECHA TÉRMINO VIGENCIA
<b>INFORMACIÓN GENERAL DE LA SAM ANTERIOR</b>			
TÍTULO DEL CAMBIO			FECHA ÚLTIMA MODIFICACIÓN
NIVEL FACULTADO QUE APROBÓ SAM ANTERIOR	(elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)		
MONTO ACTUALIZADO DEL CONTRATO <sup>(1)</sup>		USD	(USD Según GCAB-I-303)
PLAZO EJECUCIÓN (DIAS)		FECHA TÉRMINO EJECUCIÓN	FECHA TÉRMINO VIGENCIA
<b>PRESENTE SAM</b>			
TÍTULO DEL CAMBIO			FECHA MODIFICACIÓN
DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO <i>Resumen ejecutivo del cambio. Detalles en PPT. Si es necesario, adjuntar anexos indicando el n° de páginas</i>			
MONTO PRESENTE AUTORIZACIÓN		USD	
MONTO ACUMULADO <sup>(1)</sup>	0	USD	
% VARIACIÓN RESPECTO AL ORIGINAL			(USD Según GCAB-I-303)
+/- PLAZO EJECUCIÓN (DIAS)		PLAZO TOTAL DE EJECUCIÓN (DIAS)	0
		% VARIACIÓN C/R ORIGINAL	#iDIV/0!
NUEVA FECHA TÉRMINO EJECUCIÓN		NUEVA FECHA TÉRMINO VIGENCIA	
<b>APROBACIÓN DE LA SAM</b>			
REVISAR JEFATURA DE CONTRATOS    JEFATURA CONTROL DE PROYECTO    ADMINISTRADOR/A DE CONTRATO    GERENTE/A DE PROYECTO / FUNCIONAL			
_____ FIRMA Y FECHA                      FIRMA Y FECHA                      FIRMA Y FECHA                      FIRMA Y FECHA			
NOMBRE: <span style="background-color: #f8d7da; padding: 2px;">Completar</span> NOMBRE: <span style="background-color: #f8d7da; padding: 2px;">Completar</span> NOMBRE: <span style="background-color: #f8d7da; padding: 2px;">Completar</span> NOMBRE: <span style="background-color: #f8d7da; padding: 2px;">Completar</span>			
NIVEL FACULTADO QUE APRUEBA PRESENTE SAM	(elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)    (elegir de lista --->)		
<b>APROBACIONES DEL NIVEL FACULTADO A TRAVÉS DE PLATAFORMA ÚNICA DE AUTORIZACIONES</b>			
<sup>(1)</sup> Contrato + provisiones autorizadas por nivel facultado			

**Tabla 16: Modelo de orden de cambio**

	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE VICEPRESIDENCIA DE PROYECTOS				SGP-12CON-FRMGS-00010
	<b>ORDEN DE CAMBIO</b>				
	OC N° <input style="width: 50px;" type="text"/>				
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CONTRATO</b>					
PROYECTO/GERENCIA				CONTRATO N°	DEN
NOMBRE CONTRATO					
CONTRATISTA					RUT
FECHA INICIO EJECUCIÓN	PLAZO EJECUCIÓN (DIAS)			FECHA TÉRMINO EJECUCIÓN	00-ene-00
MONTO ORIGINAL DEL CONTRATO	MONEDA DEL CONTRATO		<i>En caso de otra moneda, indicar</i>		
<b>CAMBIO</b>					
TÍTULO DEL CAMBIO					FECHA
					24-abr-18
DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO					
<b>Tabla de Detalles</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	
MONTO DE LA PRESENTE ORDEN DE CAMBIO				0	
MONTO ACUMULADO EN ORDENES DE CAMBIO ANTERIORES					
De la N°	0	Hasta la N°	0		
MONTO ACTUALIZADO DEL CONTRATO				0	
VALORES NETOS, NO INCLUYEN IVA.					
<b>EFFECTOS DEL CAMBIO</b>					
Esta Orden de Cambio incluye la compensación por cualquier impacto presente o futuro, (incluso, sin limitación, por pérdidas de eficiencia) u otros efectos, derivado de o en conexión con los hechos, reclamos o presentaciones de esta Orden de Cambio (OC). El Contratista reconoce que fuera de exceptuado anteriormente, no existen servicios adicionales ni extras, ni cambio de condiciones de plazo que justifiquen una compensación adicional, renunciando expresamente a todo derecho de compensación al respecto.					
<b>APROBACIÓN DE LA ORDEN DE CAMBIO</b>					
<b>REVISAR</b>					
<b>JEFE DE CONTRATO</b>			<b>JEFE DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE PROYECTO</b>		
_____ Firma y Fecha			_____ Firma y Fecha		
Nombre: <input style="width: 150px;" type="text"/>			Nombre: <input style="width: 150px;" type="text"/>		
<b>APRUEBA</b>					
<b>ADMINISTRADOR DEL CONTRATO CONTRATISTA</b>			<b>ADMINISTRADOR DEL CONTRATO CODELCO</b>		
_____ Firma y Fecha			_____ Firma y Fecha		
Nombre: <input style="width: 150px;" type="text"/>			Nombre: <input style="width: 150px;" type="text"/>		