



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA BASADO
EN METODOLOGÍAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE**

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

CÉSAR ANTONIO TRAMÓN CARRIZO

**PROFESOR GUÍA:
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE TABOADA RODRÍGUEZ
GERARDO DÍAZ RODENAS**

SANTIAGO DE CHILE

2022

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL
GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS
POR: CÉSAR TRAMÓN CARRIZO
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: ENRIQUE JOFRÉ ROJAS**

De acuerdo a estadísticas de proyectos, las ingenierías tienen una desviación entre un 40 y 50% adicional respecto al plazo original, y de entre un 30 y 50% respecto al presupuesto. Por otro lado, los costos de ingenierías preinversionales (previas a la etapa de ejecución) representan un porcentaje del costo de capital de proyecto que oscila entre un 3,7 y 6,0% para proyectos de complejidad alta.

Lo descrito genera la necesidad de buscar alternativas que permitan reducir los tiempos y costos asociados a los desarrollos de ingeniería para mejorar productividad y bajar costos. Esta búsqueda motiva la presente tesis, en la cual se plantea adoptar metodologías utilizadas actualmente en la industria del software tales como AGILE, complementadas con metodologías de diseño BIM (*Building Information Modeling*) para reducir plazos y costos de ejecución.

El objetivo general de la presente tesis consiste en diseñar un sistema de gestión de proyectos de ingeniería para inversiones mineras, que permita reducir plazos y costos de ejecución, basado en metodologías de desarrollo de software.

Para lograr lo anterior, se caracteriza el escenario actual de la cartera de proyectos mineros en Chile, con proyección de 10 años. En seguida se describe los principales aspectos de las metodologías AGILE y BIM. Luego, se presenta antecedentes de estudios realizados respecto a los tiempos de ejecución y costos de ingenierías (benchmarking). Además, se describe el caso base que será comparado con la propuesta de la presente tesis. Luego, serán aplicados los aspectos definidos de las metodologías AGILE y BIM a un caso práctico, verificando si se cumplen los resultados esperados y estudiando su variación respecto al caso base. Finalmente, se genera una propuesta de implementación metodológica para gestión de proyectos de ingeniería.

La aplicación de ambas metodologías, permiten obtener una reducción de 40% en el plazo (desde 8 a 4,5 meses), y de un 29% en las HH's utilizadas (desde 8.318 a 5.936 HH), aspectos que evaluados económicamente de acuerdo a tarifas de mercado generan ahorros potenciales entre MMUS\$670 y MM\$1.085, en el período 2023/2030.

Por lo tanto, podemos concluir que la gestión de proyectos de ingeniería utilizando las metodologías Agiles, combinado con BIM, son una oportunidad desde el punto de vista de la productividad permitiendo ahorros de plazos de ejecución y costos asociados.

Se recomienda tener en cuenta que para poder asegurar este éxito, se debe gestionar de manera continua a la organización, de manera tal de que la aplicación de la práctica no sea un hecho puntual, transformando la cultura organizacional, migrando a una organización Ágil.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	MARCO CONCEPTUAL	3
1.4	METODOLOGÍA	10
2	ANÁLISIS Y CONTEXTO ESTRATÉGICO	12
2.1	ANÁLISIS CUALITATIVO.....	12
2.2	ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	14
3	DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE VALOR	19
3.1	DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL.....	19
3.2	PROPUESTA DE VALOR	22
4	BENCHMARK ACTUAL DE LA INDUSTRIA DEL SOFTWARE	24
4.1	CASOS DE ÉXITO	24
4.1.1	Amazon y la implementación de Scrum.....	24
4.1.2	Apple y su mejora continua de la mano de Scrum.....	25
4.1.3	La experiencia de Google Adwords	25
4.1.4	Spotify y aplicación de metodología Ágil	26
4.2	CASOS EN QUE FRACASA AGILE.....	27
4.3	LECCIONES APRENDIDAS	30
5	ANÁLISIS DE BRECHAS SITUACIÓN ACTUAL VERSUS PROPUESTA	33
5.1	SITUACIÓN ACTUAL.....	33
5.2	SITUACIÓN PROPUESTA.....	34
6	EVALUACIÓN ECONÓMICA AHORROS CASO BASE VERSUS CASO PRÁCTICO.....	37
7	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PROPUESTA METODOLÓGICA	42
7.1	CASO BASE	42
7.2	CASO PRÁCTICO.....	46
7.3	PROPUESTA METODOLÓGICA.....	50
7.3.1	Planificación.....	50
7.3.2	Kick off meeting	52

7.3.3	Taller CFQ	52
7.3.4	Configuración Plataforma BIM	53
7.3.5	Capex Trending	57
7.4	DESARROLLO	59
7.5	RESUMEN	66
8	ANÁLISIS DE RIESGOS	67
9	CONCLUSIÓN	71
10	BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Condición de materialización de un proyecto ⁶	12
Tabla 2:	Distribución de la inversión en la minería chilena por sector y condición de los proyectos ⁶	16
Tabla 3:	Distribución anual de la inversión minera según condición ⁶ . En millones de dólares.	17
Tabla 4:	Definición de alcance de cartera de proyectos para estudio. Elaboración propia (millones de dólares)	17
Tabla 5:	Benchmarking Costos de estudio ²	21
Tabla 6:	Brecha situación actual v/s deseada. Elaboración Propia	36
Tabla 7:	Definición de alcance de cartera de proyectos para estudio. Elaboración propia (millones de dólares)	39
Tabla 8:	Benchmarking Costos de estudio ²	40
Tabla 9:	Programación Base Ingeniería	44
Tabla 10:	Backlog Sprint	52
Tabla 11:	Matriz de Asignación de atributos	55
Tabla 12:	Esquema Paquetización Proyecto	57
Tabla 13:	Programa Capex Trending	59
Tabla 14:	Paquetización Proyecto	62
Tabla 15:	Análisis de Riesgo	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema fundamentos Programación Extrema	4
Figura 2: Esquema fundamentos Metodología Scrum	6
Figura 3: Esquema fundamentos Metodología Kanban	7
Figura 4: BIM - Modelamiento 3D Sala de Chancado. Elaboración Propia	9
Figura 5: BIM - Programa construcción. Elaboración Propia.....	9
Figura 6: BIM – Atributos cargados en Modelo 3D. Elaboración Propia.....	10
Figura 7: Distribución de la inversión en la minería chilena, según condición ⁶	15
Figura 8: Desviación porcentual proyectos fase de ejecución. Fuente: Boston Consulting Group.	19
Figura 9: Enfoque Organización Tradicional v/s Agile ⁸	23
Figura 10: Comparativa Caso Base vs Ingeniería en Agile	37
Figura 11: Diseño Sistema Correas Transportadoras	42
Figura 12: Modularización Desarrollo Ingeniería	45
Figura 13: Nuevo Diseño Proyectado Correas Transportadoras.....	46
Figura 14: Complemento Metodología BIM y Agile	47
Figura 15: Planificación General Sprints	50
Figura 16: Historias Agile	51
Figura 17: Resultados Taller CFQ.....	53
Figura 18: Ruta acceso Plataforma BIM.....	54
Figura 19: Formulario creación Proyecto AVEVA NET	54
Figura 20: Acceso a PTGIP.....	55
Figura 21: Packing List.....	56
Figura 22: Packing List 2.....	57
Figura 23: Esquema Fases de Ingeniería	60
Figura 24: Resultados Taller CFQ.....	61
Figura 25: Etapas Implementación BIM	61

Figura 26: Relación Atributos - Entregables Ingeniería	62
Figura 27: Modelo BIM	63
Figura 28: Paquetización AWP en Propiedades de elementos modelo BIM	63
Figura 29: Programa de Obras a partir de Paquetización	64
Figura 30: Reporte CAPEX Trending	65
Figura 31: Diseño final ejecutado	65
Figura 32: Resumen Propuesta Metodológica para desarrollos de Ingeniería	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparación Inversiones mineras 2019-2020 ⁶ . Inversión en millones de dólares	15
Gráfico 2: Comparación HH Diseño Base vs Ingeniería Agile	38
Gráfico 3: Curva Programa Ingeniería.....	45

1 INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Actualmente, la industria minera se encuentra enfrentada a un futuro desafiante, donde temas tales como la productividad y rebaja de costos cobran relevancia a la hora de pretender seguir liderando el mercado.

Uno de los procesos iniciales de la cadena de valor de la industria minería, corresponde a las etapas de estudio o ingenierías (Perfil, Prefactibilidad, Factibilidad y Ejecución).

Estudios realizados acerca de los tiempos de ejecución de procesos de ingeniería, indican que *“en un intervalo de confianza del 95% la duración de la ingeniería de Factibilidad se extenderá entre los 9.35 y 11.79 meses. Además, las ingenierías de Prefactibilidad tienen una duración del orden de 7.2 meses”*¹.

No obstante lo anterior, de acuerdo a estadísticas de proyectos, en general, las ingenierías tienen una desviación entre un 40 - 50% adicional respecto al plazo original.

Por otro lado, los costos de ingenierías preinversionales (previas a la etapa de ejecución) representan un porcentaje del costo de capital de proyecto que oscila entre un 3,7 y 6,0% para proyectos de complejidad alta². Además, otros estudios especializados indican que los costos de ingeniería (incluida etapa de Ejecución y otros servicios de consultorías, estudios específicos, etc.) corresponden a aproximadamente un 30% del costo de compra de equipos o a un 8% del total de costos de capital de proyecto³.

De manera similar al plazo, de acuerdo a estadísticas, en general el costo de ejecución de las ingenierías presenta alzas entre un 30 y 50% respecto al presupuesto original.

Lo descrito en los párrafos anteriores, genera la necesidad de buscar alternativas que permitan reducir los tiempos y costos asociados a los desarrollos de ingeniería. Esta búsqueda motiva la presente tesis, en la cual se plantea adoptar metodologías utilizadas actualmente en la industria del software tales como AGILE, complementadas con metodologías de diseño BIM (*Building Information Modeling*) para reducir plazos y costos de ejecución, aportando también al desarrollo más expedito de las etapas de ejecución del proyecto.

Podemos definir la metodología AGILE como un conjunto de tareas y procedimientos dirigidos a la gestión de proyectos. Son aquellos métodos de desarrollo en los cuales tanto las necesidades como las soluciones a estas, evolucionan con el pasar del tiempo, a través del trabajo en equipo de grupos multidisciplinarios que se caracterizan por tener desarrollo evolutivo y flexible, autonomía de los equipos, planificación y comunicación⁴.

Respecto a BIM (*Building Information Modeling*) esta es una metodología que permite crear simulaciones digitales de diseño, manejando coordinadamente toda la información que conlleva un proyecto de diseño. Mientras CAD permite el diseño en 2D o 3D sin distinguir sus elementos, este sistema de datos incorpora el 4D (tiempo) y 5D (costos), permitiendo gestionar la información de manera inteligente durante todo el ciclo de vida de un proyecto⁵.

Como antecedente cuantitativo de la presente tesis, será utilizado el último catastro de inversiones mineras emitido por Cochilco para el período comprendido entre los años 2020-2029, el cual considera 49 iniciativas valoradas en US\$74.047 millones⁶.

Al revisar la distribución de inversiones, según la probabilidad de materializarse en los plazos presupuestados, se observa que el primer grupo, que corresponde a las iniciativas en condición base y probable, suman un total de US\$ 42.811 millones con 31 proyectos. El segundo subgrupo de iniciativas (posible y potencial) denominado “con menor probabilidad de materialización”, corresponde a 18 proyectos por un total de US\$ 31.237 millones⁶.

Se define que el alcance del análisis de la presente tesis corresponderá a todos aquellos proyectos que cumplan ambas condiciones a contar del año 2022. Por lo tanto, se considera una cartera de proyectos de inversión minera del orden de US\$46.387 millones, equivalentes a un 63% de la cartera total del decenio 2020-2029.

Además, para el presente trabajo será utilizado como criterio, que el porcentaje del costo de estudios será un 6%, ya que el foco de esta propuesta estará principalmente en los estudios de etapas preinversionales (Prefactibilidad y Factibilidad).

Respecto a los resultados, esperamos poder definir prácticas que nos permitan desde el punto de vista cuantitativo rebajar lo siguiente:

- Costo: entre un 20% - 40% respecto a caso base
- Plazo: entre un 30% - 40% respecto a caso base

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de gestión de proyectos de ingeniería para inversiones mineras, que permita reducir plazos y costos de ejecución, basado en metodologías de desarrollo de software.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la situación actual y futura, período 2020-2029, de la cartera de inversiones mineras.
- Describir el contexto teórico de metodologías AGILE y BIM y su aplicación al desarrollo de ingeniería.
- Definir y describir caso base o contexto (benchmarking) asociado a tiempos y costos de desarrollo de ingeniería en proyectos mineros.
- Diseñar propuesta metodológica a aplicar en un desarrollo de ingeniería, para generar ahorros de plazo y costo, comparando resultados con caso base.

1.3 MARCO CONCEPTUAL

Respecto a la aplicación de las metodologías AGILE y BIM en los diseños es importante destacar algunos elementos teóricos de ambas herramientas.

AGILE⁴

Podemos definir las Metodologías Ágiles como un conjunto de tareas y procedimientos dirigidos a la gestión de proyectos. Son aquellos métodos de desarrollo en los cuales tanto las necesidades como las soluciones a estas evolucionan con el pasar del tiempo, a través del trabajo en equipo de grupos multidisciplinarios que se caracterizan por tener las siguientes cualidades:

- Desarrollo evolutivo y flexible.
- Autonomía de los equipos.
- Planificación.
- Comunicación.

Existen diferentes opciones ágiles entre las cuales podemos destacar las siguientes: Programación Extrema (XP), Scrum y Kanban, siendo estas tres las alternativas más utilizadas. Es importante mencionar, que todas las metodologías ágiles cumplen con el Manifiesto Ágil, el cual se encuentra compuesto por doce principios agrupado en cuatro valores fundamentales:

- Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas.
- Software funcionando sobre documentación extensiva.
- Colaboración con el cliente sobre negociación contractual.
- Respuesta ante el cambio sobre seguir un plan.

Programación Extrema

Conocida por sus siglas XP (*eXtreme Programming*), es una metodología basada en un conjunto de reglas y buenas prácticas para el desarrollo de software en ambientes muy cambiantes con requisitos imprecisos, por ende está enfocada en la retroalimentación continua entre el equipo de desarrollo y el cliente.

Es por ello que iniciando el proyecto se deben definir todos los requisitos, para luego invertir el esfuerzo en manejar los cambios que se presenten y así minimizar las posibilidades de error. XP tiene como base la simplicidad y como objetivo la satisfacción del cliente.



Figura 1: Esquema fundamentos Programación Extrema

En resumen las principales características de la programación extrema son:

- Desarrollo iterativo e incremental.
- Programación en parejas
- Pruebas unitarias continuas.
- Corrección periódica de errores.
- Integración del equipo de programación con el cliente.
- Simplicidad, propiedad del código compartida y refactorización del código.

La programación extrema optimiza los tiempos y se adapta al desarrollo de sistemas grandes y pequeños sin mayor documentación, el código es claro y simple, así mismo complementa los conocimientos entre los miembros del equipo, gracias a la programación en parejas. Sin embargo, una desventaja de esta metodología ágil, es que luego de cada entrega el sistema puede ir creciendo según sean las peticiones del cliente.

Scrum

Esta metodología, es un marco de trabajo de procesos ágiles que trabaja con el ciclo de vida iterativo e incremental, donde se va liberando el producto de forma periódica,

aplicando las buenas prácticas de trabajo colaborativo (en equipo), facilitando el hallazgo de soluciones óptimas a los problemas que pueden ir surgiendo en el proceso de desarrollo del proyecto.

Con Scrum se realizan entregas regulares y parciales (sprint) del producto final, todas ellas con una prioridad previamente establecida que nace según el beneficio que aporten al cliente, minimizando los riesgos que pueden surgir de desarrollos extremadamente largos. Es por tal motivo, que Scrum está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesitan obtener resultados de manera inmediata y donde son fundamentales los siguientes aspectos: la innovación, la productividad, la flexibilidad y la competitividad.

En los Equipos Scrum, se cuenta con roles específicos y cada uno de ellos es imprescindible para que se lleve a cabo el proceso de forma satisfactoria:

- Stakeholder: Es el cliente, su responsabilidad radica en definir los requerimientos (*Product Backlog*), recibir el producto al final de cada iteración y proporcionar el feedback correspondiente.
- Product Owner: Es el intermediario de la comunicación entre el cliente (*Stakeholder*) y el equipo de desarrollo (Scrum Team). Este debe priorizar los requerimientos según sean las necesidades de la solicitud.
- Scrum Master: Actúa como facilitador ante todo el equipo de desarrollo, elimina todos aquellos impedimentos que identifique durante el proceso, así mismo se encarga de que el equipo siga los valores y los principios ágiles, las reglas y los procesos de Scrum, incentivando al grupo de trabajo.
- Scrum Team (Equipo de desarrollo): Se encarga de desarrollar los casos de uso definidos en el Product Backlog, es un equipo auto gestionado lo que quiere decir que no existe un jefe de equipo, motivo por el cual todos los miembros se deben de encargar de realizar las estimaciones y en base a la velocidad obtenida en las iteraciones irán construyendo el Sprint Backlog.

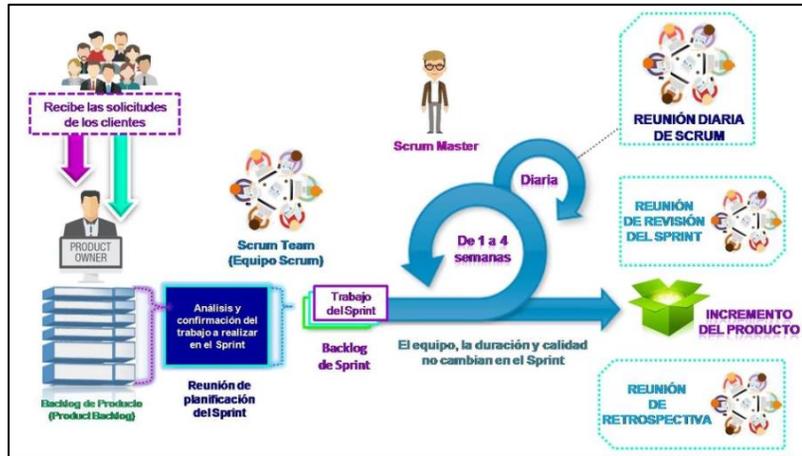


Figura 2: Esquema fundamentos Metodología Scrum

Un punto fundamental en el proceso que conlleva Scrum son las revisiones (reuniones), con ellas se fomenta la comunicación y transparencia del proceso, las reuniones que aplican son:

- Reunión de planificación: Se debe realizar al inicio de cada sprint, esto con el objetivo de planificar la cantidad de trabajo a la que el equipo se va a comprometer a construir durante el próximo sprint.
- Reunión diaria: Son reuniones cuyo lapso tiene un máximo 15 minutos, en ellas se realiza una retroalimentación de qué se hizo el día ayer, qué se hará hoy y cuáles han sido los problemas que han surgido hasta el momento. El objetivo, es que el equipo establezca un plan para las próximas 24 horas.
- Reunión de revisión: Se lleva a cabo al final de cada sprint, en ellas se exponen los puntos completados y los que no.
- Reunión de retrospectiva: Una vez culminado un sprint se efectúa esta reunión, que tiene como objetivo que el equipo reflexione y saque como resultado posibles acciones de mejora. A ella, debe asistir todo el Equipo Scrum (Product Owner), Equipo de Desarrollo y Scrum Master). Es una de las reuniones más importantes ya que es un espacio de reflexión y mejora continua.

Kanban

Proveniente de una palabra japonesa cuyo significado es “Tarjeta Visual” es un marco de trabajo que requiere una comunicación en tiempo real sobre la capacidad del equipo, utilizado para controlar el avance de trabajo en una línea de producción, en la cual se clasifican las tareas en substatus, esto con la intención de determinar los niveles de productividad en cada fase del proyecto.

Para el desarrollo de software, gracias a su sencillez KANBAN, simplifica la planificación y la asignación de responsabilidades, en un tablero se representan los procesos del flujo de trabajo, cómo mínimo deben existir tres columnas (Pendiente, En Progreso, Terminado), la cantidad de tarjetas en estatus pendiente forma parte de lo solicitado por el cliente, aquellas colocadas en progreso dependerán de la capacidad del equipo de trabajo.



Figura 3: Esquema fundamentos Metodología Kanban

Las principales ventajas de usar Kanban son:

- Planificación de tareas.
- Tiempos de ciclos reducidos.
- Rendimiento del equipo de trabajo
- Métricas visuales.
- Menos cuellos de botella.
- Entrega continua.

Si bien las Metodologías Ágiles tiene su origen en las industria del software, de acuerdo a la opinión del autor de la presente tesis, sus principios y fundamentos son perfectamente aplicables a otras áreas del conocimiento o la industria, es ahí donde radica el principal aporte del presente trabajo ya que supone reducción de plazo y costos de ejecución en particular en los desarrollo de ingeniería, minimizando retrabajos, impulsando un alineamientos temprano con todos los involucrados en el proyecto, eliminando desperdicios que generan los esfuerzos sin planificación, las reuniones que consumen tiempo y no generan productividad ante alguna iniciativa, entre otros aspectos.

La línea de desarrollo entonces considera la aplicación de las características que complementan a estas metodologías, como por ejemplo desarrollo incremental e iterativo, resolución de problemas complejos, tiempo acotado de ejecución, roles y equipos Scrum proactivos y empoderados, uso de reuniones efectivas, objetivos comunes y seguimiento mediante Kanban.

BIM⁵

BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología que permite crear simulaciones digitales de diseño, manejando coordinadamente toda la información que conlleva un proyecto de arquitectura.

Mientras CAD permite el diseño en 2D o 3D sin distinguir sus elementos, este sistema de datos incorpora el 4D (tiempo) y 5D (costos), permitiendo gestionar la información de manera inteligente durante todo el ciclo de vida de un proyecto, automatizando procesos de programación, diseño conceptual, diseño detallado, análisis, documentación, fabricación, logística de construcción, operación y mantenimiento, renovación y/o demolición.

En cualquier proyecto de diseño y construcción existen infinitos participantes, existen infinitas interacciones entre partes. Los proyectos son multidisciplinarios e incluyen información que no todos manejan. Entonces, ¿quién es responsable de qué en cada proyecto?, ¿Hasta dónde llega mi responsabilidad y dónde empieza la tuya? BIM permite ordenar la complejidad de este proceso.

Es importante aclarar la diferencia entre BIM y programas como Revit®, ArchiCAD®, AllPlan® y otros similares: BIM es un sistema de trabajo, mientras que Revit®, ArchiCAD® y AllPlan® son software donde este sistema puede aplicarse. Por lo tanto, estos se complementan y permiten que el trabajo diseñador sea llevado a cabo de forma eficaz.

De este modo, BIM permite el trabajo en conjunto de arquitectos, clientes, constructores, ingenieros y otros actores relevantes en un sólo proceso inteligente y compartido, concurrente e integrado.

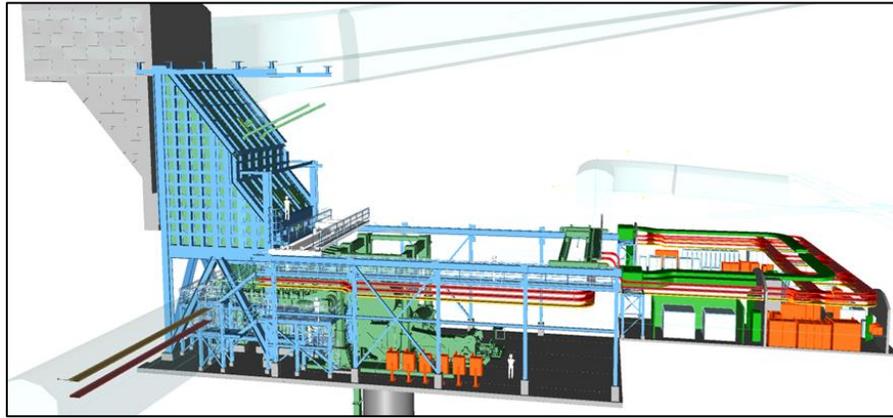


Figura 4: BIM - Modelamiento 3D Sala de Chancado. Elaboración Propia

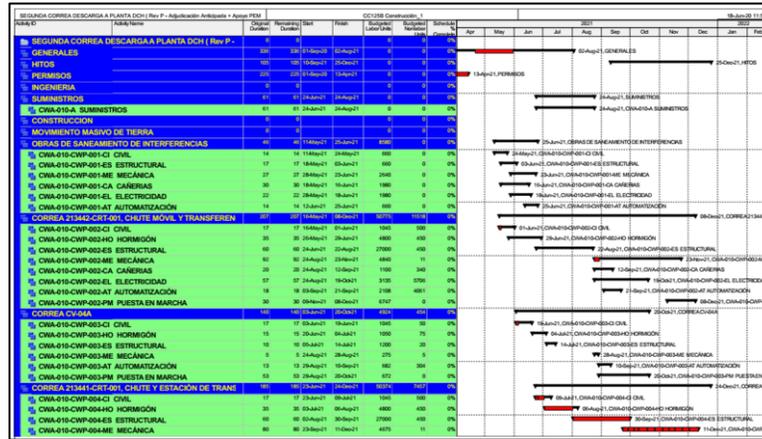


Figura 5: BIM - Programa construcción. Elaboración Propia

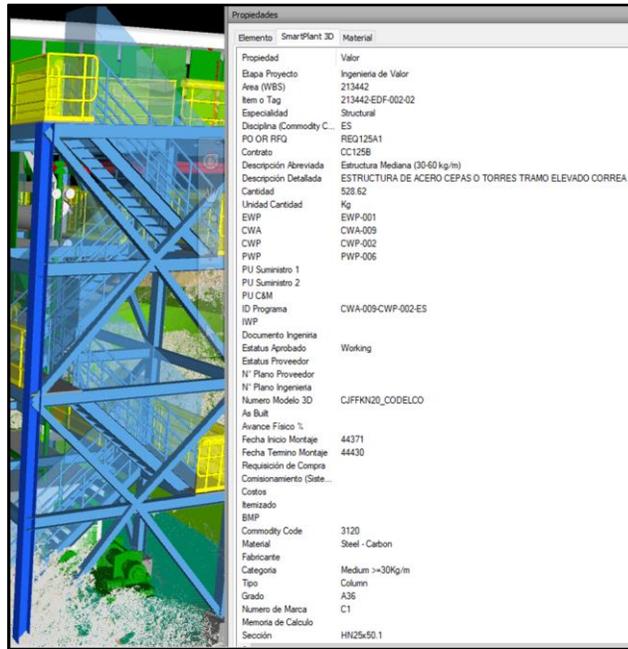


Figura 6: BIM – Atributos cargados en Modelo 3D. Elaboración Propia

1.4 METODOLOGÍA

Se propone diseñar un sistema de gestión de proyectos de ingeniería basado en metodologías de desarrollo de software (AGILE y BIM) que permitan generar ahorros de plazo y costo en los desarrollos de ingeniería para proyectos de minería.

Para poder lograr lo anterior, primero se revisa el escenario actual de la cartera de proyectos mineros en Chile, con una proyección de 10 años.

En seguida se describirán los principales aspectos de las metodologías AGILE y BIM, dando énfasis en su aplicabilidad en procesos de realización de ingeniería.

Posteriormente, se presentarán antecedentes de estudios realizados respecto a los tiempos de ejecución y costos de ingenierías (benchmarking). Además, se describirá el caso base que será comparado con la propuesta de la presente tesis.

Luego, se aplican los aspectos definidos de las metodologías AGILE y BIM a un caso práctico, verificando si se cumplen los resultados esperados y estudiando su variación respecto al caso base.

Finalmente, se generará una propuesta de implementación metodológica para gestión de proyectos de ingeniería basada en herramientas de diseño de software (AGILE-BIM).

La propuesta considerará aspectos que permitan generar continuamente mejoras, mediante la identificación de problemas que impacten en el desempeño del negocio y su resolución, evitando que vuelvan a ocurrir. Considerando también, la identificación de las causas raíces de las brechas detectadas, generando planes de acción para el cierre. Finalmente deberá considerar la ejecución de procesos eficientes definiendo la forma de realizar una tarea en un lenguaje sencillo y claro para así asegurar consistencia y eficiencia en la ejecución de ésta.

2 ANÁLISIS Y CONTEXTO ESTRATÉGICO

2.1 ANÁLISIS CUALITATIVO

La información sobre los proyectos de inversión emitido por Cochilco⁶, se caracteriza por la incertidumbre producto de la cantidad y calidad de los antecedentes disponibles, lo que depende de los atributos de los proyectos a la fecha en que se elabora el catastro.

Cada atributo tiene una gradualidad que puede asociarse a mayor o menor certeza y la combinación de ellos entrega una percepción de la condicionalidad para la materialización de estas iniciativas. En consecuencia, se definen 4 condiciones: base, probable, posible y potencial, asociado a los atributos específicos que se detallan en la Tabla N°1:

Tabla 1: Condición de materialización de un proyecto⁶

Condición	Tipo	Etapas de avance	Trámite SEA	Puesta en Marcha
BASE	Cualquiera	Ejecución	RCA aprobada	En el período
	Cualquiera	Ejecución suspendida	RCA aprobada o en reclamación	En el período
PROBABLE	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	En el período
	Reposición/Expansión	Factibilidad	EIA/DIA en trámite	En el período
	Reposición/Expansión	Factibilidad suspendida	EIA/DIA en trámite	En el período
	Reposición/Expansión	Factibilidad	EIA/DIA no presentada	En el período
POSIBLE	Nuevo	Factibilidad	EIA/DIA en trámite o no presentada	En el período
	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	Fuera del período
	Reposición/Expansión	Factibilidad	EIA/DIA en trámite o no presentada	Fuera del período
POTENCIAL	Cualquiera	Factibilidad suspendida	Cualquiera	Fuera del período
	Nuevo	Factibilidad	EIA/DIA en trámite o no presentada	Fuera del período
	Cualquiera	Prefactibilidad	Cualquiera	Cualquiera

Es necesario considerar que para efectos de este catastro, aquellos proyectos “en el periodo” son iniciativas por materializarse dentro del periodo 2020 – 2024, mientras que

aquellos considerados como “fuera del periodo” son aquellos que se materializarán en el quinquenio siguiente, esto quiere decir, el periodo 2025 – 2029.

Respecto al tipo de proyecto, este atributo da información sobre los grados de certeza de la materialización de un proyecto de inversión, pues se relaciona al propósito estratégico de la compañía y la menor a mayor complejidad que revisten para su materialización. Sus categorías son las siguientes:

- Proyectos de reposición: son aquellos donde la inversión procura mantener la capacidad productiva de una operación actual (*brownfield*) con nuevos desarrollos mineros, para enfrentar la caída de leyes y/o agotamiento de sectores en explotación. Ello permite prolongar la vida útil del yacimiento y el uso de sus instalaciones.
- Proyectos de expansión: son aquellos donde se busca ampliar la capacidad operacional actual (*brownfield*), a fin de aumentar su escala de producción y disminuir sus costos unitarios, especialmente por la caída de ley de sus recursos mineros a explotar.
- Proyectos nuevos: son aquellos que parten desde un nuevo yacimiento (*greenfield*), teniendo que realizar todo: el proceso de permisos ambientales y sectoriales, desarrollar infraestructura y asentarse en una localización.

La etapa de avance permite definir la certeza de concreción del mismo. Para ello se han categorizado los proyectos, según la etapa en que se encuentra:

- En ejecución: cuentan con la aprobación de la inversión y de los permisos correspondientes para su desarrollo. Ya se encuentran en alguna de las fases de ingeniería de detalle y de construcción hasta el inicio de la puesta en marcha.
- En estudio de factibilidad: aquellos que ya han iniciado los estudios de factibilidad y de evaluación ambiental (EIA o DIA) hasta que los hayan terminado, pero sin haber tomado aún la decisión final aprobatoria de la inversión.

- En estudio de Prefactibilidad: aquellos que se encuentran en la fase inicial de estudios de Prefactibilidad hasta que se tome la decisión de continuar a la etapa siguiente.

Por otro lado, todo proyecto no puede ser realizado sin contar con la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada, luego de un exhaustivo proceso técnico-administrativo que incluye participación ciudadana, al que se somete la declaración o el estudio de evaluación ambiental que corresponda. Por ello, se distingue 3 estados de mayor a menor certeza

- RCA aprobada.
- EIA/DIA en trámite.
- EIS/DIA no presentado.

Finalmente, el nivel de certeza de los antecedentes también depende de la cercanía o lejanía de la fecha prevista para la puesta en marcha. Los siguientes rangos de plazos indican un mayor a menor certeza:

- En el período: fecha dentro del período en análisis, o dentro del quinquenio.
- Fuera del período: Fecha posterior al período en análisis, o fuera del quinquenio.

2.2 ANÁLISIS CUANTITATIVO

De acuerdo al último catastro de inversiones mineras emitido por Cochilco⁶, para el período comprendido entre los años 2020-2029, considera 49 iniciativas valoradas en US\$74.047 millones. Sumando US\$2.195 millones, respecto al año anterior, principalmente por la inclusión de 5 nuevas iniciativas.

Comparación cartera inv. mineras 2019 v/s 2020

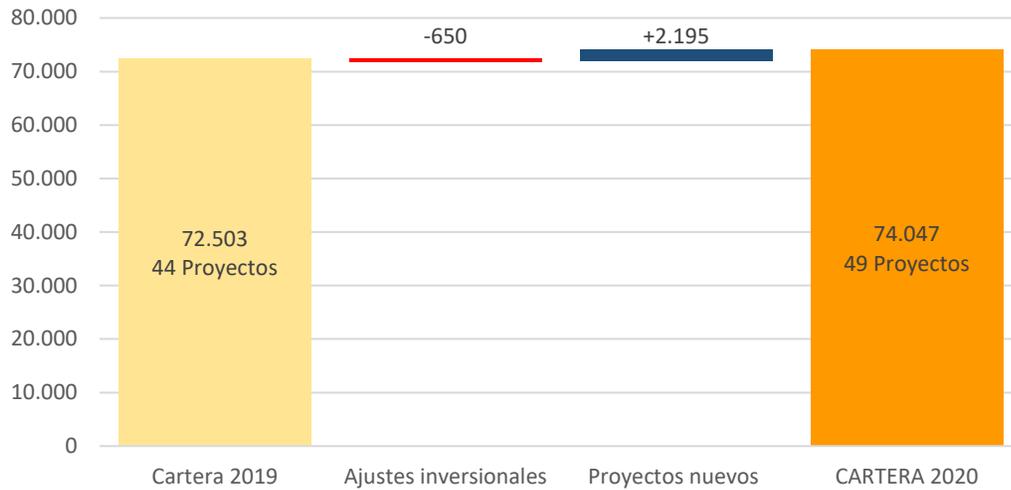


Gráfico 1: Comparación Inversiones mineras 2019-2020⁶. Inversión en millones de dólares

Al revisar la distribución según la probabilidad de materializarse en los plazos presupuestados con respecto a aquellos con menor probabilidad de materializarse, se observa que el primer grupo, que corresponde a las iniciativas en condición base y probable, suman un total de US\$ 42.811 millones con 31 proyectos, que corresponden a un 58% del total de la cartera.

El segundo subgrupo de iniciativas denominado “con menor probabilidad de materialización”, corresponde a 18 proyectos por un total de U\$ 31.237 millones, un 42% del total de la cartera.

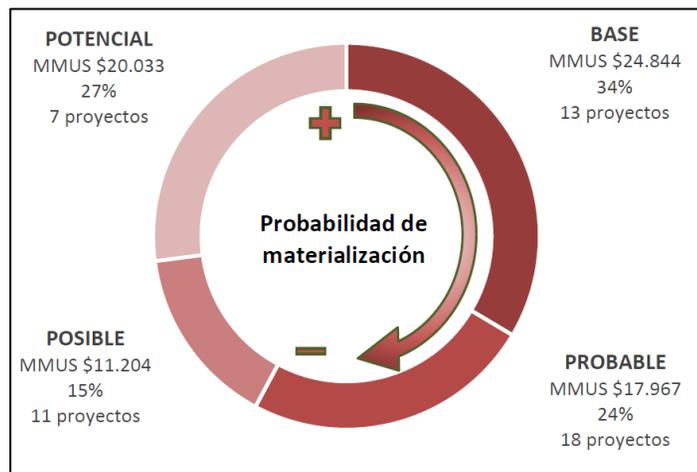


Figura 7: Distribución de la inversión en la minería chilena, según condición⁶

Cabe destacar que de este monto total ya se han materializado inversiones por US\$ 13.483 millones antes del año 2020, quedando por invertir un 81% de la cartera, donde el grueso entrará en operación en el periodo 2020 – 2024, esperando las primeras puestas en marcha el 2021.

Tabla 2: Distribución de la inversión en la minería chilena por sector y condición de los proyectos⁶

SECTOR MINERO	TOTAL		BASE		PROBABLE		POSIBLE		POTENCIAL	
	Cantidad Proyectos	Inversión (MMUS\$)								
CODELCO	8	23.683	4	14.377	1	1.480	2	4.601	1	3.225
Gran minería privada	19	39.148	5	9.820	9	13.428	2	3.700	3	12.200
Mediana minería privada	5	2.241	-	-	2	692	2	824	1	725
Plantas industriales	3	1.099	1	83	1	370	1	646	-	-
Sub total cobre	35	66.171	10	24.280	13	15.970	7	9.771	5	16.150
Oro y plata	6	2.748	-	-	4	1.547	1	206	1	995
Hierro	2	2.972	1	84	-	-	-	-	1	2.888
Litio	5	1.807	2	480	1	450	2	877	-	-
Minerales industriales	1	350	-	-	-	-	1	350	-	-
Sub total otros	14	7.877	3	564	5	1.997	4	1.433	2	3.883

Respecto a la distribución anual de la inversión en la cartera de proyectos, el mismo informe de Cochilco, agrupa según los plazos de inversión definiendo 3 períodos principales. El primer periodo corresponde a las inversiones materializadas, previo al 2020, de proyectos sin puesta en marcha aún (Anterior al 2020) las que alcanzan los US\$ 13.483 millones, un 18,2 % del total de la cartera; después está aquella a materializarse entre los años 2020 y 2024 (Corto y mediano plazo), que corresponde a US\$ 44.759 millones, un 60,4% de la cartera. Este último periodo es muy especial ya que entrarían en operación 37 de las 49 iniciativas contempladas en este catastro.

Finalmente, un remanente de US\$ 15.805 millones, equivalentes a un 21,3% de la cartera inversional, se invertirán en el período 2025 – 2029 (Largo plazo), entrando en operación las últimas doce iniciativas de este catastro.

En concordancia a todos los análisis realizados en párrafos anteriores, se contrasta la anualización de la inversión con la condicionalidad de esta (Tabla N°3).

Tabla 3: Distribución anual de la inversión minera según condición⁶. En millones de dólares.

CONDICION	Anterior a 2020	2020	2021	2022	2023	2024	Sub total 2020-2024	2025-2029	TOTAL	TOTAL % Inversión
TOTAL	13.483	4.737	9.440	9.490	11.057	10.034	44.758	15.805	74.047	100,0%
Base	8.791	2.330	4.851	4.258	2.813	1.651	15.903	150	24.844	33,6%
Probable	2.438	1.912	3.221	2.667	4.013	2.928	14.741	787	17.966	24,3%
Posible	883	428	1.142	1.622	2.428	2.261	7.881	2.440	11.204	15,1%
Potencial	1.371	67	226	943	1.803	3.194	6.233	12.428	20.032	27,1%

Sobre la base de la información entregada, se define que el alcance de aplicación el análisis del presente trabajo corresponderá a todos aquellos proyectos que cumplan la condición de Base, Probable, Posible y Potencial a contar del período 2022; esto fundamentado en el hecho que los proyectos en períodos previos al año 2022 serán considerados como que ya han realizado o cumplido los procesos de ingeniería previo tales como Prefactibilidad y Factibilidad, desarrollos en los que se desea profundizar respecto a los beneficios de la aplicación de Metodologías AGILES y BIM.

Tabla 4: Definición de alcance de cartera de proyectos para estudio. Elaboración propia (millones de dólares)

CONDICION	Anterior a 2020	2020	2021	2022	2023	2024	Sub total 2020-2024	2025-2029	TOTAL	TOTAL % Inversión
TOTAL	13.483	4.737	9.440	9.490	11.057	10.034	44.758	15.805	74.047	100,0%
Base	8.791	2.330	4.851	4.258	2.813	1.651	15.903	150	24.844	33,6%
Probable	2.438	1.912	3.221	2.667	4.013	2.928	14.741	787	17.966	24,3%
Posible	883	428	1.142	1.622	2.428	2.261	7.881	2.440	11.204	15,1%
Potencial	1.371	67	226	943	1.803	3.194	6.233	12.428	20.032	27,1%

■ Fuera del alcance del estudio

Por lo tanto, se considera una cartera de proyectos de inversión minera del orden de US\$46.387 millones, equivalentes a un 63% de la cartera total del decenio 2020-2029.

Se debe tener en cuenta eso sí que no obstante haber reducido la muestra a ocho años de análisis, el monto promedio de inversión anual es del orden de U\$5.798 millones.

Es en este contexto la industria minera en general ha estado impulsado una importante transformación organizacional, operacional y cultural para seguir liderando el sector tanto a nivel local como mundial.

Como ejemplo, Codelco ha impulsado desde el año 2018 un importante proceso de transformación organizacional, operacional y cultural, para ser una mejor empresa y seguir entregando aportes a Chile por 50 años más. Los objetivos principales de este proceso son⁷:

- Posicionar a Codelco en el segundo cuartil de costos.
- Mejorar los excedentes.
- Rebajar costos.
- Convertirse en una empresa de estándar mundial en sustentabilidad.

Para poder materializar dicho plan, Codelco ha definido dos focos principales: “Excelencia en operaciones” el cual pretende buscar los límites técnicos de las operaciones, implementar prácticas de productividad y excelencia en abastecimiento y “Excelencia en proyectos”, el cual tiene foco en priorizar los mejores proyectos para la Corporación, diseños ajustados a los reales requerimientos del negocio y ejecución en alcance, plazo y costo.

En línea con el lineamiento Corporativo, el año 2019 la Vicepresidencia de Proyectos (VP) de Codelco inicio su proceso transformación que se centra en cambios de prácticas y uso de tecnologías digitales para dar sostenibilidad al negocio, con una organización de alto desempeño, flexible e innovadora, líder en el desarrollo de proyectos mineros aplicando la excelencia en el diseño y ejecución de proyectos de inversión.

Lo anterior cobra relevancia ya que la inversión de proyectos VP para los próximos 10 años es de US\$20 billones, lo que representa ~50% del total de Inversiones Codelco, siendo parte de su plan estratégico buscar ahorros de CAPEX entre 2 y 4 billones en el período 2019/2028⁸.

3 DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE VALOR

3.1 DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL

La industria de proyectos sufrió un duro escalamiento en sus costos en el ciclo pasado (2010-2015), sobre una muestra de 2.790 proyectos industriales de todo tipo a nivel mundial de los últimos 40 años, la media de sobregiro supera el 50%⁸; por otro lado, de 40 proyectos mineros realizados en los últimos 10 años, 63% presenta sobregiros entre 49 y 188%⁸.

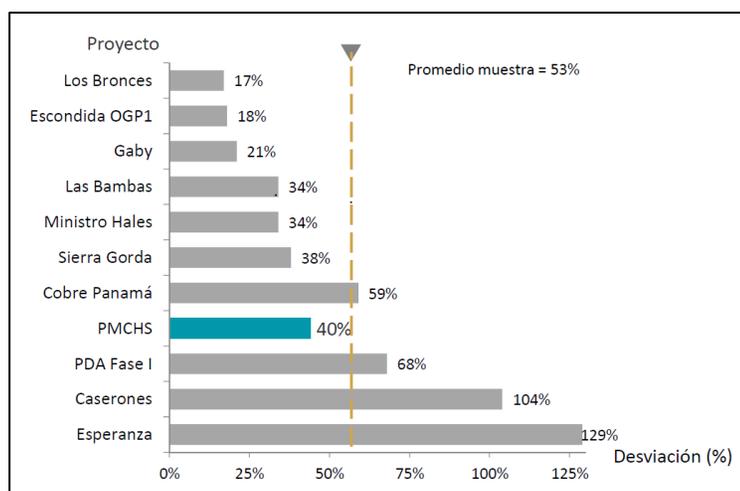


Figura 8: Desviación porcentual proyectos fase de ejecución. Fuente: Boston Consulting Group.

Algunos factores que han influido en este escalamiento son:

- El precio del cobre en las últimas décadas pasó de ~1US\$/lb a 4US\$/lb.
- En los '90s los megaproyectos estaban en torno a 1-1.5 US\$ Billones. Estos mismos proyectos crecieron al orden de 3 – 4 US\$ Billones.
- Se han incrementado los costos de la industria (C1, C3).
- Comparaciones con otros países muestran que en promedio se requiere el doble de “Horas Hombre” por unidad de obra
- Mediciones realizadas en proyecto indicaron efectividad menor al 30% del tiempo disponible.

Por lo tanto, hoy el negocio minero no resiste este escalamiento y la viabilidad en el negocio en el mediano y largo plazo depende de cómo hoy sean ejecutados los proyectos.

Estudios realizados acerca de los tiempos de ejecución de proceso de ingeniería, por ejemplo de Factibilidad, indican que “en un intervalo de confianza del 95% la duración de la ingeniería se extenderá entre los 9.35 y 11.79 meses. La curva de distribución de probabilidad acumulada entrega el valor de P80, el cual indica la probabilidad de obtener un valor menor al indicado. En este caso se tiene que con una probabilidad del 80% la duración de la ingeniería básica será menor a 11.1 meses. Además, las ingenierías de Prefactibilidad tienen una duración del orden de 7.2 meses¹.

Este análisis considera que cada contenido de la ingeniería de Prefactibilidad y Factibilidad cuenta con toda la información a un inicio de la fase y por ende el tiempo final estimado podría aumentar si se toma en cuenta posibles atrasos por no contar con la información base a tiempo¹.

De acuerdo a la experiencia, lo establecido en el párrafo anterior corresponde a valores de benchmarking de la industria, donde efectivamente las duraciones de ingeniería de Prefactibilidad/Factibilidad oscilan entre los 9 y 12 meses para proyectos de complejidad media/alta y las de Ejecución están el orden de los 12 y 18 meses, de acuerdo al tipo de proyecto.

No obstante lo anterior, de acuerdo a estadísticas de proyectos en general las ingenierías tienen una desviación que oscila entre un 40 - 50% adicional respecto al plazo original

Respecto a los costos de realización de ingeniería, estudios de mercado indican lo siguiente; primero, que los costos asociados a Estudios de Ingeniería, son parte del presupuesto de proyecto conocido como “Costo Indirecto del Proyecto” (aquellos recursos que deben gastarse para poder completar la actividad o el activo, pero que también están asociados con otras actividades directas) y en general estos costos representan un porcentaje del costo de capital que oscila en lo mostrado en la Tabla N°5 para estudios Preinversionales².

Tabla 5: Benchmarking Costos de estudio².

Costo Estudio [% Costos de Capital]			
Etapas de Estudio	Complejidad baja	Complejidad mediana	Complejidad alta
Perfil	0,1 - 0,5	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0
Prefactibilidad	0,2 - 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 1,5
Factibilidad	1,0 - 2,0	1,5 - 2,5	2,5 - 3,5
% Total Capital	1,3 - 2,7	2,2 - 3,7	3,7 - 6,0

Los costos de ingeniería representan un porcentaje del costo de capital de proyecto que oscila entre un 3,7 y 6,0% para proyectos de complejidad alta². Además, otros estudios especializados indican que los costos de ingeniería (incluida etapa de Ejecución y otros servicios de consultorías, estudios específicos, etc.) corresponden a aproximadamente a un 30% del costo de compra de equipos o a un 8% del total de costos de capital de proyecto³.

De manera similar al plazo, de acuerdo a estadísticas, en general el costo de ejecución de las ingenierías presenta alzas entre un 40 y 60% respecto al presupuesto original.

Los principales factores que han influido en los excesos de plazo y costo en ingeniería son los siguientes:

- Subestimación de plazos de ejecución de cada etapa sobre la base de supuestos poco realistas o falta de información base para el desarrollo de la etapa.
- Baja o tardía integración de los involucrados en el proyecto (Cliente, Seguridad, Sustentabilidad, Comunidades, Adquisiciones, etc.) desde una etapa temprana.
- Desarrollos de ingenierías secuenciales o en silos (“Over the wall”).
- Cambios de alcance sistemáticos durante el estudio
- No se hace uso de tecnologías (BIM).
- Contrapartes enfocadas en sólo revisar documentos, con poca interacción con Consultor de ingeniería

Estos factores han influido en los excesos de plazo y costos principalmente debido a que por estos se generan retrabajos, errores de diseño, faltas de comunicación entre Clientes-Mandantes-Consultores, lo que al final genera que los procesos no puedan ser cumplidos

en la calidad esperada, generando iteraciones innecesarias aumentando los costos y tiempos de ejecución.

3.2 PROPUESTA DE VALOR

Se espera una modificación respecto de cómo se gestionan los proyectos de diseño de ingeniería utilizando prácticas de otra industria, de modo tal de generar ahorros en plazo y costo del proceso de diseño. De lo anterior se espera obtener a partir del empleo de las metodologías AGILE y BIM. Desde una perspectiva de resultados cuantitativos, se espera definir prácticas que permitan rebajar costos entre un 20 a un 40% y reducir plazos entre un 30 y un 40%, respecto del caso base definido.

Si bien las Metodologías Ágiles tiene su origen en las industria del software, de acuerdo a la opinión del autor de la presente tesis, sus principios y fundamentos son perfectamente aplicables a otras áreas del conocimiento o la industria, es ahí donde radica el principal aporte del presente trabajo ya que supone reducción de plazo y costos de ejecución en particular en los desarrollo de ingeniería, minimizando retrabajos, impulsando un alineamientos temprano con todos los involucrados en el proyecto, eliminando desperdicios que generan los esfuerzos sin planificación, las reuniones que consumen tiempo y no generan productividad ante alguna iniciativa, entre otros aspectos

Por lo tanto, esta propuesta de valor se basa en los descrito en los capítulos anteriores, donde se observa que existe una oportunidad de negocio, al poder hacer que las empresas mineras tanto en sus desarrollos de ingeniería interna, así como también buscando alianzas estratégicas con los Consultores del mercado de la ingeniería, apliquen estos métodos para eliminar el desperdicio que generan los esfuerzos sin planificación, las reuniones que consumen tiempo y no generan productividad ante alguna iniciativa, entre otros aspectos. Pasando de una organización de ingeniería con un enfoque tradicional, a una con enfoque “Ágil”.

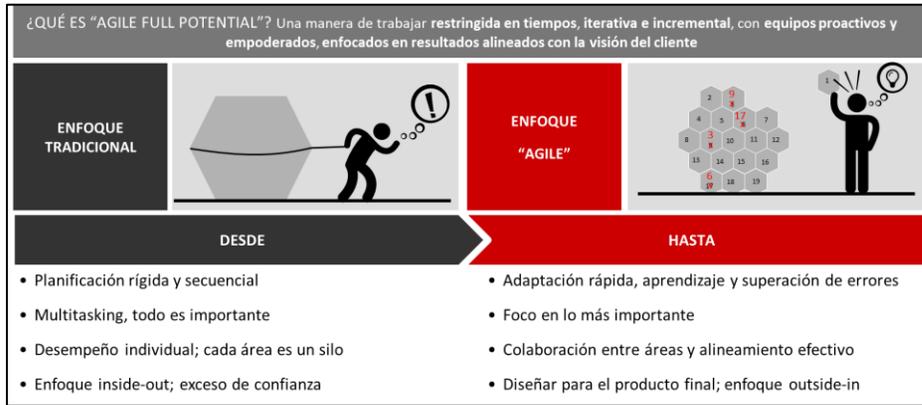


Figura 9: Enfoque Organización Tradicional v/s Agile⁸.

4 BENCHMARK ACTUAL DE LA INDUSTRIA DEL SOFTWARE

Las metodologías ágiles nos ayudan a mejorar la productividad, la ejecución y el trabajo en equipo. Manejar las metodologías ágiles nos permite adaptar la forma de trabajo a las condiciones del proyecto, consiguiendo de esta forma la flexibilidad e inmediatez que tanto se necesita hoy. Además, estas herramientas te permiten amoldar tus proyectos acorde a las circunstancias específicas del entorno y de manera eficiente y productiva.

Es por esto que las empresas que apuestan por esta metodología consiguen gestionar sus proyectos de forma autónoma, eficaz y flexible, reduciendo además los costos e incrementando su productividad al máximo.

A continuación se presenta algunos casos de éxito en el uso de esta metodología de cuatro importantes y conocidas empresas utilizando Scrum, donde puede ser visualizado como esta herramienta dio un impulso en el éxito de estas compañías.

Por otro lado, se presenta algunos ejemplos de prácticas que provocan que la metodología Ágiles fracase, por lo que desde el punto de vista de esta tesis, deben ser utilizados como aprendizajes o riesgos para la realización de la propuesta metodológica.

4.1 CASOS DE ÉXITO

4.1.1 Amazon y la implementación de Scrum

Este gigante del e-commerce ha utilizado de manera exitosa esta metodología ágil, adoptando esta herramienta en sus procesos de trabajo y lineamientos. Luego de probar de manera exitosa Scrum, Amazon definió los siguientes 4 elementos claves para implementar esta metodología de manera exitosa:

- Dotar a los equipos de autonomía.
- Formar grupos pequeños de trabajo (entre 3 y 8 personas).
- Coordinar los equipos para colaborar entre sí.
- Escuchar a los colaboradores y capacitarlos para seguir la metodología de manera efectiva.

4.1.2 Apple y su mejora continua de la mano de Scrum

Desde sus inicios, Apple se ha caracterizado por la constante promoción del concepto de innovación, sin embargo, esta valiosa característica requiere a su vez de una gran responsabilidad: mejorar constantemente sus productos y superarse día a día.

Es así como la metodología Scrum fue incorporada para apoyar a esta compañía en este proceso de mejora continua, promoviendo la productividad y trabajo en tiempos cortos, y ayudando a trabajar en un escenario de constante incertidumbre.

Hoy esta gran compañía sigue aplicando los siguientes aspectos relacionados a las metodologías ágiles:

- El trabajo se realiza en tiempos acotados e iterativos.
- Promueve reuniones cortas y presenciales para coordinar el trabajo.
- Los equipos de trabajo se dividen en pequeños grupos. Por ejemplo, en Apple siempre son 2 los ingenieros dedicados a trabajar en el código del navegador Safari para iPhone.

4.1.3 La experiencia de Google Adwords

Una parte Google, específicamente el servicio de publicidad Google Adwords, aplica la metodología Scrum en su día a día.

Esta división de Google comenzó a utilizar Scrum en sus cinco oficinas distribuidas en varias ciudades.

Esta compañía usa un proyecto llamado Meta Scrum, que consiste en una reunión semanal con profesionales de distintas áreas relacionados en los proyectos (abarcando soporte, diseño, marketing, UI y ventas, entre otras).

¿Qué beneficios ha traído la metodología Scrum a esta compañía?, un punto clave para los equipos de “Google Ads” es la flexibilidad de los plazos de entrega que han podido desarrollar de la mano de estas metodologías. De esta forma, no se apegan a una fecha límite establecida por los ejecutivos, sino que las fechas de entrega se van modificando constantemente, considerando así la efectividad y privilegiando la calidad del trabajo.

4.1.4 Spotify y aplicación de metodología Ágil

El éxito de Spotify, la plataforma de música en streaming más popular del mundo, con más de 175 millones de usuarios, se debe a sus metodologías ágiles y a la suscripción fija mensual ilimitada, que les dio a los consumidores valor y reconvirtió la industria discográfica.

La startup sueca, creada en 2006, fue una de las primeras en trabajar con metodología “ágil” para facilitar el trabajo cuando creciera el número de desarrolladores y los procesos se hicieran más complejos. La plataforma empezó con Scrum, para trabajar de forma colaborativa en equipos pequeños y altamente productivos.

Con Scrum, Spotify comenzó a adoptar nuevas técnicas para dar autonomía a los equipos de desarrollo de software, aprender de los errores y potenciar un trabajo colaborativo. La estrategia, es trabajar con equipos pequeños, entre seis y ocho personas, para que cada uno sea autónomo y no haya dependencias o bloqueos entre sí.

Juan Manuel Serruya, ex Director de Ingeniería de Spotify, ha dicho en distintas conferencias que cuando iniciaron, tenían la estructura de la mayoría de las startup del mundo: un mismo equipo para iOS, Android, Web y Backend, pero cuando empezaron a escalar y a aumentar la cifra de desarrolladores tuvieron problemas de comunicación y de velocidad, *“Introducir una nueva característica, implicaba meter a mucha gente en un cuarto y hacer discusiones larguísimas, era muy difícil que alguien tomara una decisión, otro problema era cuando había 50 desarrolladores contribuyendo, por ejemplo, a la aplicación de Android, nadie se sentía dueño de la aplicación, no había un compromiso”*, explicó el director.

El ingeniero agregó que empezaron a experimentar, a mover el modelo tradicional y a tener equipos por plataforma para atacar los problemas de velocidad, los cuellos de botella y la sincronización.

Trabajar con metodologías ágiles para Spotify representó contratar más productores, ingenieros y diseñadores para producir más rápido. Sin embargo, *“La metodología Ágil es la única manera de ganar, es la única ventaja de una compañía que compite con empresas que tienen recursos infinitos”*, resaltó.

La estructura organizacional de Spotify no está basada en pirámides jerárquicas, ni burocracia, al contrario, le da libertad a los desarrolladores para que experimenten sin depender de nadie, la responsabilidad es colectiva, lo que representa que en equipo deben lograr el éxito.

“Los equipos tienen una misión en común, una comunicación efectiva y funcionan cuando se les da responsabilidad y libertad de moverse. Hay que confiar en la gente, es muy difícil, pero cuando hay proyectos grandes, ahí está el éxito”, recalcó.

Los principios de Spotify son los mismos del Manifiesto Ágil: valorar más a las personas que a los procesos o las herramientas y apreciar más el software que funciona, que la documentación exhaustiva. Igualmente, darle más importancia a la respuesta al cambio que al seguimiento de un plan.

Como puede ser observado, en estos cuatro casos de éxito hemos visto puntos en común. Por ejemplo, es fundamental la colaboración de profesionales de distintas áreas, realizando así un trabajo en conjunto centrado en el producto.

Además, en estos casos vemos que la autonomía de los equipos es muy importante. Es así como a cada grupo de trabajo se le otorga cualidades específicas, acorde a las necesidades de la empresa y la producción.

4.2 CASOS EN QUE FRACASA AGILE

Sin embargo, en Scrum no basta solo con dividir a la compañía en equipos más pequeños, sino que es fundamental lograr la colaboración entre estos equipos y que los participantes de los mismo sean capaces de seguir la metodología. Esto apunta a la cultura de las compañías y a los valores que definen a las empresas y a sus trabajadores.

En directa relación con lo establecido en el párrafo anterior, se puede inferir que “Agile” puede fallar y falla y no es una solución milagrosa, ¿cuáles son las principales razones por la que Agile falla?”, existen algunas experiencias en la industria en las cuales la aplicación de estas metodologías no han tenido los resultados esperados.

Cerca de un 34% de los proyectos agile fracasan¹¹, entendiendo como fracaso aquellos proyectos que se han cancelado o bien, han tenido problemas en entregar a tiempo, con el presupuesto o en alcance. Esto supone un tercio de los proyectos que intentan adoptar las metodologías ágiles y es un problema serio que se debe analizar.

Cuando la organización se sumerge en una transformación, se solicita, entre otras cosas, que se adquiera una nueva mentalidad y ahí es donde vienen muchos de los problemas.

Aunque implementar las metodologías ágiles puede suponer ventajas significativas, el proceso no siempre es un camino fácil. Las causas principales de que fracasen los proyectos que adoptan Agile como metodología de trabajo son las siguientes:

- **Resistencia al cambio de la organización en general**

Existen varios factores básicos que se dan cuando se produce la resistencia al cambio:

- *Cognitivo*: ¿no entiendo qué debo cambiar?, ¿no entiendo cuáles son los beneficios?, ¿no sé cómo cambiar?
- *Emocional*: ¿puedo hacerlo?, ¿me gustará el cambio?, ¿supone alguna amenaza, quizás mi puesto de trabajo?
- *Conductual*: me niego a hacer lo que me dicen.

Y las formas en que se dan son:

- Activa o pasiva
- Abierta o encubierta
- Individual o en grupo
- Agresiva o tímida

- **Falta de alineamiento en el resto de áreas de la empresa y falta de apoyo por parte de negocio.**

Suele ser común que en grandes empresas existan áreas o departamentos que trabajen con las metodologías ágiles y otras que no. El problema surge cuando ambas tienen que interactuar. Cuando el área que trabaja con metodologías ágiles necesita contactar con otra área durante una iteración, se topa con problemas de agenda, no entienden que al no darle lo que necesitan al equipo ágil estos no puedan continuar, trabajan de forma diferente, etc.

El negocio debe alinearse para asegurarse de que los Gerentes de otras áreas que no trabajan de forma ágil, entienden las implicaciones que tiene trabajar con equipos que sí trabajan de forma ágil.

- **Cultura organizacional que va en contra de los principios ágiles.**

Cuando nos referimos a la cultura organizacional hay que distinguir los siguientes aspectos:

- La estructura de la organización: formada por la organización de la empresa, su jerarquía, roles, los procesos internos, cómo se lleva a cabo la toma de decisiones, las políticas de la empresa, cómo se realizan los pagos, los sistemas dentro de ella y cómo es recibido y dado el feedback.
- La conciencia de la organización: Integrado por el propósito, la identidad, valores, creencias y comportamientos de la organización.

Muchas veces, hemos identificado que el problema principal se da por centrarse en la estructura y no tener en cuenta a las personas y cómo trabajan juntas.

Normalmente, cuando una organización quiere implementar las prácticas ágiles, no es consciente de los cambios que va a suponer a su cultura organizacional, del desafío que se les va a venir encima y se dejan deslumbrar más por cifras de beneficios de lo que les aportará.

Finalmente, se debe indicar que el hecho de querer cambiar la cultura organizacional no es algo instantáneo y esto supone un largo viaje de años antes de certificar que se ha producido un cambio tan importante dentro de nuestra organización.

- **Falta de habilidades y experiencia Agile**

Ya hemos visto anteriormente que cuando hacemos la transición a una organización Agile, esto conlleva un cambio importante en la cultura. Sin embargo, algunos equipos aún utilizan algunas estrategias “tipo cascada” o prácticas “en serie” en ciertas operaciones. Lo que claramente, va a desembocar en un fallo de Agile.

Si a esto le sumamos el punto 2 de esta lista “Falta de alineamiento en el resto de áreas de la empresa y falta de apoyo por parte de negocio.” Ya tenemos la combinación perfecta para que se desmorone todo.

Por lo tanto, si la cultura de la organización ignora o es totalmente hostil a los principios y valores ágiles, la posibilidad de éxito, más allá de los grupos aislados de algunos equipos ágiles, será escasa.

Por lo tanto, si bien existen casos de éxito en la aplicación de Agile existen otros muchos factores que hacen que fracase la adopción ágil; sin embargo en este capítulo nos hemos centrado en aquellos que más incidencia se dan en las organizaciones.

Cuanto más grande sea la organización, mayores serán los problemas que tengan que encarar: tienen un mayor número de empleados, tienen personal subcontratado, mayor número de departamentos que hacen las cosas muy diferentes entre ellos, etc.

4.3 LECCIONES APRENDIDAS

Una muy buena práctica y lección que pueden tomar las empresas que se están embarcando en la transformación digital y aplicación de metodologías ágiles, es observar y aprender de aquellas que ya lo hicieron en el pasado. Detectar los errores que se pueden evitar puede darles una ventaja decisiva y sobre todo, puede dar una mejor planificación a negocio de cómo hacer la transición a la agilidad y tener éxito con ello.

Otras buenas acciones conducentes a evitar el fracaso de Agile son las siguientes:

- Comprender que lo Ágil impacta en los valores organizacionales. Con lo cual, facilitar esa transformación Ágil es el primer paso a seguir para que se dé una adopción más amplia de la agilidad dentro de la organización y por tanto, de que aumente el éxito en los resultados.
- Al capacitar a aquellos roles que van a formar parte de los diferentes equipos multifuncionales, estos podrán aprovechar mejor las metodologías ágiles y garantizar que sus proyectos tengan éxito bajo el nuevo enfoque.
- No hay que olvidar que debemos incluir también a los gerentes, cuyos roles y responsabilidades van a cambiar completamente con el uso de la agilidad. Es más, tendrán que conocer bien qué es la auto-organización, cómo favorecerla dentro de la empresa y todas las métricas que se deberían conocer con el nuevo enfoque agile.
- Dar apoyo a los Profesionales con sus miedos y ansiedades durante el periodo de transición. En la mayoría de los casos tratados, la base de la resistencia al cambio es la percepción de que existe algún tipo de efecto perjudicial ocasionado por el cambio en la organización.
- Proporcionar toda la información sobre el cambio y el esfuerzo que se va a llevar a cabo en la organización, eliminando los posibles rumores y datos incorrectos sobre los efectos de la transformación en la organización.
- Debe existir un deseo de cambio en la organización. De nada sirve implantar las metodologías ágiles cuando no existe este deseo de cambio. En este punto cada uno debe analizarse y ver que tiene esa necesidad de cambio, entender qué es lo que le mueve a cambiar y sobretodo estar seguros de que tienen la motivación suficiente como para afrontar el trabajo que supone el cambio.
- Se debe entender la cultura existente en la organización.
- Un gran error que se comete es el querer cambiar toda la organización de golpe. Es importante entender que la mayoría de las culturas organizacionales varían por equipos, departamentos y hasta ubicación. Es por ello, que primero se debe pilotear la cultura agile en un equipo que genere líderes que posteriormente irán propagándose al resto de la organización (escalamiento).
- La cultura organizacional es un reflejo del liderazgo y un equipo va a ser tan bueno como lo sea su líder, por tanto, si queremos un cambio organizacional va a conllevar que los líderes cambien su forma de trabajar y debemos ayudar a que así sea.
- Se debe promover la confianza entre los equipos, además del trabajo integrado y colaborativo entre áreas.
- Se debe promover la creatividad de los equipos, con problemas acotados, con foco en la necesidad del cliente, que puedan ser resueltos rápidamente, más que pretender solucionar problemas complejos de manera íntegra.

- Se debe ser perseverante en la implementación, haciendo revisiones periódicas de los procesos, ya que en muchos casos tras introducir la forma de trabajo agile en la empresa, esta forma de trabajo se abandona en un primer momento, o tras un periodo muy corto después de su implementación.
- Uno de los pilares del agile es evitar el riesgo, para lo que es necesario conocer los posibles obstáculos que pueden presentarse en el camino.

5 ANÁLISIS DE BRECHAS SITUACIÓN ACTUAL VERSUS PROPUESTA

5.1 SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 3 de la presente tesis, la industria de proyectos sufrió un duro escalamiento en sus costos en el ciclo pasado (2010-2015), la media de sobregiro superó el 50%⁸; por otro lado, de 40 proyectos mineros realizados en los últimos 10 años, 63% presenta sobregiros entre 49 y 188%⁸.

Por lo tanto, hoy el negocio minero no resiste este escalamiento y la viabilidad en el negocio en el mediano y largo plazo depende de cómo hoy sean ejecutados los proyectos.

Por otro lado, estudios realizados acerca de los tiempos de ejecución de proceso de ingeniería, indican que con un 95% de confianza estos se retrasan.

De manera similar al plazo, de acuerdo a estadísticas, en general el costo de ejecución de las ingenierías presenta alzas entre un 40 y 60% respecto al presupuesto original.

Lo anterior cobra relevancia cuando consideramos que de acuerdo a datos de benchmarking, el costo promedio de una ingeniería de Prefactibilidad es de 64 US\$/HH y el de Factibilidad es 78 US\$/HH (incluye gastos generales y utilidades).

En complemento a los factores mencionado en el Capítulo 3, los siete errores típicos que se comente en proyectos y a menudo generan la falla de estos son¹²:

- Problemas de acuerdos entre los Stakeholders para costos e incentivos del proyecto.
- Presión del Negocio sobre el cronograma (Driver Plazo). “el calendario no está por sobre de los requerimientos del proyecto”.
- Falta de acuerdo temprano del Negocio entre los distintos Stakeholders/inversionistas.

- Falta de presupuesto para estudios en etapas de Prefactibilidad y de Factibilidad.
- Recortes de CAPEX finalizando la etapa de factibilidad.
- Creencia que transferir riesgos al contratista protege el Dueño del proyecto.
- Cultura del castigo para Gerentes de Proyectos que sobregiran sus Proyectos (terminan dejando grasas en el presupuesto, dejando de tener alcances, costos y plazos competitivos)

Estos factores han influido en los excesos de plazo y costos principalmente debido a que por estos se generan retrabajos, errores de diseño, faltas de comunicación entre Clientes-Mandantes-Consultores, lo que al final genera que los procesos no puedan ser cumplidos en la calidad esperada, generando iteraciones innecesarias aumentando los costos y tiempos de ejecución.

5.2 SITUACIÓN PROPUESTA

Como ha sido establecido en capítulos anteriores de la presente tesis, si bien las Metodologías Ágiles tiene su origen en las industria del software, de acuerdo a la opinión del autor, sus principios y fundamentos son perfectamente aplicables a otras áreas del conocimiento o la industria, es ahí donde radica el principal aporte del presente trabajo ya que supone reducción de plazo y costos de ejecución en particular en los desarrollo de ingeniería.

Se espera una modificación respecto de cómo se gestionan los proyectos de diseño de ingeniería utilizando prácticas de otra industria (Metodologías Agile y BIM), de modo tal de generar ahorros en plazo y costo del proceso de diseño.

Desde una perspectiva de resultados cuantitativos, se espera definir prácticas que permitan rebajar costos entre un 20 a un 40% y reducir plazos entre un 30 y un 40%, respecto del caso base definido.

Lo anterior será realizado sobre una propuesta que permita cubrir las brechas o factores que actualmente retrasan los proyectos, a través de las principales fortalezas de las

metodologías propuestas. A continuación es presentada una tabla que análisis de brechas de la situación actual versus a propuesta, agrupadas en factores tales como:

- **Integración:** la situación actual plantea un proceso de trabajo lineal, en silos, donde cada área define sus especificaciones o documentos previa entrega al área siguiente de diseño; sin considerar aspectos relevantes que podrían afectar las especificaciones o documentos del área receptora. En contraposición la situación propuesta define un trabajo que propicia un involucramiento temprano de todas las áreas involucradas en el diseño, generando un trabajo en conjunto, con roles y responsabilidades bien definidos que permiten desarrollar un diseño que cumple con las expectativas de todos los involucrados.
- **Eficiencia:** la situación actual presenta un proceso poco eficiente, debido principalmente a que al plantear un trabajo secuencial, requiere de proceso intermedios de validación, los cuales implican muchas veces retrabajos y mayores instancias de coordinación, toso esto poniendo en riesgo el cumplimiento de los plazos establecidos. En tanto que un proceso de diseño realizado aplicando las metodologías Agiles/BIM propuestas, permite trabajo en paralelos entre áreas, mejora la comunicación, se enfoca en el trabajo, simplifica proceso, lo que redunda en menores tiempos de ejecución por efecto de eliminar tareas o procesos que no agregan valor (desperdicios).
- **Plazo:** en línea con lo expuesto en los factores anteriores, la situación actual genera mayores tiempos de ejecución asociados principalmente a validaciones, aclaraciones de alcance, retrabajos. En cambio en la situación propuesta, al tener objetivos claros, un trabajo integrado desde una etapa temprana, con foco en la soluciones, se logra cumplir los plazos establecidos, realizando el trabajo en un tiempo acotado.
- **Costo diseño producto final:** la situación actual presentara mayores costos de ejecución principalmente porque este proceso será más extenso en el tiempo, lo que generará una mayor demanda de recursos, en complementos además con los mayores costos que implica realizar cambios tardíos de diseño. En cambio, la situación propuesta permitirá un mejor control de los costos tanto del proceso como del diseño final, principalmente por la minimización de retrabajos y definiciones del diseño en una etapa temprana e integrada.

Tabla 6: Brecha situación actual v/s deseada. Elaboración Propia

	SITUACIÓN ACTUAL (Ingeniería secuencial)	SITUACIÓN PROPUESTA (Ingeniería) AGILE / BIM
Integración	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo en “silos”. Proceso lineal, cada área genera sus documentos/especificaciones, previa entrega 	<ul style="list-style-type: none"> Involucramiento temprano de todas las áreas. Define roles y responsabilidades, en ciclo de diseño. Trabajo conjunto en el desarrollo del producto. Integra habilidades técnicas con experiencia de cada miembro del equipo.
Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo secuencial, requiere validaciones interáreas previo a proceso de diseño. Requiere mayores instancias de coordinación Nivel alto de retrabajos Riesgo mayor de no cumplimiento de requerimientos 	<ul style="list-style-type: none"> Áreas pueden iniciar sus tareas en paralelo. Minimiza conflictos, retrabajos. Foco en resolución de problemas v/s “búsqueda de culpables”. Disminución de “desperdicios” (Simplifica procesos). Mejora la comunicación entre áreas.
Plazo	<ul style="list-style-type: none"> Mayor tiempo de ejecución (resolución de conflictos, validaciones, claridad alcances, retrabajos) 	<ul style="list-style-type: none"> Alcance y objetivos claros para todo el equipo, permite no reabrir discusiones, foco en la solución.
Costo Diseño Producto Final	<ul style="list-style-type: none"> Proceso extenso genera mayor demanda de recursos. Mayor costo por cambios tardíos de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> Menor tiempo de desarrollo de ingeniería. Se evitan retrabajos o detenciones (satisfacción cliente).

6 EVALUACIÓN ECONÓMICA AHORROS CASO BASE VERSUS CASO PRÁCTICO

La ingeniería “Agile/BIM” de las correas transportadoras descrita en el Capítulo 8, tuvo resultados positivos tanto desde el punto de vista de tiempo de ejecución, como del uso de recursos, aspectos que tienen un impacto directo en los costos del proceso. Como resumen, se obtuvo:

- Reducción de un 40% del plazo de ejecución (desde 8 a 4,5 meses)
- Reducción de un 29% de las HH’s utilizadas (desde 8.318 a 5.936 HH)

Respecto al plazo de ejecución, tuvimos una disminución desde 8 a 4, 5 meses lo que representa un 40% aproximadamente.

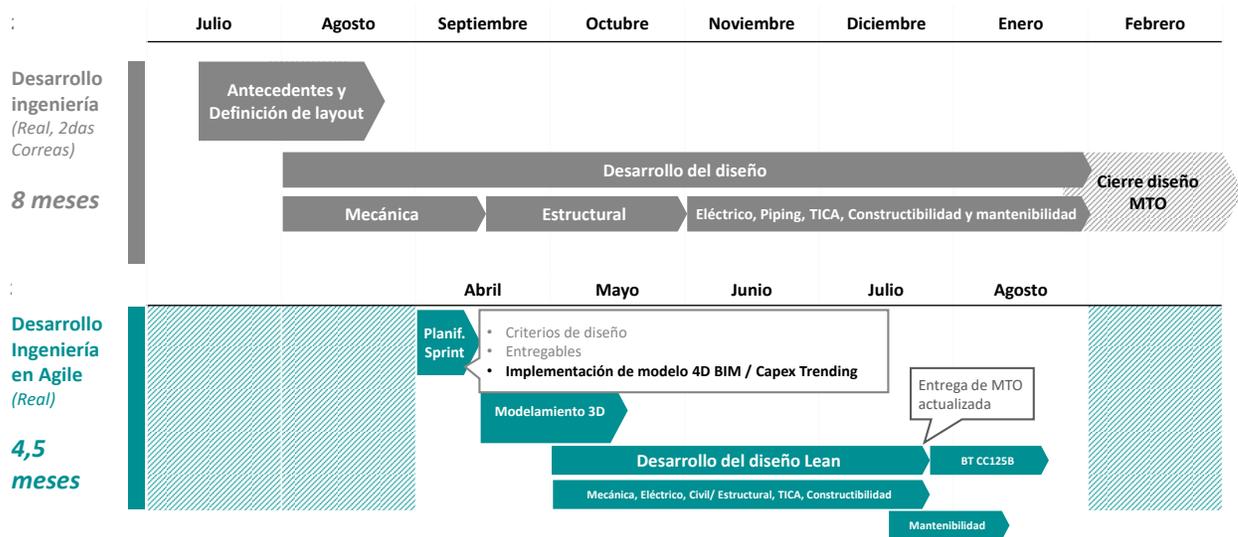


Figura 10: Comparativa Caso Base vs Ingeniería en Agile

Por otro lado, en el Gráfico N°2 se observa un comparativo entre las HH utilizadas para el diseño Base (ejecutado por Consultor de Ingeniería) y el nuevo diseño realizado por el equipo interno del Mandante con recurso de proyectista de un Consultor.

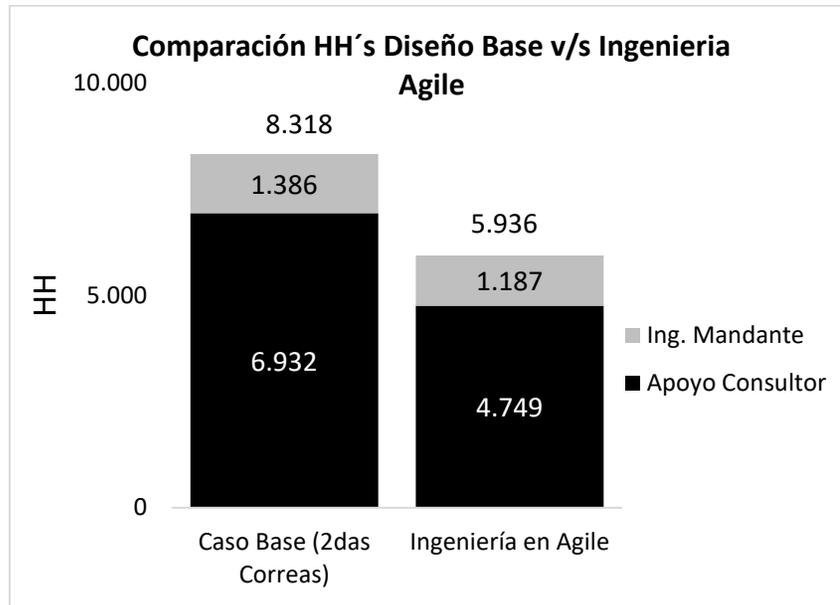


Gráfico 2: Comparación HH Diseño Base vs Ingeniería Agile

Respecto a los costos asociados a la ejecución de la ingeniería, se puede observar lo siguiente:

Caso Base:

Ejecución por Consultor de Ingeniería, cuyo costo de desarrollo de ingeniería fue de 67 US\$/HH¹³ (Costo "All In" HH directas e indirectas, incluyendo Gastos Generales y utilidades), lo que correspondió entonces a un valor de kUS\$582.

Caso Ingeniería AGILE/BIM:

Para la estimación de los costos de este proceso fueron considerados los siguientes costos:

- Costo HH's profesionales apoyo (Contrato de Servicios actual suscrito por Mandante y Consultor): 32 US\$/HH
- Costo Promedio Profesional Mandante (Valor Roster Mandante): 85 US\$/HH
- Costos licencias de software (Contrato de Servicios actual suscrito por Mandante y Consultor): US\$100.000

Con lo anterior el costo total del desarrollo de ingeniería corresponde a kUS\$352, lo anterior corresponde a un ahorro del orden de un 39% en costo de desarrollo.

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 2.2 de la presente tesis, el alcance de aplicación el análisis del presente trabajo corresponde a todos aquellos proyectos que cumplan la condición de Base, Probable, Posible y Potencial a contar del período 2022; esto fundamentado en el hecho que los proyectos en períodos previos al año 2022 serán considerados como que ya han realizado o cumplido los procesos de ingeniería pre inversionales.

Tabla 7: Definición de alcance de cartera de proyectos para estudio. Elaboración propia (millones de dólares)

CONDICION	Anterior a 2020	2020	2021	2022	2023	2024	Sub total 2020-2024	2025-2029	TOTAL	TOTAL % Inversión
TOTAL	13.483	4.737	9.440	9.490	11.057	10.034	44.758	15.805	74.047	100,0%
Base	8.791	2.330	4.851	4.258	2.813	1.651	15.903	150	24.844	33,6%
Probable	2.438	1.912	3.221	2.667	4.013	2.928	14.741	787	17.966	24,3%
Posible	883	428	1.142	1.622	2.428	2.261	7.881	2.440	11.204	15,1%
Potencial	1371	67	226	943	1803	3194	6233	12428	20032	27,1%

 Fuera del alcance del estudio

Por lo tanto, se considera una cartera de proyectos de inversión minera del orden de US\$46.387 millones, equivalentes a un 63% de la cartera total del decenio 2020-2029. Se debe tener en cuenta eso sí que no obstante haber reducido la muestra a ocho años de análisis, el monto promedio de inversión anual es del orden de U\$5.798 millones.

Además, se debe considerar lo descrito en el Capítulo 6.1 respecto a los costos de realización de ingeniería, donde estudios de mercado indican que en general estos costos representan un porcentaje del costo de capital que oscila en lo mostrado en la Tabla N°5 para estudios Preinversionales².

Tabla 8: Benchmarking Costos de estudio².

Costo Estudio [% Costos de Capital]			
Etapa de Estudio	Complejidad baja	Complejidad mediana	Complejidad alta
Perfil	0,1 - 0,5	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0
Prefactibilidad	0,2 - 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 1,5
Factibilidad	1,0 - 2,0	1,5 - 2,5	2,5 - 3,5
% Total Capital	1,3 - 2,7	2,2 - 3,7	3,7 - 6,0

Los costos de ingeniería preinversionales representan un porcentaje del costo de capital de proyecto que oscila entre un 3,7 y 6,0% para proyectos de complejidad alta². Además, otros estudios especializados indican que los costos de ingeniería (incluida etapa de Ejecución y otros servicios de consultorías, estudios específicos, etc.) corresponden a aproximadamente a un 30% del costo de compra de equipos o a un 8% del total de costos de capital de proyecto³.

Por lo tanto sobre la base de los antecedentes, los ahorros posibles de lograr aplicando las metodologías AGILE/BIM serían los siguientes:

- Costos Ingeniería Preinversionales:

$$C_{IPinv} = [C_{IPinvMin} - C_{IPinvMax}] = [3,7 - 6,0] \% \text{ Costo Inversión o de Capital}$$

- Inversión Cartera de Proyectos Mineros período 2022 -2029:

$$I_{CPy} = \text{MUS\$}46.387$$

Entonces el intervalo de costo de Estudios Preinversionales estaría definido por:

$$\text{CostoMínimo} = C_{Min} = C_{IPinvMin} * I_{CPy} = 3,7\% * 46.387$$

$$C_{Min} = \text{MUS\$} 1.716$$

$$\text{CostoMáximo} = C_{\text{Max}} = C_{\text{PinvMax}} * I_{\text{CPy}} = 6,0\% \times 46.387$$

$$C_{\text{Máx}} = \text{MUS\$ } 2.783$$

Por lo tanto, si realizar ingeniería bajo modalidad AGILE/BIM considera una rebaja en costo del orden del 39%, el intervalo de ahorro potencial para el período 2022 -2029 queda definido por lo siguiente:

$$\text{AhorroMínimo} = A_{\text{Min}} = 39\% \times 1.716$$

$$A_{\text{Min}} = \text{MUS\$ } 670$$

$$\text{AhorroMáximo} = A_{\text{Máx}} = 39\% \times 2.783$$

$$A_{\text{Máx}} = \text{MUS\$ } 1.085$$

Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede establecer que el ahorro anual asociado a desarrollos de ingenierías preinversionales en la cartera de proyectos mineros oscilaría entre los 84 y 136 MMUS\$.

En particular, si consideramos la inversión de la cartera de proyectos de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco para esta década, la cual asciende al orden US\$20.000 millones⁸, el potencial de ahorro se estima entre MMUS\$288 y MMUS\$468; equivalentes a MMUS\$36 y MMUS\$59 anuales dentro del intervalo de tiempo estudiado, lo cual sin duda es un aporte al plan estratégico de reducción de CAPEX de la cartera.

7 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PROPUESTA METODOLÓGICA

Para generar la propuesta metodológica, primero será presentado el caso base que representa la práctica actual de desarrollos de ingeniería, posteriormente serán analizadas y aplicadas las palancas de valor, generándose un caso alternativo que debe representar la propuesta.

7.1 CASO BASE

El caso a base a utilizar corresponde al desarrollo de una ingeniería de factibilidad de un sistema de correas transportadoras de mineral de cobre, la cual fue ejecutada a través de un Consultor de ingeniería.

Algunas características generales del alcance pueden ser vistos en la Figura 12.

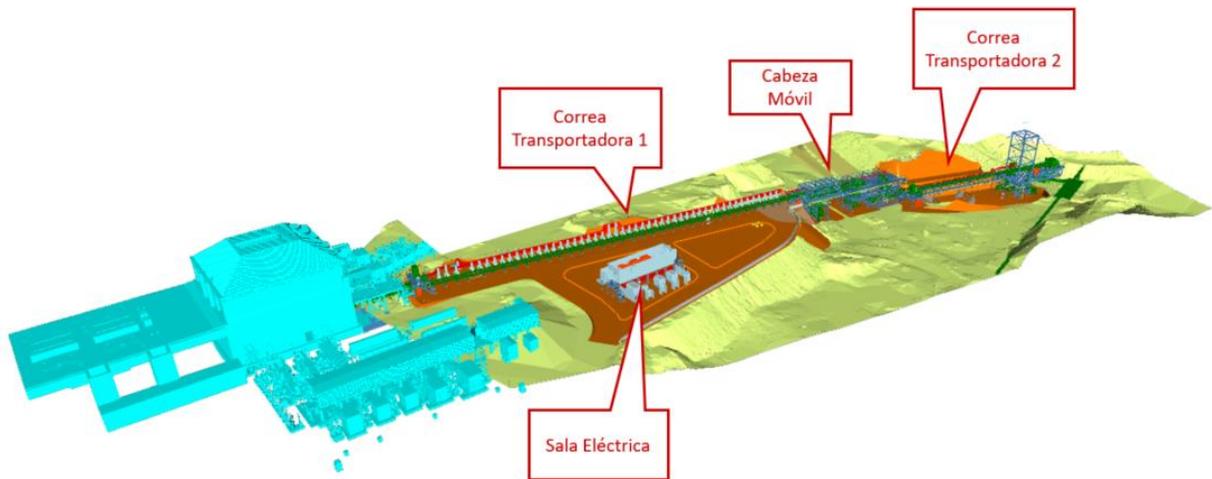


Figura 11: Diseño Sistema Correas Transportadoras

En general, el alcance consistía en diseñar dos correas transportadoras alineadas en un mismo eje, donde ambas descargas trabajasen de manera excluyente (para operar una, la otra debe estar detenida) y debía existir una zona de transferencia de carga móvil entre una y otra correa.

Además se debió considerar todos aquellos sistemas o equipos necesarios para la correcta operación de ambas correas, como son accionamientos eléctricos, sistemas de automatización, redes contraincendios, entre otros.

Desde el punto de vista de la programación base de la ingeniería, en la Tabla 11 pueden ser observadas las características generales de este proceso respecto a las disciplinas de ingeniería involucradas, tipo de documentos y fechas comprometidas:

Tabla 9: Programación Base Ingeniería

Disciplina	Cantidad Entregables	HH programadas	PROGRAMA	
			Fecha Inicio	Fecha Rev. P
Civil / Estructural	43	3043	25-07-2019	05-12-2019
DOCUMENTO	17	1446	25-07-2019	22-11-2019
PLANO	26	1597	02-09-2019	05-12-2019
Constructibilidad	3	336	03-10-2019	17-01-2020
DOCUMENTO	3	336	03-10-2019	17-01-2020
Electricidad	14	809	18-07-2019	15-11-2019
DOCUMENTO	7	415	02-08-2019	15-11-2019
PLANO	7	394	18-07-2019	15-11-2019
Mantenibilidad	14	1013	02-08-2019	27-12-2019
DOCUMENTO	14	1013	02-08-2019	27-12-2019
Mecánica	14	1315	25-07-2019	15-11-2019
DOCUMENTO	5	459	25-07-2019	15-11-2019
PLANO	9	856	02-08-2019	15-11-2019
Constructibilidad	2	285	25-03-2019	02-05-2019
DOCUMENTO	2	285	25-03-2019	02-05-2019
Piping	4	212	12-08-2019	08-11-2019
DOCUMENTO	3	170	30-09-2019	08-11-2019
PLANO	1	42	12-08-2019	04-10-2019
TICA	11	477	02-09-2019	15-11-2019
DOCUMENTO	4	197	02-09-2019	15-11-2019
PLANO	7	280	02-09-2019	15-11-2019
Total general	105	7490	25-03-2019	17-01-2020

*DOCUMENTO: Considera entregables de ingeniería tipo Informe, Memoria de cálculo, Especificación Técnica, Listado, Cubicación.

*PLANO: considera planos tipo 2D, Modelos 3D, P&ID, Diagrama unilineal

La curva programa fue la siguiente:

para construir una estructura o artículo diseñado. Esta lista se genera a partir de los planos, modelos 3D u otro documento de diseño.

7.2 CASO PRÁCTICO

El caso práctico al cual aplicar las buenas prácticas de valor de las metodologías propuestas en la presente tesis, corresponde al rediseño del caso base propuesto en el Capítulo 8.1; a partir de un nuevo requerimiento del Cliente, dentro del cual se incluyeron nuevos criterios de diseño tales como:

- Correas en serie, ahora anguladas en 90° aproximadamente.
- Se modifica el punto de entrega de mineral de la 2ª correa del Sistema.
- Al transferir mineral a la segunda correa del sistema, no debe ocurrir una detención del flujo de mineral. Trabajo no excluyente.

El nuevo diseño proyectado corresponde al mostrado en la Figura 14.

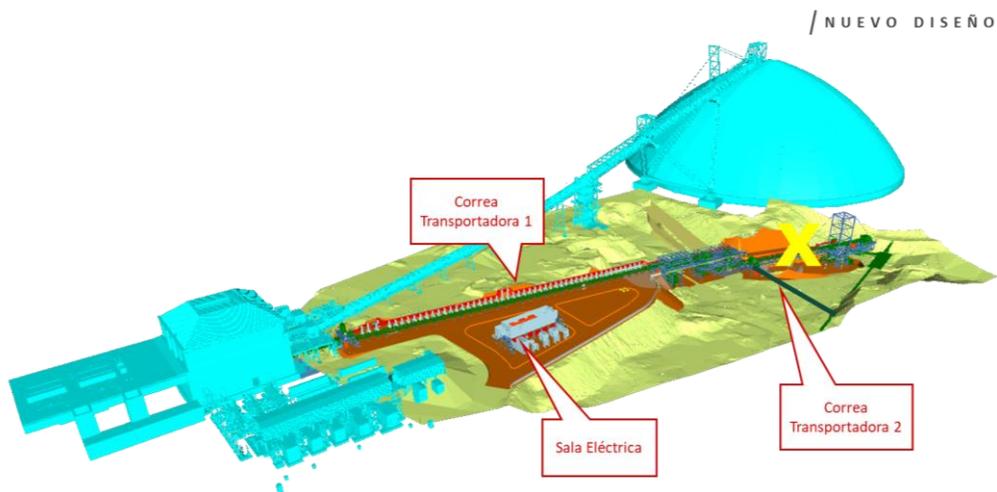


Figura 13: Nuevo Diseño Proyectado Correas Transportadoras

Dados los plazos involucrados en la realización del diseño; debido a compromisos de licitación, construcción y compras, se definió realizar la ingeniería de factibilidad solicitada

aplicando los principios de la metodología Ágil, utilizando como base del diseño el Modelo 3D y las herramientas BIM (Building Information Modeling).

La definición de realizar la ingeniería combinando las metodologías Agile y BIM, se fundamentó en que ambas metodologías se potencian y complementan en los procesos de Planificación, Ejecución y Control de la Ingeniería, lo cual puede ser visualizado en la siguiente Figura 15.

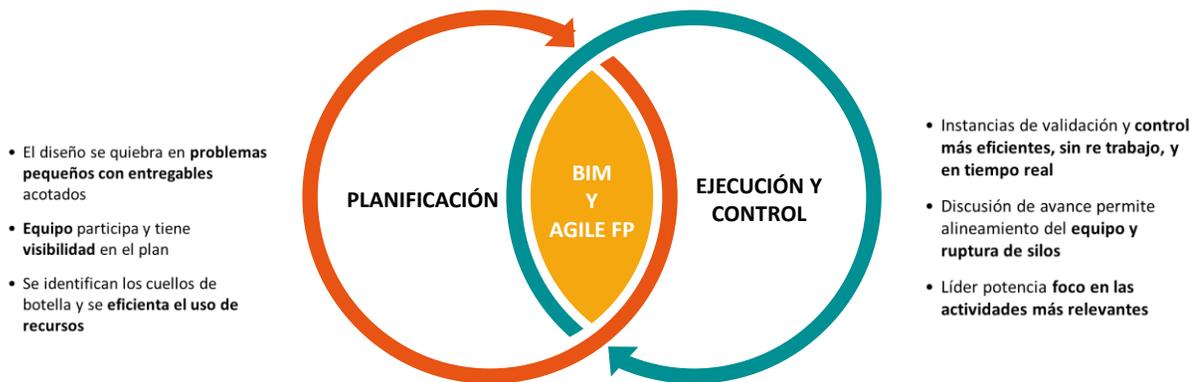


Figura 14: Complemento Metodología BIM y Agile

Por otro lado, el desafío consistió en aplicar una metodología que nunca fue concebida para el desarrollo de ingeniería; sin embargo, en su esencia si se visualizó una oportunidad; por lo que se definió lo siguiente:

- Generar un equipo multidisciplinario (Mecánica, Electricidad; Seguridad, Cliente, Civil, Costos, etc.) y empoderado para la toma de decisión en busca de alcanzar el objetivo definido.
- Trabajo iterativo e incremental, sobre la base de revisiones intermedias con el Cliente.
- Foco de desarrollo en lo más importante, uso de Modelo 3D sobre generación excesiva de planos.
- Propiciar la Colaboración entre áreas para la resolución de problemas y avance del diseño (aportar más que “buscar culpables”).

- Buscar definición temprana de drives (plazo, costo, alcance) con Sponsor y Stakeholders principales previo al inicio de actividades de desarrollo. Realización de Taller CFQ¹.
- Realizar reuniones diarias (“daily”) de no más de 20 minutos, con equipo de trabajo para ver avances, desviaciones y fijar objetivos de trabajo diario.
- Énfasis en la solución global/funcional; en vez de generar gran cantidad de documentos.
- Respuesta ante cambios, sobre seguir un plan rígido (programa de “sprints flexibles”).
- Seguimiento y control de compromisos diario (Kanban + minuta).

Con respecto al grupo de trabajo interdisciplinario, este estuvo compuesto por un grupo dedicado 100% a la actividad de diseño, que representa a gran parte de las áreas de proyecto, estas fueron:

- Product Owner: representa al Sponsor o Cliente final de proceso de ingeniero, es quien concibe y prioriza el trabajo y define entregables y grado de satisfacción, con apoyo del equipo.
- Scrum Master: profesional que facilita el trabajo en equipo, administra reuniones y salvaguarda el uso de la tecnología.
- Equipo de Desarrollo: trabaja en los objetivos, procesa el registro de compromisos (Backlog) o Kanban. Este equipo estuvo compuesto por las siguientes especialidades del Proyecto:
 - Mecánica
 - Electricidad
 - Estructuras
 - Civil
 - Automatización, control y telecomunicaciones
 - Construcción

¹ CFQ: “Class of Facility Quality” o taller de clase de calidad de las instalaciones. Permite establecer qué calidad de planta se necesita para poder cumplir con los requerimientos del negocio.

- Sustentabilidad
- Mantenibilidad
- Puesta en Marcha
- Programación y Costos
- Adquisiciones y Contratos
- Planificación Estratégica

Por otro lado, por el lado del Cliente Final, participaron las siguientes áreas

- Construcción
- Mantenimiento Transporte y Chancado
- Chancado Primario
- Planificación

Finalmente, se contó con el apoyo de Proyectistas de un Consultor de Ingeniería quienes realizaron los Modelos 3D y carga de atributos en el mismo para la obtención del respaldo del diseño final.

Respecto a la planificación de la ingeniería, esta fue organizada en “Sprints” multidisciplinarios; dónde una disciplina en particular tomaba el liderazgo del proceso; generándose los análisis conjuntos, de manera tal de definir los criterios o lineamientos del diseño de manera integrada.

El proceso de planificación general puede ser observado en la Figura 16.

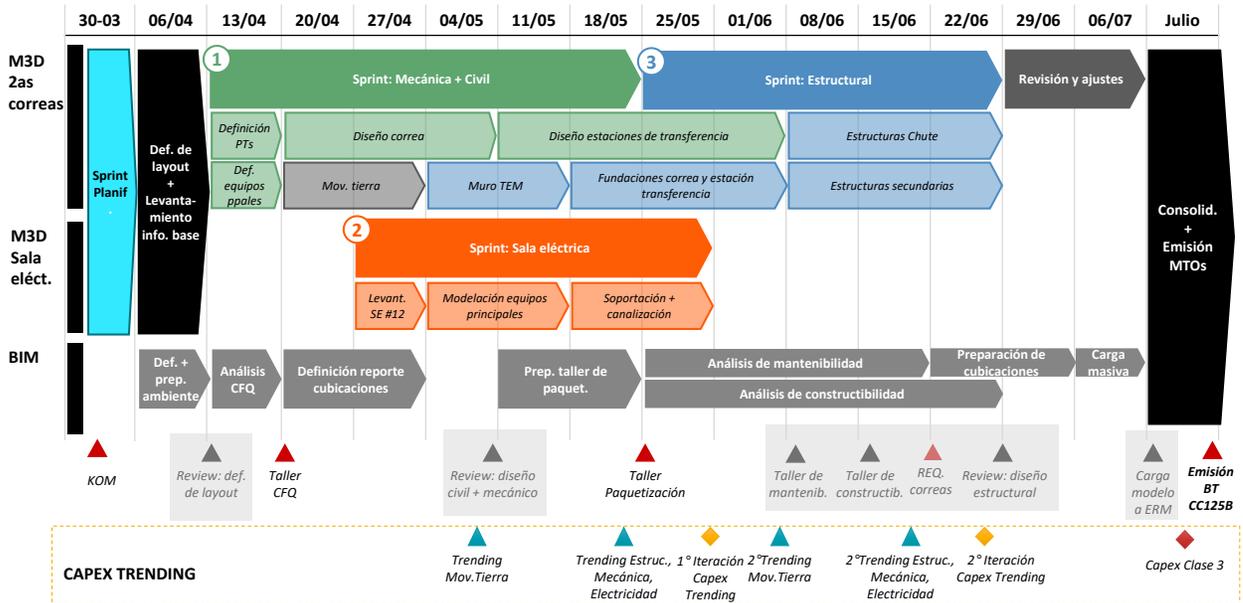


Figura 15: Planificación General Sprints

7.3 PROPUESTA METODOLÓGICA

Los principales aprendizajes o aciertos de este proceso, sobre los cuales se fundamenta la propuesta metodológica son los siguientes:

7.3.1 Planificación

Fundamental es programar un Sprint de planificación para listar las actividades principales a realizar durante el diseño, disciplinas responsables, puntos de chequeo o “Reviews” con el producto Owner y el Sponsor, talleres y emisiones de “Capex Trending”, entre otros temas.

Esta actividad fue estructurada en cuatro “Historias” principales que permita entregar un diseño mínimo viable de las correas transportadoras.

Levantamiento de información base

- Modelo 3D correas de descarga a planta
- Estudios
 - Topografía
 - Granulometría
 - Mecánica de suelo (Petrus)
- Criterios de diseño actualizados
 - Ingeniería Valor
 - Sprints VP
- Req. gestión documental
- Verificar capacidad de la correa 08 RT + filosofía operacional (DCH)
- Capex caso base

Planificación de actividades

- Programación de los entregables e identificación de la ruta crítica
- Planificación del taller CFQ
- Planificación de los talleres de constructibilidad y mantenibilidad
- Definición de los formatos de los entregables
 - Informes técnicos
 - Cubicaciones

Metodología BIM

- Preparación del ambiente BIM con el encargado BIM Worley
 - Definición de atributos y formatos de las cubicaciones
- Levantamiento del estado BIM VP (definiciones existentes)
- Toma de definiciones
 - Elementos que se modelarán
 - Tag multidisciplinario con proyectistas
 - Commodity code
- Planificación de los talleres de Paquetización
- Plataformas digitales

Definiciones de layout

- Definiciones críticas de layout para las disciplinas mecánica, civil, estructural y eléctrica
- Análisis de tradeoffs
- Modelamiento básico de la solución elegida



Como resultado se entregará un producto mínimo viable del diseño de la correa

Figura 16: Historias Agile

En la Tabla N°12 puede ser observado parte del “Backlog” asociado a las historias planteadas



Tabla 10: Backlog Sprint

Item	Actividades	Responsable	Inicio	Termino
1.1.1.	Revisar normativas y criterios de diseño y generar adenda con cambios propuestos (armadura, resistencia al fuego, derratero, sobreespecificaciones...)	Equipo	26/08/2019	26/08/2019
1.1.2.	Definir partidas y costos impactados por cambios de diseño	Nadal	27/08/2019	27/08/2019
1.1.3.	Valorizar cambios de diseño por normativa	Nadal/Pedro	27/08/2019	29/08/2019
1.1.4.	Validar propuesta de cambio de normativas	Tramón	27/08/2019	
1.1.5.	Implementar adenda a contratos de continuidad	Tramón		
1.2.1.	Proponer estándar para ubicación de soportación y tendido en túneles	Amanda	28/08/2019	
1.2.2.	Generar plano de nuevo estándar de ubicación de soportación y tendido	Proyectista	29/08/2019	
1.2.3.	Validar estándar propuesto	Tramón		
1.2.4.	Implementar nuevo estándar en BBTT de contratos de continuidad	Tramón		
1.2.5.	Estimar impacto de costo por retrabajo y reubicación de cables/soportes	Mario		
2.1.1.	Revisar y proponer rediseño de infraestructura de salas eléctricas	Amanda	27/08/2019	28/08/2019
2.1.2.	Valorizar impacto por cambio de diseño de infraestructura de salas eléctricas	Pedro	28/08/2019	28/08/2019
2.1.3.	Generar sketches de nueva propuesta de salas eléctricas	Tramón	29/09/2019	
2.1.4.	Implementar nuevos diseños de salas eléctricas a BBTT	Tramón		
2.3.1.	Evaluar potencial optimización de la iluminación	Tramón	28/08/2019	28/08/2019
2.3.2.	Estimar impacto de eliminación de doble cinta LED	Tramón	28/08/2019	28/08/2019
2.3.3.	Presentar sketch y respaldos de calculo	Tramón	29/08/2019	
2.3.4.	Hacer solicitud de cambio de la cinta LED	Tramón		
2.4.1.	Revisar factores de consumo energético por ventilación	Mario	27/08/2019	27/08/2019
2.4.2.	Proponer optimizaciones al sistema para reducir consumo energético	Mario	27/08/2019	27/08/2019
2.4.3.	Valorizar cambios de diseño propuesto al sistema eléctrico	Mario	27/08/2019	27/08/2019
2.4.4.	Validar nuevo diseño propuesto al sistema eléctrico	Mario	28/08/2019	
2.4.5.	Coordinar próximos pasos y estudios de detalle requeridos para implementar cambio	Tramón		
3.1.1.	Revisión de BBTT para garantizar montaje de infraestructura definitiva por contratos mineros	Mario	28/08/2019	28/08/2019
3.2.1.	Evaluar eliminación de nivel de tensión de 480V	Estay	26/08/2019	26/08/2019
3.2.2.	Validar con DCH eliminación de nivel de tensión de 480V	Tramón	28/08/2019	
3.2.3.	Valorizar impacto eliminación de nivel de tensión de 480V	Estay	27/08/2019	
3.3.1.	Evaluar reutilización de equipos de construcción por contratos de continuidad	Mario	27/08/2019	28/08/2019
3.3.2.	Valorizar impacto de reutilización de equipos de construcción por contratos de continuidad (ahorros por materiales y costos adicionales por HH)	Mario	27/08/2019	28/08/2019
3.3.3.	Validar posibilidad de reutilización de equipos de construcción	Mario	28/08/2019	28/08/2019
3.3.4.	Hacer gestión para utilización de SEUs	Mario		
3.4.1.	Evaluar potencial uso de activos DCH	Mario	26/08/2019	26/08/2019
3.4.2.	Valorizar uso de activos DCH	Pedro	28/08/2019	28/08/2019
3.4.3.	Validar posibilidad de uso de activos DCH	Tramón	28/08/2019	
4.1.1.	Generar listado consolidado de partidas API/AGDF1/AGDF2 y compartir con el equipo	Pedro	26/08/2019	26/08/2019
4.2.1.	Definir línea base del CAPEX	Pedro	26/08/2019	27/08/2019
4.3.1.	Hacer storyline para presentación del Sprint Review	Strozzi	27/08/2019	
4.3.2.	Consolidar información y resultados del sprint	Strozzi	28/08/2019	
4.3.3.	Hacer presentación para Sprint Review	Strozzi	27/08/2019	

7.3.2 Kick off meeting

Realizar “Kick off Meeting” del proceso global, reunión inicial donde se dónde se cita a todos los involucrados en el diseño para dar a conocer objetivos, programación general, roles y responsabilidades, metodología del proceso y lineamientos para el cumplimiento de los objetivos.

7.3.3 Taller CFQ

Realizar en una etapa temprana el Taller CFQ, “Class of Facility Quality” o taller de clase de calidad de las instalaciones. En el cual participa el Cliente, el Sponsor y el equipo de Proyecto, y cuyo objetivo es establecer qué calidad de planta se necesita para poder cumplir con los requerimientos del negocio. En general, este taller busca “equalizar” las necesidades o aspiraciones tanto del Proyecto como del Operador final

de la planta, de manera tal de generar un balance entre Inversión (CAPEX) y Costo Operacional (OPEX). El taller CFQ corresponde a una de las 12 VIP's (*Value Improving Practices*) definidas por la IPA¹¹, y es utilizada para alinear la ingeniería con el negocio.

En la siguiente Figura se ve un resumen de la ejecución del Taller, con las características consideradas para el análisis y las categorías definidas. El Figura 18, es mostrado el resultado del análisis realizado durante el Taller.

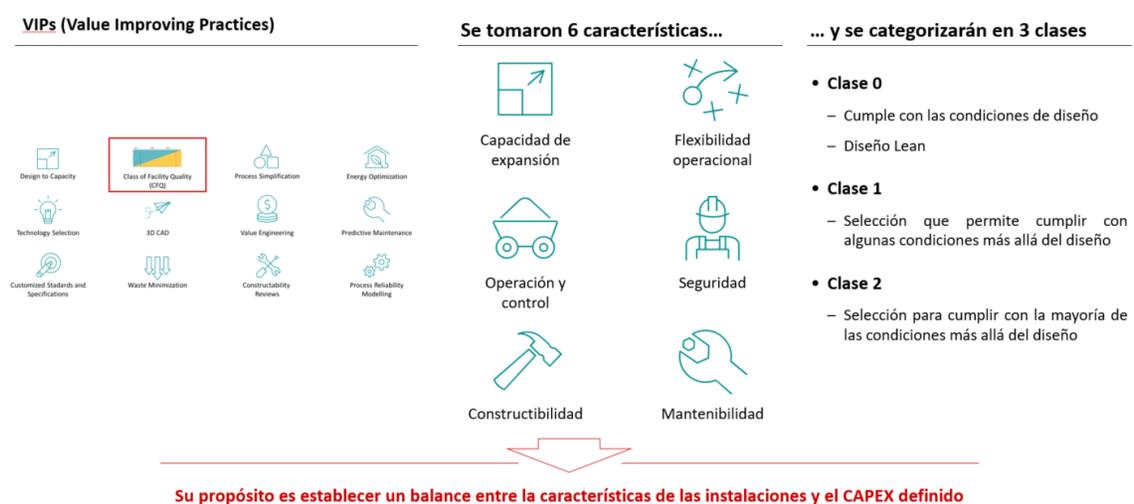


Figura 17: Resultados Taller CFQ

7.3.4 Configuración Plataforma BIM

Definición y preparación del ambiente de trabajo BIM, es necesario realizar previo al inicio de la factibilidad, la configuración de los softwares y plataformas que permiten la implementación de BIM, anterior considera tareas tales como:

- Definición de ruta de acceso y creación de carpeta de proyecto en Sistema de Gestión Documental. El cual será el repositorio de toda la información generada del proyecto en cuestión. En la Figura 19 puede ser observado un ejemplo de definición de ruta



Figura 18: Ruta acceso Plataforma BIM

- Creación del proyecto en la plataforma 3D, en particular PTGIP (Plataforma Tecnológica de Gestión Integrada de Proyectos) utilizando software AVEVA NET, donde se genera el repositorio del Modelo 3D y de los atributos desde los cuales a posterior podrán ser obtenidos los datos del diseño. En las Figuras 20 y 21 pueden ser observado un ejemplo de formulario de creación de proyecto, y ruta de acceso a PTGIP

Formulario de Creación de Proyecto AVEVA NET	
1. Datos Solicitante	
Nombre	
Fecha Solicitud (dd-mm-aaaa)	
2. Datos Proyecto	
Nombre de la División	DCH
Area (Proyectos VP, Proyectos DIV, Operaciones)	PROYECTO VP
Nombre del Proyecto	MCHS CONTINUIDAD
Nombre de Modelo	ESTUDIO FACTIBILIDAD 2nd CORREAS A PLANTAS DCH
Empresa Ingeniería	PMCHS VP
Etapa	FACTIBILIDAD
3. Datos Técnicos	
Plataforma y tipo de exportacion (DWG, DGN, i.DGN, RVM, etc)	DWG , i.DGN
4. Datos Cordinador BIM	
Nombre Coordinador	
Cuenta de usuario	

Figura 19: Formulario creación Proyecto AVEVA NET

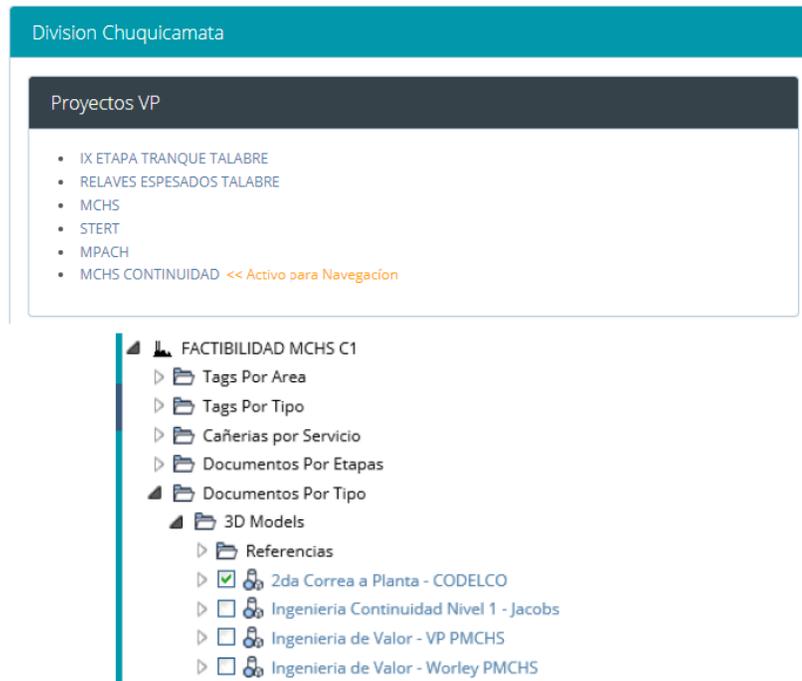


Figura 20: Acceso a PTGIP

- Otro tema importante para la correcta aplicación de BIM, tiene relación con la “Definición de Atributos” mínimos que debe contener cada uno de los elementos que forman parte del Modelo 3D, los cuales permiten posteriormente armar cubricaciones, programa de ejecución y de compras asociados al diseño de ingeniería. A continuación en la Tabla 12 puede ser observada la matriz de asignación de atributos utilizada para este caso de estudio.

Tabla 11: Matriz de Asignación de atributos

COLUMNAS	ATRIBUTOS	RESPONSABLE
1	PROYECTO	VP
2	FINANCIAMIENTO	VP
3	ETAPA PROYECTO	VP
4	ÁREA (WBS)	VENDOR / INGENIERÍA
5	ÍTEM O TAG	VENDOR / INGENIERÍA
6	ESPECIALIDAD	VENDOR / INGENIERÍA

COLUMNAS	ATRIBUTOS	RESPONSABLE
7	COMMODITY CODE	INGENIERÍA / VP
8	PO OR RFQ	VP
9	CONTRATO	VP
10	DESCRIPCIÓN ABREVIADA	VENDOR / INGENIERÍA
11	DESCRIPCIÓN DETALLADA	VENDOR / INGENIERÍA
12	CANTIDAD	VENDOR / INGENIERÍA
13	UNIDAD	VENDOR / INGENIERÍA
14	EWP	VP
15	CWA	VP
16	CWP	VP
17	PWP	VP
18	ID PROGRAMA	VP
19	PU Suministro 1	VP
20	PU Suministro 2	VP
21	PU C&M	VP

Esta matriz de atributos se complementa con el “Packing List” que corresponde a una matriz dónde se ingresan datos asociados a órdenes de compra (ítems, N° entrega, fecha y lugar de entrega, cantidad, unidad, Tag y descripción del equipo. dimensiones, pesos, volumen, tipos de almacenamiento, etc.) y con el “Programa de Construcción”, el cual se realizó en AVEVA-Planning, en base a la lectura de atributos desde el Modelo 3D y la Paquetización, utilizando como elemento de unión el “ID Programa”. En las figuras 22 y 23 pueden ser observados el formato de “Packing List” y “Programa de construcción”, respectivamente”

N° Item asociado a la Orden de Compra	N° de Entrega	Fecha de Entrega Estimada	Lugar de Entrega	País de Entrega	Cantidad Equipo Material	Unidad de Medida	Descripción	Código TAG N° de Parte	Embalaje Unidad (U) Caja (C) Palet (P) Skid (S) Jaula (J) Container (CT)	Cantidad Embalaje	Peso (kg)	Peso (kg)	Vol (m ³)	DIMENSIONES (en centímetros)			ALMACENAMIENTO - Storage (Indicar con X)			
														Largo	Ancho	Alt	Esp. Techo	Aire Libre	Toxico	Combustible

Figura 21: Packing List

ID PROGRAMA	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
-------------	---------	---------	---------	---------	---------

	Proyecto	CWA ²	CWP ³	Especialidad	TAG / IWP ⁴
--	----------	------------------	------------------	--------------	------------------------

Figura 22: Packing List 2

Donde el esquema de Paquetización del Proyecto (CWP) fue el siguiente:

Tabla 12: Esquema Paquetización Proyecto

ID PROGRAMA N3	DESCRIPCIÓN CWP
CWA-010-CWP-000	MOVIMIENTO MASIVO DE TIERRA
CWA-010-CWP-001	OBRAS DE SANEAMIENTO DE INTERFERENCIAS
CWA-010-CWP-002	CORREA 213442-CRT-001, CHUTE MÓVIL Y TRANSFERENCIA
CWA-010-CWP-003	CORREA CV-04A
CWA-010-CWP-004	CORREA 213441-CRT-001, CHUTE Y ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
CWA-010-CWP-005	CORREA SRT-CRT-008
CWA-010-CWP-006	REDES CAÑERIAS
CWA-010-CWP-007	REDES ELÉCTRICAS
CWA-010-CWP-008	REDES RISC/RAG
CWA-010-CWP-009	SALA ELÉCTRICA
CWA-010-CWP-010	GENERAL

7.3.5 Capex Trending

Finalmente, la inclusión del concepto de Capex Trending fue relevante principalmente por dos aspectos

- Alineamiento del equipo de diseño con el presupuesto del proyecto en particular.

² CWA: Construction Working Area

³ CWP: Construction Working Package

⁴ IWP: Instalation Working Package

- Revisión periódica y proactiva del valor económico de la solución, lo que permite ajustar o visualizar en una etapa temprana posibles desviaciones.
- Involucramiento temprano de la disciplina de estimaciones a las actividades de diseño en formato full BIM.

El propósito final de este proceso de Capex Trending, es incorporar el enfoque del negocio en las decisiones más relevantes del diseñador, a fin de garantizar que el producto sea la solución óptima tanto en términos de respuesta técnica al requerimiento como en captura de valor para el negocio.

En la práctica, se implementó una herramienta sencilla, del tipo tablero de control o dashboard, en la cual se definieron inicialmente en conjunto con el equipo multidisciplinario, los parámetros claves o drivers del Capex del alcance en cuestión. Teniendo estos parámetros definidos, se les asignaron precios de referencia, provenientes principalmente de la base de datos históricos del proyecto.

Considerando la importancia que tiene el hecho de que esta herramienta sea lo suficientemente dinámica como para que mediante sucesivas iteraciones permita retroalimentar oportunamente el proceso de diseño, se consideró la definición de tres atributos BIM en el modelo 3D, asociados al Capex, los cuales se enuncian y definen a continuación:

- PU Suministro 1: Precio Unitario de suministro Mandante para equipos o materiales en [USD/c-u].
- PU suministro 2: Precio Unitario de suministro Mandante para materiales y servicios centralizados [USD/c-u].
- PU C&M: Precio Unitario de Construcción y Montaje, en el cual se componen los distintos elementos de costo que convencionalmente se incluyen en la construcción y montaje (Mano de Obra, Materiales, Uso de Equipos y Sub-contratos).

En la Tabla 15 puede ser observado el programa de Capex Trending del proyecto realizado.

Tabla 13: Programa Capex Trending

Actividad	Área Responsable	Fecha Emisión
Primera iteración		
Cantidades principales Movimientos de Tierra	Ingeniería	06-may
Trending Movimientos de Tierra	P&C	08-may
Cantidades principales Estructuras, Mecánica, Electricidad	Ingeniería	20-may
Trending Estructuras, Mecánica, Electricidad	P&C	22-may
Cantidades consolidadas 1era iteración	Ingeniería	27-may
Hito 1: 1era iteración Capex Trending	P&C	29-may
Segunda iteración		
Cantidades principales Movimientos de Tierra	Ingeniería	03-jun
Trending Movimientos de Tierra	P&C	05-jun
Cantidades principales Estructuras, Mecánica, Electricidad	Ingeniería	17-jun
Trending Estructuras, Mecánica, Electricidad	P&C	19-jun
Cantidades consolidadas 2da iteración	Ingeniería	24-jun
Hito 2: 2da iteración Capex Trending	P&C	26-jun
Capex clase 3		
MTO Rev. B	Ingeniería	15-jun
Capex clase 3 Rev. B	P&C	10-jul
MTO Rev. P	Ingeniería	15-jul
Hito 3: Capex clase 3 Rev. P	P&C	31-jul

7.4 DESARROLLO

Sobre la base de las definiciones anteriores, se desarrolló la ingeniería principalmente en 3 fases

- FASE 1: Definición de Layout (~1-2 semanas)
- FASE 2: Ejecución Modelo 3D (~2-3 meses)
- FASE 3: Emisión de entregables por Disciplina

Cada una de estas fases fue liderada por distintas disciplinas, dependiendo de la etapa del diseño.

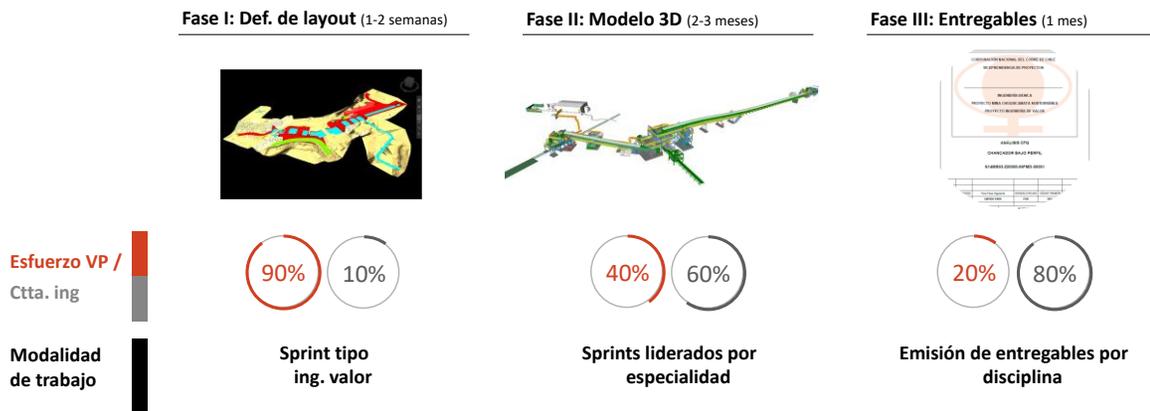


Figura 23: Esquema Fases de Ingeniería

La ejecución del Taller CFQ permitió definir la calidad de las instalaciones o equipos principales, lo cual a su vez, tiene impacto en el CAPEX global de la solución. El resultado general del taller puede ser observado en la Figura 25.

Elemento de diseño		Acordada						Justificación	
MECÁNICA	Correa transportadora	1	0	0	1	1	1	1	Capacidad definida para 7.250 tph Monitoreo de condiciones sin optimización Se privilegia la operación
	Chutes	1	0	0	1	1	1	1	Chutes vendrán en módulos. Se privilegia la operación
	Estaciones de transferencia	1	0	0	1	1	1	1	Diseño debe ser flexible en la mantención para mantener la operación
	Chute Móvil	2	0	0	1	1	2	2	Chute vendrá en módulos. Se privilegia la operación
	Colectores de polvo	1	0	0	0	1	1	1	Se privilegia la operación. Acuerdo: Codelco VP completará ingeniería básica de esta solución; NO se incorporará a la compra temprana (Requisición Mecánica), ya que DCH se encuentra en estudio de la solución de polvo integrada para toda el área.
	Mesa impacto correas existentes	1	0	0	1	1	0	1	Se privilegia la operación
	Motor correa	1	0	0	0	1	0	1	Motor: posición superior en la cabeza de la correa
ELÉCTRICA	Transformadores	0	0	0	0	0	0	0	Se privilegia el uso de la SE #12 sobre construir una sala eléctrica nueva
	Sistemas motrices	0	0	0	0	0	0	0	
	CCM	0	0	0	0	0	0	0	
	Sala eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 24: Resultados Taller CFQ

La implementación del BIM, fue definida en 4 etapas, las cuales de manera secuencial permitieron obtener los productos finales del diseño como por ejemplo, MTO, CAPEX, Entregables 2D, Modelo 3D y programa. Un aprendizaje importante tiene relación con los requerimientos que tiene cada una de las Plataformas a utilizar.

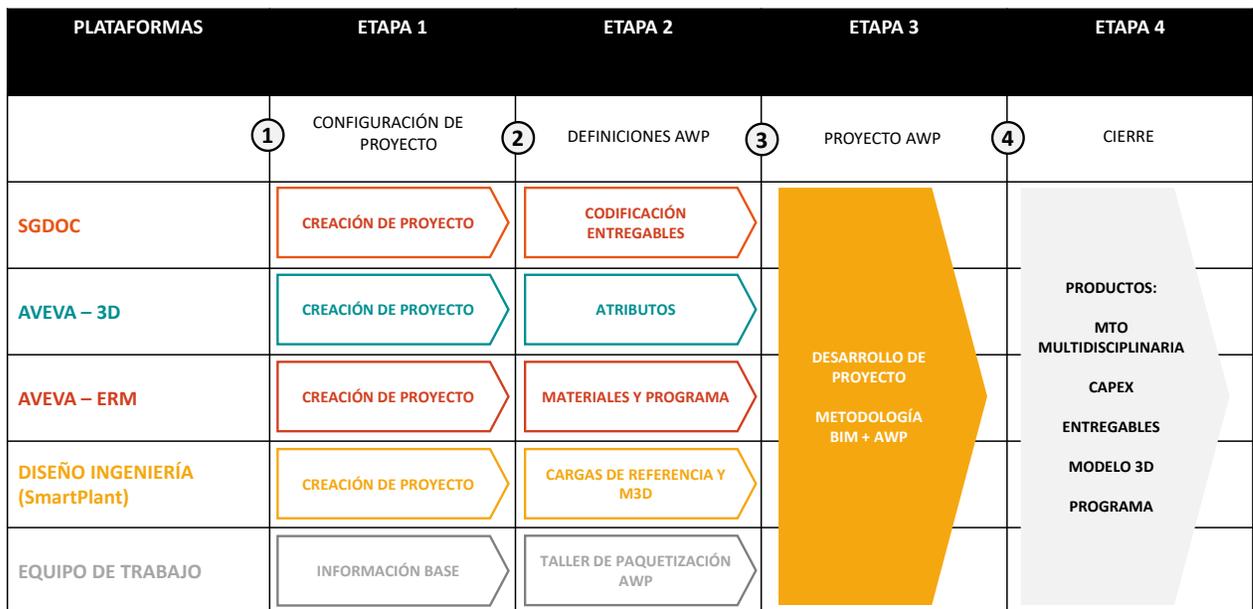


Figura 25: Etapas Implementación BIM

Respecto a la definición de atributos a cargar en el Modelo 3D, estos permitieron de un manera efectiva poder generar la información necesaria para los entregables finales, principalmente por una definición temprana e integrada de los atributos requeridos, y

porque además dichos atributos están disponibles a medida que se avanza en el diseño, tema que habilita una buena aplicación del Capex Trending, entre otras cosas.

En la Figura 27, puede ser observado la relación entre los atributos y los entregables de ingeniería.

COLUMNAS	ATRIBUTOS	RESPONSABLE
1	PROYECTO	VP
2	FINANCIAMIENTO	VP
3	ETAPA PROYECTO	VP
4	ÁREA (WBS)	VENDOR/INGENIERÍA
5	ITEM O TAG	VENDOR/INGENIERÍA
6	ESPECIALIDAD	VENDOR/INGENIERÍA
7	COMMODITY CODE	INGENIERÍA / VP
8	PO OR RFQ	VP
9	CONTRATO	VP
10	DESCRIPCIÓN ABREVIADA	VENDOR/INGENIERÍA
11	DESCRIPCIÓN DETALLADA	VENDOR/INGENIERÍA
12	CANTIDAD	VENDOR/INGENIERÍA
13	UNIDAD	VENDOR/INGENIERÍA
14	EWP	VP
15	CWA	VP
16	CWP	VP
17	PWP	VP
18	ID PROGRAMA	VP
19	PU SUMINISTRO 1	VP
20	PU SUMINISTRO 2	VP
21	PU C&M	VP

Figura 26: Relación Atributos - Entregables Ingeniería

La Paquetización definida permitió acceder a la información de diseño de manera rápida, facilitando los análisis de Constructibilidad, Mantenibilidad, costos por instalación, magnitud de las obras, programa, entre otros aspectos.

Tabla 14: Paquetización Proyecto

ID PROGRAMA N3	DESCRIPCIÓN
CWA-010-CWP-000	MOVIMIENTO MASIVO DE TIERRA
CWA-010-CWP-001	OBRAS DE SANEAMIENTO DE INTERFERENCIAS
CWA-010-CWP-002	CORREA 213442-CRT-001, CHUTE MÓVIL Y TRANSFERENCIA
CWA-010-CWP-003	CORREA CV-04A
CWA-010-CWP-004	CORREA 213441-CRT-001, CHUTE Y ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA
CWA-010-CWP-005	CORREA SRT-CRT-008
CWA-010-CWP-006	REDES CAÑERIAS

CWA-010-CWP-007	REDES ELÉCTRICAS
CWA-010-CWP-008	REDES RISC/RAG
CWA-010-CWP-009	SALA ELÉCTRICA
CWA-010-CWP-010	GENERAL

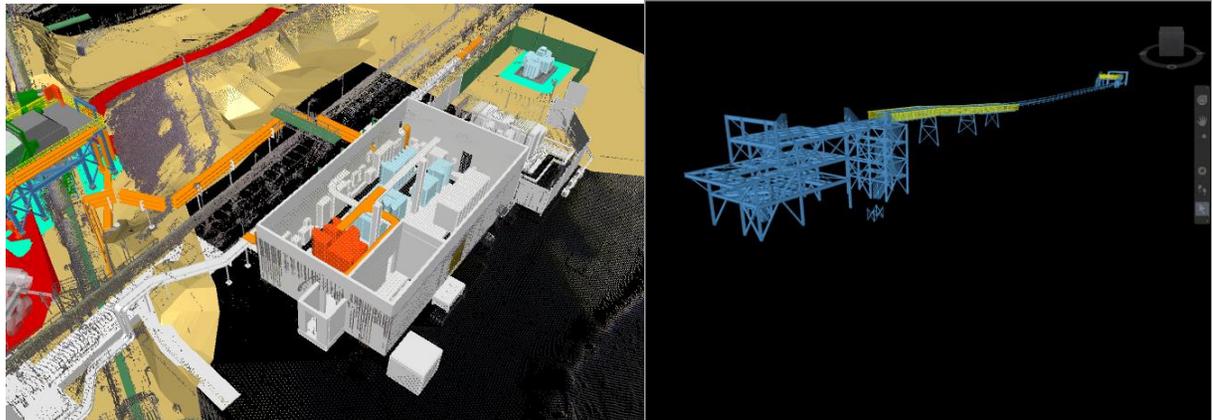


Figura 27: Modelo BIM

Elemento	SmartPlant 3D	Material
Propiedad		Valor
Etapas Proyecto		Ingeniería de Valor
Area (WBS)		213442
Item o Tag		213442-EDF-002-02
Especificidad		Structural
Disciplina (Commodity C...)		ES
PO OR RFO		REQ125A1
Contrato		CC125B
Descripción Abreviada		Estructura Mediana (30-60 kg/m)
Descripción Detallada		ESTRUCTURA DE ACERO CEPAS O TORRES TRAMO ELEVADO CORREA 44
Cantidad		528.62
Unidad Cantidad		Kg
EWP		EWP-001
CWA		CWA-009
CWP		CWP-002
PWP		PWP-006
PU Suministro 1		
PU Suministro 2		
ID Programa		CWA-009-CWP-002-ES
Documentos Ingeniería		
Estatus Aprobado		Working
Estatus Proveedor		
Nº Plano Proveedor		
Nº Plano Ingeniería		
Numero Modelo 3D		CJFFKN20_CODELCO
As Built		
Avance Fisico %		
Fecha Inicio Montaje		44371
Fecha Terminó Montaje		44430
Requisición de Compra		
Comisionamiento (Siste...		
Costos		
Itemizado		
BMP		
Commodity Code		3120
Material		Steel - Carbon
Fabricante		
Categoría		Medium >=30Kg/m
Tipo		Column
Grado		A36
Numero de Marca		C1
Memoria de Cálculo		
Sección		HN25x50.1

Figura 28: Paquetización AWP en Propiedades de elementos modelo BIM

En la Figura 30 puede ser observado el programa de obras estructurado a partir de la Paquetización definida.

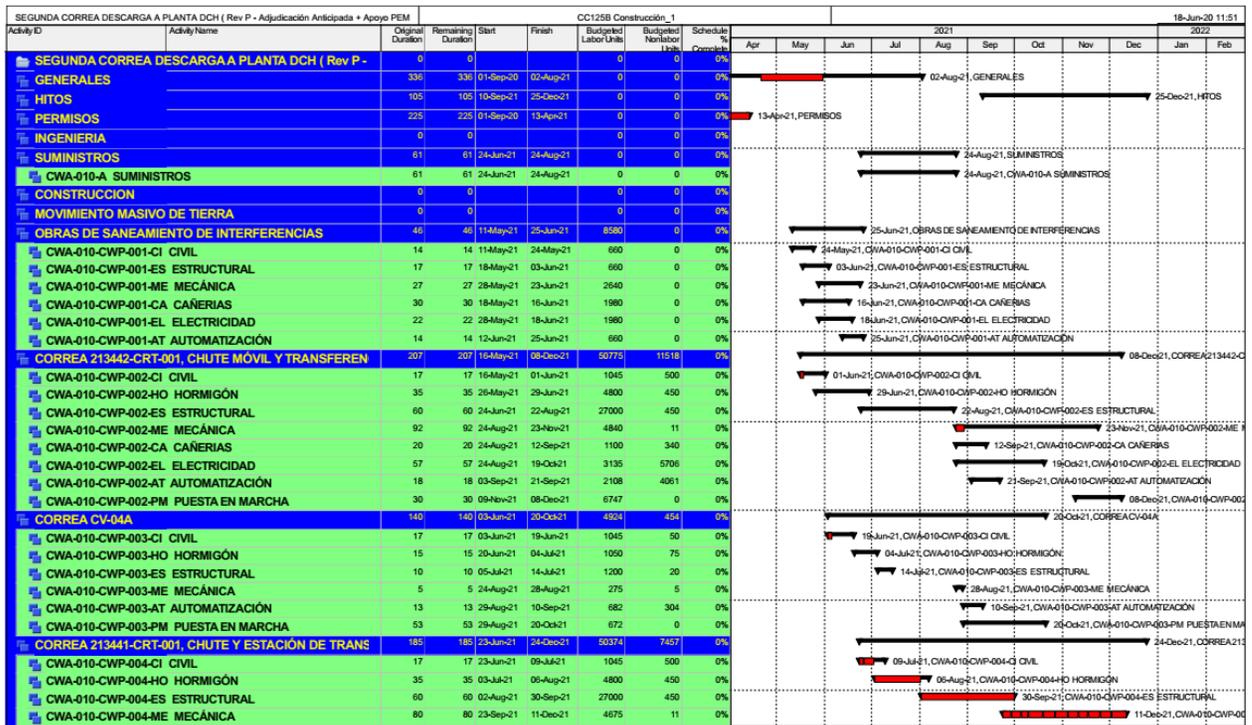


Figura 29: Programa de Obras a partir de Paquetización

Finalmente, la aplicación del Capex Trending aparte de generar un alineamiento con el presupuesto del proyecto, permitió al equipo hacer optimizaciones que permitieron reducir el Capex Base.

En la Figura 31 puede ser observada la variación porcentual asociada a las iteraciones de Capex realizadas, tanto en el resultado global como por disciplinas.

CAPEX TRENDING

INICIO

-89,5%

Variación Total Iteración 1

-43,4%

Variación Total Iteración 2

-44,1%

Variación Total Rev. B

Disciplina	Descripción	Unidad	Variación Iteración 1 [%]	Variación Iteración 2 [%]	Variación Rev. B. [%]
1000	Movimiento de Tierras	m3	-39,9 %	-50,5 %	-38,7 %
2000	Hormigones	m3	-96,7 %	-81,6 %	-72,8 %
3000	Estructuras	ton	-91,4 %	-77,8 %	-66,5 %
5000	Mecánica	un	-100,0 %	-15,4 %	-19,3 %
6000	Cañerías	m	-100,0 %	-100,0 %	-14,3 %
7000	Electricidad	m	-77,4 %	-71,3 %	-87,6 %
8000	Instrumentación	m	39,8 %	1026,6 %	1026,6 %

AHORRO CAPEX POR DISCIPLINA (% DEL TOTAL CAPEX CASO BASE)

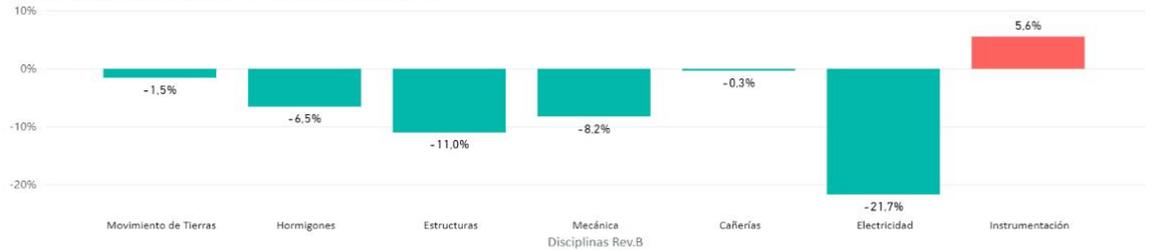


Figura 30: Reporte CAPEX Trending

Un caso particular ocurrió en la disciplina Instrumentación, la cual no había sido incluida en el Caso Base, eso fue corregido en este proceso,

El diseño obtenido a partir de este proceso es el observado en la Figura 32 siguiente:

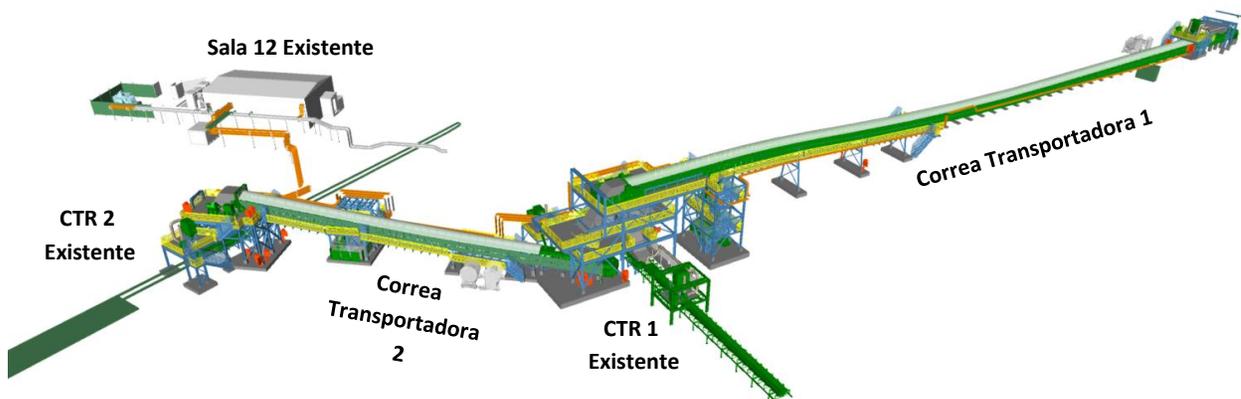


Figura 31: Diseño final ejecutado

7.5 RESUMEN

Finalmente, a continuación se presenta un resumen de la propuesta metodológica que de acuerdo a los resultados obtenidos nos permite asegurar disminución de plazos y costos al momento de ejecutar proceso de ingeniería. El resumen de la propuesta metodológica puede ser observada en la Figura 33.

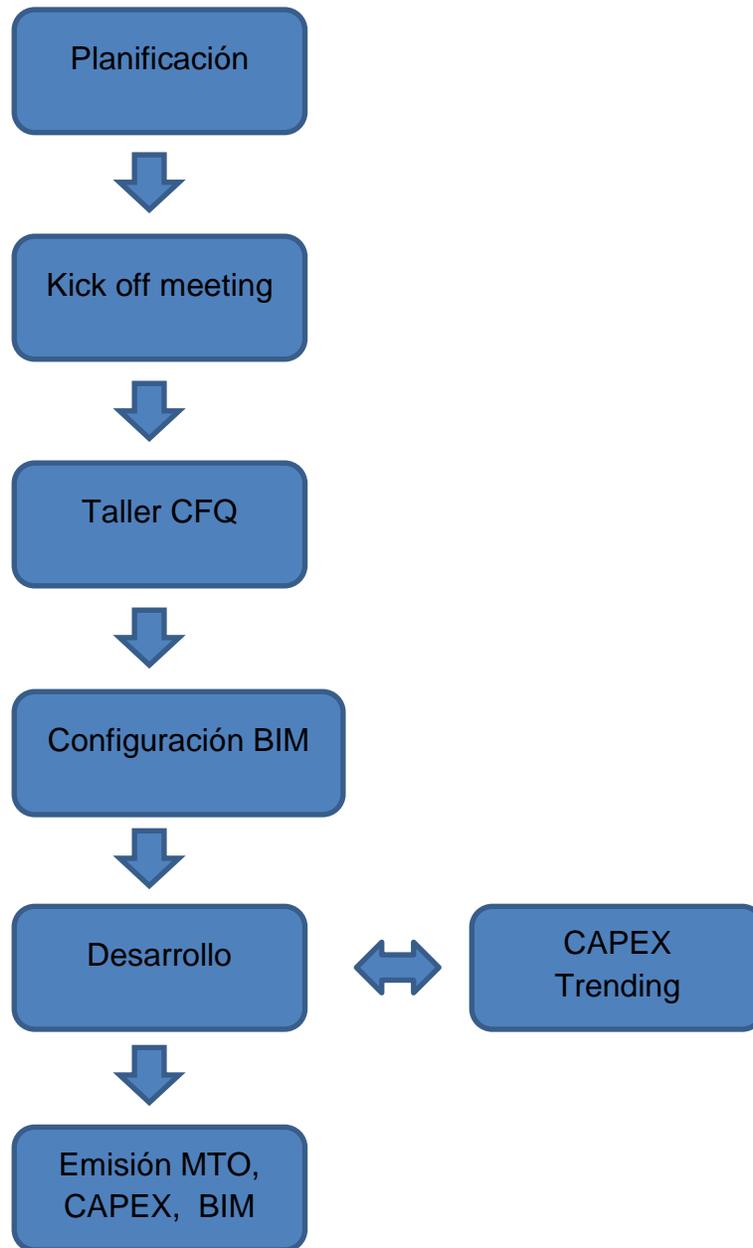


Figura 32: Resumen Propuesta Metodológica para desarrollos de Ingeniería

8 ANÁLISIS DE RIESGOS

Sobre la base de lo discutido en el Capítulo 5.2, respecto a los casos en que fracasa “Agile”, se puede establecer que son estos aspectos los que constituyen las principales fuentes de riesgo para la obtención de resultados exitosos.

Cerca de un 34% de los proyectos agile fracasan¹¹, entendiendo como fracaso aquellos proyectos que se han cancelado o bien, han tenido problemas en entregar a tiempo, en presupuesto o en alcance. Esto supone un tercio de los proyectos que intentan adoptar las metodologías ágiles y es un problema serio que se debe ser analizado.

Aunque implementar las metodologías ágiles puede suponer ventajas significativas, el proceso no siempre es un camino fácil. Cuando la organización se sumerge en una transformación, se solicita, entre otras cosas, que se adquiera una nueva mentalidad y ahí es donde vienen muchos de los problemas.

El presente análisis considera además las posibles medidas de mitigación a aplicar en cada uno de estos aspectos, de manera tal de minimizar la ocurrencia de eventos que vayan en contra del éxito del proceso.

Tabla 15: Análisis de Riesgo

RIESGO	MITIGACIÓN
Resistencia al cambio de la organización	<ul style="list-style-type: none">- Estudio para entender y caracterizar la cultura existente en la organización. - Mapear aquellos aspectos en que “Agile” impacta en los valores organizacionales. - Detallar claramente la necesidad del cambio, indicando desafíos y beneficios del mismo, para propiciar el deseo de cambio en la organización.

RIESGO	MITIGACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> - Definir plan de apoyo a los Profesionales para entender qué es lo que les mueve a cambiar y sobretodo estar seguros de que tienen la motivación suficiente como para afrontar el trabajo que supone el cambio. Además para apoyarlos con sus miedos y ansiedades durante el periodo de transición, minimizando la percepción de que existe algún tipo de efecto perjudicial ocasionado por el cambio en la organización. - Generar plan de seguimiento de implementación, para perseverar en la implementación, haciendo revisiones periódicas de los procesos, ya que en muchos casos tras introducir la forma de trabajo agile en la empresa, esta forma de trabajo se abandona en un primer momento. - Plan de implementación periódico, para evitar cambiar toda la organización de golpe. Es importante entender que la mayoría de las culturas organizacionales varían por equipos, departamentos y hasta ubicación.
<p>Falta de alineamiento en el resto de áreas de la empresa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar “Mapa Relacional” del área a implementar Agile para visualizar principales obstáculos que podría tener la aplicación de la metodología, principalmente en la interacción entre áreas, interfaces, prioridades, etc. - Implementar plan de pilotaje de la cultura Agile en un equipo que genere líderes que posteriormente irán

RIESGO	MITIGACIÓN
	<p>propagándose al resto de la organización (escalamiento) para mejora interacción interáreas.</p>
<p>Falta de apoyo por parte de negocio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar coaching para que líderes cambien su forma de trabajar pasando de silos a integrados, sin que esto implique una pérdida de control poder. - Impulsar cambio de rol y responsabilidades de Gerentes y Directores para implementar la metodología Agile. Fomentar el concepto de auto-organización y gestión, cómo favorecerla dentro de la empresa y todas las métricas que se deberían conocer.
<p>Cultura organizacional que va en contra de los principios ágiles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar plan comunicacional para proporcionar toda la información sobre el cambio y el esfuerzo que se va a llevar a cabo en la organización, eliminando los posibles rumores y datos incorrectos sobre los efectos de la transformación en la organización.
<p>Falta de habilidades y experiencia Agile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Promover creatividad, integración y colaboración. Mediante coaching, mentoring. - Capacitar a aquellos roles asociados a la metodología que van a formar parte de los diferentes equipos multifuncionales.

A partir del análisis realizado, se puede concluir que los principales riesgos en el éxito de Agile tiene relación con temas organizacionales, tanto como de su estructura, así como también de sus aspectos culturales.

Lo anterior, de acuerdo la opinión del autor de la presente tesis, corresponde al principal desafío para una implementación exitosa de las Metodologías Agile/BIM para el desarrollo de ingeniería. Ya que normalmente, cuando una organización quiere implementar las prácticas ágiles, no es consciente de los cambios que va a suponer a su cultura organizacional cumplir el desafío que se les va a venir.

Finalmente, se debe indicar que el hecho de querer cambiar la cultura organizacional no es algo instantáneo y esto supone un largo viaje de años antes de certificar que se ha producido un cambio tan importante dentro de la organización. Cuanto más grande sea la organización, mayores serán los problemas que tengan que enfrentar: tienen un mayor número de empleados, tienen personal subcontratado, mayor número de departamentos que hacen las cosas muy diferentes entre ellos, etc.

Por lo tanto, la implementación de esta prácticas deben ser un proceso secuencial, iniciándose por aquellas área o procesos de más fácil implementación, generando líderes, que permitan ir permeando la metodología al resto de las persona, desde la línea directiva hasta los profesionales de desarrollo.

9 CONCLUSIÓN

A partir del estudio realizado, se visualiza una inversión de capital importante (BUS\$74.1) en proyectos mineros durante la presente década; lo que dado los escenarios actuales con incertidumbre de precio, aumento costo de insumos, baja en leyes, entre otros factores; impulsa a que temas tales como la productividad y rebaja de costos cobren relevancia a la hora de pretender seguir liderando el mercado.

Dentro del ciclo de vida de un proyecto, el desarrollo de las distintas fases de ingeniería es fundamental para las estimaciones presupuestarias, definición de diseño, análisis de Constructibilidad y Mantenibilidad del proyecto, por lo que estas deben ser desarrolladas en calidad, plazo y alcance definidos establecidos por el Mandante.

En línea con lo anterior, el mandante debe tener presente la importancia de presupuestar los costos asociados a las distintas etapas de ingeniería, de acuerdo a su experiencia o valores de mercado, ya que una lección aprendida de la industria es que subestimar este proceso genera pérdidas de calidad que implican retrabajos, atrasos o posteriores errores o cambios durante el período de construcción de los proyectos.

A través del presente trabajo, se pudo demostrar que si bien las Metodologías Ágiles tiene su origen en las industria del software, sus principios y fundamentos son perfectamente aplicables a otras áreas del conocimiento o la industria, es ahí donde radica el principal aporte del presente trabajo ya que supone reducción de plazo y costos de ejecución en particular en los desarrollo de ingeniería, minimizando retrabajos, impulsando un alineamientos temprano con todos los involucrados en el proyecto, definiendo roles y responsabilidades claros, foco en resolución de problemas, simplificando procesos, eliminando desperdicios que generan los esfuerzos sin planificación, las reuniones que consumen tiempo y no generan productividad ante alguna iniciativa, entre otros aspectos.

Como consecuencia de lo anterior, también permite generar aportes en la etapa de ejecución del proyecto, ya que al realizar procesos de diseño integrados en etapas tempranas, supone minimizar cambios de alcance, criterios de diseño, compras durante la ingeniería de detalle o la construcción, etapas en las cuales está demostrado que realiza modificaciones implica mayores costos y plazos.

La aplicación de las metodologías antes descritas, dentro del alcance de la presente tesis, que corresponde a aquellos proyectos que se encuentran en etapas de ingenierías preinversionales a partir del año 2022, cuyo monto de inversión es de US\$46.387 millones, permiten obtener una reducción de 40% en el plazo (desde 8 a 4,5 meses), y de un 29% en las HH's utilizadas (desde 8.318 a 5.936 HH), aspectos que evaluados económicamente de acuerdo a tarifas de mercado generan ahorros potenciales entre MMUS\$670 y MM\$1.085, equivalentes a MMUS\$84 y MMUS\$106 anuales en el período 2023/2030 estudiado (Inversión cartera: MMUS\$43.387).

Si consideramos la inversión de la cartera de proyectos de la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco para esta década, la cual asciende al orden US\$20.000 millones⁸, el potencial de ahorro se estima entre MMUS\$288 y MMUS\$468; equivalentes a MMUS\$36 y MMUS\$59 anuales dentro del intervalo de tiempo estudiado, lo cual sin duda es un aporte al plan estratégico de reducción de CAPEX de la cartera.

Por lo tanto podemos concluir que la gestión de proyectos de ingeniería utilizando las metodologías Agiles, combinado con BIM, son una oportunidad desde el punto de vista de la productividad permitiendo ahorros de plazos de ejecución y costos asociados. Por lo que se recomienda sistematizar estas prácticas, partiendo por pareas puntuales de la empresa, generando un posterior escalamiento al resto de la organización.

Otra conclusión a tener en cuenta es que si bien las experiencias de aplicación de AGILE/BIM ha sido exitosa, para poder asegurar este éxito se debe tener en cuenta los riesgos, principalmente asociados a cultura organizacional, los cuales deben ser gestionados de manera continua tal que la aplicación de la práctica no sea un hecho puntual, transformando la cultura organizacional, migrando a una organización Ágil.

10 BIBLIOGRAFÍA

- (1) Determinación de las condiciones de éxito de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea. Francisco Miranda T. Año 2018, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- (2) Composición y comparación del presupuesto de un proyecto con foco en Indirectos. Entalphy. Año 2020.
- (3) General process plant Cost estimating (engineering design guideline). KLM Technology Group. Rev01 June 2014.
- (4) <https://openwebinars.net/blog/conoce-las-3-metodologias-agiles-mas-usadas/>
- (5) <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/887546/que-es-bim-y-por-que-es-fundamental-en-el-diseno-arquitectonico-actual>.
- (6) Inversión en la minería chilena – Cartera de proyectos 2020-2029 DEPP 11/2020. COCHILCO.
- (7) https://www.codelco.com/codelco-la-empresa-de-todos-los-chilenos-y-chilenas/prontus_codelco/2015-12-30/171746.html
- (8) Desafíos de la productividad en la Cartera de Proyectos Codelco. Fórum buenas prácticas de productividad. Gerhard Von Borries, Vicepresidencia de Proyectos, Codelco. Noviembre 2019. Cámara Chilena de la Construcción.
- (9) Ingeniería AGILE/BIM, César Tramón, Javier Oyarce, Pedro Ferrada, Francisco Molina, Jeremie Goulevitch. Séptimo Congreso de Automatización en Minería. Automining 2020.
- (10) <https://www.ariadgroup.com/es/blog/todo-sobre-scrum-agile-metodologia/ejemplos-empresas-fracasan-scrum-agile>
- (11) <https://www.autentia.com/2020/08/05/sabes-que-mas-del-34-de-los-proyectos-agile-fracasan/>
- (12) Industrial megaprojects concepts, strategies and practices for success, Edward W. Merrow.
- (13) Estudio Benchmarking interno, Gerencia de Excelencia en Proyectos, VP Codelco.