



ESCUELA DE NEGOCIOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Escuela de Negocios Departamento de Ingeniería Comercial
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

**METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA
PROYECTOS DEL TIPO BROWNFIELD EN EL SECTOR
INDUSTRIAL/MINERO**

Tesis de Grado presentada por
Claudio Alejandro Gómez Donoso
Como requisito para optar al grado de
MBA, Magister en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Dr. Luis Acosta E.

Noviembre de 2018

TITULO DE TESINA: “METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE
RIESGOS PARA PROYECTOS DEL TIPO
BROWNFIELD EN EL SECTOR
INDUSTRIAL/MINERO”

AUTOR: Claudio Alejandro Gómez Donoso

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA Magister en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones: _____

COMISIÓN DE TESINA: Lionel Valenzuela O.
Luis Acosta E.
Jose Miguel Gonzalez P.

Santiago, noviembre 2018

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Claudio Alejandro
Gómez Donoso

Fecha: 05 Noviembre 2018

Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	6
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	8
1.2 ORIGEN Y PROPOSITO DEL ESTUDIO.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO	11
1.5 METODOLOGIA DE TRABAJO	13
2 ESTADO DEL ARTE	15
3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA	19
4 CASO IMPLEMENTACIÓN ETAPA INICIAL PROYECTO.....	28
5 CASO IMPLEMENTACIÓN PROYECTO EN EJECUCIÓN	35
6 CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS	42

Tabla de Tablas

Tabla N°1: Duración Etapa en Ruta Critica	21
Tabla N°2: Ponderación Ocurrencia Riesgo	22
Tabla N°3: Ponderación Impacto Riesgo.....	22
Tabla N°4: Matriz de Riesgo Resultante Análisis Cualitativo	23
Tabla N°5: Aceptabilidad de Riesgos	23
Tabla N°6: Proyectos Considerados Para Base Datos (BD).....	24
Tabla N°7: Validación Base Datos (BD).....	24
Tabla N°8: Obtención Escenarios Simulación Inicio Proyecto	25
Tabla N°9: Obtención Escenarios Simulación	25
Tabla N°10: Obtención Escenarios Simulación Inicio Proyecto	27
Tabla N°11: Obtención Escenarios Simulación	27
Tabla N°12: Sensibilización Ponderadores	28
Tabla N°13: Plazo y Costo Estimado Proyecto.	31
Tabla N°14: Jerarquización Riesgos Plazos Inicio Proyecto.....	31
Tabla N°15: Parámetros entrada Simulación CB plazo.....	32
Tabla N°16: Parámetros entrada Simulación CB costos.....	34
Tabla N°17: Parámetros entrada Simulación CB plazo 25% avance construcción ..	36
Tabla N°18: Parámetros entrada Simulación CB costos 25% avance construcción	37

Tabla de Gráficos

Gráfico 1: Impacto Riesgos Plazos Base Datos.....	33
Gráfico 2: Resultado Simulación Riesgos Plazo	34
Gráfico 3: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Plazo.....	34
Gráfico 4: Resultado Simulación Riesgos Costo.....	35
Gráfico 5: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Costo	36
Gráfico 6: Resultado Simulación Riesgos Plazo 25% avance.....	37
Gráfico 7: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Plazo 25% avance	38
Gráfico 8: Resultado Simulación Riesgos Costo 25% avance	39
Gráfico 9: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Costo 25% avance.....	39

Tabla de Ilustraciones

Ilustración N°1: Proyectos en ejecución Fundición Caletones.....	11
Ilustración N°2: Programa de Trabajo	13
Ilustración N°3: Programa Maestro Proyecto	19
Ilustración N°4: Sistema Reducción de Emisiones	28
Ilustración N°5: Planta Tratamiento Agua Sistema Reducción de Emisiones.....	29

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo aborda la ejecución de proyectos, los cuales son necesarios implementar en todo tipo de compañías que quieran mantener un crecimiento sostenido en el tiempo.

En Chile los principales proyectos son del tipo minero/industrial, muchos de los cuales involucran grandes inversiones y extensos plazos de ejecución. Al investigar el desempeño que han tenido en los últimos años la ejecución de estos proyectos, se observan bajos niveles de cumplimiento en cuanto al costo y al plazo de ejecución de éstos. Debido a esto, no se logra el éxito durante la ejecución del proyecto, por el contrario, generan problemas y muchas veces terminan en reclamos, arbitrajes y disputas entre empresas mandantes y contratistas.

El Project Management Institute (PMI) e Independent Project Analysis (IPA) hace bastante tiempo se encuentran trabajando en establecer procesos de gestión orientados a lograr el éxito en la ejecución de los proyectos. Dentro de estos procesos, se genera el módulo de Gestión de Riesgos, que establece una secuencia de procesos para gestionar los riesgos de cada proyecto.

El presente trabajo genera un procedimiento rápido y confiable para realizar una identificación, análisis cualitativo y cuantitativo de los riesgos del proyecto.

Para iniciar el análisis se elabora una base de datos con los principales riesgos comunes, clasificándolos y cuantificando su impacto en costo y plazo. Posterior a ello se establece un procedimiento que, utilizando esta base de datos (historia) más el juicio de expertos y los datos de desempeño propios del proyecto, permite conocer en cualquier etapa de la ejecución del proyecto, cuál será el costo y plazo final del proyecto con un grado de certidumbre previamente definido.

Esta información resulta fundamental de conocer tanto para empresas mandantes como para empresas contratistas, ya que permite generar estrategias y gestión a partir de distintos escenarios. Por ejemplo, en el caso de los proyectos mineros para el mandante son claves los plazos, ya que se comprometen producciones, detenciones de planta, coordinaciones con operaciones y mantención (clientes internos). En tanto, para los contratistas el costo es fundamental al elaborar sus ofertas económicas; para las licitaciones deben estimar contingencias las que comúnmente deben estar alineadas con los niveles de riesgos que maneja la propia empresa.

La administración de riesgo pasó a ser una función vital y fundamental que impacta significativamente en el éxito de un proyecto. Hoy en día las buenas decisiones van acompañadas de un análisis de riesgos y estrategias para afrontarlos.

ABSTRACT

The present thesis focuses on the execution of projects, which are necessary to implement in all types of companies that want to maintain a sustained growth over time.

In Chile, the main projects are of the mining / industrial type, many of which involve large investments and extensive execution periods. Investigating the performance of these projects in recent years, we find low levels of compliance in terms of cost and the execution time of these projects. Success in the execution of the project is not achieved. On the contrary, they generate problems and often end up in claims, arbitrations and disputes between the companies that are the principal and contractors.

The PMI and EPA have been working for some time to establish project management processes aimed at achieving success in the execution of the projects. Within these processes, the Risk Management module is generated, which establishes a sequence of processes to manage the risks of each project.

The present thesis generates a fast and reliable procedure to carry out an identification, qualitative and quantitative analysis of the risks of the project.

To start the analysis, a database with the main common risks will be prepared, classifying them and quantifying their impact on cost and time. After that, a procedure is established which, using this database (history) plus the expert judgment and the performance data of the project, allows to know, at any stage of the execution of the project, what the cost and final term of the project will be project with a degree of certainty previously defined.

This information is essential to know both for mandator and contractor companies, since it allows to generate strategies and managements from the different scenarios. For example, in the case of mining projects for the mandator, deadlines are key, since they involve production, plant detentions, coordination with operations and maintenance (internal customers). As for the contractors, the cost is fundamental when preparing their economical offer for tendering, they must estimate contingencies that commonly must be aligned with the levels of risks that the company itself handles.

Risk management has become a vital and fundamental function that significantly impacts the existence of a project. Nowadays, good decisions are accompanied by an analysis of risks and strategies to face them.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Toda organización o empresa sin importar su tamaño o rubro se ve enfrentada, en algún momento, a la necesidad de ejecutar un proyecto. Dentro de la Administración formal de proyectos se ha generado un capítulo específico para la gestión de riesgos, los cuales determinan en gran medida el éxito de un proyecto.

Según el PMI, el riesgo en un proyecto es un evento o condición incierta que, si ocurre, tiene un efecto positivo o negativo en al menos un objetivo del proyecto, sea este plazo, costo, alcance o calidad.

De acuerdo lo indicado por el IPA (Independent Project Analysis) un proyecto fracasa si sucede cualquiera de los siguientes criterios:

- El costo se excede en más de 25%
- El plazo total se excede en más de 25%
- Hay serios problemas operacionales.

Según IPA, en un análisis de 300 mega proyectos industriales y mineros a nivel mundial, un 65% de ellos caerían en la clasificación de fracaso o con fallas graves ⁽⁷⁾.

En Chile los proyectos de mayor envergadura se desarrollan en el sector minero, pasando de ejecutar mayoritariamente proyectos Greenfield en el pasado, a la ejecución de proyectos Brownfield en la actualidad.

En el presente estudio se presenta una metodología que tiene por objetivo mejorar el desempeño de los proyectos industriales/mineros del tipo Brownfield, mediante la implementación de una metodología específica de gestión de riesgos.

La presente metodología se enfoca en los objetivos de costo y plazo.

El proceso completo de la administración de riesgos requiere de un análisis balanceado entre beneficios y costos (oportunidades y amenazas), para lo cual se debe contar con un pensamiento riguroso y proactivo.

1.2 ORIGEN Y PROPOSITO DEL ESTUDIO

Chile es un país que depende económicamente de manera importante del desarrollo de la industria minera, las plantas mineras/industriales en donde se procesan estos minerales tienen larga data en nuestro país, por tanto, para ampliar, actualizar y optimizar sus procesos se realizan una serie de inversiones y proyectos, los cuales se deben ejecutar sin interrumpir las operaciones actuales de la empresa “la producción no puede parar”.

El presente estudio busca mejorar el desempeño de los proyectos industriales/mineros del tipo brownfield, mediante la implementación de un procedimiento específico de gestión de riesgos.

Como resultado de este trabajo, tanto la empresa mandante como el contratista tendrán una herramienta que les permita realizar un análisis de riesgos de manera rápida, tanto al inicio del proyecto contando con todos los antecedentes de riesgos detectados en proyectos similares, así como cuando el proyecto esté en ejecución y esté presentando problemas de desempeño, realizando una rápida evaluación y pronóstico tanto de los plazos como de los costos actuales y a término del proyecto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Definir una estrategia y metodología de análisis de riesgo a aplicar en los proyectos industrial/mineros del tipo brownfield durante el ciclo de vida del proyecto, de manera de resguardar en todo momento el éxito del proyecto en cuanto a costo y plazo. Esta trabajo entrega una manera de rápida y efectiva de diagnosticar, evaluar y cuantificar los riesgos a la gran cantidad de proyectos que se ejecutan en esta industria y que constantemente presentan problemas durante su ejecución dado que al ser del tipo brownfield presentan constantes detenciones, interferencias, descoordinaciones, problemas técnicos de ingeniería, problemas con los stakeholders, etc., que los hace ser difícil de ejecutar y generan problemas de incertidumbre en costos y plazos tanto para la empresa que los ejecuta (contratista) como para el dueño (cliente).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento del desempeño de los proyectos en la industria, elaborar un listado de riesgos más frecuentes que presentan este tipo de proyectos brownfield
- Seleccionar el marco conceptual en cuanto a la gestión de riesgos, aplicado a los proyectos del tipo brownfield.
- Agrupar y categorizar estos riesgos, evaluar sus impactos y consecuencias.
- Definir tipos de análisis cualitativos y cuantitativos que más aplican a este tipo de proyectos.
- Aplicar un análisis cualitativo y cuantitativo confiable que permita estimar con un adecuado grado de certidumbre la duración y el costo de un proyecto. La idea es que esto se pueda aplicar en cualquier etapa del ciclo de vida del proyecto.
- Mostrar ejemplos de aplicación de esta metodología.

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance es entregar una herramienta capaz de evaluar de manera rápida y confiable un análisis de riesgos en proyecto y dar respuesta a la pregunta cuándo termina el proyecto y cuánto costará, con un grado de certeza apropiado que incluye un análisis probabilístico.

Este estudio está circunscrito a los proyectos industriales y mineros del tipo brownfield. Puede ser empleado tanto por las empresas contratistas como las empresas mandantes que ejecutan proyectos. Si es aplicado por mandantes se recomienda que sea aplicado por profesionales con conocimientos o experiencia en la metodología de gestión de proyecto del PMI.

A modo de ejemplo se muestran los proyectos en ejecución en los últimos 4 años en la Fundición Caletones de la División El Teniente (DET). Para cumplir con la nueva normativa de emisiones que comienza a regir en diciembre de 2018, DET se encuentra ejecutando varios proyectos en instalaciones antiguas, con poco espacio y mucha interferencia con operaciones. En la siguiente Ilustración se muestran los proyectos actualmente en ejecución.



Ilustración N°1: Proyectos en ejecución Fundición Caletones

Este estudio es válido para proyectos Brownfield es decir que se desarrollen en ampliaciones de plantas industriales, cambios de equipos, modernización, etc, de plantas productiva que se encuentren en operación. A modo de ejemplo en la Fundición Caletones trabajan 5 empresas constructoras, que son administradas por 3 Direcciones de la Gerencia de Proyectos, y la vez se encuentran en operaciones Las Plantas de Limpieza de Gases y la Nave de Convertidores. Además, es un sector de tránsito hacia el proyecto estructural Nuevo Nivel Mina de la Vicepresidencia de Codelco. Las mantenciones periódicas se realizan una vez a la semana (4 horas) y

existe una detención general anual de 25 días en el mes de marzo. Por tanto, en este tipo de ambiente es donde es válida la presente metodología.

El presente estudio se centra en los procesos de: Identificación de Riesgos, análisis cualitativo y cuantitativo, quedando para un estudio futuro la planificación de respuesta al riesgo.

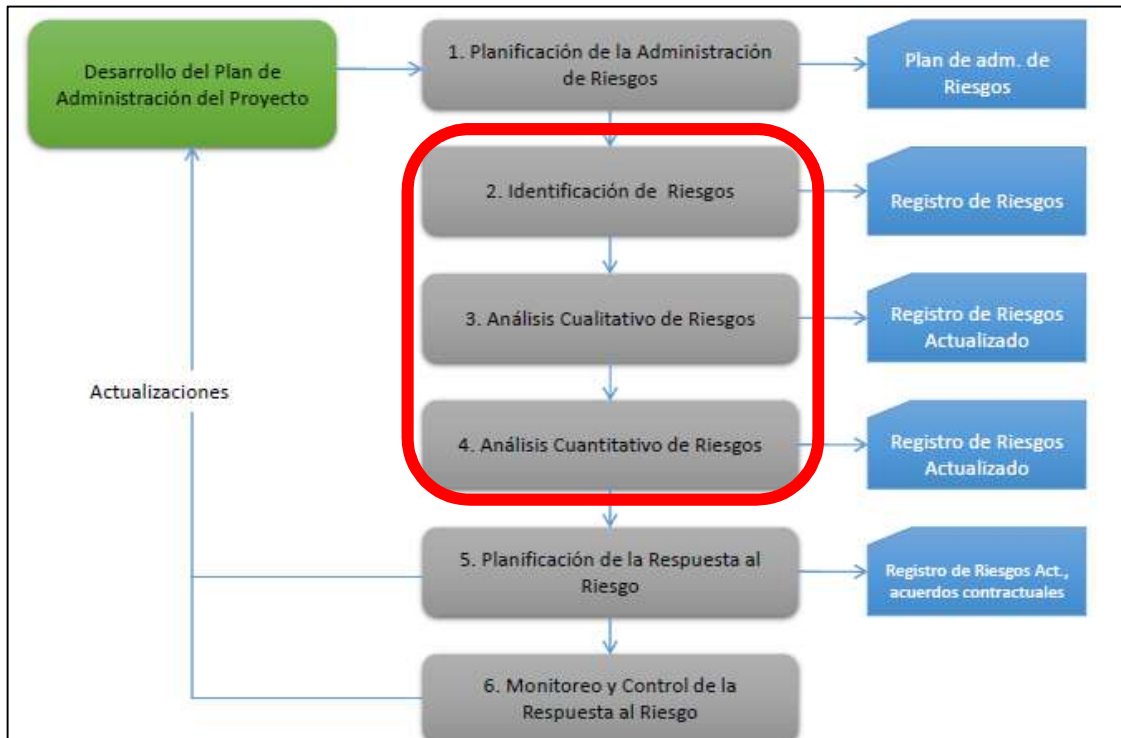


Ilustración N°2: Etapas administración de riesgos.

1.5 METODOLOGIA DE TRABAJO

Para cumplir con el presente trabajo se define un plan de actividades, partiendo por la elaboración de un listado de actividades necesarias, para continuar con una secuencia y determinación de los plazos estimados para cada una de ellas. En la siguiente figura se resume el programa definido para concretar el trabajo en el tiempo y calidad adecuada.

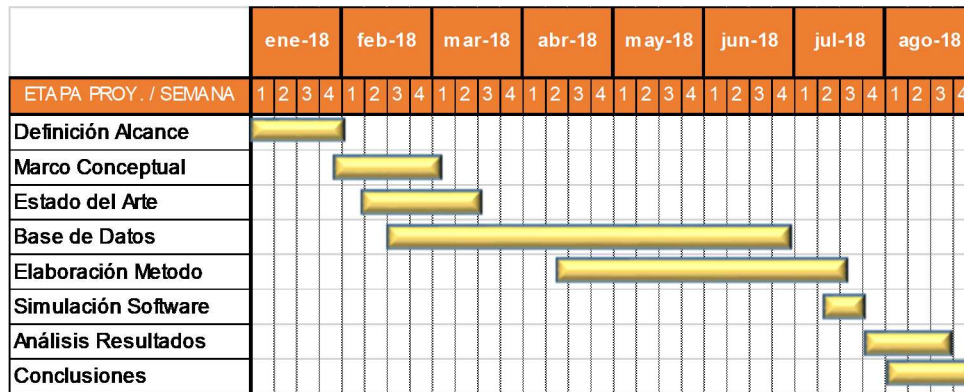


Ilustración N°3: Programa de Trabajo.

Claramente la primera actividad es diagnosticar el problema y verificar su importancia para el negocio. Una vez confirmado el alcance se procede a investigar el marco conceptual y estado del arte, para ello se utiliza preferentemente la metodología en gestión de proyectos del PMI, que profesionaliza la Administración de Proyectos como una rama formal, incluso promueve a instalar dentro de las organizaciones la creación de las PMO (Project Management Office). En cuanto a la metodología específica de gestión de riesgos, en términos generales se utiliza nuevamente el PMI, pero en términos más específicos, numéricos, probabilísticos, la investigación o búsqueda de información se centra básicamente en manuales de empresas, cursos, charlas, y publicaciones. A partir de esta revisión, se elabora un listado de riesgos genéricos para proyectos brownfield en la ejecución de las etapas de ingeniería y construcción.

Antes de terminar con el marco conceptual y del estado del arte, se da inicio a la elaboración de la base de datos de proyectos, que es la actividad más extensa del estudio, donde se consolida información de catorce (14) proyectos en distintas etapas, ingenierías tanto de perfil, prefactibilidad, detalles, así como proyectos en etapa de construcción y contratos EPC (ingeniería detalles y construcción). Se recopila información al impacto de los riesgos en los costos y los plazos que se registraron en la ejecución por medio de entrevistas, informes de cierre, lecciones aprendidas, protocolos de obra, informes de ITO, entre otros. (ver base de datos en Anexo). Se comprueba el bajo desempeño en costos y plazos en la ejecución de estos proyectos.

A continuación se procede a la elaboración de un método que contiene un listado específico de riesgo identificados para este tipo de proyecto, considerando la información recolectada, en la bases de datos de proyectos similares recientes. Posterior a ello y considerado el marco conceptual y estado del arte se procede a

definir a desarrollar un método de análisis cualitativo, del cual se identifican los principales riesgos que pasan a la siguiente etapa de análisis cuantitativo.

Finalmente, para resolver el problema matemático que considera modelaciones dinámicas de varias variables o escenarios, se busca un software capaz de efectuar una simulación dinámica con múltiples escenarios (Montecarlo) de tal forma de obtener poder dar respuesta al objetivo principal del presente estudio:

¿Cuándo terminará el proyecto? ¿Cuál será su costo?

Lo que ayuda notablemente en la toma de decisiones o cursos de acciones en ambientes sujetos a efectos de incertidumbre.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes del Estado del Arte

La administración de riesgos hoy en día ya forma parte integral de los proyectos de mediana a gran envergadura.

El Project Management Institute (PMI) en su guía PMBOK lo incorpora como un área de conocimiento y define la manera de gestionarlo.

En los proyectos industriales / mineros se ejecuta al inicio del proyecto este análisis de riesgos, al menos la evaluación cualitativa y cuantitativa, para estimar con un grado de certeza mayor el plazo de duración del proyecto y los costos, el cual sirve también para calcular las contingencias, las cuales forman parte de los fondos solicitados para ejecutar el proyecto.

En el caso del análisis cualitativo, este se realiza con el mismo equipo del proyecto o en ciertas ocasiones con asesores externos expertos en proyectos similares. Para el caso del análisis cuantitativo se utilizan distintos software disponibles en el mercado, dentro de los cuales el más completo es el Primavera Risk, el cual permite obtener ruta crítica de programas valorizados y posterior a ello realizar el análisis de riesgo. Los inconvenientes son su dificultad de uso, poca información histórica, base de datos poco confiable, elevado costo.

En el presente estudio se usa el Crystal Ball para simular los múltiples escenarios, este software se puede descargar de manera gratuita de internet (al menos la versión de prueba que es suficiente para el presente estudio), el análisis y la modelación es rápida, sencilla y confiable. Permite la aplicación de más de 16 funciones de distribución de probabilidad para cada una de las variables, en este caso se utiliza la distribución triangular para todas las variables.

2.2 Marco Teórico

La Administración de Proyectos define de manera formal una serie de actividades para la gestión de riesgos

- **Planificación de la Administración de Riesgos**

Se genera un plan de administración de riesgos, el cual debe ser creíble, confiable y acordado por el equipo del proyecto. Este debe contener al menos:

- Objetivos y alcance.
- Roles y responsabilidades.
- Actividades del proceso de administración de riesgos a realizar.
- Presupuesto para implementar el proceso de administración de riesgos.
- Programación e hitos.
- Modelos de evaluación e interpretación (técnicas y herramientas).

- Límites (determinación de que riesgos deberán ser manejados con acciones concretas).
- Formatos de registro y reporte de riesgos.
- Seguimiento, monitoreo y control.

Junto con una buena planificación del negocio y estudio pre-inversional, uno de los factores de éxito consiste en la correcta aplicación de este plan a lo largo de las distintas etapas del proyecto.

- **Identificación de Riesgos**

Proceso necesario para determinar que eventos (riesgos) podrían afectar al proyecto o contrato y documentar sus características. Se realiza previo a la firma de contrato, al inicio de éste y periódicamente durante su ejecución. Se determina como estos riesgos afectan a los objetivos del proyecto: costo, plazo, calidad, alcance. Algunas de las técnicas para identificar los riesgos son:

- Consultar a los stakeholders (interesados)
- Preguntar a los expertos
- Realizar talleres de riesgo
- Usar listas de chequeos de riesgos posibles
- Aprender de proyectos anteriores (lecciones aprendidas)
- Diagramas de cola de pescado, causa efecto (Ishikawa)
- Mapas mentales
- Lluvia de ideas (brainstorming)

Se elabora una matriz de registro de riesgos, se agrupan por categorías, como técnicos, administración, organizacionales, operacionales, etc.

- **Análisis Cualitativo de Riesgos**

Se examina cada riesgo identificado para determinar su probabilidad de ocurrencia y la consecuencia o impacto. Se priorizan para su posterior análisis o acción, por medio de la combinación de la probabilidad y consecuencia. Comúnmente se elabora una matriz que muestra en un eje la probabilidad y en el otro a consecuencia, ambos valores se multiplican y se obtiene finalmente la categoría del riesgo: alto, medio, bajo, etc.

Para el caso de la probabilidad, esta se asigna asumiendo que los controles administrativos se encuentran implementados, es evaluada usando juicios respaldados con la entrega de descripciones cualitativas, se asegura la participación de personas con experiencia y conocimiento actualizado.

Para el caso de la consecuencia es evaluada en base al “peor resultado creíble” que podría ocurrir sin controles operando (riesgo no mitigado). Mirar simplemente los escenarios “más probables” no brinda un entendimiento completo de las amenazas creíbles y, por lo tanto, de los niveles de control requeridos. Se debe analizar también los escenarios extremos, de menor probabilidad pero de alto impacto.

- **Análisis Cuantitativo de Riesgos**

Es el proceso necesario para analizar numéricamente el impacto (en términos de monetarios y tiempo) de los riesgos identificados. Este análisis permite determinar los fondos de contingencia para el proyecto o contrato. A su vez, permite homologar las distintas alternativas de solución (ofertas), que se evalúan en función de la magnitud de los riesgos de cada una.

Se puede utilizar el método Project Evaluation and Review Techniques (PERT) para cuantificar el riesgo, el cual sirve para tomar en cuenta el riesgo en la programación del proyecto. Este método que se encuentra implementado en distintos software como MS Project, Primavera, etc, permite ingresar los valores optimista, más probable y pesimista para luego hacer análisis probabilísticos.

- **Planificación de la Respuesta al Riesgo**

Este proceso es necesario para:

- Desarrollar opciones y acciones para mitigar los riesgos.
- Mayor énfasis debe estar en eliminar las causas.
- Aprovechar nuevas oportunidades.
- Reducir las amenazas a los objetivos del proyecto/contrato.

Existen estrategias de respuesta al riesgo:

- Transferencia: por ejemplo, mediante la contratación de seguros.
- Mitigación: reducción ya sea de la probabilidad o impacto del riesgo.
- Aceptación: provisión de reservas.
- Eliminación: eliminar la amenaza actuando sobre la causa, ejemplo cambio de diseño.
- Postergación: retrasando la tarea.

Además, en la etapa ejecución de los proyectos, existe una jerarquía de gestión de repuestas al riesgo, desde el enfoque en el peligro hasta el enfoque en la persona (los dos últimos).

- Eliminar: la completa eliminación del peligro.
- Sustituir: reemplazo del material, sustancia o proceso por uno menos peligroso.
- Rediseño: rediseñar el equipamiento o proceso.
- Separar: Aislamiento del peligro mediante segregación o confinamiento.
- Administrar: Proveer controles tales como capacitación, procedimientos, etc.
- Elementos de Protección Personal: Uso EPP apropiados en sectores donde los controles no sean prácticos.

Se recomienda que previo a la firma de un contrato, tener en cuenta:

- Hacer una evaluación de riesgos.
- Explicitar mecanismos de solución en caso de ocurrencia de eventos adversos.

- Definir explícitamente términos como confiabilidad, disponibilidad, falla, tasa de falla, límites de batería, etc.
- Definir explícitamente condiciones de prueba medioambientales, de almacenamiento.
- Incluir los periodos de garantía (definiendo claramente cuando se inicia) stock de repuestos críticos, etc.
- Respecto de las garantías, particular atención con las fallas generadas por equipos de terceros.

- **Monitoreo y Control de la Respuesta al Riesgo**

Este proceso es necesario para:

- Efectuar el seguimiento de los riesgos identificados.
- Monitorear los riesgos residuales.
- Identificar nuevos riesgos.
- Ejecutar planes de respuesta a los riesgos
- Evaluar su efectividad durante el ciclo de vida del proyecto.
- Mantener comunicación con los stakeholders respecto de los riesgos.

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Se propone elaborar un procedimiento que, por un lado, considere las herramientas teóricas existentes en la actualidad de acuerdo al estado del arte, pero que se incluyan las variables cuantitativas que pueden ser obtenidas de datos reales de los proyectos en ejecución. El método propuesto estima los plazos y costos de proyectos en base a la siguiente información:

- Juicio de Expertos (JE).
- Base de Datos (BD) Proyectos Similares.
- Proyecto en Ejecución (Proy.).

A continuación se detallan los pasos a seguir para la ejecución del método propuesto

3.1 Riesgo en Plazo

- **Paso 1: Generar escenarios de riesgos**

En esta primera etapa, se revisa la aplicabilidad del método de análisis de riesgos al contrato en estudio, definiendo los posibles escenarios que se puedan presentar en el desarrollo del proyecto y determinando los plazos más probables del contrato.

- **Paso 2: Análisis de programas existentes**

Se deberá revisar en detalle el programa del contrato analizado con el objeto de verificar que no existan holguras negativas y la totalidad de las actividades se encuentren valoradas y ligadas. Posteriormente se identifica la ruta crítica del proyecto, identificando la duración en la ruta crítica de cada una de las partidas que firman parte ella. Se elabora un listado que incluye la duración de cada una de estas partidas (Programa Maestro), indicando cuantos días se necesitan para comenzar con la siguiente partida (relación de precedencia Fin-Término). Ver el siguiente esquema.

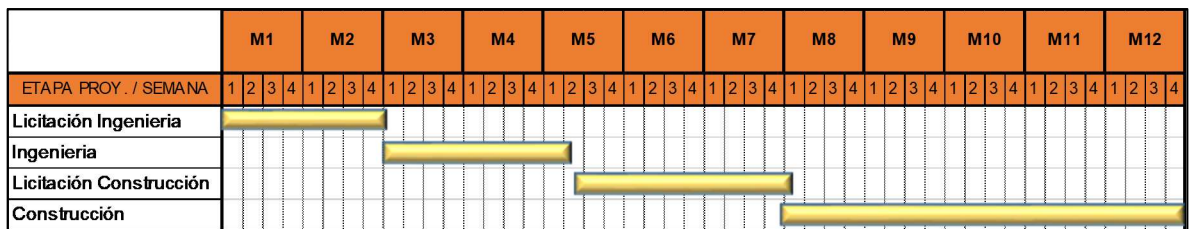


Ilustración N°3: Programa Maestro Proyecto

En este caso la duración de cada una de las actividades en la ruta crítica es:

Etapa Proyecto	Duración (días)
Licitación Ingeniería	60
Ingeniería	64
Licitación Construcción	72
Construcción	135

Tabla N° 1: Duración Etapa en Ruta Crítica

En el caso del método descrito en la presente tesina, este análisis se hace a un nivel de desagregación mayor, es decir para cada una de las actividades de las 4 etapas indicadas la Tabla N°1

- **Paso 3: Identificación de las variables de riesgo del proyecto**

En este proceso se determinan los riesgos que pueden afectar el plazo del proyecto, analizando las interferencias más frecuentes para este tipo de proyectos, con lo cual se comienza a formar una Base de Datos que se utilizará posteriormente tanto en el análisis cualitativo como cuantitativo de riesgos.

A continuación estos riesgos se agrupan en relación a las áreas de origen, por ejemplo para:

Licitaciones Ingeniería

Administrativas: pocas empresas en el mercado, aprobación de fondos, excesivo iteraciones con otras gerencias (Abastecimientos).

Técnicas: definición muy vaga del proyecto, problemas definición alcance con cliente, poca información, poco énfasis en personal clave, solo foco en el nombre de empresas.

Ingeniería

Técnicas: se analizan demasiadas opciones, no se encuentran bien acotado el alcance, bajo involucramiento del cliente final (usuario), bajo nivel toma de decisión del equipo de ingeniería.

Constructivas: mala estimación de plazo de construcción, pocas visitas a terreno, quedan muchas interferencias sin detectar, exceso de entregables (planos y documentos) que no aportan al proyecto.

Licitaciones Construcción

Técnicas: personal no que participa licitación no forma parte de la etapa construcción, exceso de documentos etapa licitación.

Gestión: contratitas ofertan plazos poco reales, se subestiman los aspectos de seguridad y salud ocupacional.

Construcción

Administrativo y gestión: interrupciones por falta de permisos, deficiente gestión de adquisiciones, no uso metodología formal administración proyectos, poco apoyo de la plana ejecutiva de la organización, interferencias por capacitaciones y procedimientos de certificación, regulaciones y aprobación de permisos, excesivos documentos de seguridad y reuniones corporativas.

Operacionales: accidente y/o incidente en obra, baja productividad en relaciona al o programado, mala calidad de los materiales en obra, complejidad mayor a lo esperado, re ejecución de trabajos, interferencias en obras civiles (hallazgos infraestructura), interferencia con áreas de otros proyectos en ejecución, interferencia

con áreas de operación y mantención, demora en traslados y/o instalaciones, poca toma de decisión en terreno, imprevistos de ingeniería, disponibilidad de botaderos.

Equipos: bajo rendimiento, fallas mecánicas, fallas eléctricas, disponibilidad, mantenciones.

Dotación: disponibilidad mano obra, experiencia y calificación del personal.

Contingencias: condiciones de tiempo desfavorable, eventos de fuerza mayor, paro y/o manifestaciones.

Servicios: demora en llegada de materiales de construcción, inconvenientes con la inspección técnica de obra (ITO), problemas con los servicios (agua, luz, alcantarillado).

Planificación: aumentos de obra, mala capacidad de planificación, recursos no adecuados.

- **Paso 4: Análisis Cualitativo**

Con la misma categorización de la etapa anterior, se realiza una calificación por parte de un grupo de expertos de la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias del riesgo identificado.

Se tendrán en consideración los siguientes criterios para calificar las ocurrencias y los impactos:

Criterio	Ocurrencia
Casi cierto	0,9
Probable	0,7
Posible	0,4
Poco Probable	0,2
Improbable	0,1

Tabla N° 2: Ponderación Ocurrencia Riesgo

Criterio	Consecuencia
Catastrófico	0,9
Mayor	0,6
Moderado	0,4
Menor	0,2
Insignificante	0,1

Tabla N° 3: Ponderación Impacto Riesgo

A partir de estas dos tablas se elabora la matriz de riesgo resultante

Ocurrencia / Consecuencia		Improbable	Poco Prob.	Posible	Probable	Casi Cierto
		0,1	0,2	0,4	0,7	0,9
Catastrófico	0,9	0,09	0,18	0,36	0,63	0,81
Mayor	0,6	0,06	0,12	0,24	0,42	0,54
Moderado	0,4	0,04	0,08	0,16	0,28	0,36
Menor	0,2	0,02	0,04	0,08	0,14	0,18
Insignificante	0,1	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09

Tabla N°4: Matriz de Riesgo Resultante Análisis Cualitativo

El criterio de aceptabilidad del riesgo adoptado se indica en el siguiente cuadro:

Riesgo		Puntaje entre
Alto	●	0,45 - 0,81
Medio	●	0,30 - 0,45
Bajo	●	0,05 - 0,30
Muy Bajo	●	0,01 - 0,05

Tabla N°5: Aceptabilidad de Riesgos

Luego todos los riesgos que indiquen califiquen de bajo hacia arriba pasan al análisis cuantitativo del siguiente paso.

- **Paso 5: Análisis Cuantitativo**

Como se indica al inicio de la propuesta se utilizarán tres fuentes de información: juicios de expertos, base de datos y la historia o desempeño del proyecto en particular, los cuales se definen a continuación:

Juicio de Expertos: Se solicita la opinión a profesionales expertos en proyectos similares al que está siendo evaluado, para obtener una estimación del plazo optimista y pesimista para cada una de las actividades del proyecto.

Base Datos: Se elabora una base de datos con proyectos recientes y de similares características, por medio de encuestas, lecciones aprendidas e informes de cierre, se recopilan antecedentes para cuantificar cuales fueron los principales riesgos y se cuantifica el retraso o sobretiempo (días) que significó cada uno de estos riesgos en los proyectos. Los proyectos considerados fueron:

Proyecto	Etapas	Costo (USD)	Plazo (días)
Prefactibilidad Sistema Reducción Emisiones (SRE)	Ing. Pref.	1.500.000	180
Ingeniería Obras Tempranas	Ing. Básica	6.500.000	330
EPC Reducción Emisiones	Ing. Det. y Const.	50.000.000	540
Estudio Geotecnico Planta Limpieza Gases	Ing. Det. y Const.	600.000	150
Alimentación Eléctrica SRE.	Const.	500.000	150
Ampliación Casa Blanca, Fundición Caletones	Ing. Det. y Const.	250.000	150
Ingeniería Perfil Torre Absorción PLG	Ing. Perfil	50.000	90
Reemplazo Torre Absorción PLG N°1	Ing. Det. y Const.	16.000.000	360
Ingeniería Básica Proyecto ACB	Ing. Básica	3.500.000	300
EPC Proyecto Aumento Capacidad Beneficio (ACB)	Ing. Det. y Const.	38.000.000	420
Ingeniería Perfil Reemplazo Puente Grúa	Ing. Perfil	800.000	90
Obras Civiles Reemplazo Puentes Grúa	Const.	4.000.000	270
Estructura y Obras Eléc. Reemplazo Puentes Grúa	Const.	7.000.000	360

Proyecto	Etapas	Costo (USD)	Plazo (días)
Ingeniería Pref. Reemplazo Puentes Grúa	Ing. Pref.	2.200.000	240
Total Base Datos (BD)		130.900.000	3.630

Tabla N°6: Proyectos Considerados Para Base Datos (BD)

Ahora bien, para comprobar la suficiencia de estos datos, se procedió comparar con los que indica la Metodología de los Portones (FEL) de Administración de Proyectos, la cual considera las siguientes etapas, porcentajes de montos y plazos para proyectos:

Proyecto	Metodología Portones		Base Datos (BD)			
	Inversión	Duración	Inversión (USD)	Duración (días)	Inversión	Duración
FEL 1	1%.	5%	850.000	180	0,6%	5,0%
FEL 2	4%	11%	3.700.000	420	2,8%	11,6%
FEL 3	10%	21%	10.000.000	630	7,6%	17,4%
EPC	85%	63%	116.350.000	2.400	88,9%	66,1%

Tabla N°7: Validación Base Datos (BD)

Por lo tanto, al sumar la base de datos por etapas de proyecto se encuentran porcentajes similares en cuanto a costo y plazo a lo indicado por la metodología FEL para un proyecto estándar.

Historia de Proyecto: Es la información del desempeño del propio proyecto en ejecución, la cual es muy útil para determinar el análisis del riesgo una vez que el proyecto ya se encuentra en ejecución, esta historia del propio del proyecto, incluye los riesgos que se han materializado y el registro del impacto que han tenido en los plazos del proyecto.

Finalmente, con estas tres fuentes de información se elabora un cuadro se procede a obtener los valores optimista y pesimistas para la estimación de duraciones de actividades, de la siguiente manera:

$$\text{Estimación Optimista (CB)} = C_0 * \text{Juicio Experto}$$

$$\text{Estimación Pesimista (CB)} = C_1 * \text{Juicio Experto} + C_2 * \text{Base Datos} + C_3 * \text{Proyecto}$$

El valor de los ponderadores C_0 , C_1 , C_2 y C_3 se puede apreciar en la siguiente tabla (para ver un análisis de sensibilidad de estos factores ver Capítulo 5.3.

	Inicio				Simulación CB	
	Optimista	Pesimista			Optimista	Pesimista
Etapa Proyecto	Juicio Experto	Juicio Experto	Base Datos	Proyecto	A usar en Crystal Ball	A usar en Crystal Ball
Lic. Ingeniería	15%	15%	7%	0%	15%	11%
Ingeniería	10%	30%	23%	0%	10%	27%
Lic. Const.	15%	20%	9%	0%	15%	14%
Construcción	10%	35%	61%	0%	10%	48%
Ponderador	1,00	0,50	0,50	0,00		

Tabla N°8: Obtención Escenarios Simulación Inicio Proyecto

Ahora bien para el caso de un proyecto en ejecución, por ejemplo con un avance del 25% de la etapa de construcción.

	Avance 25% Etapa Construcción				Simulación CB	
	Optimista	Pesimista			Optimista	Pesimista
Etapa Proyecto	Juicio Experto	Juicio Experto	Base Datos	Proyecto	A usar en Crystal Ball	A usar en Crystal Ball
Lic. Ingeniería	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ingeniería	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Lic. Const.	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Construcción	10%	30%	61%	20%	10%	40%
Ponderador	1,00	0,40	0,40	0,20		

Tabla N°9: Obtención Escenarios Simulación

El ponderador del Proyecto aumenta de 0 al inicio del proyecto a 0,2, debido a que, si bien se consideran proyectos de naturaleza similar, se puede dar el caso de que el rendimiento del contratista sea muy distinto o particular a lo que habitual del mercado. Queda pendiente para un futuro estudio la calibración de este ponderador por medio de aplicación de este método en suficientes proyectos que permitan generar datos para poder calibrarlo.

- **Paso 6: Simulación Crystal Ball**

Ahora solo basta utilizar los porcentajes optimista y pesimista obtenidos para simular el proyecto en el software Crystal Ball, para ello se listan todas las actividades del proyecto que forman parte de la ruta crítica con su respectiva duración estimada, luego con aplicando los porcentajes obtenidos en el paso anterior se obtiene las duraciones optimistas y pesimistas. Luego se selecciona distribución triangular (mejor aplica en proyectos) y se procede a ejecutar la simulación. El software realiza 1000 iteraciones para entregar los resultados distribución de probabilidades de excedencia, también se puede obtener grafico de tornado para identificar los factores de riesgo principales y localizar las actividades que están provocando el problema. Esta información que permitirá complementar la toma de decisiones al momento de asumir estrategias.

3.2 Riesgo en Costo

Para el costo la metodología propuesta presenta algunos pasos similares a la definida para el plazo.

- **Paso 1: Generar presupuesto del proyecto**

En esta primera etapa, se revisa la aplicabilidad del método de análisis de riesgos al contrato en estudio, determinando los costos más probables del contrato, es decir el presupuesto estimado del proyecto.

- **Paso 2: Análisis de presupuesto**

En el caso de los costos de los proyectos es necesario que estos tengan cierto nivel de agrupación, por ejemplo, de acuerdo al tipo de partida, es decir: indirectos, obras civiles, eléctricas, etc.

- **Paso 3: Identificación de las variables de riesgo del proyecto**

Se procede de la misma forma que en el caso del plazo descrito en el capítulo 7.2 Paso N°3 (Ver base datos Anexo)

- **Paso 4: Análisis Cualitativo**

Se procede de la misma forma que en el caso del plazo descrito en el capítulo 7.2 Paso N°4 (Ver base datos Anexo).

- **Paso 5: Análisis Cuantitativo**

Al igual que en caso del plazo se utilizan tres fuentes de información: juicios de expertos, base de datos y la historia o desempeño del proyecto en particular, los cuales se definen a continuación:

Juicio de Expertos: Se utilizan porcentajes usados comúnmente en el mercado, los cuales incorporan incertidumbres a los presupuestos para este tipo de proyectos.

Base Datos: Se elabora una base de datos con proyectos recientes y de similares características, por medio de encuestas, lecciones aprendidas e informes de cierre, se recopilan antecedentes para cuantificar cuales fueron los principales riesgos y se cuantifica el sobre costo (USD) que significó cada uno de estos riesgos en los proyectos.

Historia de Proyecto: Es la información del desempeño del propio proyecto en ejecución, la cual es muy útil para determinar el análisis del riesgo una vez que el proyecto ya se encuentra en ejecución, esta historia del propio del proyecto, incluye los riesgos que se han materializado y el registro del impacto que han tenido en los costos del proyecto.

Finalmente, con estas tres fuentes de información se elabora un cuadro se procede a obtener los valores optimista y pesimistas para la estimación costos de las actividades del proyecto, de la siguiente manera:

$$\text{Estimación Optimista (CB)} = C_0 * \text{Juicio Experto}$$

$$\text{Estimación Pesimista (CB)} = C_1 * \text{Juicio Experto} + C_2 * \text{Base Datos} + C_3 * \text{Proyecto}$$

El valor de los ponderadores C_0 , C_1 , C_2 y C_3 se puede apreciar en la siguiente tabla

	Inicio				Simulación CB	
	Optimista	Pesimista			Optimista	Pesimista
Categoría Actividad	Juicio Experto	Juicio Experto	Base Datos	Proyecto	A usar en Crystal Ball	A usar en Crystal Ball
Equipos Mecánicos	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Piping.	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Estructuras	20%	35%	24%	0%	20%	29%
OCC	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Movimiento Tierra	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Eléctrico	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Globales	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Indirectos	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Ponderador	1,00	0,50	0,50	0,00		

Tabla N°10: Obtención Escenarios Simulación Inicio Proyecto

Ahora bien, para el caso de un proyecto en ejecución, por ejemplo con un avance del 25% de la etapa de construcción.

	Avance 25% Etapa Construcción				Simulación CB	
	Optimista	Pesimista			Optimista	Pesimista
Etapas Proyecto	Juicio Experto	Juicio Experto	Base Datos	Proyecto	A usar en Crystal Ball	A usar en Crystal Ball
Categoría Actividad	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Equipos Mecánicos	20%	40%	24%	35%	20%	32%
Piping.	20%	35%	24%	35%	20%	30%
Estructuras	20%	40%	24%	35%	20%	32%
OCC	20%	40%	24%	35%	20%	32%
Movimiento Tierra	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Eléctrico	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Globales	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Indirectos	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Ponderador	1,00	0,40	0,40	0,20		

Tabla N°11: Obtención Escenarios Simulación

El ponderador del Proyecto aumenta de 0 al inicio del proyecto a 0,2, debido a que, si bien se consideran proyectos de naturaleza similar, se puede dar el caso de que el rendimiento del contratista sea muy distinto o particular a lo que habitual del mercado. Al igual que en el caso del plazo, queda pendiente para un futuro estudio la calibración de este ponderador por medio de aplicación de este método en suficientes proyectos que permitan generar datos para poder calibrarlo.

- **Paso 6: Simulación Crystal Ball**

Ahora solo basta utilizar los porcentajes optimista y pesimista obtenidos para simular el proyecto en el software Crystal Ball, para ello en una planilla se listan todas las partidas del proyecto que forman parte del presupuesto, luego aplicando los porcentajes obtenidos en el paso anterior se obtienen los costos optimistas y pesimistas. Luego se selecciona distribución de probabilidad triangular (mejor aplica en proyectos) y se procede a ejecutar la simulación. El software realiza 1000 iteraciones (modelo Montecarlo) hasta converger para entregar los resultados distribución de probabilidades de excedencia, también se puede obtener grafico de tornado para identificar los factores de riesgo principales y localizar las actividades que están provocando el problema. Esta información permitirá complementar la toma de decisiones al momento de asumir estrategias.

3.3 Análisis de Sensibilidad Ponderadores.

Si bien es importante notar que la calibración de los ponderadores se podrá obtener en una futura etapa una vez que este procedimiento haya sido aplicado en los proyectos, de forma de verificar su grado de incidencia en los resultados, se realizaron simulaciones para un proyecto resultando los siguientes resultados.

	Inicio Proyecto			
	Estimado	C1=0,5 y C2=0,5	C1=0,9 y C2=0,1	C1=0,1 y C2=0,9
Plazo (días)	333	359	361	366
Costo (CLP)	752.038.195	817.935.947	827.321.764	812.078.180
Dif. plazo	-	7,8%	8,4%	9,9%
Dif. costo	-	8,8%	10,0%	8,0%

Tabla N°12: Sensibilización Ponderadores

De la Tabla N°12 se puede inferir que al cambiar el valor de los ponderadores a los valores extremos, el resultado de la estimación del proyecto en plazo tiene un rango de variación de un 2,1%. En tanto para el caso del costo se presenta un rango de variación de un 2,0% lo cual es aceptable para este tipo de análisis bajo incertidumbre. Al aplicar el presente procedimiento en más proyectos este valor puede ser calibrado disminuyendo con ello este rango de variación.

4 CASO IMPLEMENTACIÓN ETAPA INICIAL PROYECTO

4.1 Descripción del Proyecto

Para comenzar se realiza una breve descripción del proyecto: “Planta Tratamiento de Agua Sistema Reducción de Emisiones”

Para la limpieza de los gases de su Fundición Caletones, la División El Teniente de CODELCO se encuentra desarrollando en etapa de construcción un Sistema de Reducción de Emisiones de SO₂ al medio ambiente de sus dos Plantas de Limpieza de Gases (PLG) con el propósito de cumplir la reglamentación enunciada en el D.S. 28.

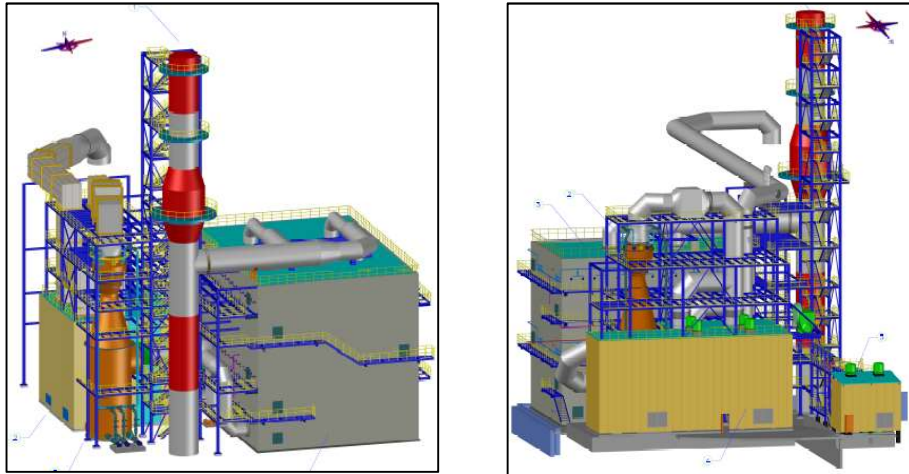


Ilustración N°4: Sistema Reducción de Emisiones

La operación de este Sistema de Reducción de Emisiones requiere una alimentación de agua que debe cumplir algunas exigencias de calidad importantes para su adecuado desempeño, por lo que es necesaria la instalación de una Planta de Tratamiento de Agua.

Estas plantas se alimentarán de agua proveniente desde planta de filtrado de agua de proceso de Caletones y deberá recibir el tratamiento adecuado para la mayor eliminación posible de sólidos contenidos (turbiedad) y de iones calcio disueltos. Para tal efecto se adquirió una planta para 50 m³/h de capacidad aproximado, esta adquisición incluye la ingeniería de detalles del proveedor.

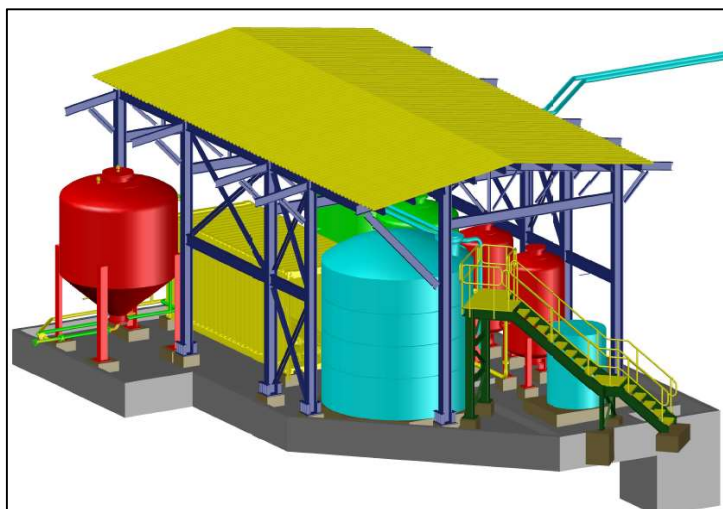


Ilustración N°5: Planta Tratamiento Agua Sistema Reducción de Emisiones

En el presente ejemplo se aplicará el método en el Proyecto Planta Tratamiento de Agua, previo al inicio de la etapa de licitación de la ingeniería.

A continuación se presenta el programa (plazo) y presupuesto estimado (costo) del proyecto, cabe mencionar que el suministro de la Planta no se considera en el análisis (Proveedor Ecosystem 200 \$MM).

Item	Disciplina	Descripción	Plazo	Costo
1		LICITACION INGENIERIA	60	6.432.000
1.1	General	Preparación antecedentes licitación	10	1.072.000
1.2	General	Publicación, consultas y respuestas	15	1.608.000
1.3	General	Preparación y Recepción ofertas	20	2.144.000
1.4	General	Evaluación y adjudicación	15	1.608.000
2		INGENIERIA	64	154.368.000
2.1	General	Recopilaciones antecedentes y acreditación pers.	5	12.060.000
2.2	General	Levantamiento de terreno	4	9.648.000
2.3	General	Definición proceso y layout mecánico	7	16.884.000
2.4	Civil-Estruc.	Ingeniería civil-estructural	10	24.120.000
2.5	Mec.-Pip.	Ingeniería mecánica-piping	15	36.180.000
2.6	Elec - Ins.	Ingeniería eléctrica-instrumentación	8	19.296.000
2.7	General	Bases técnicas construcción y presupuestos	15	36.180.000
3		LICITACION CONSTRUCCIÓN	72	7.718.400
3.1	General	Preparación antecedentes licitación	15	1.608.000
3.2	General	Publicación, consultas y respuestas	25	2.680.000
3.3	General	Preparación y Recepción ofertas	12	1.286.400
3.4	General	Evaluación y adjudicación	20	2.144.000
4		CONSTRUCCIÓN	135	583.519.795
4.1	General	Instalación de Faenas y Manejo Sitio	35	140.000.000
4.2	Civil	Obras Civiles	23	86.399.280
4.3	Mecánica	Equipos Mecánicos	8	62.823.215
4.4	Piping	Suministro y montaje cañerías y válvulas.	19	76.633.350

Item	Disciplina	Descripción	Plazo	Costo
4.5	Estructura	Estructura Metálica (techo)	18	71.901.400
4.6	Eléctrica	Obras Eléctrica	10	21.943.500
4.7	Instrument.	Instrumentación	20	97.219.050
4.8	PEM	Precomisionamiento y Puesta en Marcha	3	26.600.000
	TOTAL		333	752.038.195

Tabla N°13: Plazo y Costo Estimado Proyecto.

Por lo tanto al inicio del proyecto se cuenta con un plazo estimado de 333 días y un presupuesto de \$752.038.195, a continuación se aplicará el método de análisis de riesgos descrito en el presente trabajo.

4.2 Riesgo en Plazo

Se comienza con un análisis cualitativo para detectar los riesgos, luego se procede a jerarquizar los riesgos de acuerdo con la Base de Datos, lo que entrega de acuerdo a la siguiente tabla:

Etapa	Tipo	Descripción	Retraso (horas)
Ingeniería	Constructibilidad	Pocas visitas a terreno, quedan interferencias sin detectar.	385
Ingeniería	Técnicas	Se analizan demasiadas opciones	359
Construcción	Administrativos y Gestión	Excesivo documentación de seguridad y procedimientos de trabajo	351
Ingeniería	Constructibilidad	Exceso de entregables que no aportan al proyecto.	336
Ingeniería	Técnicas	Poca agilidad/atribución toma definiciones claves	279
Construcción	Operacionales	Baja productividad en relación a lo programado / deficiencia capacitación mano obra	266
Construcción	Operacionales	Complejidad mayor de lo esperado	221
Ingeniería	Constructibilidad	Mala estimación del plazo de construcción en la etapa de la ingeniería	215
Licitación Construcción	Gestión	Proponente subestima los aspectos de SSO	214
Construcción	Administrativos y Gestión	Deficiencia gestión de adquisiciones (seguimiento)	203

Tabla N°14: Jerarquización Riesgos Plazos Inicio Proyecto

La tabla N°14 solo muestra los diez (10) riesgos más incidentes, el detalle completo se puede ver en el Anexo A. A continuación se presenta un gráfico que muestra el tiempo de retraso que representa cada uno de los riesgos, pero agrupados por las distintas etapas del proyecto.

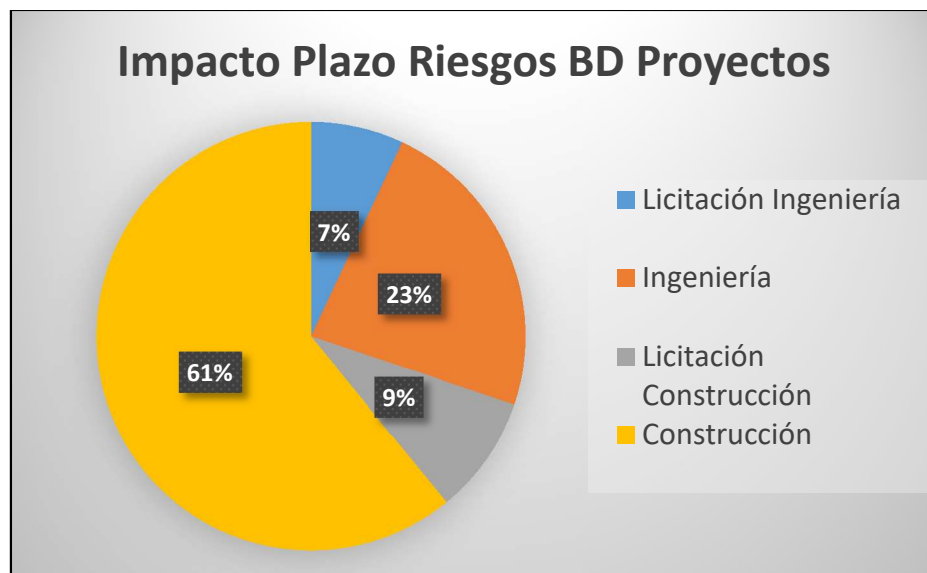


Gráfico 1: Impacto Riesgos Plazos Base Datos

Claramente en la etapa de construcción los riesgos e incertidumbre son más en cantidad, por ello llegan a tener un impacto del 61% en cambio en la etapa de ingeniería si bien se aprecia solo un 23%, en la jerarquización, estos pocos riesgos están en los primeros lugares lo cual significa que tienen un alto impacto.

Ahora se procede aplicar el análisis de riesgo en plazo al Proyecto, considerando que estamos al inicio del proyecto.

Obtención valores optimistas y pesimistas para la simulación en Crystall Ball, en la tabla 15 se indican los valores obtenidos para la etapa de inicio del proyecto.

Etapa	Mínimo		Máximo		Simulación CB	
	JE.	JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Lic. Ingeniería	15%	15%	7%	0%	15%	11%
Ingeniería	10%	30%	23%	0%	10%	27%
Lic. Construcción	15%	20%	9%	0%	15%	14%
Construcción	10%	35%	61%	0%	10%	48%
Ponderador		0,5	0,5	0,0		

Tabla N°15: Parámetros entrada Simulación CB plazo

Luego aplicando estos porcentajes a las estimaciones de plazo en el software CB se obtiene los siguientes resultados:

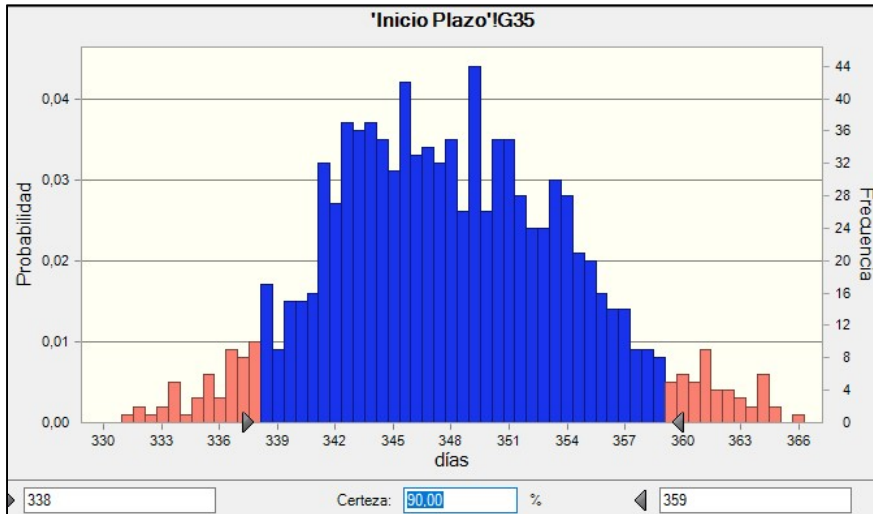


Gráfico 2: Resultado Simulación Riesgos Plazo

Por lo tanto, con un 90% probabilidad, la duración del proyecto va a ser entre 338 y 359 días. A continuación se muestra un gráfico de tornado que muestra cuál de las variables repercute más en la duración del proyecto.

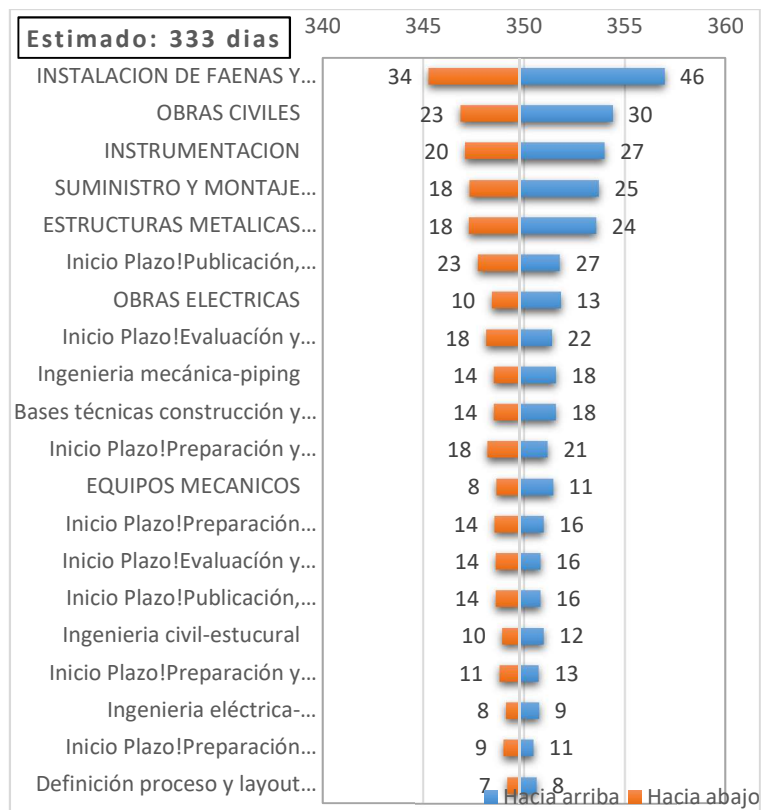


Gráfico 3: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Plazo

De acuerdo al grafico tornado se aprecia que la actividad que más incide en el resultado de la simulación es el tiempo en la Instalación de Faenas, es decir genera el mayor efecto en el plazo del proyecto. Las actividades con letras mayúsculas

corresponden a las partidas de la etapa de construcción del proyecto, y son las que se encuentran en los primeros lugares.

4.3 Riesgo en Costo

Al igual que en el caso del plazo, se realiza un análisis cualitativo para identificar los factores de riesgos que producen sobrecostos, para luego pasar a un análisis cuantitativo por medio del cual se crea una base de datos de sobrecostos en proyectos.

A continuación se utiliza el Juicio de Expertos, que en el caso del costo corresponde a porcentajes de referencia de aumentos y disminución de costos en proyectos. Finalmente la tercera fuente de información que en este caso es el propio proyecto, en esta etapa no se considera dado que el proyecto aún no ha iniciado, no tiene historia. En la siguiente tabla se puede ver los resultados obtenidos.

Etapa	Mínimo		Máximo		Simulación CB	
	JE.	JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Inicio Proyecto						
Equipos Mecánicos	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Piping	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Estructuras	20%	35%	24%	0%	20%	29%
OCC	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Movimiento Tierra	20%	40%	24%	0%	20%	32%
Eléctrico	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Globales	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Indirectos	10%	25%	24%	0%	10%	24%
Ponderador		0,5	0,5	0,0		

Tabla N°16: Parámetros entrada Simulación CB costos

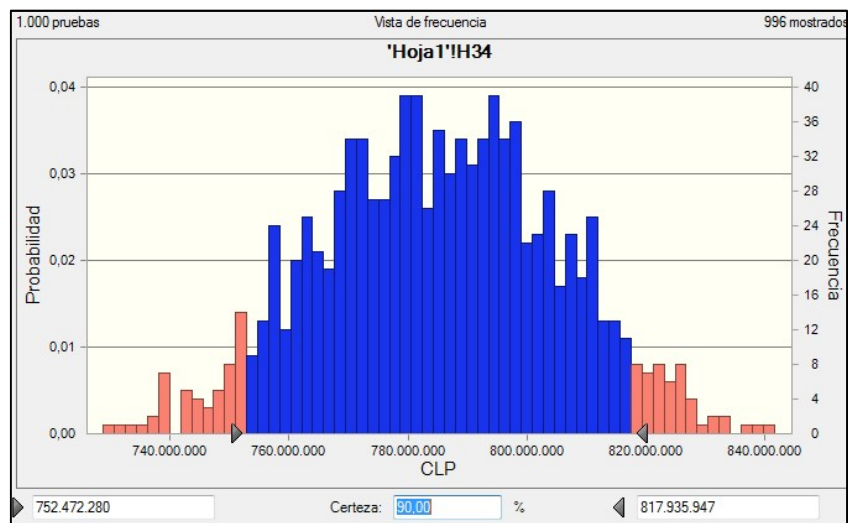


Gráfico 4: Resultado Simulación Riesgos Costo

Por lo tanto, con un 90% probabilidad, el costo del proyecto va a estar entre \$752.472.280 y \$817.935.947. A continuación se muestra un gráfico de tornado que muestra cuál de las variables repercute más en el costo del proyecto.

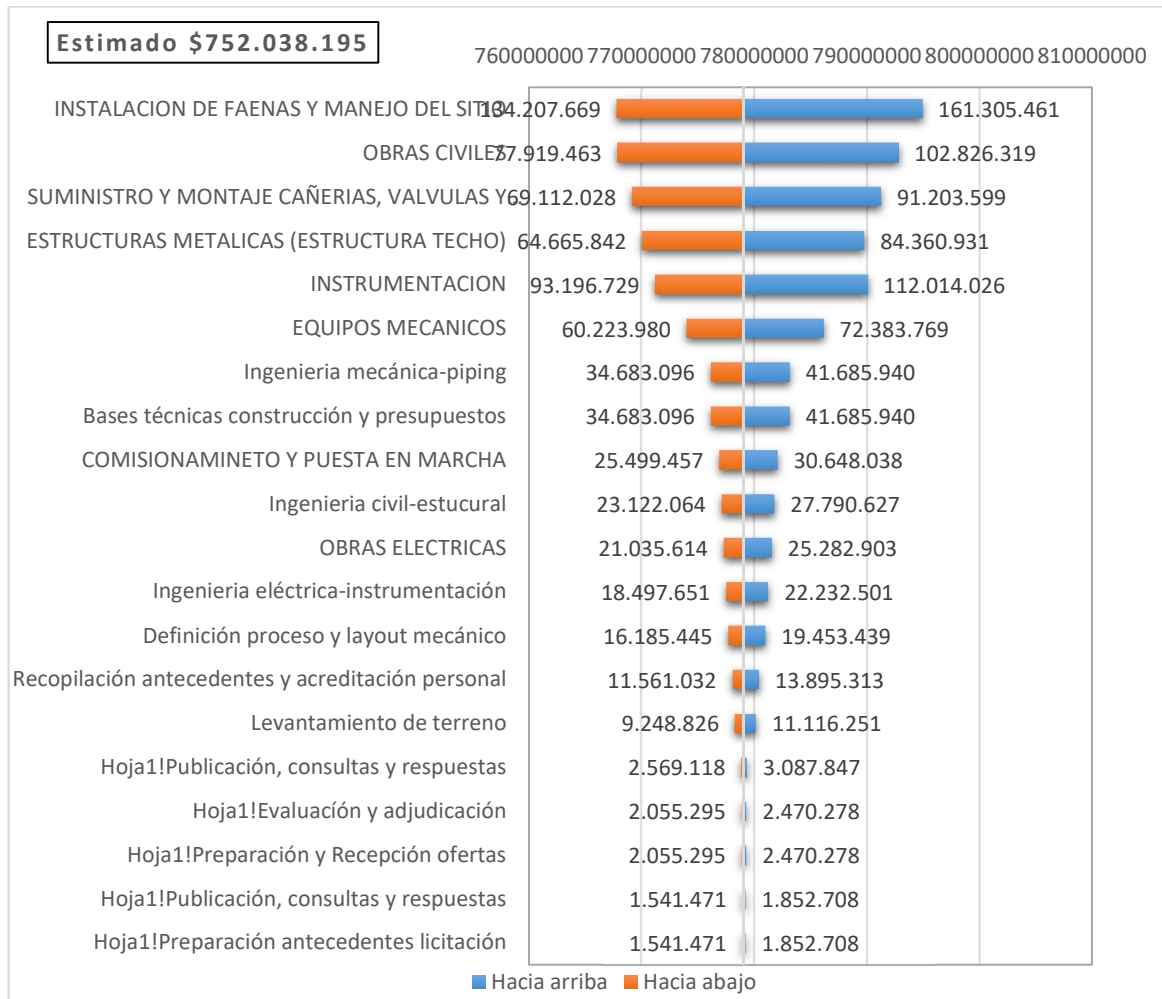


Gráfico 5: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Costo

De acuerdo al grafico tornado nuevamente las actividades de construcción aparecen dentro de las primeras que impactan en el costo del proyecto, esta vez los junto con la instalación de faenas y obras civiles, también aparecen la instrumentación y montaje equipos mecánicos como las partidas más influyentes en la variación del costo del proyecto.

5 CASO IMPLEMENTACIÓN PROYECTO EN EJECUCIÓN

En el presente ejemplo se aplicará el método en el Proyecto Planta Tratamiento de Agua, pero esta vez durante la ejecución de la etapa de construcción, específicamente cuando se lleve un avance del 25% del proyecto, esto es luego de 35 días iniciado la construcción, considerando que de acuerdo al programa base, se ha terminado la partida de instalación de faenas y manejo del sitio. Con lo cual la estimación a término es:

Plazo: 102 días

Costo = \$443.519.795

5.1 Riesgo en Plazo

Obtención valores optimistas y pesimistas para la simulación en Crystall Ball, en la tabla N°17 se indican los valores obtenidos al momento de llevar un 25% del avance de la etapa de construcción.

Etapa	Mínimo	Máximo			Simulación CB	
		JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Inicio Proyecto	JE.	JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Lic. Ingeniería	0%	0%	0%	0%	15%	11%
Ingeniería	0%	0%	0%	0%	10%	27%
Lic. Construcción	0%	0%	0%	0%	15%	14%
Construcción	10%	30%	61%	20%	10%	40%
Ponderador		0,4	0,4	0,2		

Tabla N°17: Parámetros entrada Simulación CB plazo 25% avance construcción

Luego aplicando estos porcentajes a las estimaciones de plazo en el software CB se obtiene los siguientes resultados:

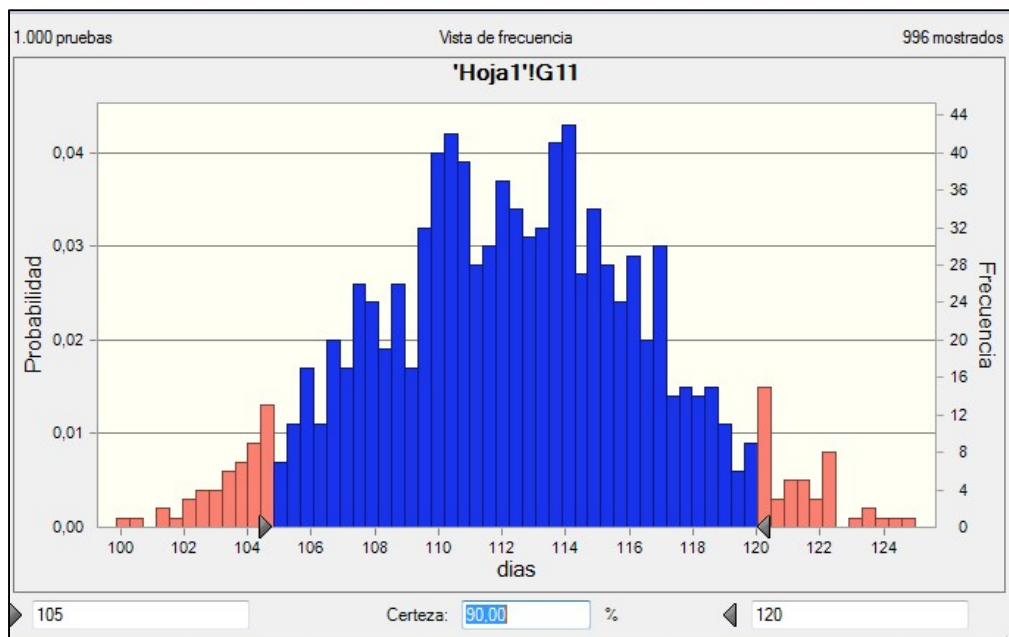


Gráfico 6: Resultado Simulación Riesgos Plazo 25% avance

Por lo tanto, con un 90% probabilidad, la duración de lo que falta para terminar el proyecto va a ser entre 105 y 120 días. A continuación se muestra un gráfico de tornado que muestra cuál de las variables repercute más en la duración del proyecto.

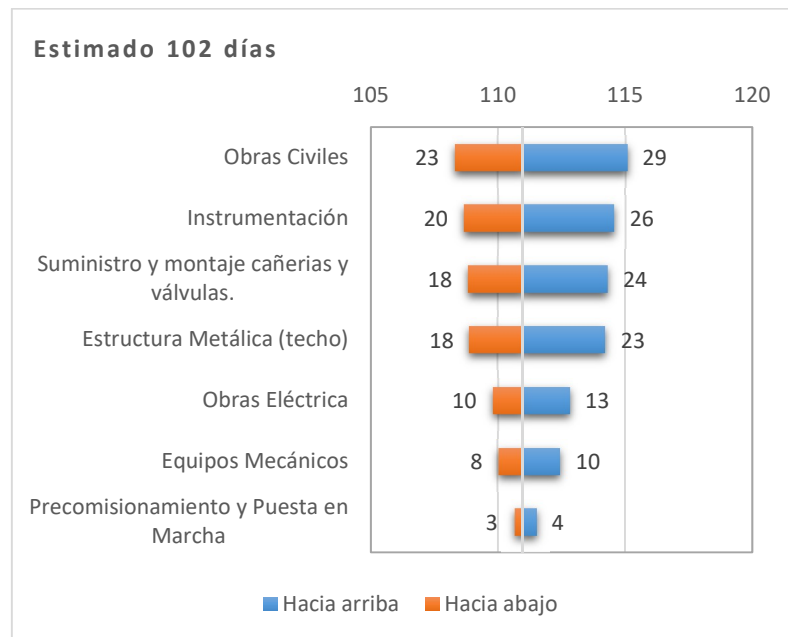


Gráfico 7: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Plazo 25% avance

De acuerdo al gráfico tornado se aprecia que las actividades que más inciden en el resultado de la simulación es el tiempo las obras civiles, instrumentación, piping y estructura es decir generan el mayor efecto en el resultado final del plazo del proyecto.

5.2 Riesgo en Costo

Al igual que en el caso del plazo, se realiza un análisis cualitativo para identificar los factores de riesgos que producen sobrecostos, para luego pasar a un análisis cuantitativo por medio del cual se crea una base de datos de sobrecostos en proyectos y esta vez se adiciona la base de datos propia del proyecto en ejecución.

Etapa	Mínimo	Máximo			Simulación CB	
		JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Inicio Proyecto	JE.	JE.	BD.	Proy.	Min	Máx
Equipos Mecánicos	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Piping	20%	40%	24%	35%	20%	32%
Estructuras	20%	35%	24%	35%	20%	30%
OCC	20%	40%	24%	35%	20%	32%
Movimiento Tierra	20%	40%	24%	35%	20%	32%
Eléctrico	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Globales	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Indirectos	10%	25%	24%	35%	10%	26%
Ponderador		0,4	0,4	0,2		

Tabla N°18: Parámetros entrada Simulación CB costos 25% avance construcción.

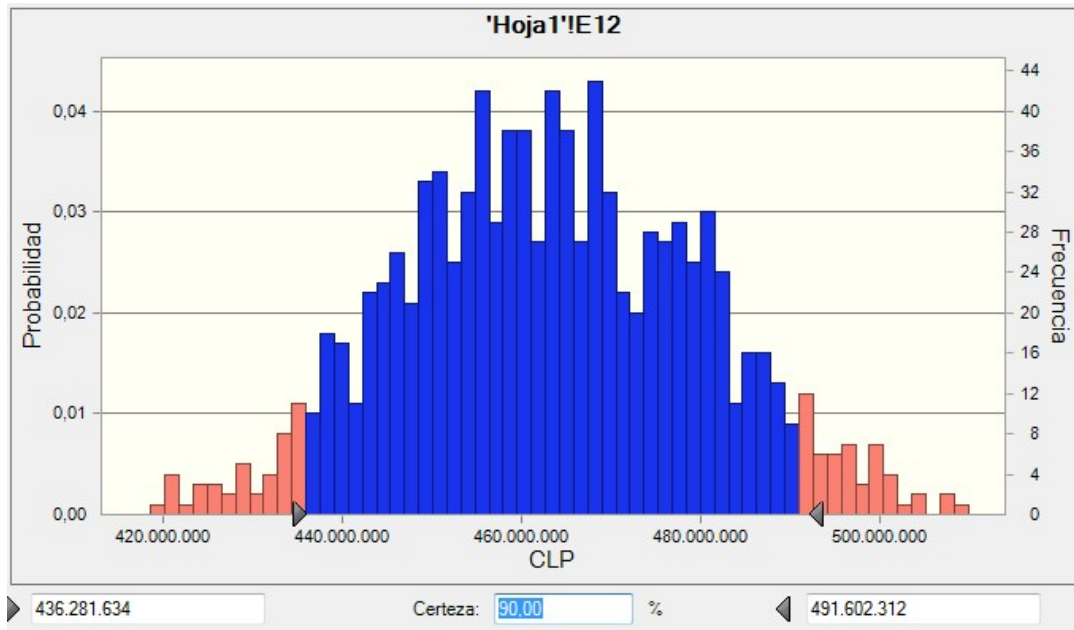


Gráfico 8: Resultado Simulación Riesgos Costo 25% avance

Por lo tanto, con un 90% probabilidad, el costo para terminar el proyecto va a estar entre \$436.281.634 y \$491.602.312. A continuación se muestra un gráfico de tornado que muestra cuál de las variables repercute más en el costo del proyecto.

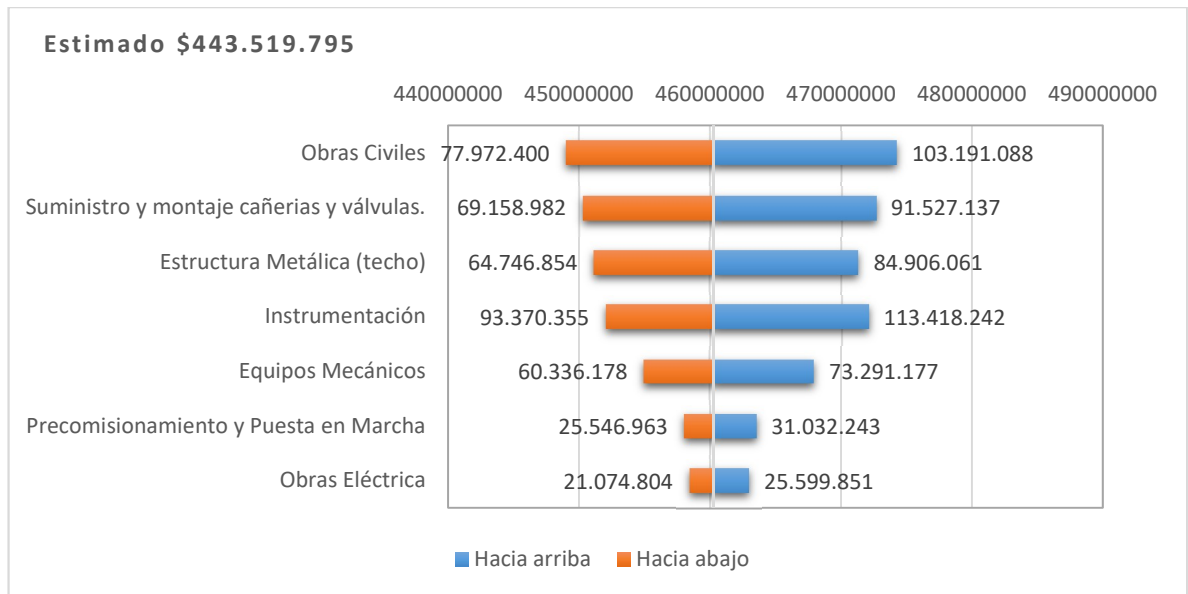


Gráfico 9: Gráfico Tornado Simulación Riesgos Costo 25% avance

De acuerdo al grafico tornado se aprecia que las actividades que más inciden en el resultado de la simulación es el tiempo las obras civiles y piping generan el mayor efecto en el resultado final del costo a término del proyecto.

6 CONCLUSIONES

Se desarrolla una herramienta para estimar el costos y plazos de proyectos industriales/mineros del tipo Brownfield, este procedimiento se sustenta tanto en el juicio de expertos, base de datos de proyectos similares y del desempeño del propio proyecto en análisis.

Este método es capaz de dar respuesta en la gran interrogante que toda gerencia de proyectos se plantea al inicio de un proyecto y durante la ejecución de este, que es ¿Cuándo voy a terminar el proyecto? ¿Cuánto me terminará costando?

En la presente tesina se utiliza el método para el proyecto Planta Tratamiento de Agua, el cual consta de un presupuesto y un plazo inicial estimado, luego aplicando la metodología de análisis de riesgos descrita en la presente tesina se obtiene la tabla de probabilidad de no excedencia para los distintos percentiles, en la presente tesina se utiliza la probabilidad del 90%.

Etapas	Método	Costo (\$)	Plazo (días)
Inicio Proyecto	Estimado	752.038.195	333
Inicio Proyecto.	Análisis Riesgos (90%)	817.935.947	359

Es decir ante la pregunta que certeza tiene la estimación de costo y plazo al inicio del proyecto, podemos decir que aplicando la metodología de análisis de riesgos, existe un 90% de probabilidad que el costo del proyecto no excederá los \$817.935.947 y el plazo de 359 días.

Etapas	Método	Costo (\$)	Plazo (días)
25% Avance Const.	Estimado	443.519.795	102
25% Avance Const.	Análisis Riesgos (90%)	491.602.312	120

Además, una vez iniciada el proyecto con un 25% avance de la etapa de construcción nuevamente se puede decir que existe un 90% de probabilidad el costo para terminar el proyecto no excederá de \$491.602.312 y el plazo a término no excederá de 120 días.

Claramente esta es una herramienta tanto para los contratistas que ejecutan las obras al momento de postular a la propuesta, dado que pueden definir con qué riesgo participan de las licitaciones, el cual debe estar alienado con el riesgo que es tolerado por su organización. Para las empresas mandantes les permite conocer el monto esperado de contingencias que deben considerar al momento de solicitar los fondos para la ejecución del proyecto.

Durante la ejecución del proyecto a las empresas contratistas junto con conocer los costos para terminar el proyecto, les permite conocer la fecha probable de termino para liberar los recursos (mano obras, equipos) que está utilizando. Para las empresas mandantes, les permite conocer si cuentan con los fondos para terminar el

proyecto, o de ser necesario solicitar una reformulación o aumento de capital, y por otro lado le permite conocer con cierto grado de certeza cuando terminarán sus proyectos en ejecución, los cuales muchas veces impactan con la producción o con otras áreas funcionales de la empresa, por tanto el plazo o fecha de término es un parámetro clave y que adquiere gran relevancia ya que mantiene muchos compromisos de por medio.

Dentro de los aspectos que se deben tomar en cuenta para seguir perfeccionando la presente metodología se pueden mencionar:

- Aumentar la base de datos de información de proyectos similares.
- Calibrar el ponderador definido para las tres fuentes de información que se utilizan para determinar los valores optimistas y pesimistas, esto solo se puede realizar aplicando esta metodología a distintos proyectos en ejecución actualmente.
- Incluir en el análisis las cantidades de obras o cubicación las cuales también pueden variar, por tanto pueden ser consideradas en las simulaciones con el software CB.
- Planificar las respuestas a los riesgos principales, para luego monitorear y controlar estos riesgos durante la ejecución del proyecto.

Por lo tanto como resumen general, el impacto de esta metodología en las empresas se puede resumir en:

Contratistas: Empresas de Ingeniería, Constructoras

Esta herramienta permite a las compañías que ejecutan proyectos medir el desempeño de su negocio, ya que variables como el costo y el plazo son dos parámetros claves que persiguen las compañías, sus principales KPI están asociados a estos dos factores.

La aplicación en la gestión de este tipo de empresas, se puede ver en dos etapas:

Estudio de Propuestas: Al realizar las estimaciones de presupuestos de obra, se puede obtener el grado de certidumbre que tiene la estimación económica y con ello el riesgo que presenta la oferta. Para ser consecuente con los planes estratégicos de la empresa, este nivel de riesgos de las propuestas debe estar alineado con el nivel de riesgos que la empresa maneja en sus inversiones.

Durante la ejecución del proyecto: Durante la ejecución se puede establecer un sistema de gestión en base a KPI del costo del proyecto, basado en la metodología propuesta se puede determinar la estimación de costos a término del proyecto con una cierta certidumbre, con lo cual en el caso de generar alertas o sobrepasar ciertos niveles de costos, se pueden detonar alarmas con planes de acción que mitiguen los riesgos que provocan estos sobrecostos.

Lecciones Aprendidas: Con la elaboración de la base de datos de riesgos, categorización y clasificación de estos, es posible tener realizar un trabajo de mejora continua, en donde se realiza un aprendizaje tanto de los procesos, metodologías como la capacitación de los propios trabajadores. La clasificación por tipo de riesgo

sirve para verificar el tipo de riesgo que más impacta este tipo de proyectos y poner el foco en ello de manera temprana.

Clientes: Mineras, Gobierno, otras.

Las grandes empresas que mantienen constantemente carteras de proyectos en ejecución, implementado para ello una gerencia de administración de proyectos (Project Management Office, PMO), su principal foco de atención son los plazos y calidad de ejecución del proyecto, ya que se comprometen fechas de producción, aperturas públicas, compromisos políticos, etc.

Los clientes al monitorear el plazo de ejecución con esta metodología y conocer con certidumbre las fechas de término de los proyectos, pueden realizar gestión sobre los principales stakeholders para lograr su compromiso oportuno, incidir sobre plazos de entrega suministros, mejores procedimientos y técnicas de construcción, etc.

A su vez, si las medidas de mitigación de riesgos no permiten asegurar una fecha de término comprometida en los contratos, es posible de manera temprano alertar de ello, teniendo un sustento o respaldo técnico en la estimación. Con esta estimación se detonan planes de acción respectivos, involucrando en ello a los sponsor de proyecto e incluso directivos de la compañía, ya que se deben comprometer importantes recursos para llevarlo a cabo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Chamoun, Administración Profesional de Proyectos – La Guía. McGraw Hill. (2002)
- (2) Harold Kerzner, Project Managment: a sytem approach to planning, schedulin and controllin, 7th Edition – John Wiley&Sons, (2009)
- (3) PMBOK Guide, PMI – Sixth Edition (2017).
- (4) Pablo Lledró y Gustavo Rivarola, Gestión de Proyectos, Prentice Hall, (2009).
- (5) SIC Codelco.
- (6) The Portable MBA in Project Managment, Eric Verzuh.
- (7) Revista Minería Chilena, Septiembre 2012

ANEXOS

Base de Datos Riesgos en Proyecto.