



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

ANÁLISIS DE RIESGO DEL PROYECTO TRANSFORMACIÓN DE PLANTA DE
ÁCIDO SULFÚRICO DE CODELCO EN DIVISIÓN CHUQUICAMATA.

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

CLAUDIO ANDRES ROJAS LABRA

PROFESOR GUIA:
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERARDO DIAZ RODENAS
JAIME ARREDONDO CASTILLO

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE: Magister en Gestión y Dirección de Empresas.

POR: Claudio Andrés Rojas Labra.

FECHA: Semestre otoño 2019

PROFESOR GUÍA: Enrique Jofré Rojas

ANÁLISIS DE RIESGO DEL PROYECTO TRANSFORMACIÓN DE PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO DE CODELCO EN DIVISIÓN CHUQUICAMATA.

La presente tesis tiene por objetivo realizar un análisis de riesgo para la estimación del costo y plazo de término del proyecto Planta de ácido de División Chuquicamata de Codelco, el cual tiene por finalidad otorgar continuidad operacional al negocio de fundición de la división y que trata los concentrados altos en arsénico del distrito norte.

Para lo anterior se utilizará la metodología de Montecarlo sobre un modelo simplificado y ajustado conforme como se espera que se comporte. Además en base al análisis de las desviaciones del caso base, se realizarán proyecciones (análisis de rangos) para obtener los resultados de la simulación y, en base a los resultados se discutirá sobre la certeza de las proyecciones realizadas por el proyecto y el posible sesgo presente en ellas, debido a la necesidad de poner en marcha el proyecto antes de la entrada en vigencia de la nueva normativa.

En cuanto a los resultados de la simulación se estima que el proyecto se atrasará en 4 meses y se sobregirará en 90 millones de dólares respecto el presupuesto aprobado. Respecto a las causas de esta diferencia en los resultados simulados, se evidencia que el proyecto ha fallado en lo fundamental de este tipo de trabajos, dado que existe evidencia que modelo de análisis para la simulación (programa) no produciría resultados que se ajusten a la realidad debido a duraciones subestimadas de las actividades, uso excesivo de relaciones fin-fin, comienzo-comienzo, y vinculaciones deficientes o faltantes entre las actividades de término de construcción, secuencia de pruebas y su interrelación con los permisos requeridos, afectando la ruta crítica y en consecuencia la fecha de término simulada. Respecto a los rangos, si bien son relativamente similares los criterios, la utilización de software como Primavera Risk para el plazo o @Risk para el costo, no permiten que el caso base sea un valor optimista en base a los rangos que se tienen, asumiendo el valor determinista como esperado y, por lo tanto los rangos de variabilidad son menores en lo presentado oficialmente por el proyecto, respecto los rangos de las simulaciones de este trabajo, respaldados por la evolución del proyecto.

Además se estima una pérdida de a lo menos 132 millones de dólares para División Chuquicamata producto de este atraso, la cual podría ser mayor aún, si se da el caso que ninguna fundición de Codelco cumple estar operativa para la entrada en vigencia del Decreto Supremo N°28.

De la revisión de los supuestos y los resultados obtenidos se evidencia una falta de visión sistémica en las proyecciones y, que mediante modelos simplificados y supuestos razonables, el proyecto tuvo elementos de juicio para predecir un futuro muy distinto al que se reportó de manera oficial a través de los procedimientos establecidos, generando falsas expectativas.

AGRADECIMIENTOS

Mientras escribo estas palabras que dejé para el final, mi mente vuela hacia mi familia que son quienes me motivan... y me doy cuenta de que vuelo por los que quiero.

A mi esposa que me apoyo en cursar el magister, a mi hija que nació a mitad de éste, a mi madre querida, mi papá que ya no está con nosotros, a mis herman@s, cuñad@s y sobrin@s, los amo.

También un agradecimiento a mis amig@s, colegas de trabajo, compañer@s del MBA y a Codelco, por permitir que me desenvuelva en un rubro tan bonito y desafiante, y que tantas alegrías, satisfacción y orgullo me ha dado.

Para finalizar, le doy las gracias a Dios por permitir que comparta mi vida con ustedes, los que quiero.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Justificación de la Tesis.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo General.....	4
1.4.2	Objetivos Específicos.....	4
1.5	Metodología.....	4
2	ANTECEDENTES DEL CASO BASE.....	5
2.1	Cambio en la normativa.....	5
2.2	Plan Maestro de División Chuquicamata para dar cumplimiento al DSN°28 y Proyecto Plantas de Ácido.....	6
2.2.1	Antecedentes.....	6
2.2.2	Proyecto Plantas de Ácido (N17FA17).....	8
2.2.3	Plan de ejecución inicial.....	9
2.2.3.1	Plan de Contratos.....	10
2.2.3.2	Plan de Abastecimiento.....	11
2.2.3.3	Plan de Ingeniería.....	12
2.2.4	Capex y programa maestro.....	13
2.2.5	Matriz de riesgos y planes de acción.....	17
2.2.6	Análisis de riesgo para determinación de contingencia de costo y plazo.....	21
3	EVOLUCIÓN DEL PROYECTO.....	23
3.1	Registro de desviaciones al caso base.....	23
3.1.1	Evolución del Plan de contratos.....	23
3.1.2	Evolución del Plan de compras.....	25
3.1.3	Evolución del Plan de ingeniería.....	28
3.1.4	Evolución del Plan de construcción.....	30
3.1.5	Evolución del Capex y Programa Maestro.....	32
3.2	Análisis de Riesgos del Proyecto realizados a la fecha.....	36
4	SIMULACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE MONTECARLO SOBRE MODELOS SIMPLIFICADOS DE COSTO Y PLAZO, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.1	Orígenes del método.....	37
4.2	Base teórica del método en estadística y probabilidades.....	37
4.3	Criterios para determinación de los modelos de costo y plazo para realizar la simulación.....	38
4.4	Determinación de las distribuciones de variables que componen el modelo.....	38
4.5	Metodología.....	38
4.6	Alcances y limitaciones.....	39
4.7	Modelo de costos.....	39

4.8	Modelo de plazo.....	39
4.9	Criterios de variabilidad y determinación de rangos	41
4.9.1	Supuestos Simulación de Costo.....	41
4.9.2	Supuestos de la simulación de plazo	42
4.10	Simulaciones aplicadas al modelo de costos	44
4.11	Simulaciones aplicadas al modelo de plazo.....	45
4.12	Nivel de confianza de las fechas de término y costos comprometidos en el caso base, última actualización del análisis de riesgos y, valores recomendados de acuerdo al presente análisis de riesgos.	46
5	DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES MAS INCIDENTES QUE EL CASO BASE NO LOGRÓ CAPTURAR EN LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO, Y QUE LA GESTIÓN DE RIESGOS NO LOGRÓ MITIGAR.	47
5.1	Variables de costo	47
5.2	Variables de plazo.....	48
5.3	Análisis cualitativo de la efectividad de los planes de mitigación.....	48
6	CONCLUSIÓN	50
6.1	Respecto a la estimación de la fecha de término	50
6.2	Respecto a la estimación de costo a término	51
6.3	Proyección de Impacto en División Chuquicamata y el distrito Norte sobre las consecuencias de no finalizar en fecha el proyecto	51
6.4	Recomendaciones	52
7	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales hitos del proyecto Plantas de ácido.....	3
Tabla 2 Límites de Emisiones del Proyecto en Chimenea Plantas de Ácido	6
Tabla 3 Proyectos Plan Maestro por artículo del DS/28 y límite emisión abordado.	8
Tabla 4 Contratos relevantes	11
Tabla 5 Listado suministros principales del EP	12
Tabla 6 Subproyectos alcance de la ingeniería Overhaul.....	12
Tabla 7 PF considerados por disciplina para la estimación de costo de capital	14
Tabla 8 Criterios de estimación de contingencia de costo	15
Tabla 9 Monto total del Proyecto	16
Tabla 10 Criterio para evaluación de frecuencia.....	17
Tabla 11 Criterio de evaluación por consecuencia.....	18
Tabla 12 Principales riesgos identificados	19
Tabla 13 Medidas de control aplicables a los riesgos identificados.....	21
Tabla 14 Evolución de adjudicaciones de los contratos principales	23
Tabla 15 Evolución hitos EPC	24
Tabla 16 Evolución Hitos Overhaul	25
Tabla 17 Principales paquetes de compra EPC	26
Tabla 18 Principales paquetes de compra Overhaul.....	27
Tabla 19 Estimado a término a Junio 2018.	33
Tabla 20 Cambios por evolución de proyecto.....	34
Tabla 21 Tendencias aprobadas por evolución de proyecto.....	35
Tabla 22 Tendencias rechazadas por transferencia	35
Tabla 23 Tendencias aprobadas por transferencia.....	35
Tabla 24 Evolución de fechas de término y su probabilidad.....	36
Tabla 25 Últimos pronósticos de costo y plazo.....	36
Tabla 26 Rangos para simulación de Costos.....	42
Tabla 27 Rangos para simulación de plazo	44
Tabla 28 Resumen valores caso base, estimado y recomendado VS nivel de confianza	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de manejo de gases actual de fundición Chuquicamata	6
Figura 2 Esquema operacional futuro de Fundición Chuquicamata	7
Figura 3 Layout área de limpieza y nuevas plantas de contacto	9
Figura 4 Programa maestro del proyecto.....	16
Figura 5 Reporte de simulación Montecarlo para la contingencia de costo.....	22
Figura 6 Curva Avance Adquisiciones EPC	26
Figura 7 Curva de Avance Adquisiciones Overhaul	28
Figura 8 Curva de Avance Ingeniería EPC	29
Figura 9 Curva de Avance Overhaul	29
Figura 10 Curva Avance Construcción EPC.....	31
Figura 11 Curva de Avance Overhaul	32
Figura 12 Evolución del pronóstico a Término	33
Figura 13 Programa simplificado para determinación del plazo de término.....	40
Figura 14 Gráfico de distribución del presupuesto a término	44
Figura 15 Gráfico de tornado variables más incidentes en valor esperado de costo.....	45
Figura 16 Gráfico de distribución de la fecha a término.....	45
Figura 17 Gráfico de tornado variables más incidentes en valor esperado del plazo.....	46

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Generalidades

La industria minera, dada su naturaleza y el comportamiento de mercado presente en ella, es un rubro que experimenta riesgos más elevados que otros sectores productivos.

Si se describe a través de curvas de oferta y demanda, en el corto plazo las curvas son tan inelásticas que no se cruzan, originando ciclos donde la cantidad ofertada supera a la demanda, conocidos como ciclos de precios bajos, y ciclos donde la demanda supera a la oferta (precios altos). La explicación a la forma de las curvas obedece a que un aumento de la oferta no puede ser satisfecho en el corto plazo por una nueva operación minera, dado que el ciclo de vida de un proyecto, desde que comienza el estudio del caso de negocio hasta que el proyecto entra en operación fluctúa entre 6 a 10 años.

Sumado a lo anterior, el mercado es altamente sensible a cambios en variables macroeconómicas, como el crecimiento proyectado de China como principal consumidor mundial y el crecimiento proyectado de otros países en desarrollo, como el caso de India, como elementos que definen la demanda, también se suma el hecho que, como las curvas de oferta y demanda no se cruzan, el precio no queda definido por el equilibrio, sino por el desbalance que se traduce en stocks que principalmente se manejan en bodegas en las bolsas de metales como la de Londres o Shanghái. Este hecho resulta que el precio se defina por factores que resultan ser altamente especulativos.

Además las ganancias netas de los productores se ven afectadas positiva y negativamente tanto en ciclos de bajo precio como de alto precio (definido en las bolsas de metales en base al nivel de stock), debido a que un precio alto, atrae más divisas al país, y en consecuencia, una mayor cantidad de divisa circulante provoca que el dólar se deprecie frente a nuestra moneda, sumado a que el precio alto genera indirectamente el encarecimiento de los subcontratos, mano de obra, energía, agua y otros insumos que definen costos, tanto en proyectos como en operación, sumado a que históricamente el ciclo de precios altos presenta el incentivo a producir más a costo de sacrificar productividad.

Por todo lo dicho anteriormente, intentar predecir la demanda o el precio resulta muy complejo, dado que son variables fuera de control de los productores mineros. Por el contrario, ante cualquier escenario, la única variable sobre la que se tiene control es sobre la austeridad y productividad con que se manejan tanto las operaciones como los proyectos y es ahí donde radica el éxito o subsistencia de las compañías mineras, sobre todo cuando se enfrentan ciclos de precios bajos.

Mirando nuestra realidad como país, Chile ha visto impulsado su crecimiento y actividad económica a través de la minería. Resultan obvias las correlaciones positivas entre el desarrollo minero y otros rubros en desarrollo, además de toda la actividad económica que se genera para dar soporte al mundo minero de manera indirecta.

El desarrollo de proyectos mineros plantea desafíos tan importantes como la definición de estrategias que contribuyan a optimizar la toma de decisiones inversionales, así como

procesos de dirección y gestión de proyectos, lo cual resulta absolutamente necesario para concretar las promesas de valor respecto a los resultados esperados de una actividad que apalanca el desarrollo económico del país.

Es en este punto donde la evaluación y gestión de proyectos se hace indispensable. Una correcta evaluación económica, ingeniería con madurez acorde a su etapa y toma de decisiones inversionales que avance conforme pasen satisfactoriamente los FEL (puntos de control) resulta esencial para recuperar competitividad tanto en la construcción y montaje de un proyecto, así como en la operación del mismo.

1.2 Antecedentes

El 12 de diciembre de 2013, el Ministerio de Medio Ambiente publicó en el Diario Oficial el Decreto Supremo N°28 (DS N°28), el cual establece la nueva normativa que regirá las emisiones para fundiciones de cobre y fuentes de emisiones de arsénico. La norma establece nuevos límites de emisiones y captura de anhídrido sulfuroso (SO₂), Arsénico (As), material particulado y mercurio. Además, establece que aquellas fundiciones que operan con plantas de ácido de simple contacto/ simple absorción, deben cumplir con las nuevas exigencias en un plazo máximo de 5 años a contar de la fecha de publicación de la norma, vale decir, a partir del 12 de diciembre de 2018.

El negocio de fundición de Codelco radica en la necesidad de tratar sus concentrados antes de comercializarlos debido a que sus yacimientos presentan alto contenido de arsénico, en particular aquellos del distrito norte, ergo, el no cumplimiento de la normativa al momento de su fiscalización implicaría desde multas sanciones económicas hasta la revocación del permiso de operación.

Para mantener la sustentabilidad del negocio de comercialización de concentrados, Codelco está realizando inversiones en sus actuales fundiciones de cobre y plantas de tratamiento de gases, de modo de dar cumplimiento al DS N°28.

Una de las actuales operaciones de Codelco que se ve afectada por la puesta en vigencia de la nueva normativa es la fundición de División Chuquicamata (DCH), la cual tiene como modelo de negocios el tratamiento de concentrados del distrito norte (Concentrados de las Divisiones Chuquicamata, Radomiro Tomic y calcinas de División Ministro Hales)

Ante este nuevo escenario de restricción de emisiones de contaminantes al medio ambiente, y para mantener la sostenibilidad del negocio de fundición para la comercialización de concentrados, DCH debe desarrollar una serie de proyectos denominados en su conjunto “Plan Maestro de Cumplimiento del DS N°28”. Uno de esos proyectos es el denominado “Transformación de Plantas de Ácido N°3 y N°4 a Doble Contacto / Doble Absorción”. Cabe destacar que la materialización de esta cartera de proyectos en DCH, aparte de permitir la continuidad operacional de la producción de cobre de DCH y la del negocio de fundición de concentrados del distrito norte (altos en arsénico), también apalancarán la estrategia de desarrollo futuro de proyectos como Chuquicamata Subterránea o Calcinas de Ministro Hales.

El proyecto Planta de Ácido de División Chuquicamata, dado su complejidad y nivel de inversión fue encomendado a la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

Para la ejecución del proyecto se ha privilegiado la paquetización de trabajos de modo de minimizar las interferencias e interacciones entre contratistas.

De esto modo los principales contratos son para la instalación de 2 plantas de doble contacto y doble absorción para reemplazar a las actuales planta de simple contacto y simple absorción, mediante un contrato EPC el cual fue adjudicado a la empresa de ingeniería y construcción SNC- Lavalin, y para realizar un mantenimiento mayor (Overhaul) a las áreas de limpieza húmeda de gases existentes, mediante un contrato a precios unitarios el cual fue adjudicado a la empresa de montajes industriales Besalco. Este contrato también implementará las instalaciones y servicios que requerirán para su operación las nuevas plantas de contacto.

En el capítulo 2 “Antecedentes del caso base” se verá con mayor detalle la paquetización de los contratos, sus modalidades y actual importancia en la incertidumbre de cumplir con el DS N°28.

Con el objetivo de cumplir con el DS N°28, el proyecto se propuso como objetivo el cumplimiento de los siguientes hitos:

Hito	Fecha compromiso
Inicio ingeniería y compras EPC	11 de octubre del 2016
Inicio construcción EPC	01 de abril de 2017
Término puesta en marcha del EPC	18 de noviembre de 2018
Término pruebas de rendimiento EPC	18 de diciembre 2018

Tabla 1 Principales hitos del proyecto Plantas de ácido

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 14 API N17FA07 (2014)

En cuanto al costo comprometido, la estimación del proyecto es de 419,7 millones de dólares, expresado en moneda presupuestaria 2016 (TC: 714 CLP/USD)

1.3 Justificación de la Tesis

Dado la importancia que el proyecto Plantas de Ácido representa para el negocio de fundición de División Chuquicamata y para el distrito norte de Codelco, el presente trabajo de tesis busca, mediante la integración de la información actualizada sobre cambios y tendencias al proyecto, y a través de un análisis probabilístico utilizando el método de Montecarlo, mostrar que el pronóstico de término en costo y plazo está sesgado por la obligación de cumplir con el Decreto Supremo N°28 en fecha.

Para lo anterior se identificarán las principales variables de incertidumbre que han afectado el desarrollo del proyecto, actualizando las estimaciones de término de costo y plazo a un nivel de confianza dado, todo lo anterior con la misma información de análisis disponible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar un análisis de riesgo probabilístico del proyecto Transformación de Planta de Ácido Sulfúrico de Codelco en División Chuquicamata, a fin de estimar el grado de incertidumbre en los plazos de término y en los costos, respecto de la propuesta inicial de los mismos, con un nivel de confiabilidad dado.

1.4.2 Objetivos Específicos

Integrar la información base del proyecto con las desviaciones observables en costos y plazo a la fecha.

Proyectar con la información disponible, el comportamiento de las variables de costo y plazo que afectarán al modelo probabilístico.

Consolidar un análisis de riesgo probabilístico para estimar el grado de incertidumbre en el cumplimiento de los costos y plazos del proyecto.

Estimar, con un nivel de confiabilidad dado, tanto los costos probables, así como la fecha probable de cumplimiento del proyecto.

Identificar las variables que afectaron los planes de mitigación u omisiones sobre las estimaciones y la gestión de proyecto.

Evaluar el probable impacto para la División Chuquicamata el hecho de no cumplimiento de las promesas formuladas al inicio del proyecto de Transformación de la Planta de Ácido Sulfúrico.

1.5 Metodología

Del estudio del caso base del proyecto, se tiene el presupuesto de control y el plan maestro de ejecución. Durante la evolución del mismo, se tienen los registros de desviaciones a estos planes que han afectado el costo y el plazo.

Con los antecedentes anteriores, se realizará un modelamiento integrado que capture la incertidumbre de estas variables a través de un análisis probabilístico mediante el método de Montecarlo. Para hacer frente al problema y generar el modelo predictivo, se comenzará con un capítulo que explique brevemente los modelos probabilísticos tipo Montecarlo.

El capítulo siguiente incorporará un levantamiento de las desviaciones al caso base, tanto en costo y plazo. Para dar sustento a este levantamiento se utilizará información de tendencias que ha registrado el equipo de proyecto, así como información de los talleres de riesgo realizados para identificar las principales desviaciones y entender-predecir cuál es la variabilidad futura de las mismas. En este capítulo se dará énfasis a los rangos de variabilidad que ha entendido el proyecto como válidos para realizar análisis de riesgos.

Posteriormente, se dará cuerpo al capítulo que contendrá las simulaciones realizadas, el que tendrá gráficos de probabilidad de plazos y probabilidad de costos. La información se complementará con gráficos de tornado los cuales tienen por finalidad indicar la intensidad de correlación entre los resultados obtenidos en la simulación y las variables incluidas en el modelo probabilístico. De este capítulo se puede ya dar respuesta al objetivo general de la tesis de determinar qué nivel de confianza le otorga la simulación al costo y plazo comprometidos en el proyecto, y cuáles serían los costos y plazo finales con un cierto nivel de confianza.

El capítulo final versará sobre el análisis de los resultados obtenidos en la simulación, y la determinación de las variables de incertidumbre que se han identificado durante la evolución del proyecto y que en el estudio de factibilidad no fueron identificadas.

Para finalizar se realizarán recomendaciones en base comparativa respecto a las recomendaciones y proyecciones realizadas por el proyecto.

2 ANTECEDENTES DEL CASO BASE.

2.1 Cambio en la normativa

El 12 de diciembre de 2013 se publicó en el Diario Oficial el Decreto Supremo N°28 del Ministerio de Medio Ambiente que establece la nueva normativa sobre emisiones de fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico.

El cambio en la normativa obedece a que en el año 2005, la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) realizó una evaluación del desempeño Ambiental de Chile respecto a la fuente que regula, evidenciando que las actividades de fundición todavía son causantes del grueso de las emisiones y se deben reducir más sobre lo establecido en la normativa entonces vigente, recomendando desarrollar normas de emisión nacional, que incluyan la regulación de contaminantes tóxicos en el aire y que reduzcan aún más el impacto de la contaminación por SO₂ y arsénico.

Lo anterior sumado a que en la Constitución Política de la República de Chile se reconoce en el artículo 19 N° 1, el derecho a la vida y la integridad física de las personas, y concretamente en el artículo 19 N° 8, el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, dieron como resultado la necesidad de hacer más restrictivos los límites de emisiones permisibles, y en consecuencia, la aplicación de esta nueva normativa busca reducir las emisiones al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂), arsénico (As) y mercurio (Hg).

En este escenario, División Chuquicamata está llevando a cabo el denominado “Plan Maestro para el cumplimiento DS N°28”. Este plan considera una cartera de más de diez proyectos, los cuales en su conjunto permitirán dar cumplimiento al DS N°28, y cuya inversión sobrepasa los 800 millones de dólares.

Entre ellos se encuentra el proyecto denominado “Transformación Plantas de Ácido N°3 Y N°4 a Doble Contacto / Doble Absorción”. Este proyecto aporta al porcentaje total de captura de azufre y arsénico (normado por un 95%) y también da cumplimiento al artículo 4 letra a) y b), que norma los límites de emisiones en chimenea de las plantas de ácido de acuerdo a:

Elemento	Valor
Dióxido de Azufre (SO ₂)	≤ 600 ppmv
Arsénico (As)	≤ 1 mg/Nm ³

Tabla 2 Límites de Emisiones del Proyecto en Chimenea Plantas de Ácido
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

2.2 Plan Maestro de División Chuquicamata para dar cumplimiento al DSN°28 y Proyecto Plantas de Ácido

2.2.1 Antecedentes

Con la aplicación del DS N°28, el negocio de fundición de Codelco se ve afectado y debe adaptarse a la nueva normativa.

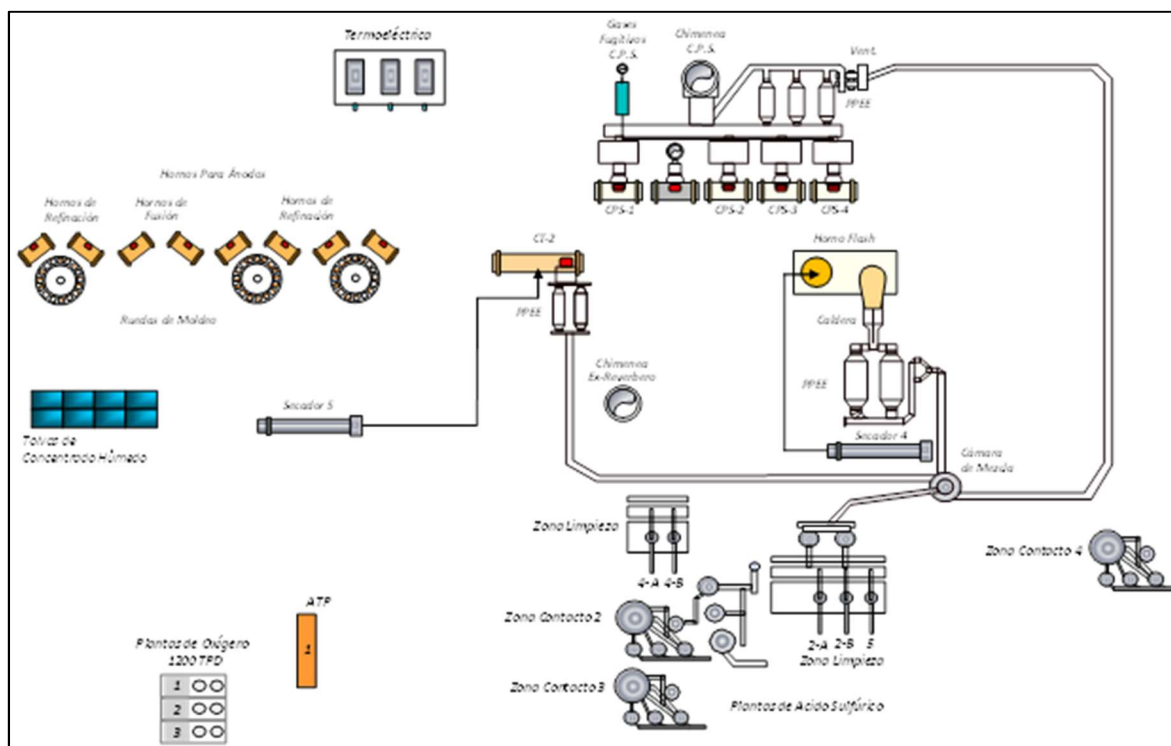


Figura 1 Esquema de manejo de gases actual de fundición Chuquicamata
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

En figura 1 se aprecia el actual esquema de manejo de gases de la división, donde se aprecia que dispone de una fundición compuesta de un Horno Flash (HF) y un Convertidor Teniente (CT) como equipos de fusión con una capacidad de 1.500 kt/año de concentrado de cobre, mientras que la conversión a cobre blíster se realiza en Convertidores Peirce Smith (CPS),

obteniéndose 470 kt/año de ánodos (cobre nuevo, al 99,7%), los que son enviados a la Refinería, para obtener cátodos de cobre al 99,997%.

En las plantas de ácido y por tratarse de un proceso de simple contacto/simple absorción, la eficiencia no supera el 98% y por lo tanto los gases que se emiten a la atmósfera por sus chimeneas superan las 2.000 ppm de SO₂. Por otro lado, actualmente la Fundición de concentrado no supera el 90% de fijación de azufre y arsénico.

En la figura 2 se aprecia el escenario de proyectado, a partir de la entrada en vigencia del DS N°28, mostrando que la Fundición de Chuquicamata operará sólo con el Horno Flash como equipo de fusión, quedando fuera de servicio el Convertidor Teniente. Con el esquema anteriormente indicado, las principales fuentes que emitirán gases con SO₂ serán el Horno Flash y los Convertidores Peirce Smith (CPS) instalados.

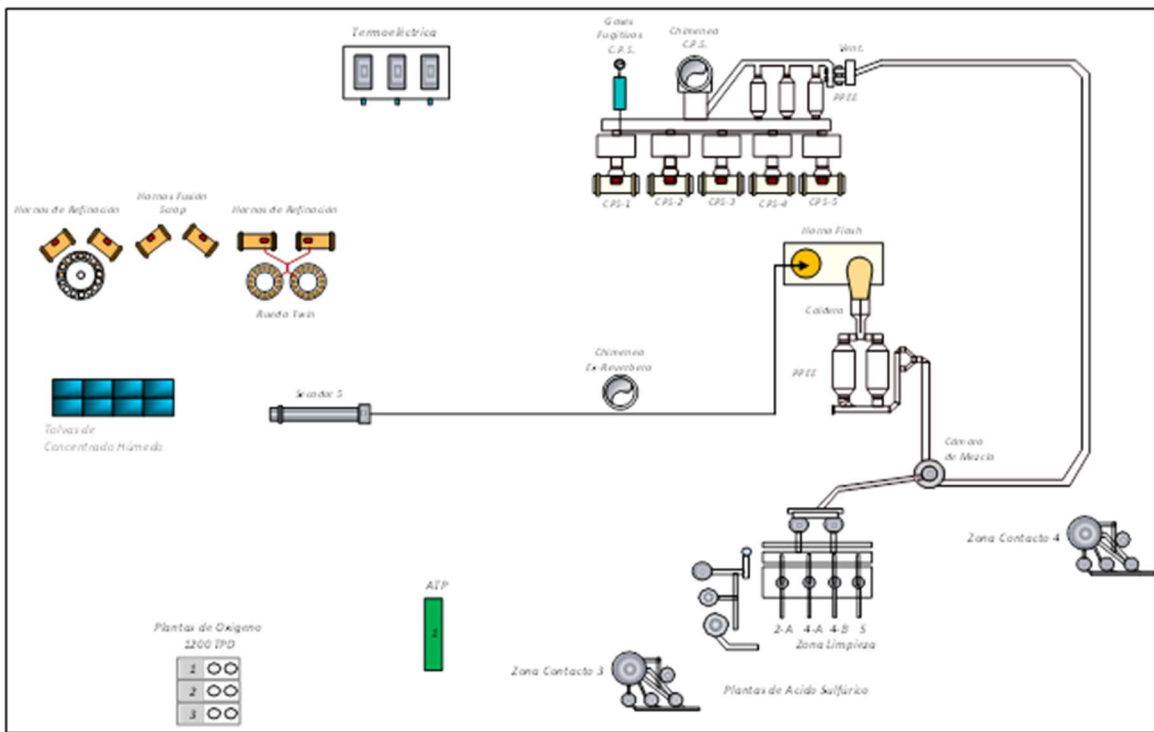


Figura 2 Esquema operacional futuro de Fundición Chuquicamata
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

Ante este escenario de restricción y reducción de emisiones de contaminantes al medio ambiente y para mantener la sustentabilidad estratégica del negocio de la Fundición y Plantas de Ácido Sulfúrico de DCH, se deben desarrollar una serie de proyectos en la Fundición, cuya cartera en su conjunto es denominada “Plan Maestro de División Chuquicamata” para dar cumplimiento al DS N°28. El desarrollo de todos estos proyectos en su conjunto permitirá a DCH dar cumplimiento a las exigencias del DS N°28.

Código API	Jerarquía Codelco por Procesos	Elemento/ Compuesto	Artículo	Límite de Emisión
N13FP19	Reemplazo campana 1A y 2A en CPS FUCO (Proyecto)	SO ₂ Captura SO ₂	Art. 3°	49.700 ton/año ≥ 95%
N13FP29	Aplicación quinto CPS FUCO (Proyecto)	SO ₂ Captura SO ₂	Art. 3°	49.700 ton/año ≥ 95%
N14FP21	Normalización sistema de pesaje y muestreo FUCO (Proyecto)	As Captura As	Art. 3°	476 ton/año ≥ 95%
N15FP03	Reemplazo sistema manejo de gases fugitivos Horno Flash (Factibilidad)	As Captura As	Art. 3°	476 ton/año ≥ 95%
N15FP04	Habilitación sistema de tratamiento gases de refino FUCO (Factibilidad)	Opacidad	Art. 4° letra e)	20% método Ringelman o método 9
N15FP14	Reemplazo secador N° 5 Fundición (Factibilidad)	Material particulado	Art. 4° letra e)	50 mg/Nm ³ (medición una vez al mes)
N16FA05	Obras Tempranas Transformación Plantas de ácido N 3-4 (Proyecto)	SO ₂ , Captura SO ₂ As, Captura As	Art. 4° letras a) y b)	600 ppm (SO ₂) 1 mg/Nm ³ (As)
N17FA07	Transformación Plantas de ácido N 3-4 (Proyecto)	SO ₂ , Captura SO ₂ As, Captura As	Art. 4° letras a) y b)	600 ppm (SO ₂) 1 mg/Nm ³ (As)
N17FP03	Reemplazo sistema de manejo de gases fugitivos horno Flash ((Proyecto)	As Captura As	Art. 3°	476 ton/año ≥ 95%
N17FP04	Habilitación sistema de tratamiento gases de refino FUCO (Proyecto)	Opacidad	Art. 4° letra e)	20% método Ringelman o método 9
N17FP14	Reemplazo secador N° 5 Fundición (Proyecto)	Material particulado	Art. 4° letra e)	50 mg/Nm ³ (medición una vez al mes)

Tabla 3 Proyectos Plan Maestro por artículo del DS/28 y límite emisión abordado.
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

El proyecto plantas de ácido (N17FA17) será el que se analizará en el presente documento debido a que, dado su complejidad se aleja de los proyectos típicos de mantención que desarrollan las divisiones y fue encargado a la Vicepresidencia de Proyectos de Codelco.

2.2.2 Proyecto Plantas de Ácido (N17FA17)

Durante el estudio de factibilidad se realizó un diagnóstico a las plantas de ácido existentes, y se determinó que la mejor alternativa para dar cumplimiento a las nuevas exigencias medioambientales era la implementación de un proceso de doble contacto y doble absorción a través de la construcción de 2 plantas ácido nuevas CAP (Contact Acid Plant) 3 y 4, que reemplazarán las 3 plantas existentes de simple contacto y simple absorción, debido a que producto del alto deterioro de las instalaciones existentes, se inviabiliza económicamente la transformación de las mismas en plantas de doble contacto y doble absorción mediante un overhaul.

Además, se determinó realizar un overhaul a las áreas de limpieza de gases GCP (Gas cleaning Plant) 2 A/B y GCP 4 A/B, que contemplaba el cambio tecnológico de los precipitadores electrostáticos húmedos (WESPs), reparación de los pisos en general, reparación del revestimiento interno de los venturi scrubber y reparación y/o reemplazo de los ductos metálicos desde la cámara de mezcla hasta la entrada de las torres desarsenificadora T-101.

La figura 3 muestra en rojo el área de emplazamientos de las nuevas planta de contacto, en verde el área de las actuales plantas de ácido de simple contacto simple absorción, y en amarillo, los principales equipos a intervenir en el overhaul (los 12 precipitadores húmedos, 4 venturi scrubber y las bombas de impulsión de las torres de enfriamiento)

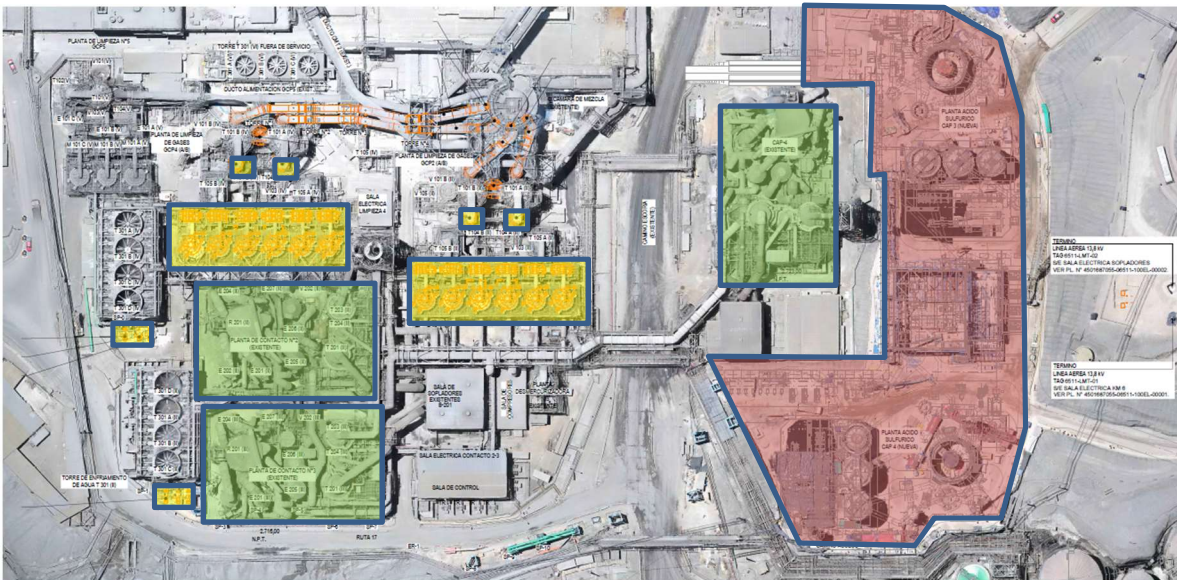


Figura 3 Layout área de limpieza y nuevas plantas de contacto

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

El proyecto también contempla implementar los utilities y facilities requeridos por las nuevas plantas, entre los que se encuentran: el rediseño del sistema de agua de refrigeración secundario hacia las nuevas CAP 3 y 4 y a las GCP 2 y 4, suministro eléctrico de media tensión de 13,8 kV para alimentar las plantas de contacto, implementación de un barrio de contratistas, además del cierre temporal de las plantas CAP 2, 3 y 4 existentes.

La justificación estratégica del proyecto se basa en permitir la continuidad operacional de la fundición, no obstante, es importante relevar que el proyecto plantas de ácido es parte de una cartera de proyecto que se debe ejecutar para que en su conjunto dar cumplimiento al DS N°28.

2.2.3 Plan de ejecución inicial

El plan de ejecución del proyecto (PEP) contempla diversos planes conforme los diversos ámbitos que el proyecto abarca.

Entre ellos se puede mencionar los planes de: gestión de proyecto, de seguridad y salud ocupacional, de gestión de riesgos, de gestión ambiental y permisos, de ingeniería, de contrataciones, de abastecimiento, de constructibilidad, de relaciones comunitarias entre otros, sin embargo, para efectos de generar el modelo probabilístico solo se analizarán las desviaciones de aquellos planes que pueden generar desviaciones al costo y plazo de la ejecución.

2.2.3.1 Plan de Contratos

La estrategia de contratación para la ejecución del proyecto se definió en función de paquetizar trabajos. De este modo se minimizan las interferencias y coordinaciones entre distintos contratistas y se facilita la integración y centrando las responsabilidades en pocos ejecutores.

Los tipos de contratos considerados para la ejecución del proyecto son contratos del tipo EPC, contratos de construcción y montaje, y contratos de servicios de apoyo para la ejecución del Proyecto.

Los contratos de construcción y montaje consideran asignar todas las obras de un área específica a un solo contratista, mientras el proyecto aporta los equipos principales y la ingeniería de detalles, la que debe contar con un nivel de madurez “razonable” que permita reducir los cambios de alcance.

Los contratos EPC (ingeniería, suministro y construcción) tienen por objetivo entregar la responsabilidad de proveer el alcance completo de un área a un solo contratista, por lo que para estos casos se utilizan contratistas que puedan demostrar competencias y experiencia en proveer soluciones integrales en proyectos similares.

Los contratos de servicio de apoyo para la ejecución del proyecto corresponden a contratos transversales, cuyo fin es atender y dar soporte a los distintos requerimientos de todos o la mayoría de los alcances del proyecto.

A partir de la estrategia de contratación, la definición de los contratos de cada área y su alcance, y en base al programa del proyecto con los plazos de preparación y licitación se define el plan de contratos.

Área	Contratos	Código Contrato
Plantas de Doble Contacto Overhaul Área limpieza	Ingeniería, suministro y construcción plantas de doble contacto doble absorción	EPC-001
	Actualización del sistema de control	CS-022
	Ingeniería detalles overhaul Plantas de ácido	CE-001
Plantas de Doble Contacto	Construcción y montaje overhaul limpieza de gases	CC-002

Área	Contratos	Código Contrato
	Construcción y Montaje Paralización Temporal CAP 2/3/4	CC-003
Overhaul Área limpieza Servicios de Apoyo al Proyecto	Reparaciones instalaciones faenas en Ex CAP1	CC-004
	Varios contratos de servicio de apoyo a la construcción	CS-varios

Tabla 4 Contratos relevantes

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 14 API N17FA07 (2014)

2.2.3.2 Plan de Abastecimiento

La estrategia de Adquisiciones del proyecto define que la mayor parte de los suministros serán aporte de los Contratistas. En el caso del EPC todo suministro en el alcance de la planta de ácido, y por del overhaul, el contratista adjudicado será el responsable de los suministros del overhaul de área de limpieza y servicios.

Codelco gestionará la compra de equipos y materiales críticos que por su plazo de entrega no puedan ser asociados al contratista del overhaul.

Las compras bajo responsabilidad de Codelco se gestionarán a través de un contrato EP de ingeniería de detalles y gestión de compras que actuará como agente. La responsabilidad de este contrato abarcará las distintas etapas del proceso de adquisiciones hasta la llegada de los suministros a terreno, donde la responsabilidad será traspasada al contratista del overhaul de área de limpieza y servicios.

Entre las obligaciones del EPC se establecen la planificación de compras, la gestión de adjudicación de las órdenes de compra, la administración de las órdenes de compra (activación), el tráfico y logística, la operación y administración de contrato de agente de aduanas, la operación y administración de contratos de inspecciones en fábrica, la administración de bodega de sitio (gestión de materiales), la operación de Bodega (por un tercero), las compras realizadas en terreno y la gestión, coordinación y control de servicios vendor en la construcción y puesta en marcha.

El listado de suministros (equipos, materiales, repuestos y servicios) requeridos para el overhaul se han agrupado en paquetes que se indican a continuación:

Id Paquete	Descripción paquete
PM-001	Bombas centrífugas verticales (agua)
PM-002	Filtros retro lavado (agua)
PM-003	Dámper tipo guillotina
PM-004	Juntas de expansión
PP-001	Cañerías de acero al carbono (mayor a 4")
PP-002	Válvulas (mayor a 4")

Id Paquete	Descripción paquete
PE-001	Cable de 15 kV
PE-002	Equipos eléctricos para switchgear
PS-001	Estructura común para ductos de gases

Tabla 5 Listado suministros principales del EP

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 14 API N17FA07 (2014)

Los suministros críticos, definidos como aquellos de larga fabricación y, en consecuencia, de largo plazo de entrega, o aquellos de alto valor comercial, requieren tempranamente su ingeniería certificada para las definiciones de requerimientos durante el desarrollo de la ingeniería de detalle del proyecto.

Estos suministros que por su plazo de entrega y complejidad se licitarán vía un EPS y son los precipitadores electrostáticos secos (Wesp) y los CCM (Centro de Control de Motores)

2.2.3.3 Plan de Ingeniería

El proyecto contempla el desarrollo de un contrato EPC para el diseño de la ingeniería de detalles (E), adquisición (P) y construcción (C) de dos nuevas Plantas de Ácido de Doble Contacto/Doble Absorción, cuyo objetivo será generar toda la documentación técnica necesaria (criterios de diseño, diagramas de flujo, P&ID's, especificaciones técnicas, hojas de datos, listados de equipos, listados de cañerías, cubicaciones de estructuras y calderería, modelo 3D, Layout de plantas, planos de disposición de áreas y equipos) para la adquisición, construcción y montaje de todos los equipos y componentes que forman parte de las nuevas plantas de ácido.

Por otro lado, se considera el desarrollo de ingeniería de detalles (E) y adquisición (P) para los proyectos incluidos en el overhaul de las plantas de limpieza de gases, cuyo objetivo será generar la documentación toda técnica necesaria (criterios de diseño, diagramas de flujo, P&ID's, especificaciones técnicas, hojas de datos, listados de equipos, listados de cañerías, cubicaciones de estructuras y calderería, modelo 3D, Layout de plantas, planos de disposición de áreas y equipos) para el montaje y construcción de los equipos y componentes que forman parte del overhaul. La tabla siguiente muestra los subproyectos que forman parte del alcance del overhaul de las plantas de limpieza existentes.

Subproyecto	Descripción
SP01	Cambio tecnológico de los precipitadores húmedos (Wesp)
SP02	Diagnóstico y/o Reparación de ductos de gases de Plantas de Limpieza GCP2 y 4
SP03	Diagnóstico y rediseño del sistema de enfriamiento secundario
SP04	Suministro eléctrico de media tensión
SP05	Plan de cierre temporal de las plantas de ácido existentes (plantas 2, 3 y 4)
SP06	Proyecto de reparación de pisos en GCP2 y GCP4
SP07	Recuperación del recubrimiento interno de los venturi scrubbers y reemplazo de los estanques V101B-II de la Planta GCP2 y V101A-IV de la Planta GCP4.

Tabla 6 Subproyectos alcance de la ingeniería Overhaul

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 14 API N17FA07 (2014)

Como caso especial, SP01 Cambio tecnológico de los precipitadores húmedos Wesp, por su alcance tecnológico, se desarrollará en modo EPS (ingeniería, compras y servicio de apoyo a la construcción) por el proveedor de los haces de electrodos tubulares (internals).

2.2.4 Capex y programa maestro

El objetivo general del programa maestro es establecer la planificación y programación de todos los planes de proyectos en sus distintos ámbitos e interacciones (compras, ingeniería, construcción, permisos), para que se puedan ejecutar en forma consistente y coherente, de modo de establecer lógico y trazable, para cada una de las actividades y fases que conforman el proyecto.

De especial importancia es la identificación de los caminos o rutas críticas que permiten estimar una duración máxima teórica para el desarrollo del proyecto y que constituye en su defecto una base de control para pronosticar y analizar las desviaciones en cualquiera de los recursos que puedan afectar tanto el programa como su fecha estimada de término.

En el caso base la ruta crítica identificada para el proyecto es la siguiente:

- Ingeniería para el desarrollo de contratos principales overhaul en plantas de limpieza (inicio con Fondo de Abastecimiento Estratégico FAE año 2016).
- Compras equipos críticos para contrato overhaul en plantas de limpieza (inicio con FAE año 2016).
- Contratos principales de montaje para overhaul en plantas de limpieza (cambio tecnológico precipitadores, circuito refrigeración secundaria, y ejecución línea media tensión, reparación de los venturi scrubber, reparación de pisos y cierre de las CAP 3, 4 y 5 existentes).
- Término de contratos de obras tempranas (movimiento de tierras & saneamiento plataforma y barrio contratistas).
- Contrato EPC de las plantas de contacto (inicio ingeniería y compras críticas con FAE año 2016).
- Puesta en marcha EPC planas de contacto.
- Pruebas de rendimiento plantas de contacto.

En cuanto a los recursos requeridos para la ejecución se han estimado un total de 4.752.127 horas hombre, distribuidas de la siguiente forma:

- 2.468.654 de horas-hombre directas de construcción.
- 1.367.853 horas-hombre de personal indirecto de construcción, servicios indirectos del Proyecto y algunos servicios complementarios de los costos del dueño.
- 325.620 horas-hombre asocias a Costos del Dueño y del Cliente. De estas 286.380 horas-hombre corresponden al staff del dueño.
- 590.000 horas-hombre por concepto de uso de contingencia del proyecto.

Una vez definido los planes, estrategias y programa maestro, se procede a evaluar económicamente el monto del presupuesto. El Capex, según lo indicado en el documento de Codelco SIC-P-005 “Bases de Estimación de Costos de Inversión y Operación” y SIC-P-004

“Estándar para Estudios de Factibilidad”, se clasifica como un estimado Clase 3, vale decir, se estima que tendrá una precisión de +/- 10 a 15%.

El Capex del proyecto alcanza los 419,7 millones de dólares y está basado en el alcance del trabajo definido por ingeniería y la descripción de las instalaciones, criterios de diseño, listado de equipos y planos de disposición, entre otros.

Dentro de los supuestos del Capex se tiene que:

- La base de información para la estimación del alcance que considera la implementación de las dos plantas de doble contacto y doble absorción se basa en la oferta técnico-económica de la empresa seleccionada en el proceso de licitación mediante la modalidad de un contrato EPC (ingeniería, adquisición y construcción).
- Para el caso del overhaul de las plantas de limpieza existentes (GCP 2 y GCP 4), la base se ha obtenido de las ingenierías desarrolladas a nivel de factibilidad.
- Los suministros del proyecto alcanzan un monto de kUSD 114.847 y están valorizados principalmente por cotizaciones a firme y presupuestarias (90% del monto total).
- Solo se han considerado crecimientos en las cantidades de obra del overhaul.
- Se han considerado los factores y elementos que pueden influir en la productividad del proyecto (condiciones del sitio, interferencias, exigencias de seguridad, regulaciones locales, clima laboral país, sistema de turnos, etc.) y que implica un mayor requerimiento de horas hombre para realizar los trabajos del alcance. Las obras se encuentran circunscritas al área industrial de plantas de ácido que forma parte de la Fundición de concentrados de DCH. Se debe tener en consideración que algunas de las obras (overhaul) se ejecutarán en áreas operativas, con interferencias y que el personal que realice trabajos en esas áreas se encontrará con condiciones ambientales desfavorables (polvos de arsénico, condiciones alta temperatura, presencia de SO₂/SO₃, ácido sulfúrico), ingresos con equipos operando, trabajos en altura y en sectores confinados, entre otros. Por lo anterior se han considerado las siguientes ineficiencias por subsistema.

Alcance de proyecto	PF
EPC Plantas de contacto	1,30
Overhaul	
Reparación de pisos	1,45
Reparación de venturi	1,42
Cambio tecnológico Wesp	1,54
Sistema de enfriamiento	1,43
Cambio ducto de gases GCP2 y GCP4	1,43
Suministro eléctrico MT (18,8KV)	1,54
Paralización temporal	1,43

Tabla 7 PF considerados por disciplina para la estimación de costo de capital
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 16 API N17FA07 (2014)

- El cálculo de la contingencia se determinó de los conceptos: Simulación de Montecarlo, la valorización de 2 meses de gastos generales adicionales y un 10% de sobre costos en la construcción y montaje (sobre costo directo)

Concepto	Criterio de estimación	% sobre el Valor estimado base (VEB)	kUSD
Análisis de rango	Simulación a variables de precios y cantidades con rangos diferenciados de acuerdo a clases	10,30%	38.000
Reserva de programa	2 meses de gastos generales contratistas más indirectos y costos del dueño	2,20%	8.000
Interferencias con operaciones (SIC-I-106)	10% de sobrecostos construcción y montaje del overhaul	1,60%	6.000
		14,10%	52.000

Tabla 8 Criterios de estimación de contingencia de costo

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 16 API N17FA07 (2014)

- Exclusiones: Áreas de trabajo, actividad u obra no mencionada explícitamente en el alcance del presente API. Externalidades negativas, ecológicas y ambientales fuera del alcance del proyecto o por cambio de alcance del proyecto. Impuesto al valor agregado (IVA). Fluctuaciones de tipos de cambio de la moneda base del estimado. Fluctuaciones de precios de materiales y equipos debido a condiciones especiales del mercado nacional e internacional. Fluctuaciones de costo de mano de obra debido a condiciones especiales del mercado nacional. Pagos por incentivos especiales a contratistas. Costos asociados a “fuerza mayor” (actos de naturaleza como terremotos, condiciones atmosféricas impredecibles, actos de terrorismo, sabotaje, suspensión o reinicio del desarrollo del proyecto debido a instrucción de parte de la Corporación o de entes gubernamentales, entre otros). Licencias mineras y royalties. Fletes aéreos para materiales y equipos. Partidas alteradas por “mejoramiento u optimización” (cambios en el alcance original establecido, producto de avances tecnológicos). Costos financieros del dueño (intereses bancarios). Repuestos de primer año de operación. Costos de cierre definitivo de las plantas de limpieza y de ácido de DCH y obras de mitigación ambiental.

Con todo lo anterior, el cuadro resumen de la estimación de capital es el siguiente:

Descripción	Mano de obra		Suministros		Equipos construcción	Subcontrato	Total
	Horas	kUSD	Equipos	Materiales			
			kUSD	kUSD	kUSD	kUSD	kUSD
Costos directos							
EPC plantas de contacto	1.323.935	72.840	63.141	16.174	7.668	22.622	182.444
Suministro y Construcción	1.320.335	72.840	63.141	16.174	7.668	22.328	182.150
Up-grade sistema de control	0.003.600	-	-	-	-	294	294
Overhaul plantas de limpieza	1.144.719	47.842	24.916	10.616	10.784	787	94.945
Reparación de pisos y venturi	0.127.258	08.946	-	1.377	496	294	11.114
Cambio tecnológico Wesp	0.597.493	24.231	19.879	1.410	6.832	-	52.351
Sistema de refrigeración	0.047.147	01.999	4.189	2.947	263	-	9.398
Ductos de gases GCP2 y GCP4	0.264.519	08.859	617	2.256	1.929	-	13.661
Suministro eléctrico MT (13,8 KV)	0.056.577	01.948	170	2.102	296	-	4.516
Paralización temporal	0.044.336	01.858	60	524	968	-	3.411
Estanque V-101	0.007.390	-	-	-	-	493	493
Subtotal costos directos	2.468.654	120.681	88.057	26.790	18.452	23.409	277.389
Costos Indirectos							
Ing. Detalles y terreno	221.960						16.234
Inspección / Apoyo construcción	135.360						10.911
Construcciones temporales							168
Fletes y bodega							5.718

Descripción	Mano de obra		Suministros		Equipos construcción	Subcontrato	Total
	Horas	kUSD	Equipos	Materiales			
			kUSD	kUSD	kUSD	kUSD	
Seguros							1.980
Repuestos PEM							450
Repuestos de capital							1.999
Puesta en marcha	71.700						3.265
Servicios para la construcción	235.440						11.183
Permisos / Sustentabilidad	29.700						1.373
Asistencia vendor / asesorías	10.035						1.954
Subtotal costos indirectos	704.195						55.234
Costos del dueño	289.080						32.601
Costos del cliente	36.540						2.480
Contingencia	589.000						52.000
Total	4.751.127	120.681	88.057	26.790	18.452	23.409	419,705

Tabla 9 Monto total del Proyecto

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 16 API N17FA07 (2014)

No obstante al referimos al programa maestro, a diferencia del capex, no considero contingencia de plazo así como análisis de riesgo al plazo, debido a que cualquier contingencia de plazo asumida excedería aún más la fecha requerida de término, la cual, de manera determinística, sobrepasa en 1 semana a la puesta en vigencia del DS N°28.

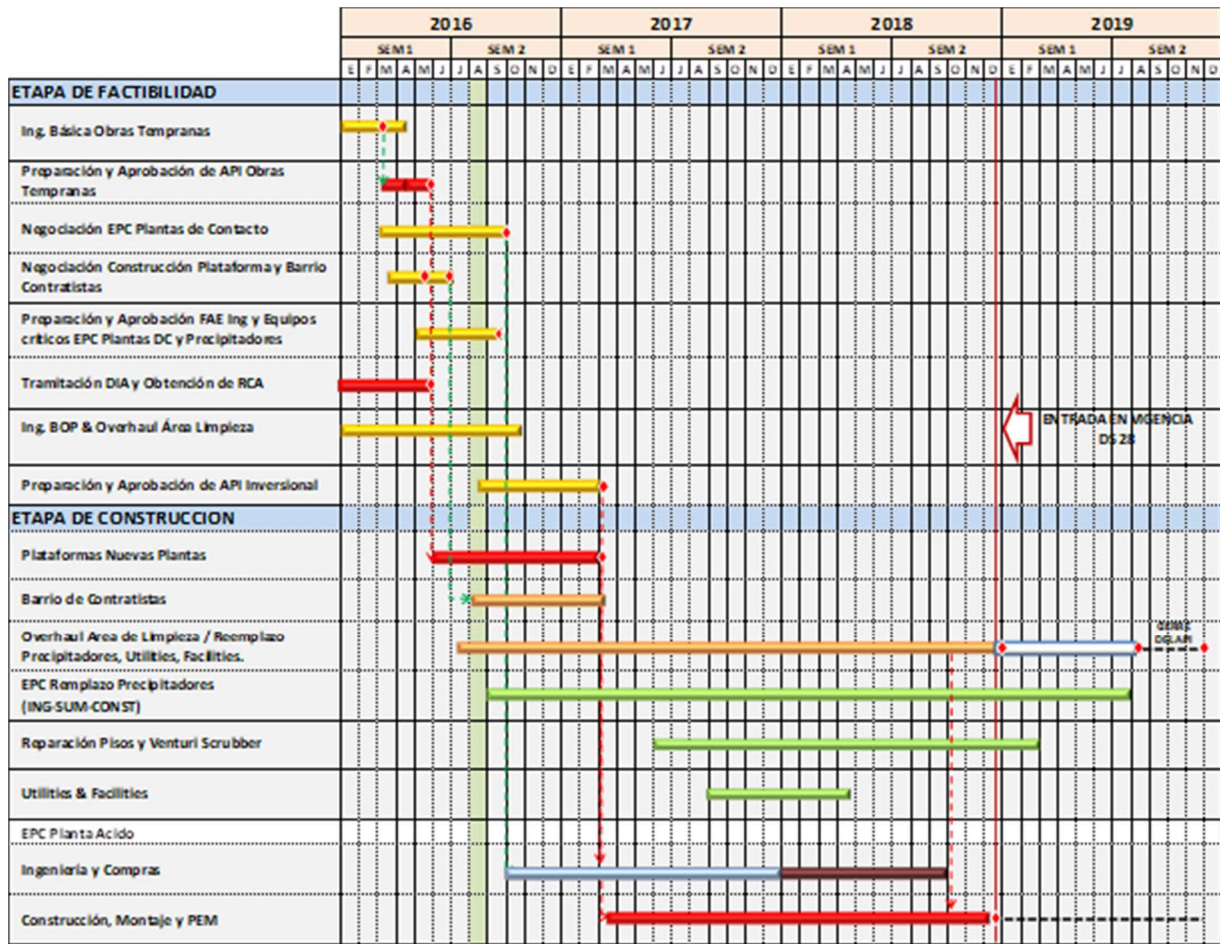


Figura 4 Programa maestro del proyecto.

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 1 API N17FA07 (2014)

2.2.5 Matriz de riesgos y planes de acción.

El método de análisis utilizado para la evaluación de los riesgos se basa en el procedimiento SGP-GASP-EV-PRO-002 ANÁLISIS Y GESTIÓN DE RIESGOS, emitido por la Vicepresidencia de Proyectos. Este estándar se ajusta con la política definida por el Comité de Auditoría, Compensaciones y Ética del Directorio (CACE) y se alinea con las métricas de prioridad establecidas por la Vicepresidencia de Administración & Finanzas de Codelco.

Se basa en la técnica “Brainstorm”, método para generar ideas en forma grupal con la animación de un facilitador, de modo de generar un listado de eventos, con un enfoque de alertar, analizar y gestionar las variables de riesgo con impacto sólo negativo, sus causa y consecuencias, respondiendo las siguientes preguntas: ¿Qué puede suceder? ¿Por qué ocurriría? ¿Cuál sería el impacto?, en forma cualitativa.

Respecto a las probabilidades de ocurrencia de un evento se definió el siguiente criterio de evaluación.

Frecuencia	Nivel	Base: Riesgos transversales	Ocurrencia eventos específicos
Muy Probable	8	Se considera que el evento ha ocurrido en el 75% a 100% de los API.	Se espera que el evento ocurra más de 4 veces al año.
Probable	4	Se considera que el evento ha ocurrido en el 50% a 75% de los API.	Se espera que el evento ocurra hasta 4 veces al año.
Posible	2	Se considera que el evento ha ocurrido en el 25% a 50% de los API.	Se espera que el evento ocurra 1 vez al año.
Remoto	1	Se considera que el evento ha ocurrido en menos del 25% de los API.	Se espera que el evento ocurra en un plazo mayor a un año.

Tabla 10 Criterio para evaluación de frecuencia

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 3 API N17FA07 (2014)

Respecto al impacto de los riesgos se consideró la siguiente escala relativa a consecuencias:

Descripción	Nivel	Pérdida económica (Millones USD)	Seguridad y salud a las personas	Medio ambiente	Ámbito social
Muy alto	8	>50	Muerte de 1 o más personas Lesiones con incapacidad permanente de 1 o más personas	Alteración de las condiciones del medio considera afectación irre recuperable. La extensión del impacto excede los límites del área de influencia directa o indirecta del proyecto Altera significativamente las condiciones del ambiente y no puede ser atenuado	Comunidad paraliza las operaciones de la división de forma prolongada. Se publica mediáticamente información negativa en prensa escrita, radio y TV, tanto a nivel local, regional y/o nacional e internacional
Alto	4	15 - ≤50	Lesiones con incapacidad permanente de 1 o más personas	Alteración de las condiciones del medio considera afectación irre recuperable entre 50% y 90% La extensión del impacto excede los límites del área de influencia directa o indirecta del proyecto	Comunidad paraliza las operaciones de la división de forma prolongada. Impacto mediático negativo solo a nivel local y/o regional

Descripción	Nivel	Pérdida económica (Millones USD)	Seguridad y salud a las personas	Medio ambiente	Ámbito social
				Altera significativamente las condiciones del ambiente y no puede ser reducido entre un 10% y un 50%	
Medio	2	5-≤15	Lesiones no incapacitantes	<p>Alteración de las condiciones originales ha manifestado o manifestará cambios menores</p> <p>La alteración posible, con medidas de control se pueden reducir a niveles menores o transitorios.</p> <p>La extensión alcanza los límites de la propiedad donde se encuentran las instalaciones.</p>	<p>Descontento focalizado de la localidad y/o autoridad, con movilización en contra de la división.</p> <p>Impacto mediático negativo solo a nivel de prensa local.</p>
Bajo	1	0-≤5	Cuasi accidentes Cuasi pérdidas	<p>La alteración de condiciones del sitio prácticamente no ha registrado cambios.</p> <p>Se originan o se podrían originar alteraciones que son minimizadas hasta un nivel imperceptible o completamente controlado.</p>	Descontento focalizado de la localidad y/o autoridad, sin movilización en contra de la división.

Tabla 11 Criterio de evaluación por consecuencia

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 3 API N17FA07 (2014)

El taller de riesgos realizado consideró 19 riesgos de los cuales 16 están en la etapa de construcción. La etapa de Puesta en marcha y operación registró 3 riesgos de alto impacto.

Nº	Evento de riesgo	Etapa a Gestionar	Evaluación Riesgo Inherente				Impacto Económico MUSD
			(C)	(P)	MRI	Criterio Dominante	
1	Falta o Escasez de M.O calificada en el país para Ejecución de revestimientos especiales en la PAC.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
2	Interferencias entre contratos de obras ejecutándose en el sector y la operación.	Construcción	4	4	16	Plazo	30 - 40
3	Plazos del EPC no se ajustan a lo establecido en el Contrato.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
4	Retraso en la ejecución del Overhaul (Venturi, precipitadores electrostáticos, sistema de enfriamiento de agua) impacta la operación.	Construcción	4	4	16	Plazo	30 - 40
5	Daños a la infraestructura de la planta durante el montaje.	Construcción	4	2	8	Financiero	15 - 20
6	Huelga de trabajadores (Externos/Internos al proyecto).	Construcción	4	4	16	Financiero	15 - 20
7	Accidente grave o fatal durante el Overhaul PPEE y/o Construcción de Ptas. Acido.	Construcción	8	4	32	SySO	30 - 40
8	API inversional no está aprobado en la fecha proyectada.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
9	Atrasos en los procesos de licitación y adjudicación de contratos de la ruta crítica para ingeniería, adquisiciones, construcción & montaje.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
10	Falta de y/o Incumplimiento de compromisos entre la DCH y VP durante el Overhaul PPEE y/o Construcción de Ptas. Acido.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
11	Mayores plazos de entrega de equipos críticos (Ptas. Acido, PPEE), respecto del programa.	Construcción	8	2	16	Plazo	30 - 40
12	Accidente grave durante el transporte de equipos (desde instalaciones del proveedor a planta fundición DCH).	Construcción	4	2	8	Plazo	15 - 20
13	Falla o demora en el proceso de traspaso (salida) de plantas actuales a plantas nuevas.	PEM	8	4	32	Plazo	30 - 40

N°	Evento de riesgo	Etapa a Gestionar	Evaluación Riesgo Inherente				Impacto Económico MUSD
			(C)	(P)	MRI	Criterio Dominante	
14	Riesgo de atraso en las Obras Tempranas.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
15	No cumplir el programa de tie-ins del proyecto.	Construcción	8	4	32	Plazo	30 - 40
16	Los parámetros de salida de ácido y SO ₂ no se cumplen.	Operación	8	4	32	Financiero	15 - 20
17	Inadecuada protección antiácida exterior de estructuras, equipos y pisos.	Operación	8	4	32	Financiero	5 - 7
18	Atraso en las obras necesarias para mitigar las interferencias en el traslado de los equipos.	Construcción	8	4	32	Financiero	15 - 20
19	El sistema de control, SCADA, y distribución eléctrica no se integra adecuadamente al sistema de control de DCH.	Construcción	8	2	16	Financiero	15 - 20

Tabla 12 Principales riesgos identificados

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 3 API N17FA07 (2014)

Las medidas de control aplicables a cada riesgo tienen como objetivo atacar las causas que originan el riesgo, o un efecto mitigador si es que se materializa el riesgo o no es posible eliminarlo. Vale decir, son de carácter preventivo, mitigador o ambos efectos a la vez.

N°	Evento	Consecuencia	Medidas de control	Responsable
1	Falta o Escasez de M.O calificada en el país para Ejecución de revestimientos especiales en la PAC.	Retardo en los servicios contratados, deficiente calidad de trabajos.	Carta compromiso formal con sus subcontratistas. Empresa alternativa en el extranjero.	Jefe Contratos Jefe Contratos
2	Interferencias entre contratos de obras ejecutándose en el sector y la operación.	Atraso de la ejecución del proyecto, eventuales pagos por lucro cesante.	Reunión de coordinación con proyectos en el área (GPRO-DCH/PCHS). Verificación de la Ing. Detalles de contratistas para levantar las interferencias. Reunión de revisión de programa tri-semanal.	Jefe Construcción J. Ingeniería J. Construcción J. PyC
3	Plazos del EPC no se ajustan a lo establecido en el Contrato.	Atraso en la puesta en servicio de la plantas de doble contacto.	Control del programa de trabajo, por parte del equipo del proyecto instalado en oficinas del EPC. Contratación empresa que verifique la calidad de fabricación de los equipos. Reuniones con el Distrito y el Proy. CHS. Seguimiento periódico con RRLL de DCH. Definición de estrategia tipo "Fast Track" para ejecución del proyecto Tomar acciones con stakeholder de Codelco.	Director de Tecnología Jefe Contratos Director de Tecnología Jefe RR.LL. Director de Tecnología Gerente Proyecto
4	Retraso en la ejecución del Overhaul (Venturi, precipitadores electrostáticos, sistema de enfriamiento de agua) impacta la operación.	Atraso de la ejecución del proyecto. Eventuales claims.	Verificar que la Ing. Detalles de los trabajos de overhaul tenga un diseño modular (diferentes frentes de trabajos). Reunión de revisión de programa tri-semanal. Reunión de coordinación con proyectos en el área (Gpro-DCH/PCHS). Homologación de procedimiento funcional de izaje de equipos de alto tonelaje. Seguimiento y control del programa de paradas de planta Seguimiento de los APIS de Emergencia de la Fundición.	Jefe Ingeniería J. Construcción J. PyC Jefe Construcción Jefe Construcción Jefe Construcción Jefe Construcción
5	Daños a la infraestructura de la planta durante el montaje.	Destrucción de nueva infraestructura.	Plan de Rigging de acuerdo a procedimientos VP.	Jefe Construcción

Nº	Evento	Consecuencia	Medidas de control	Responsable
			Aplicación de ECF 5 (Uso herramientas apropiadas). Aplicación de ECF 4 (Uso equipos apropiados). Detención de faenas por velocidad de viento.	Jefe Construcción Jefe Construcción Jefe Construcción
6	Huelga de trabajadores (Externos/Internos al proyecto).	Pagos de bonos no presupuestados Plazo del proyecto se ve afectado.	Monitoreo del clima laboral con los contratistas. Transmitir a los contratistas los avances en el tema.	Jefe RR.LL. Jefe RR.LL.
7	Accidente grave o fatal durante el Overhaul PPEE y/o Construcción de Ptas. Ácido.	Detención de las actividades de ejecución del proyecto, indemnizaciones, con eventual pago de lucro cesante (contratistas no involucrados).	Control del programa de acciones comprometidas en Taller NCC-24.	Jefe SSO
8	API inversional no está aprobado en la fecha proyectada.	Atraso en el inicio de la fase de ejecución del proyecto (i.e. 3 meses)	Entrega del API debe ajustarse a los plazos de reuniones de Directorio (cumplimiento programa entrega del API). Solicitud de ayuda al PE y Sponsor del Proyecto para agilizar revisiones externas a Codelco (STC). Proporcionar información esencial del BOP, necesaria para la preparación del API.	Jefe PyC Gerente Proyecto Jefe Ingeniería
9	Atrasos en los procesos de licitación y adjudicación de contratos de la ruta crítica para ingeniería, adquisiciones, construcción & montaje.	Atraso en el inicio de los trabajos para ejecución, mayor costo del dueño (i.e. 4 meses).	Revisión transversal de BT. Aclaraciones en proceso de licitación. Dedicación prioritaria al proceso de licitación del EPC (Sala, Programa, Consultores). Reuniones de revisión y seguimiento del FAE.	Jefe Ingeniería Jefe Contratos Gerente Proyecto Gerente Proyecto
10	Falta de y/o Incumplimiento de compromisos entre la DCH y VP durante el Overhaul PPEE y/o Construcción de Ptas. Ácido.	Atraso de la ejecución del proyecto, eventuales pagos por lucro cesante. Baja productividad del contratista.	Reunión de coordinación entre la VP, Usuario y representante de la Gcia. Fundición, para controlar plan de trabajo ya acordado. Reunión de difusión del Proyecto con la supervisión de la Fundición.	Director de Tecnología Gerente Proyecto
11	Mayores plazos de entrega de equipos críticos (Ptas. Ácido, PPEE), respecto del programa.	Menor rendimiento constructivo respecto a lo esperado, claims contractuales, mayor costo del dueño (por aceleración de la obra/recuperación del atraso).	Revisión de la ingeniería de detalles por equipo VP, para detectar desviaciones del contrato. Uso del PSR y activación de suministros. Inclusión de holguras del programa. Programa de inspecciones en fábrica (Contratista / VP). Revisión periódica del programa de entregas y pronósticos del tiempo.	Jefe Ingeniería Jefe Contratos Jefe PyC Jefe Calidad Jefe Contratos
12	Accidente grave durante el transporte de equipos (desde instalaciones del proveedor a planta fundición DCH).	Daño severo o destrucción de los equipos críticos.	Estudio de ruta trayecto en Chile. Selección de transportista con experiencia en manejo de este tipo de cargas.	Jefe Construcción Jefe Contratos
13	Falla o demora en el proceso de traspaso (salida) de plantas actuales a plantas nuevas.	Atraso en proceso de cambio de operación de plantas actuales.	Durante la ingeniería detalles EPC, desarrollar informe técnico de la transferencia de operación de las plantas nuevas, respecto de las existentes. Taller para transferencia de la operación antigua a las nuevas, con el cliente DCH. Durante la ingeniería detalles EPC, desarrollar el procedimiento de PEM Capacitación al personal de operación y mantenimiento DCH. Reunión de coordinación entre la VP, Usuario y representante de la Gcia.	Jefe Ingeniería Director de Tecnología Jefe Ingeniería Jefe PEM Director de Tecnología

N°	Evento	Consecuencia	Medidas de control	Responsable
			Fundición, para seguimiento del plan de detención de equipos de fusión acordado.	
14	Riesgo de atraso en las Obras Tempranas.	Atraso del proyecto y eventuales pagos por lucro cesante.	Reunión de revisión periódica de avance de las OOTT. Reunión de coordinación con proyectos en el área (Gpro-DCH/PCHS).	J. Construcción J. PyC Jefe Construcción
15	No cumplir el programa de tie-ins del proyecto.	Plazos mayores a comprometidos, también puede significar sobre costos de construcción, por lucro cesante.	Asegurar asignación en tiempo de la ingeniería de detalles. Especialistas revisan los diseños.	Jefe Contratos Jefe Ingeniería
			Reunión de revisión de programa avance de obras. Reunión de coordinación con proyectos en el área (Gpro-DCH/PCHS).	J. Construcción J. PyC Jefe Construcción
16	Los parámetros de salida de ácido y SO ₂ no se cumplen.	Retrabajos de ingeniería, claims con proveedor de equipos, pérdidas comerciales.	Monitoreo de avance de proyectos complementarios para la calidad de gases a la entrada, con DCH.	Director de Tecnología
			Revisar y confirmar los criterios y diagramas de flujo de procesos.	Director de Tecnología
			Revisar y confirmar disposiciones generales, unilineales, Arquitectura de control.	Jefe Ingeniería
17	Inadecuada protección antiácida exterior de estructuras, equipos y pisos.	Retrabajos, cambios de equipos, reparaciones de estructura, daño a las instalaciones.	Apoyo de proveedores especialistas en protección antiácida para la elab. de las Especificaciones Técnicas (ET)	Jefe Ingeniería
			Seleccionar contratistas con experiencia en aplicación de protección antiácida en Ptas. de Acido.	Jefe Construcción
			Asegurar durante la construcción la correcta aplicación de las ET.	Jefe Construcción
			Reunión de coordinación entre la VP, Usuario y representante de la Gcia. Fundición, para seguimiento del plan de mantenimiento de revestimientos y pisos.	Jefe Ingeniería
18	Atraso en las obras necesarias para mitigar las interferencias en el traslado de los equipos.	Equipos no pueden acceder a la faena, retrasos y costos por demora en el arribo.	Abordar tempranamente diseño de las obras para mitigar interferencias	Jefe Ingeniería
			Coordinar con DCH la autorización para ejecución de los trabajos.	Gerente Proyecto
19	El sistema de control, SCADA, y distribución eléctrica no se integra adecuadamente al sistema de control de DCH.	Retraso en la PEM, entrega a la división se atrasa, sobre costo.	Asegurar el upgrade del sistema de control existente previo a la integración.	Jefe Ingeniería
			Coordinación con DCH para la integración.	Gerente Proyecto
			Integrar al especialista eléctrico/instrumentación desde el inicio de los contratos de ing. Detalle	Jefe Ingeniería

Tabla 13 Medidas de control aplicables a los riesgos identificados.

Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 3 API N17FA07 (2014)

2.2.6 Análisis de riesgo para determinación de contingencia de costo y plazo

La contingencia de costo es una provisión de fondos para aquellos costos que son difíciles de identificar dentro de un alcance bien definido. Algunos ítems considerados como contingencia son omisiones y errores de estimación, variaciones de cantidades debido a la incerteza en el diseño (nivel de factibilidad), variaciones de productividades de la mano de obra, variación de costos debido a situaciones imprevistas (huelga, eventos climáticos típicos) o incertezas en los precios.

Dada su naturaleza de cálculo, la contingencia no debe utilizarse para cubrir cambios de alcance del proyecto, cambios de diseño significativos, fuerza mayor. Estos, en caso de ocurrir, obedecen a una reformulación.

La contingencia del proyecto se estimó mediante el método de Montecarlo. El modelo de simulación consideró separar el costo de capital en costos directos, costos de suministros y costos indirectos, separados por disciplina, así como agrupar las partidas en grupos que estén afectos a riesgos similares.

El nivel de contingencia fue definido por el percentil P50 conforme a lo indicado en el procedimiento "Instructivo para la Determinación de la Contingencia", SIC-I-106 de Codelco. La Contingencia calculada es equivalente a un 10,3% del Valor Estimado Base (VEB, Costos Directos + Costos Indirectos + Costos del Dueño + Costos del Cliente)

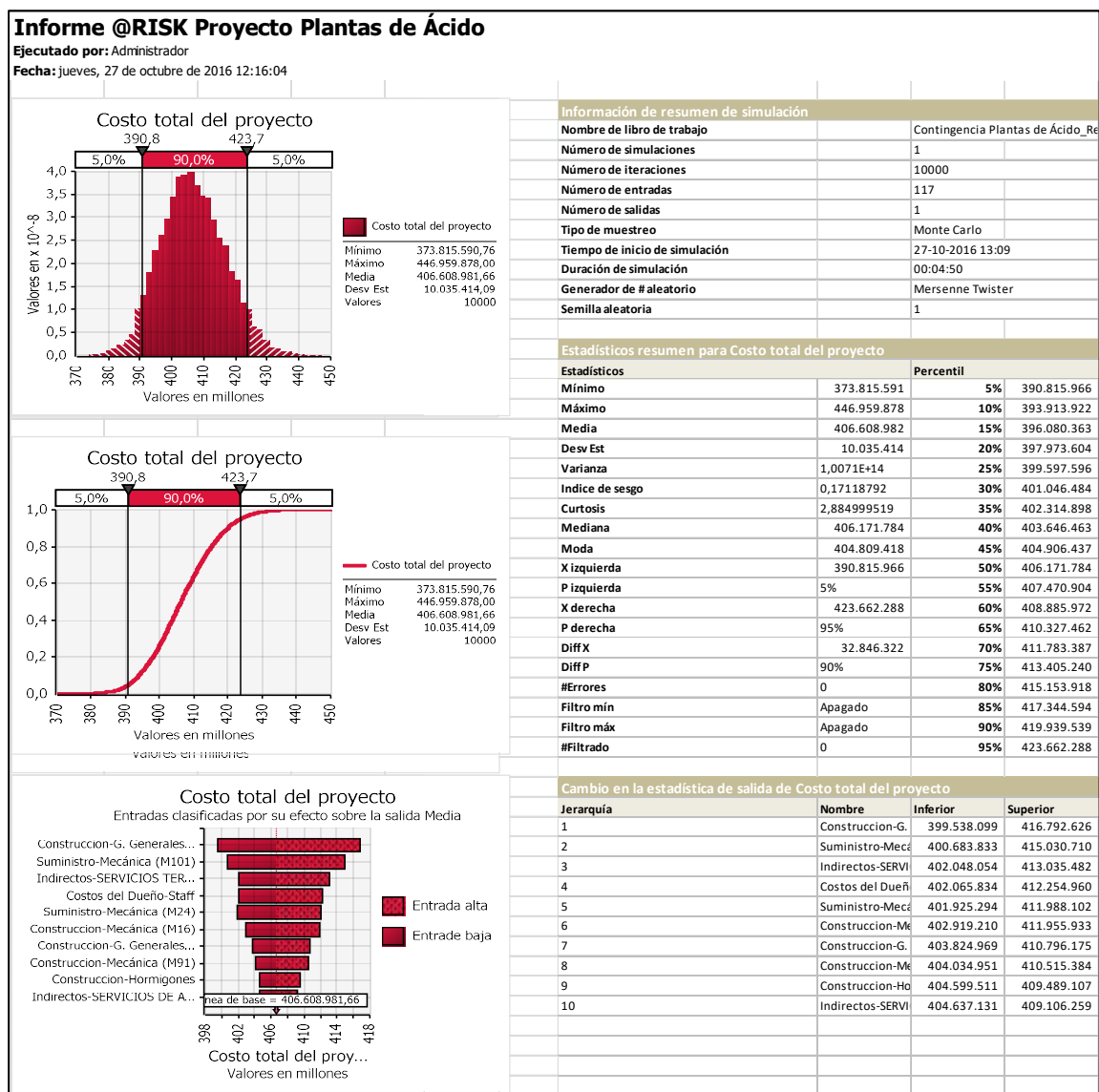


Figura 5 Reporte de simulación Montecarlo para la contingencia de costo
Fuente: Codelco - Vicepresidencia de Proyectos. Capítulo 16 API N17FA07 (2014)

Como se mencionó anteriormente, el análisis de programa del caso base no se realizó debido a que, el programa determinístico ya considera como fecha de término del proyecto el 18 de diciembre de 2018, y considerar riesgo al plazo resultaría en una fecha posterior a la entrada en vigencia del DS N°28

3 EVOLUCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Registro de desviaciones al caso base

Durante el transcurso del proyecto, ya se han adjudicado los contratos principales del overhaul y el EPC. También los contratos de servicios y las compras críticas.

Para analizar y posteriormente generar los modelos sobre los que se realizará la simulación de costo a término y fecha de término, el análisis se enfocará de la siguiente manera: Para efectos de plazo y cumplimiento con el DS N°28, actualmente el driver lo tienen los trabajos remanentes del EPC. En el caso de los costos, se considerarán todos los contratos que aportan al costo de capital estimado a término.

3.1.1 Evolución del Plan de contratos

COD	Identificación Licitación	Fecha	Entrega Base Técnica	Licitación				Adjudicación		
				Fechas				Fechas		
				Invitación	Recepción Oferta	Eval. Tecn.	Eval. Econ.	Firma LOR	Firma ODC	Inicio Servicio
EPC001	EPC Ingeniería, Sumin. y Construcción Plantas de Doble Contacto y Absorción	Prog	22-01-16	05-02-16	30-06-16	09-08-16	16-08-16	16-08-16	30-08-16	01-09-16
		Real	22-01-16	05-02-16	04-07-16	28-07-16	30-08-16	31-08-16	05-10-16	11-10-16
		Estim								
CE001	Ingeniería Detalles Overhaul Plantas de Ácido	Prog	15-10-16	02-11-16	05-12-16	16-12-16	23-12-16	28-12-16	02-01-17	02-01-17
		Real	28-10-16	02-11-16	15-12-16	06-01-17	06-01-17	09-01-17	03-02-17	07-02-17
		Estim								
CC002	Construcción y Montaje Overhaul Limpieza de Gases	Prog	01-11-16	02-12-16	18-01-17	26-01-17	02-02-17	17-02-17	15-03-17	15-03-17
		Real	17-01-17	17-02-17	03-04-17	10-05-17	29-05-17	06-07-17	10-07-17	17-07-17
		Estim								

Tabla 14 Evolución de adjudicaciones de los contratos principales
Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

La evolución del plan de contratos se muestra en la tabla anterior y en ella se aprecia que las desviaciones no fueron mayores a un mes respecto el caso base, con excepción de la asignación del overhaul (CC002) el cual presenta una desviación de casi cuatro meses. Esto se debe al atraso en ingeniería que presentó el contrato EP (CE001) que hizo que la etapa de evaluación técnica y económica fuera más extensa de lo considerado. Los oferentes tuvieron muchas dudas debido a la inmadurez de la ingeniería con la que se salió a cotizar lo que se tradujo en más de una ronda de preguntas y respuestas, varias secciones de aclaraciones y

negociaciones con el contratista seleccionado, así como un anexo de exclusiones de más de 10 hojas por parte del contratista.

Notar que producto de las dificultades presentadas en el contrato del overhaul, entre las medidas tomadas por el equipo de proyecto, se decidió salir a licitar nuevamente parte del alcance del overhaul, como lo son el cierre temporal de las CAP 3 y 4 existentes, la reparación de pisos.

Además, dentro de la ingeniería de detalles para el overhaul, sucedió que el contratista dejó para el final la ingeniería de cierre de las plantas, por lo que, el proyecto decidió eliminar este alcance para el contrato y salir a licitarlo en fecha posterior. Actualmente este contrato se adjudicó el 18 de junio de 2018, pero no se analizará desde el punto de vista de plazos por no ser crítico, impactando solo los costos.

Respecto al corrimiento de los Hitos de contrato, a la fecha de corte junio de 2018, se aprecian desviaciones cercanas a 3 meses, tanto en el Overhaul, como en el EPC.

Descripción	Fecha Vigente	Forecast	Real	Desv (días)
Fase 1				
Término del diseño	10-09-2017		26-12-2017	107
Término de la ingeniería	25-09-2018	30-11-2018		39
Fase 2				
Inicio de montaje electromecánico	02-09-2017		22-08-2017	-11
Disponibilidad Energía (13,8 kV) (**)	21-03-2018	31-07-2018		132
Disponibilidad Agua (ind, Proc) (**)	21-03-2018	30-08-2018		162
Término OOC equipos Ppales	30-03-2018	08-07-2018		100
Término Precomisionamiento (*)	31-07-2018	23-11-2018		115
Término Comisionamiento (*)	30-09-2018	22-01-2019		114
Término PEM (*)	30-10-2018	22-01-2019		84
Término Pruebas desempeño (*)	30-10-2018	21-02-2019		114

Tabla 15 Evolución hitos EPC

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

Descripción	Fecha Vigente	Forecast	Real	Desv (días)
INGENIERIA (EP)				
Inicio Contrato	02-02-2017		04-02-2017	2
Emisión Revision Ing. Básica	05-03-2017		15-03-2017	10
Todos los entregables del sistema de Refrigeración secundario	26-06-2017		27-10-2017	123
Emisión LOR Paquete de Bombas	07-04-2017		18-04-2017	11
Plano OOC Rev.B Refrigeracion secundario	15-05-2017		20-05-2017	5
Todos los entregables línea 13,8kv	30-06-2017		13-10-2017	105
Término Ingeniería detalles	04-03-2018	18-03-2018		14
CONSTRUCCION (BESALCO) (*)				
Acta inicio de Actividades	24-07-2017		24-07-2017	-

Descripción	Fecha Vigente	Forecast	Real	Desv (días)
Entrega programa detallado Rev.B.	23-08-2017		18-08-2017	-5
Término Movilización.	07-09-2017		08-09-2017	1
Inicio trabajos en Terreno.	07-09-2017		26-07-2017	-43
Término comisionamiento circuito refrigeración secundario.	23-04-2018	18-08-2018		117
Término comisionamiento línea MT 13,8 KV.	04-04-2018	03-08-2018		121
Término última línea WESP	27-09-2019	05-10-2019		8
Cierre y Desmovilización	27-10-2019	27-10-2019		-

Tabla 16 Evolución Hitos Overhaul

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto

3.1.2 Evolución del Plan de compras

La evolución del plan de compras en los principales contratos muestra, en términos generales, atrasos en los procesos de licitación originado por ingenierías que requirieron más desarrollo, con el consecuente impacto en la colocación de las órdenes de compra y llegada de los suministros a terreno. Desde el punto de vista del EPC, estos atrasos han impactado la construcción, mientras que desde el punto de vista del Overhaul, las desviaciones en las fechas de llegada se han traducido en impactos al constructor, además de crecimientos respecto a la aprobación con que se autorizó la compra.

A modo resumen se tiene que el EPC tiene sus 94 paquetes de compra adjudicados, contando con todos los equipos mayores en terreno, y 24 paquetes secundarios pendiente de fecha de llegada. Entre ellos los que se pueden tornar críticos son cañerías, ductos y aislación. Tanto en la curva como en las fechas de llegada, se observan atrasos superiores a los 3 meses.

Suministros Principales EPC				
	Fechas	LOA	O/C	Entrega
Convertidor (incluye Internals)	Prog	27-12-2018	28-12-2018	03-08-2017
	1er entrega	21-12-2016	22-12-2016	24-07-2017
	2da entrega			30-08-2017
	3er entrega			19-10-2017
	4ta entrega			08-11-2017
	5ta entrega			06-02-2018
Intercambiador	Prog	06-01-2017	07-01-2017	24-11-2017
	Real	23-12-2016	24-01-2016	26-02-2018
	Forecast			
Ventilador SO3	Prog	19-01-2017	20-01-2017	11-10-2017
	Real	14-03-2017	14-03-2017	06-01-2018
	Forecast			
Torres (absorción, intermedia, final & secado)	Prog	27-12-2016	28-12-2016	14-11-2017
	Real	21-12-2016	22-12-2016	14-01-2018
	Forecast			
Ladrillos antiácidos	Prog	16-01-2017	16-01-2017	01-10-2017

Suministros Principales EPC				
	Fechas	LOA	O/C	Entrega
	Real	17-02-2017	27-03-2017	15-02-2018
	Forecast			
Precalentador	Prog	02-01-2017	03-01-2017	01-12-2017
	Real	26-01-2017	30-01-2017	**17-02-2018
	Forecast			
Cañerías Zecor	Prog	10-01-2017	11-01-2017	24-10-2017
	Real	23-12-2016	17-02-2017	31-10-2017
	Forecast			

Tabla 17 Principales paquetes de compra EPC

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

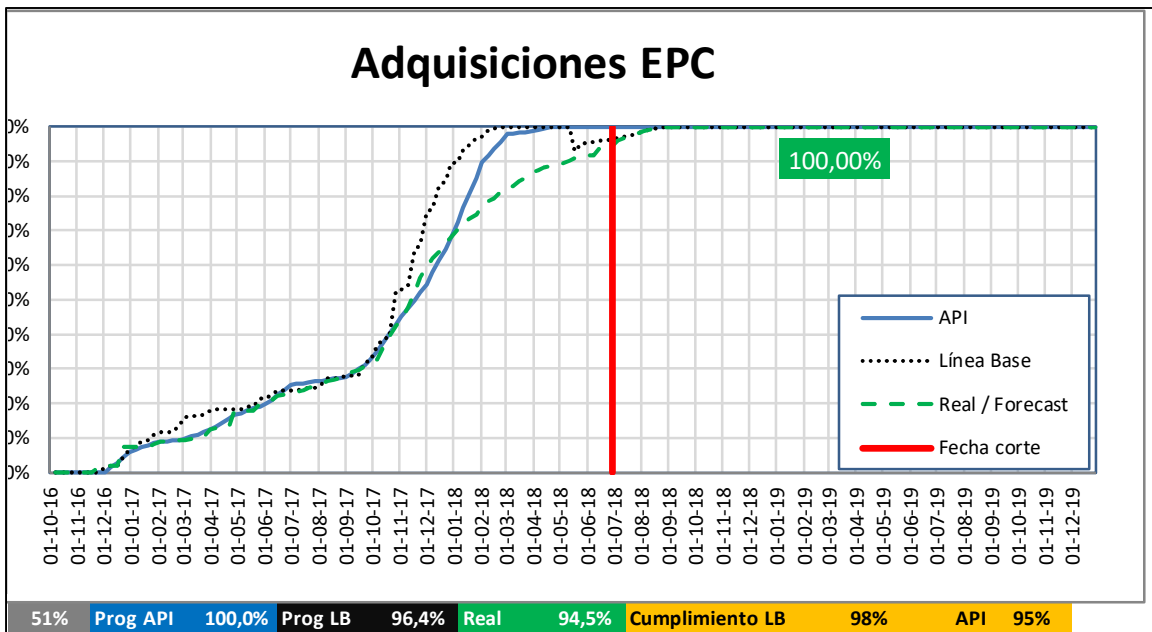


Figura 6 Curva Avance Adquisiciones EPC

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

Respecto al overhaul, se tiene 28 de 29 órdenes de compra adjudicadas, existen paquetes de cañerías con entregas pendientes, que no son críticos. Dentro de los suministros principales, a la fecha solo están pendiente de llegada los venturi que se reemplazarán en parada de planta de fin de año de 2018 y las líneas de precipitadores que se reemplazarán durante el año 2019, ninguno en ruta crítica o comprometiendo los servicios para la entrada en servicio del EPC.

Suministros Principales Overhaul				
	Fechas	LOA	O/C	Entrega
Wesp ME001	Prog	22-12-2016	13-01-2017	31-08-2017
	Real	22-12-2016	13-01-2017	
	1er entrega			04-09-2017

Suministros Principales Overhaul	Fechas	LOA	O/C	Entrega
	2da entrega			24-09-2017
	3er entrega			08-02-2018
	4ta entrega			13-07-2018
	5ta entrega			13-11-2018
CCM EL002 / CCM parada ago-sep 17	Prog	02-03-2017	14-03-2017	31-05-2017
	Real	02-03-2017	14-03-2017	05-07-2017
CCM parada ene 18	Forecast			02-11-2017
Venturi ME006	Prog	02-06-2017	15-06-2017	12-12-2017
	Real	14-06-2017	31-07-2017	
Venturi parada mar-abr 18	1er entrega			05-01-2018 (*)
Venturi parada dic-ene 19	2da entrega			15-07-2018 (**)
Switchgear EL003	Prog	26-07-2017	11-08-2017	30-11-2018
	Real	14-08-2017	17-08-2017	27-12-2017
	Forecast			
Ductos ME005	Prog	24-08-2017	07-09-2017	27-11-2017
	Real	14-09-2017	22-09-2017	
Ducto 4A parte central	Forecast			15-12-2017
Ducto 2A y extremos 4A	Forecast			09-02-2018
Ductos 2B y 4B	Forecast			18-04-2018
Cañerías enfriamiento CA002	Prog	28-06-2017	12-07-2017	29-09-2017
	Real	28-08-2017	31-08-2017	
	1er entrega			06-10-2017
	2do entrega			30-10-2017
	3er entrega			25-10-2017
	4to entrega			25-10-2017
	5to entrega			25-10-2017
	6to entrega			30-10-2017
	7mo entrega			09-02-2018
	8vo entrega			02-03-2018
Spool CA005	Prog	18-08-2017	01-09-2017	09-11-2017
	Real	11-09-2017	15-09-2017	23-12-2017
	Forecast			

Tabla 18 Principales paquetes de compra Overhaul
Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

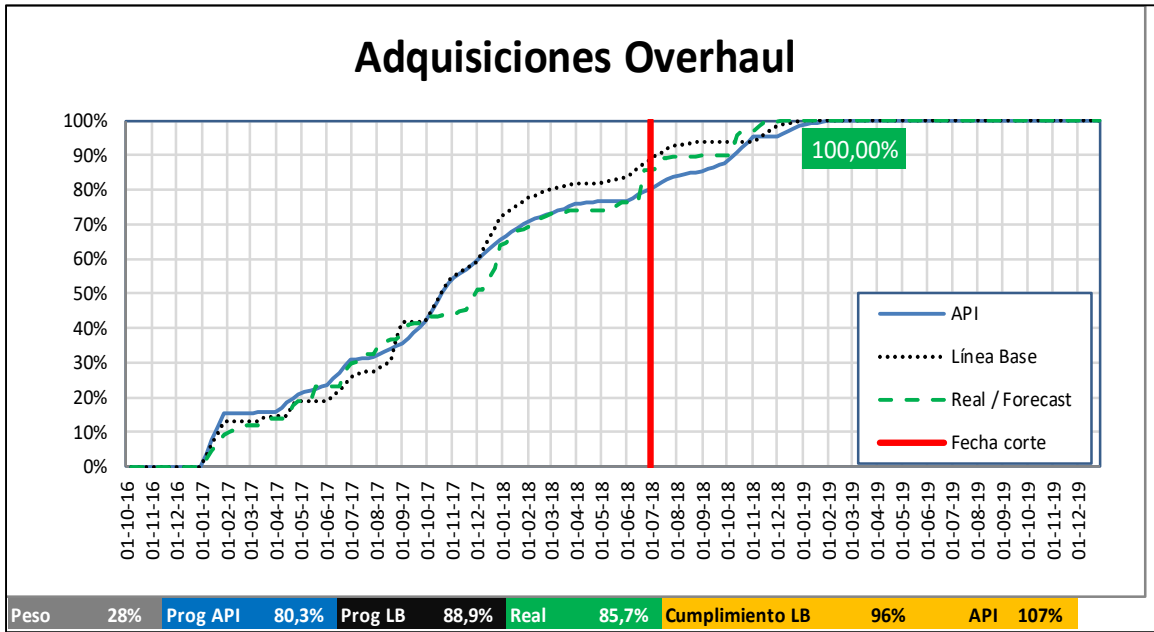


Figura 7 Curva de Avance Adquisiciones Overhaul

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

3.1.3 Evolución del Plan de ingeniería

La evolución de las ingenierías, tanto para el EPC como para el Overhaul, tuvo importantes desviaciones, las que afectaron tanto los procesos de compras como los inicios de la construcción. Si bien a la fecha de corte, las ingenierías principales se encuentran finalizadas, el impacto tanto en costo como en plazo sigue latente. En el caso del Overhaul, existe un importante número de SDI emitidas por interferencias entre los planos aptos para construir y las instalaciones existentes en DCH. Esto, además de ineficiencias en el desempeño del construir, ha generado retrabajos y varios adiciones por cambio de planos en revisión superior. En el caso del EPC, existen procesos de compra que se han atrasado, tanto en licitaciones, como adjudicaciones y fechas de llegada, así como cambios de materialidad completos como es el caso del edificio de sopladores y salas eléctricas.

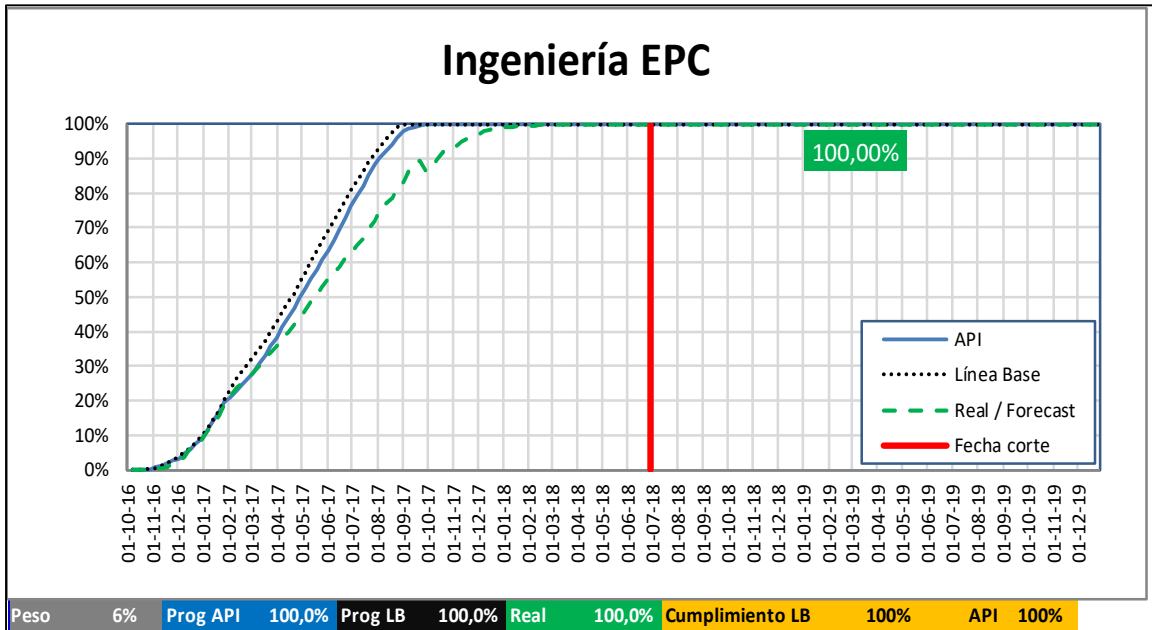


Figura 8 Curva de Avance Ingeniería EPC
Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

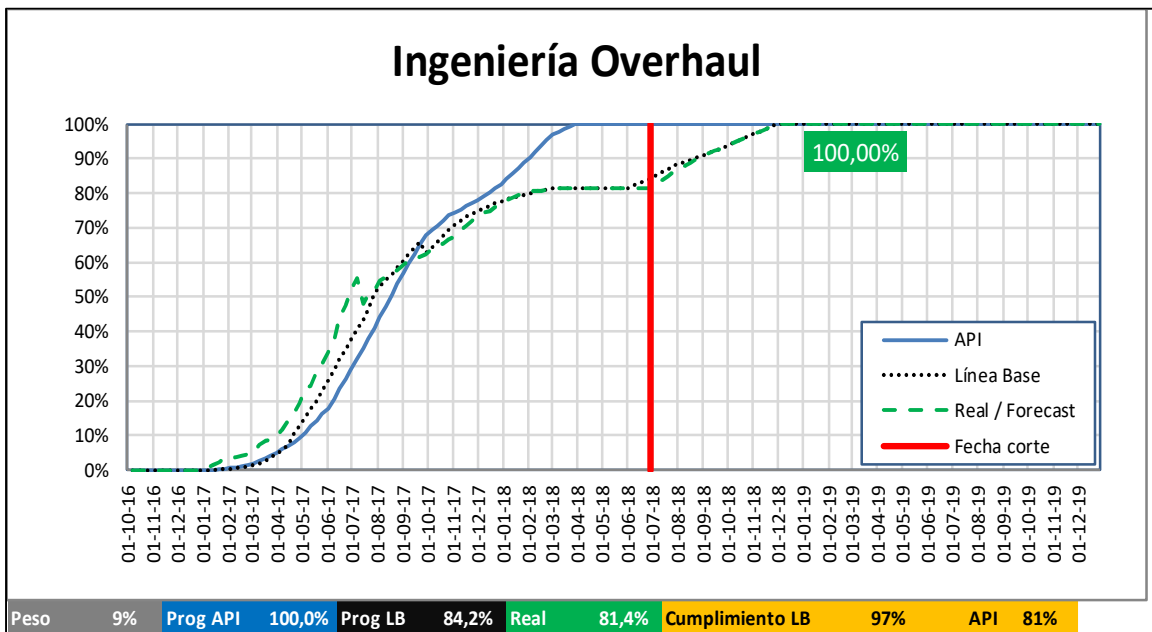


Figura 9 Curva de Avance Overhaul
Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

Notar que en la curva del Overhaul, existe una parte del alcance original que se sacó del EP y se salió a licitar. Estos trabajos corresponden al cierre temporal de las plantas y rampa de acceso a la plataforma del EPC, los cuales no son críticos para efectos de plazo, pero significará que se pueden atrasar estos trabajos, lo que impactará en costos.

3.1.4 Evolución del Plan de construcción

Las evoluciones de los planes de ingeniería y compras han tenido repercusiones en el plan de construcción, los cuales a la fecha presentan importantes atrasos y pronostican, para el EPC, exceder la fecha de entrada en vigencia del DS N°28.

En el caso del EPC, el SNC-Lavalin no ha sido capaz de cumplir con su planificación, comenzó con cambios en el diseño para abaratar su costo, sin embargo, los cambios, en su mayoría de materialidad, aumentaron las cantidades de obra y por consecuencia, afectaron los alcances contractuales y el precio del contrato del constructor. Esta situación es la que originó las desviaciones en los avances de ingeniería y los atrasos en las compras y la construcción. Inclusive, esta situación degradó la relación entre el EPC y el constructor, quien no lograba formalizar los cambios en las materialidades y cantidades debido a que el EPC no contaba con recursos para inyectar al contrato producto del sobre costo que significaban las ordenes de cambio, e intentó endosar responsabilidad a Codelco en los cambios obviando que el contrato entre Codelco y SNC es una EPC a suma alzada.

El constructor ante estos cambios, re trabajos y atraso en la llegada de equipos y suministros, comenzó a abandonar los frentes de trabajo e inclusive comenzó a desmovilizarse, situación que obligó a Codelco a intervenir la relación entre el EPC y su constructor, para evitar que el avance siguiera cayendo y en última instancia, evitar un impacto mayor producto de la necesidad de intervenir al EPC y hacerse cargo de lo que queda de ejecución (ingresar un nuevo constructor o fortalecer el roster del dueño para asumir las responsabilidades y coordinaciones del EPC, entre otras).

Todo lo anterior conlleva una ineficiencia estimada a la fecha de control de junio de 2018, cercana a un 100%. (PF 2,00) y un 65% de cumplimiento del avance programado en el API.

Situación similar se tiene en el Overhaul, con la salvedad que las urgencias del Overhaul son los trabajos destinados a suministrar agua y energía al EPC. Si bien estos trabajos no estuvieron finalizados en marzo como originalmente era el requerimiento del EPC, la finalización de éstos será concordante con la última actualización de requerimientos informada por el EPC (Fines de julio para el suministro de energía y fines de agosto para el suministro de agua) y en consecuencia no afectan el término de los trabajos, por lo que no serán analizados en mayor profundidad.

Al analizar la curva de avance de construcción del EPC, se observa que la curva base del contrato consideraba un avance más exigente que la curva del API. En su primera revisión, luego a mediados de abril se presentó un plan de recuperación, pero ni siquiera su forecast propone alcanzar la fecha requerida de término conforme el DS N°28.

Los porcentajes de avance semanales requeridos superan el 3% semanal, lo cual estadísticamente es muy difícil de cumplir y además la pendiente de la curva es tan pronunciada en sus últimos meses, que parece ignorar la “ley de rendimientos decrecientes” a medida que los trabajos se acercan a su fin, que es cuando las curvas S de avance acumulado se vuelven asintóticas debido a remates, retrabajos, levantamiento de puntos Punch list, todos

estos generando un gran gasto en horas hombre consumidas y produciendo pocas horas hombre ganadas.

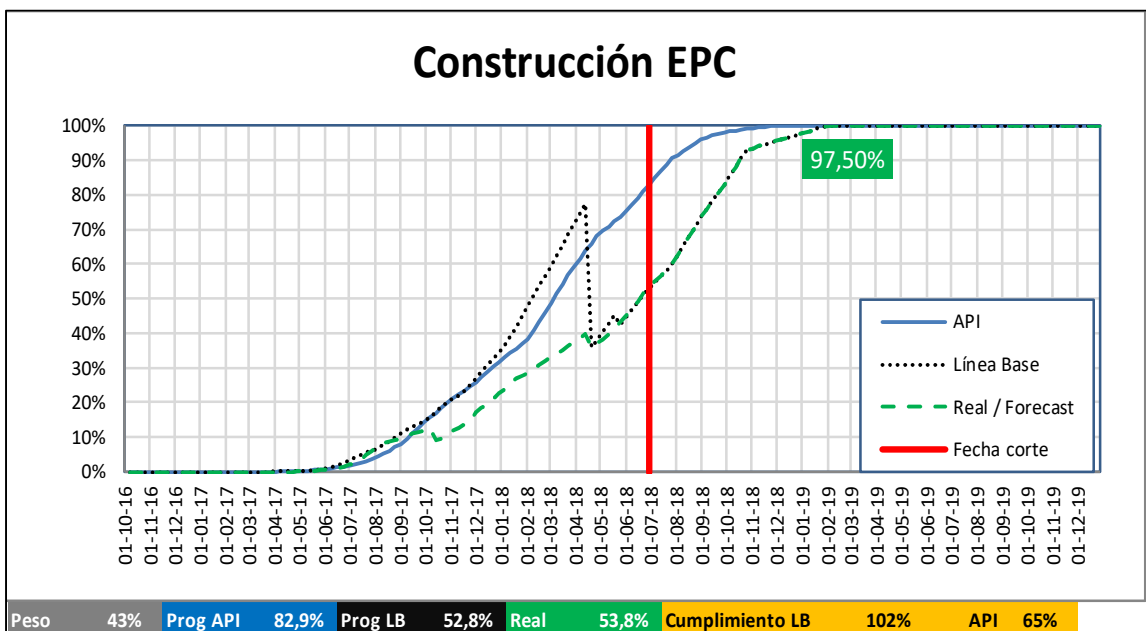


Figura 10 Curva Avance Construcción EPC

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

Desde el punto de vista de costos, en el Overhaul, a parte de los distintos retrabajos por interferencias, debido a su naturaleza de brownfield, se tienen otras ineficiencias relacionadas con las condiciones de sitio y con efectos de salud ocupacional de los trabajadores respecto a la exposición de ácido en las plantas de limpieza existentes, y otros contaminantes como arsénico que han generado múltiples casos de dermatitis. Se han tomado medidas, como la construcción de nuevas casas de cambio húmedas, para que cada trabajador expuesto se duche al final del día, hora no considerada por el contratista en su oferta, y adicionalmente asumir el costo de un lavado más continuo de los EPP de los trabajadores. La ineficiencia estimada a la fecha de control es de un 100% (PF 2,00)

Al analizar la curva del avance del Overhaul, tiene un efecto diferente identificado claramente con los trabajos de parada de planta de marzo – abril de 2018. Antes que ésta iniciara, los trabajos de proyecto del Overhaul iban más menos en línea con lo programado, pero una vez sancionada la planificación de los trabajos de parada de planta de los módulos de limpieza de gases GCP2A y 4A, se observó que el contratista no se preparó para los trabajos previos y eso le significó un inicio improvisado y atrasado en los trabajos.

Durante plena parada de planta, el seguimiento diario dio cuenta que los trabajos del turno nocturno no dieron frutos, y fue tal el impacto que, el contratista tomó la decisión de utilizar el personal que estaba asignado a los trabajos de proyecto para reforzar los trabajos de parada de planta.

Con todo lo anterior, el impacto en el término del reemplazo de los estanques de ácido V101, los Venturi 2A y 4A, y el ducto 2A, ocasionó un atraso en entrega a la división cercano a las 2 semanas

Por otra parte, el atraso en la parada de planta originó un impacto en el programa del contrato cercano a un mes y medio que fue lo que duró la parada de planta. Lo anterior ocurre cuando al ver que los recursos de parada de planta eran insuficientes y no lograba revertir los atrasos, el contratista retiró al todo su personal asignado a trabajos fuera de los frentes de parada de planta, con el consecuente abandono. Actualmente el contratista aun no finaliza los trabajos post parada de planta.

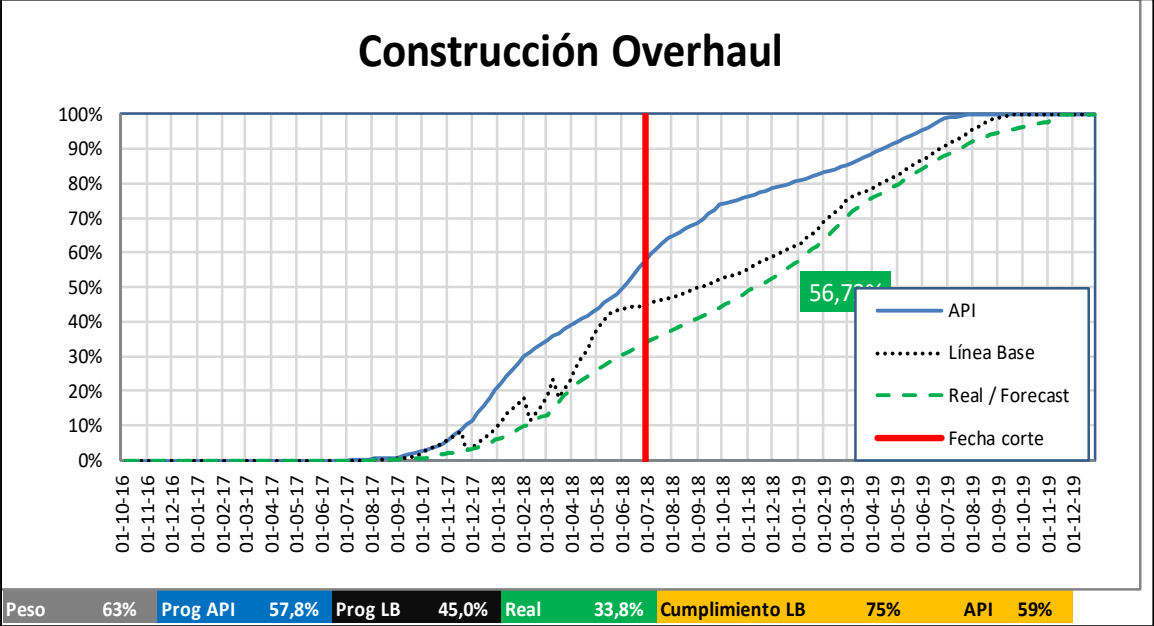


Figura 11 Curva de Avance Overhaul

Fuente: Elaboración propia en base a informes semanales de proyecto.

3.1.5 Evolución del Capex y Programa Maestro.

El presupuesto base de USD 419,7 millones de 2016 a moneda 2018, equivale a USD 463,4 millones (TC: 700 CLP/USD) como presupuesto de control 2018.

Respecto a las tendencias, el estimado a término informado por el proyecto ha sido constante en el tiempo por un monto de USD 463,4 millones, a pesar de la evolución de las tendencias. Lo anterior ha sido posible mediante la autorización del uso de contingencia.

A junio del 2018 se tiene el siguiente cuadro resumen de estimado a término.

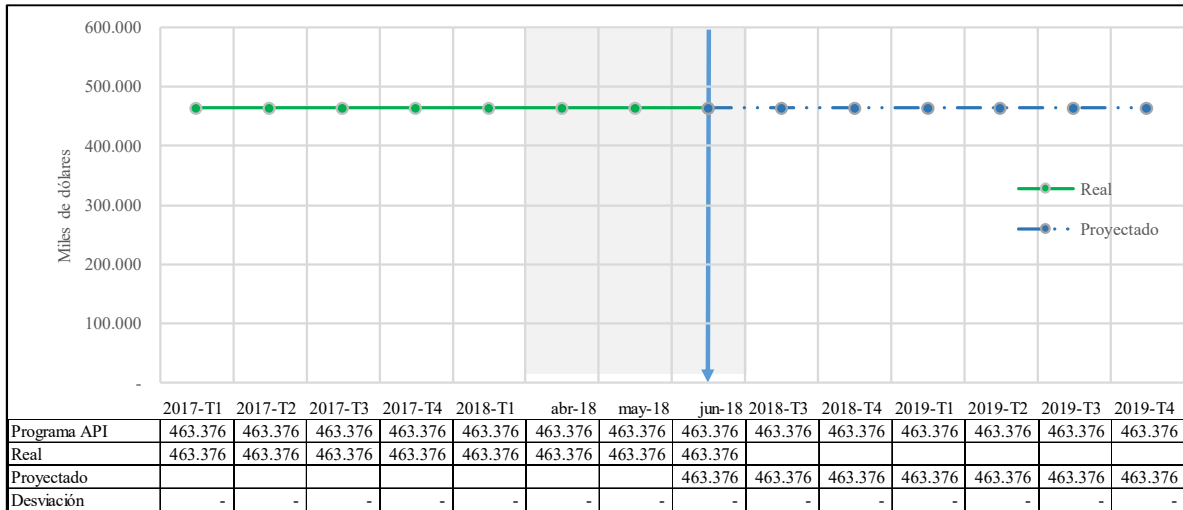


Figura 12 Evolución del pronóstico a Término
Fuente: Informe mensual de proyecto Junio 2018

Descripción	Presupuesto (2016)	Presupuesto (2018)	Cambios alcance / Transferencias	Presupuesto Control	Tendencias	Estimado a término
	KUSD	kUSD	kUSD	kUSD	kUSD	kUSD
Costos directos						
EPC plantas de contacto	182.444	204.725	-	204.725	38.557	243.282
Suministro y Construcción	182.150	204.388	-	204.388	37.591	241.979
Up-grade sistema de control	294	337	-	337	966	1.302
Overhaul plantas de limpieza	94.945	80.884	4.629	85.514	-1.992	83.522
Reparación de pisos y venturi	11.114	7.081	4.629	11.711	3.863	15.574
Cambio tecnológico Wesp	52.351	47.415	-	47.415	-11.411	36.004
Sistema de refrigeración	9.398	9.040	-	9.040	1.292	10.332
Ductos de gases GCP2 y GCP4	13.661	8.529	-	8.529	5.598	14.127
Suministro eléctrico MT (13,8 KV)	4.516	5.379	-	5.379	-1.593	3.786
Paralización temporal	3.411	2.875	-	2.875	-	2.875
Estanque V-101	493	564	-	564	260	824
Subtotal costos directos	277.389	285.609	4.629	290.238	36.565	326.803
Costos Indirectos						
Ing. Detalles y terreno	16.234	10.169	-	10.169	3.729	13.898
Inspección / Apoyo construcción	10.911	12.868	-	12.868	802	13.669
Construcciones temporales	168	23.953	-	23.953	14.125	38.078
Fletes y bodega	5.718	6.546	-	6.546	-5.873	674
Seguros	1.980	2.267	-	2.267	-2.070	196
Repuestos PEM	450	606	-	606	-	606
Repuestos de capital	1.999	2.289	-	2.289	-125	2.164
Puesta en marcha	3.265	2.714	-	2.714	-396	2.319
Servicios para la construcción	11.183	13.426	-	13.426	-1.786	11.640
Permisos / Sustentabilidad	1.373	1.983	-	1.983	-216	1.767
Asistencia vendor / asesorías	1.954	1.825	-	1.825	1.028	2.853
Subtotal costos indirectos	55.234	78.647	-	78.647	9.218	87.865
Costos del dueño	32.601	37.322	-	37.322	-	37.322
Costos del cliente	2.480	2.267	-	2.267	-	2.267
Contingencia	52.000	59.532	-4.629	54.903	-45.783	9.119
Total	419,705	463.376	-	463.376	-	463.376

Tabla 19 Estimado a término a Junio 2018.
Fuente: Informe mensual de proyecto junio 2018

Respecto a las tendencias registradas a la fecha, se tienen 96, que se componen en 89 tendencias originadas por evolución de proyecto (4 cambios y 85 tendencias aprobadas) y 8 tendencias por transferencia (3 tendencias rechazadas y 5 aprobadas)

Tend.	Descripción	USD	Cantidad
T004	Reemplazo 4 Venturi Scrubber material carcaza FRP	4.629.366	1
T006	Tendencia Uso de Contingencia	-4.629.366	1
T014	Cambio de 4 venturis de FRP en vez de 2 nuevos + 2 reparados	-	1
Total		-	3

Tabla 20 Cambios por evolución de proyecto
Fuente: Informe mensual de proyecto junio 2018

Tend.	Descripción	USD	Cantidad
T001	Upgrade sistema de control, incluye overhaul	399.533	1
T002	Mayor costo de Ingeniería Overhaul	1.123.094	1
T003	Seguro TRC y montaje - No se contratará para el proyecto	-1.522.576	1
T008	Menor Costo de Adjudicación de Bombas de Impulsión Agua de Enfriamiento CA001	-1.649.462	1
T009	Mayores costos Ingeniería, gestión Adquisiciones, Terreno Jacobs	840.163	1
T010	Menor Costo Adjudicación Contrato Gestión de Sustentabilidad	-271.269	1
T011	Mayor Costo Adjudicación Contrato Servicio Transporte Personal	50.123	1
T012	Mayor Costo Suministro Válvulas sistema de refrigeración secundario asociado a nuevo diseño	484.152	1
T013	Mayor Costo adjudicación Paq. Compra ES-001 Estructuras Overhaul	546.294	1
T017	Mayor Costo Adjudicación Contrato de Apoyo a la Construcción	1.473.100	1
T018	Uso de Contingencia	-869.288	1
T019	Menor Costo de Cañerías del Sistema de Enfriamiento PAQ. CA-002	-1.183.188	1
T020	Ajuste de Partidas Contrato de Construcción CC-001 Besalco	-	1
T023	Nuevos Paquetes de Compra Overhaul (postes metálicos, misceláneos estructura y calderería, interruptores 2500 Amp)	1.617.315	1
T024	Adicionales Up-Grade Sistema de Control (Overhaul)	566.116	1
T025	Componentes Celda C7 S/E Sopladores y Celda C4	524.889	1
T026	Mayor costo de válvulas de control del Sistema de Refrigeración	166.381	1
T027	Mayor costo Instrumentos de Terreno Sistema de Refrigeración	140.674	1
T028	ME-003 Menor costo Juntas de Expansión de Ductos de gases	-62.424	1
T029	Contrato de Brigada de Emergencia se elimina de Plan de contratos	-57.240	1
T032	Mayor costo Sistema de Filtrado de Torres T-301 (II) y T-301 (IV)	1.039.445	1
T033	Rebaja de partida de Seguros de Transporte	-547.759	1
T034	Eliminación de paquete CA-008 Cañerías de acero carbono para WESP	-317.109	1
T035	Eliminación de paquete CA-009 Válvulas Generales > 4"	-276.469	1
T036	Menor Costo de Spools mayor 4"	-55.306	1
T037	Ajuste de partidas OC N°1 Contrato Ing. Detalles Jacobs	-	1
T038	Menor Costo Caldererías Acero de Carbono	-159.568	1
T039	CA-004 Menor costo Juntas de Expansión de Sist. de Refrigeración	-32.806	1
T040	Menor costo Contrato Manejo de Residuos Peligrosos	-999.039	1
T041	ME-004 Mayor costo estanques de FRP	286.946	1
T042	Rebaja en Presupuesto de Fletes	-3.899.518	1
T043	ME-002 ME-002A Mayor costo de Dampers tipo guillotina	580.501	1
T044	Mayor costo Instrumentos de Terreno Ductos de Gases Metalúrgicos	84.861	1
T045	AC-005 Sistema de Medición de Gases / Transmisor de flujo tipo placa orificio	547.963	1
T046	EL-001 Menor costo suministro de cables de media tensión	-1.137.260	1
T047	EL-005 Menor costo suministro de Celdas Desconectores Línea 13,8 kV	-64.532	1
T049	Servicios de Operación de Casas de Cambio	1.852.641	1
T052	AC-004 Menor costo suministro de Instrumentos de Terreno WESP	-134.532	1
T053	Válvulas adicionales paquete CA-003	402.087	1
T054	ES-001 Incremento en las cantidades de estructuras Overhaul Plantas de Limpieza	2.841.023	1
T055	Ingeniería de terreno (mayor plazo de ejecución) e ingenierías de detalle (ductos FRP, rampa acceso) y estudios complementarios Overhaul	1.036.864	1
T056	Uso de Contingencia	-3.699.376	1
T057	Cañerías de FRP Dual Laminate Venturis T-102A / T-102B - CA-014	648.556	1
T058	Rebaja del costo de las estructuras del Venturi- PAQ ME-006 (alcance incorporado al paquete ES-002)	-376.070	1
T059	Costo de habilitación de casas de cambio del contratista Besalco	1.470.268	1

Tend.	Descripción	USD	Cantidad
T060	Costo HH extras asociadas a duchas del contratista Besalco	2.053.195	1
T061	Costo de habilitación de casas de cambio del contratista SNC-L	2.530.191	1
T062	Costo HH extras asociadas a duchas del contratista SNC-L	5.472.807	1
T063	Uso de Contingencia	-11.526.029	1
T065	Compra de Suministros EPC	3.937.923	1
T066	CC-004 Contrato de Obras Misceláneos y Complementarias	4.975.000	1
T067	Menor costo Servicio de QA/QC	-1.421.819	1
T068	Menor costo Servicio de Alimentación y Hotelería	-826.498	1
T069	Eliminación de paquete CS-013 Inspección y Certificación de equipos	-57.240	1
T070	Eliminación de paquete CS-015 Administración de bodega	-641.085	1
T071	Menor costo Servicio de Arriendo de Vehículos livianos	-458.500	1
T072	Mayor costo de Servicio de Control de Acceso y Seguridad	592.291	1
T073	Rebaja de partida de Fletes y Manejo de Materiales	-2.546.707	1
T074	Ajuste Partidas Ctto, Besalco	-	1
T075	Ajuste partidas Costos Indirectos	-	1
T076	Ajustes en Proyección de costos de compras del Overhaul	-2.634.672	1
T077	Mayor costo Contrato de Construcción Overhaul (Besalco)	8.574.813	1
T078	Mayor costo Servicio de Atención de Salud (Policlínico)	921.502	1
T079	Mayor costo Servicio de Transporte de Personal	44.324	1
T080	Mayor costo Servicio de Control Laboral y Acreditaciones	47.243	1
T081	Menor costo Servicio de Aero-rescate	-175.204	1
T082	Mayor costo Servicio de Geomensura	159.684	1
T083	Menor costo Servicio de Retiro de Residuos	-1.180.192	1
T084	Menor costo de Combustible (Camionetas)	-35.482	1
T085	Eliminación de paquete CS-023 Análisis químico y muestreo de agua	-96.163	1
T086	Menor costo Operación y Mantenión de Planta TAS	-264.459	1
T087	Menor costo Servicio de Agua Potable y Riego de Caminos	-304.440	1
T088	Menor costo Sum. Energía Eléctrica y Mantenión Generador	-184.651	1
T089	Ajuste de Partidas CTTO. SNC	-	1
T090	Mayor costo contrato SNC (considera cierre de negociación Programa de recuperación)	20.375.492	1
T091	Mayor costo Ingeniería Complementaria Overhaul	943.363	1
T092	Ajuste de Partidas Compras Overhaul	-	1
T094	Ajuste de Contingencia	-14.823.705	1
T097	Ajuste de Partidas Compras Overhaul	-	1
T098	Uso Potencial de Contingencia	-14.864.730	1
T099	Compra y montaje de 2 analizadores de SO2 para las nuevas Plantas de Contacto	150.000	1
T101	Mayor costos de Consultorías al Proyecto (Apoyo Contractual Controversias EPC)	55.000	1
T102	Ajuste de presupuesto de partida de vendor (indirectos)	-292.210	1
T103	Rebaja de presupuesto de partida de capacitación (indirectos)	-57.240	1
T105	Up-grade Sistema CCTV	150.000	1
Total		-	85

Tabla 21 Tendencias aprobadas por evolución de proyecto
Fuente: Informe mensual de proyecto junio 2018

Tend.	Descripción	USD	Cantidad
T015	Paquetización Compras Overhaul	-	1
T016	Budget Transfer Reordenamiento Paquetes Indirectos & Costo del Dueño	-	1
T021	Ajuste Paq. Viajes y Comisión de Servicios	-	1
Total		-	3

Tabla 22 Tendencias rechazadas por transferencia
Fuente: Informe mensual de proyecto junio 2018

Tend.	Descripción	USD	Cantidad
T005	Budget transfer	-	1
T022	Budget Transfer Paq EL-003	-	1
T048	Budget Transfer Rep. Capital EPC	-	1
T050	Budget Transfer Vendor Overhaul	-	1
T051	Budget Transfer Fletes Overhaul	-	1
Total		-	5

Tabla 23 Tendencias aprobadas por transferencia
Fuente: Informe mensual de proyecto junio 2018

3.2 Análisis de Riesgos del Proyecto realizados a la fecha

Respecto a la evolución del proyecto, y en particular al pronóstico de término del EPC para dar cumplimiento al DS N°28, se tuvo un seguimiento mensual durante el 2017, que en 2018 no se mantuvo, principalmente porque el programa de construcción comenzó a presentar atrasos que no permitían realizar un correcto análisis de riesgo al plazo.

Recordar que la metodología utilizada por el proyecto está basada en el uso de la herramienta PrimaveraRisk para realizar las simulaciones de Montecarlo.

Update EPC	Fecha de término update	Probabilidad de ocurrencia fecha de término programa	Fecha de término (P50)	Fecha de término (P80)
Junio 2017	29 de noviembre 2018	1%	18 de diciembre 2018	30 de diciembre 2018
Agosto 2017	27 de diciembre 2018	1%	22 de enero 2019	27 de enero 2019
Septiembre 2017	30 de diciembre 2018	1%	23 de enero 2019	29 de enero 2019
Octubre 2017	31 de diciembre 2018	1%	15 de enero 2019	21 de enero 2019
Noviembre 2017	30 de noviembre 2018	1%	17 de enero 2019	01 de febrero 2019

Tabla 24 Evolución de fechas de término y su probabilidad

Fuente: Elaboración propia en base a informes mensuales de proyecto.

El equipo de proyecto en mayo del 2018 retomó los análisis de riesgo, luego de haber llegado a término con el EPC un proceso de negociación para inyección de recursos y revertir el atraso que presenta en la construcción. El plan comprometido y sometido a análisis compromete una fecha determinística para el 31 de octubre de 2018. El análisis de riesgo fue coordinado por el área funcional de Programación y Control de la Vicepresidencia de Proyectos y, realizado con el consultor Innervycs, cuyos resultados en cuanto a costo y plazo fueron los siguientes:

Fecha de término de programa	Probabilidad de ocurrencia fecha de término de programa	Fecha de término (P80)	Presupuesto con contingencia vigente	Probabilidad Presupuesto vigente	Presupuesto (P90)
18 de octubre 2018	1%	24 de febrero 2019	463, 376	68%	472, 683

Tabla 25 Últimos pronósticos de costo y plazo

Fuente: Elaboración propia en base a Informe de Análisis de Riesgo por consultor Innervycs (junio 2018)

Al observar los resultados de término del proyecto conforme al análisis realizado, ya podía concluir el impacto y el no cumplimiento de término conforme a la fecha de vigencia del DS N°28. Es más, de dicha simulación el 12 de diciembre tiene una probabilidad de ocurrencia menor al 15%, no obstante, el proyecto optó por solicitar planes de aceleramiento al EPC, los cuales no tenían implementación inmediata.

Respecto al costo de término, la simulación indica que el presupuesto vigente de 463 MUSD tiene una probabilidad de ocurrencia de un 68%, considerando un 90% si se consideran 472 MUSD.

Contra estas estimaciones de costo y plazo se contrastarán las simulaciones del presente trabajo.

4 SIMULACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE MONTECARLO SOBRE MODELOS SIMPLIFICADOS DE COSTO Y PLAZO, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 Orígenes del método

El método de Monte Carlo debe su nombre al casino de nombre homónimo ubicado en Mónaco, una pequeña ciudad y estado independiente, en la costa mediterránea de Francia, debido a que el método se basa en la generación de números aleatorios en referencia a que la ruleta de los casinos es un generador simple de números aleatorios.

Las primeras aplicaciones del método datan de la Segunda Guerra Mundial, debido a que este método fue utilizado como herramienta de investigación en el desarrollo de la bomba atómica.

4.2 Base teórica del método en estadística y probabilidades

Una simulación de Monte Carlo es un proceso estocástico basado en la generación de datos aleatorios para representar los valores de una variable, conforme datos ya conocidos de su comportamiento y probabilidad de ocurrencia. En esencia, una simulación se utiliza como un modelo aproximado que permita predecir las consecuencias de que determinadas variables alcancen ciertos valores en un modelo. Ergo, el modelo de simulación debe buscar duplicar o asemejarse a los comportamientos propios de un sistema más complejo que se desea simular.

Para resumir los pasos de una simulación se tienen que:

- Conocer el comportamiento de las variables que afectan un modelo y su resultado.
- Hacer variar los valores de estas variables en torno sus valores conocidos.
- Analizar las consecuencias de estas modificaciones en el comportamiento del sistema.

Dada su naturaleza, este método es flexible y aplicable a cualquier tipo de problema o función.

Dado lo anterior, se evidencia su mayor ventaja y debilidad. Su facilidad de utilización se desprende que funciona como un modelo simplificado, que requiere de observación de datos históricos para determinar el comportamiento y la frecuencia de una variable y simular como afecta un resultado. No obstante, la facilidad de aplicación también es su debilidad, debido a que como se basa en observación de una variable, un nuevo comportamiento de esa misma variable no será considerado en la simulación.

La cantidad de iteraciones, o de valores simulados que se apliquen sobre el modelo, darán cuanta de cuan preciso es el valor simulado, tendiendo a cero, mientras más iteraciones considere la simulación.

Cabe notar que la superposición de efectos aleatorios e independientes entre sí, conforme el teorema del límite central no importa como distribuyan las variables en el particular, el resultado del efecto conjunto será una conforme a una distribución normal.

4.3 Criterios para determinación de los modelos de costo y plazo para realizar la simulación.

El monto del proyecto se modelará como la suma de los distintos conceptos de costo que lo componen.

Respecto al plazo, éste se modelará como una suma de elementos identificando aquellas actividades que conforman la ruta crítica, generando ajustes para duplicar la secuencia del programa, pero solo con actividades vinculadas del tipo fin comienzo. De este modo, ambos modelos sobre lo que se realizarán las simulaciones son del tipo suma, los cuales no tienen ninguna complejidad de manejar en Excel. Además, se considerará, tanto para costos como para plazos, que el modelo a simular será el de una suma de efectos independientes, vale decir, no se considerarán correlaciones entre las variables.

4.4 Determinación de las distribuciones de variables que componen el modelo

Las distribuciones de probabilidad de las variables se determinarán utilizando la metodología propuesta por Hernán de Solminihaç en su publicación Procesos y Técnicas de construcción. Esta metodología consiste en determinar la media y la desviación estándar de una distribución normal mediante la identificación de 3 valores para cada variable, conforme al mejor entendimiento de su comportamiento y que son: el valor mínimo u optimista, el valor esperado o más probable y el valor más alto o pesimista.

De esta forma la media queda definida como la suma del valor optimista, más cuatro veces el valor esperado, más el valor pesimista y todo esto dividido en 6, intuyéndose en la formulación una especie de promedio en torno al valor esperado.

La desviación se define como el valor pesimista menos el valor optimista, dividido de 6.

4.5 Metodología

Como ya se mencionó anteriormente, ya sea para el modelo de costos o el modelo de plazo, la formulación será una suma simple, por lo que una vez determinados los paquetes sobre los que se hará la simulación, se determinarán los valores optimista, esperado y pesimista, para el cálculo de la media y la desviación estándar mediante el método de Solminihaç.

Luego, mediante la propiedad de estandarización de variables aleatorias normales, se tiene: $Z \sim N(0,1)$ y $X \sim N(\mu; \sigma^2)$, entonces si $Z = (X - \mu) / \sigma$ se tiene que $X = Z * \sigma + \mu$

Luego con la propiedad de la inversa de la normal en Excel, aplicada sobre un número aleatorio, y sobre la media y desviación estándar calculada para cada variable, se tiene un valor simulado para la suma, con lo cual solo basta con aumentar la cantidad de filas formuladas para la misma suma para que cada fila sea un valor simulado o iteración.

Como criterio de cantidad de iteraciones, en el caso del modelo de plazos se utilizarán 5.000 iteraciones, si con ello se consigue que los valores simulados varíen en no más de 1 semana.

Lo mismo para el caso de costos, si con ello se consigue el monto simulado no varíen en más de 1.000 kUSD.

Se buscarán en la simulación aquellos valores que acumulen el 80% de los casos simulados, vale decir, la fecha de término y el Capex a término estimados que tengan un 80% de probabilidad de ocurrencia.

4.6 Alcances y limitaciones

La presente tesis consolidará información actualizada de proyecto hasta junio de 2018. Se utilizarán los mismos riesgos conocidos a la fecha y se estimarán nuevos rangos de variabilidad conforme a las desviaciones registradas, excepto que los modelos a los cuales se aplicará los rangos de variabilidad serán nuevos y no se utilizará PrimaveraRisk como tampoco @risk para realizar las simulaciones, sino que se realizarán modelos simplificados que aseguren un comportamiento más ajustado a la realidad que se pretende modelar.

4.7 Modelo de costos

La paquetización o quiebre en el modelo de costos se realizará sobre el mismo quiebre que contienen el Capex detallado de la tabla, y se sumarán las tendencias potenciales que con las medidas de control de los riesgos no se visualiza que se podrán mitigar.

4.8 Modelo de plazo

La paquetización de programa y la identificación de rutas críticas se realizarán en base al último programa vigente, seleccionando aquellas actividades que se sabe del desarrollo de proyectos similares, representarán el camino largo que determina el plazo.

El inconveniente de esta metodología radica en que la persona encargada de hacer la simulación tiene que tener conocimientos claros secuencias de montaje, y sus interacciones y/o tiempos de espera respecto a tramitaciones de permisos de construcción, de funcionamiento, relaciones entre actividades de precomisionamiento hasta puesta en marcha para el inicio del ramp up.

Para efectos de la simulación se han considerado 3 rutas críticas que corresponde a la del sistema de intercambiadores de calor y ductos, el sistema precalentador de gases y el sistema de enfriamiento de sopladores y compresores que determinan el término del proyecto, sumado a la sub-ruta que se origina por el sistema eléctrico, y 2 sub-rutas que tienen relación como la obtención de permisos SEC.

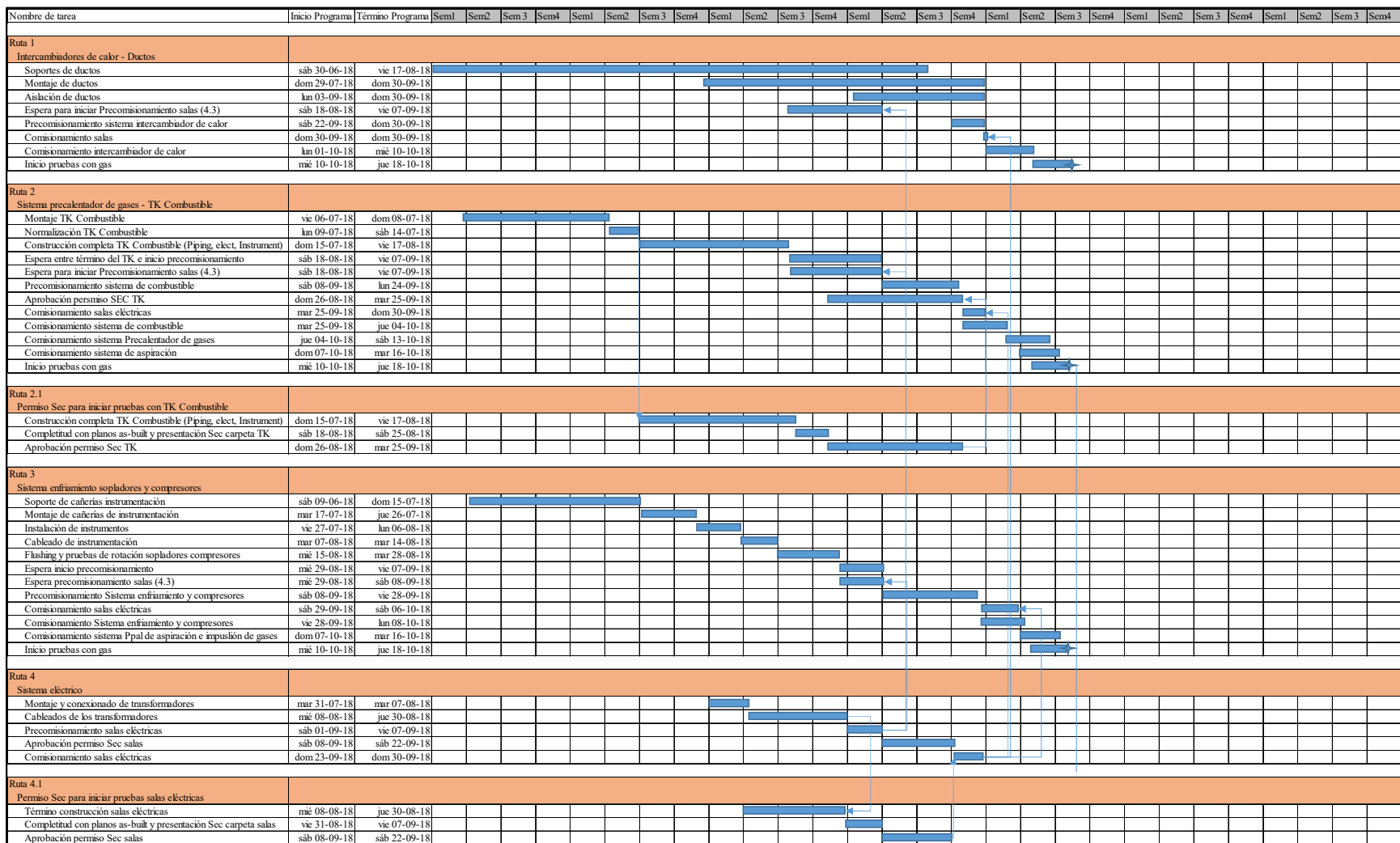


Figura 13 Programa simplificado para determinación del plazo de término.
Fuente: Elaboración propia en base a programa actualizado del EPC

4.9 Criterios de variabilidad y determinación de rangos

4.9.1 Supuestos Simulación de Costo

Dada la evolución de los costos, tendencias existentes y performance de la ejecución de la construcción, el presupuesto base se considerará como el caso optimista, siendo el caso esperado el presupuesto base amplificado por los PF en el caso del overhaul. En el caso del EPC, en taller de rangos se estimó un crecimiento esperado de un 10% por mesa experta. En este caso se desestimó amplificar el costo por el PF, dado que como este contrato es una suma alzada, no tiene sentido amplificar por el PF debido a que este monto se aleja de cualquier proyección.

El presupuesto pesimista se formulará en base al valor esperado, adicionando reclamos probables debido al bajo rendimiento en terreno, así como una estimación de los futuros reclamos producto de la emanaciones de ácido sulfúrico por las chimeneas de las CAP existentes que, en determinadas condiciones de viento, se van hacia el sitio de las nuevas CAP y el personal de construcción se ve obligado a evacuar, sumado a los cobros por uso de cremas y duchas no consideradas al final del turno, como medidas mitigatorias ante casos de dermatitis en los trabajadores.

Además, considera la posibilidad latente de un accidente fatal dentro del caso esperado dada la cantidad de horas de exposición y la seguidilla de incidentes de alto potencial, donde el azar es la línea que separa el incidente de una fatalidad.

Descripción Ítem de costo		Juicio experto			Parámetros para simular, mediante Solminihac	
		Optimista	Esperado	Pesimista	Media	Desviación
Costos directos						
EPC						
1.1	Suministro y construcción	241.979	266.177	316.177	270.477	12.366
1.2	Upgrade sistema de control	1.302	1.367	1.567	1.390	44
Overhaul						
1.3	Reparación de pisos y venturi	15.574	21.804	26.804	21.599	1.872
1.4	Cambio tecnológico Wesp	36.004	43.205	48.205	42.838	2.033
1.5	Sistema de refrigeración	10.332	13.948	15.948	13.679	936
1.6	Ducto de gases GCP2 y GCP4	14.127	18.224	21.224	18.041	1.183
1.7	Suministro eléctrico MT (13,8KV)	3.786	4.543	6.543	4.750	460
1.8	Paralización temporal	2.875	4.313	7.313	4.573	740
1.9	Estanques V101	824	824	2.324	1.074	250
Costos indirectos						
1.10	Ingeniería de detalles y terreno	13.898	15.288	17.788	15.473	648
1.11	Inspección / Apoyo construcción	13.669	14.352	15.352	14.405	281
1.12	Construcciones temporales	38.078	38.078	39.078	38.245	167
1.13	Fletes y bodega	674	674	1.174	757	83
1.14	Seguros	196	196	296	213	17

Descripción Ítem de costo		Juicio experto			Parámetros para simular, mediante Solminihac	
		Optimista	Esperado	Pesimista	Media	Desviación
1.15	Repuestos PEM	606	667	2.667	990	343
1.16	Repuesto de capital	2.164	2.272	3.272	2.421	185
1.17	Puesta en marcha	2.319	3.479	5.479	3.619	527
1.18	Servicios para la construcción	11.640	12.804	14.304	12.860	444
1.19	Premisos / sustentabilidad	1.767	1.944	2.244	1.964	79
1.20	Asistencia vendor	2.853	3.138	4.138	3.257	214
Otros costos						
1.21	Costo del dueño	37.322	41.054	44.054	40.932	1.122
1.22	Costo cliente	2.267	2.494	3.494	2.623	204
1.23	Temas dermatitis (Incluye EPP- duchas)	20.000	24.000	25.000	23.500	833
1.24	Posible accidente fatal en el peak	-	15.000	20.000	13.333	3.333

Tabla 26 Rangos para simulación de Costos

Fuente: Elaboración propia en base a evolución de proyecto

4.9.2 Supuestos de la simulación de plazo

Para la simulación de plazo, dado el persistente incumplimiento de los avances programados, las duraciones del programa objetivo serán consideradas optimistas. Las duraciones esperadas se estimarán amplificando las duraciones optimistas por los PF históricos, dado que el contratista en sus manpower estima la dotación considerando un PF 1, por lo tanto, si no ingresa el personal requerido, las duraciones se extenderán en la misma proporción.

Para las duraciones pesimistas se ha estimado adicionar a las duraciones esperadas un par de semanas por efecto que la ley de los rendimientos decrecientes comenzará a manifestarse en los que resta de proyecto.

Todos estos supuestos también se basan en que se mantendrán los bajos rendimientos debido a que el EPC decidió quitar parte del alcance al constructor principal, e ingresar más constructores. El efecto inmediato será los problemas de eficiencia por coordinaciones, problemas de densidad de trabajadores compartiendo una plataforma ya congestionada.

Sumado a lo anterior está el hecho que las emanaciones de las CAP existentes han originado constantes evacuaciones.

Para finalizar, se ha considerado la ocurrencia de un accidente fatal que afecta tanto al caso esperado como pesimista.

Descripción actividades de plazo		Juicio experto			Parámetros para simular, mediante Solminihac	
		Optimista	Esperado	Pesimista	Media	Desviación
Ruta 1 - Intercambiadores de calor - Ductos						
1.1	Soportes de ductos	29	58	79	57	8
1.2	Montaje de ductos	36	72	86	68	8

Descripción actividades de plazo		Juicio experto			Parámetros para simular, mediante Solminihac	
		Optimista	Esperado	Pesimista	Media	Desviación
1.3	Aislación de ductos	19	38	59	38	7
1.4	Precomisionamiento sistema intercambiador de calor	9	16	30	17	4
1.5	Comisionamiento intercambiador de calor	10	17	31	18	4
1.6	Inicio pruebas con gas	9	16	30	17	4
Ruta 2 - Sistema precalentador de gases - TK Combustible						
2.1	Montaje TK Combustible	3	17	31	17	5
2.2	Normalización TK Combustible	6	20	34	20	5
2.3	Construcción completa TK Combustible (Piping, elect, Instrument)	34	68	82	65	8
2.4	Espera entre término del TK e inicio precomisionamiento	21	23	25	23	1
2.5	Precomisionamiento sistema de combustible	15	29	43	29	5
2.6	Comisionamiento salas eléctricas	8	22	36	22	5
2.7	Comisionamiento sistema de combustible	4	18	32	18	5
2.8	Comisionamiento sistema Precalentador de gases	2	16	30	16	5
2.9	Comisionamiento sistema de aspiración	3	17	31	17	5
Ruta 2.1 - Permiso Sec para iniciar pruebas con TK Combustible						
2.3	Construcción completa TK Combustible (Piping, elect, Instrument)	34	68	82	65	8
2.3.1	Completitud con planos as-built y presentación Sec carpeta TK	8	22	36	22	5
2.3.2	Aprobación permiso SEC TK	25	39	53	39	5
Ruta 3 - Sistema enfriamiento sopladores y compresores						
3.1	Soporte de cañerías instrumentación	37	74	95	71	10
3.2	Montaje de cañerías de instrumentación	11	22	36	23	4
3.3	Instalación de instrumentos	11	22	36	23	4
3.4	Cableado de instrumentación	8	16	30	17	4
3.5	Flushing y pruebas de rotación sopladores compresores	14	28	42	28	5
3.6	Espera inicio precomisionamiento	10	17	19	16	2
3.7	Precomisionamiento Sistema enfriamiento y compresores	21	35	49	35	5
3.8	Comisionamiento Sistema enfriamiento y compresores	2	9	23	10	4
3.9	Comisionamiento sistema Ppal de aspiración e impulsión de gases	1	8	22	9	4
3.10	Inicio pruebas con gas	9	16	30	17	4
Ruta 4 - Sistema eléctrico						
4.1	Montaje y conexionado de transformadores	8	22	36	22	5
4.2	Cableados de los transformadores	23	46	60	45	6
4.3	Precomisionamiento salas eléctricas	8	22	36	22	5
4.4	Comisionamiento salas eléctricas	8	22	36	22	5
Ruta 4.1 - Permiso Sec para iniciar pruebas salas eléctricas						
4.2	Término construcción salas eléctricas	23	46	60	45	6
4.2.1	Completitud con planos as-built y presentación Sec carpeta salas	5	19	33	19	5

Descripción actividades de plazo		Juicio experto			Parámetros para simular, mediante Solminihac	
		Optimista	Esperado	Pesimista	Media	Desviación
4.2.2	Aprobación permiso SEC salas	15	29	44	29	5
F1 - Posible accidente fatal						
	Paralización por investigación posible accidente fatal	-	30	45	28	8

Tabla 27 Rangos para simulación de plazo
Fuente: Elaboración propia en base a evolución de proyecto.

4.10 Simulaciones aplicadas al modelo de costos

Con los rangos de variabilidad indicados en el capítulo anterior, se realizó una simulación mediante Montecarlo, considerando 5000 iteraciones, de modo que la diferencia entre resultados no varíe en más de una 1 millón de dólares.

El gráfico de distribución de probabilidad en el monto estimado es el siguiente:

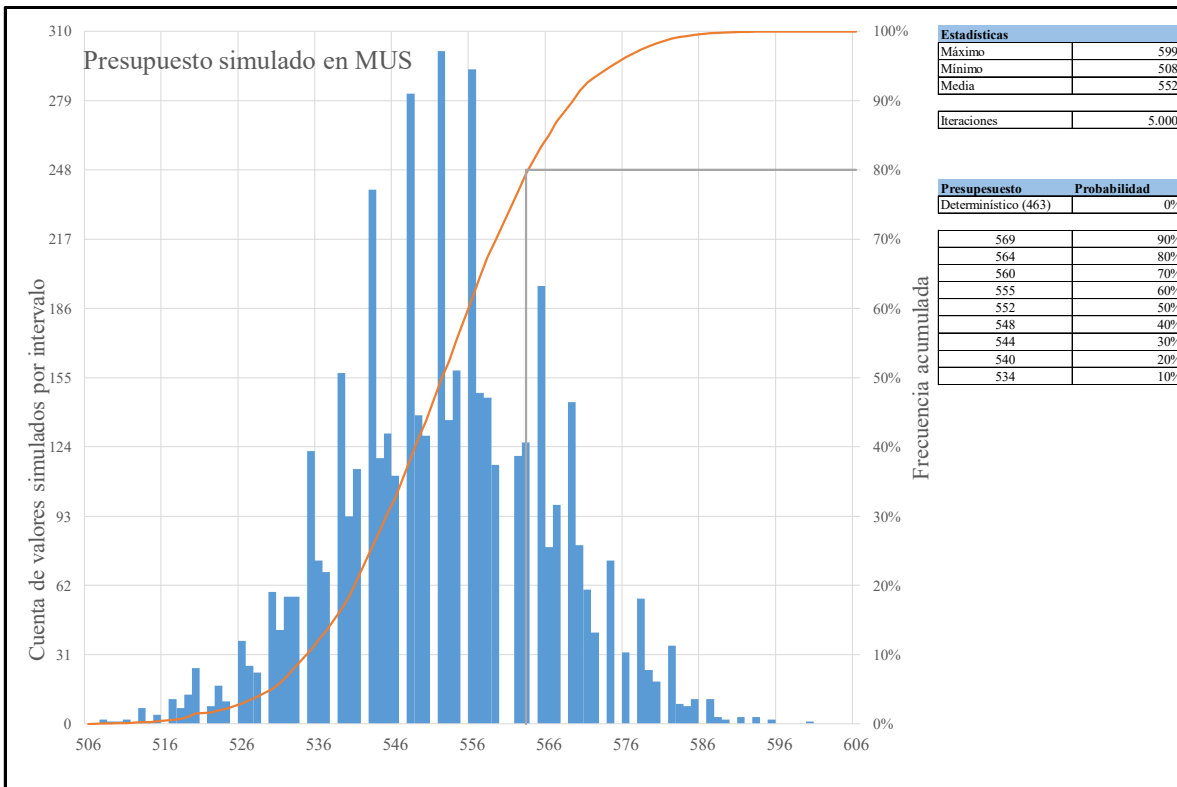


Figura 14 Gráfico de distribución del presupuesto a término
Fuente: Elaboración propia.

Los paquetes más incidentes en el valor esperado del costo se muestran en el siguiente gráfico de tornado.

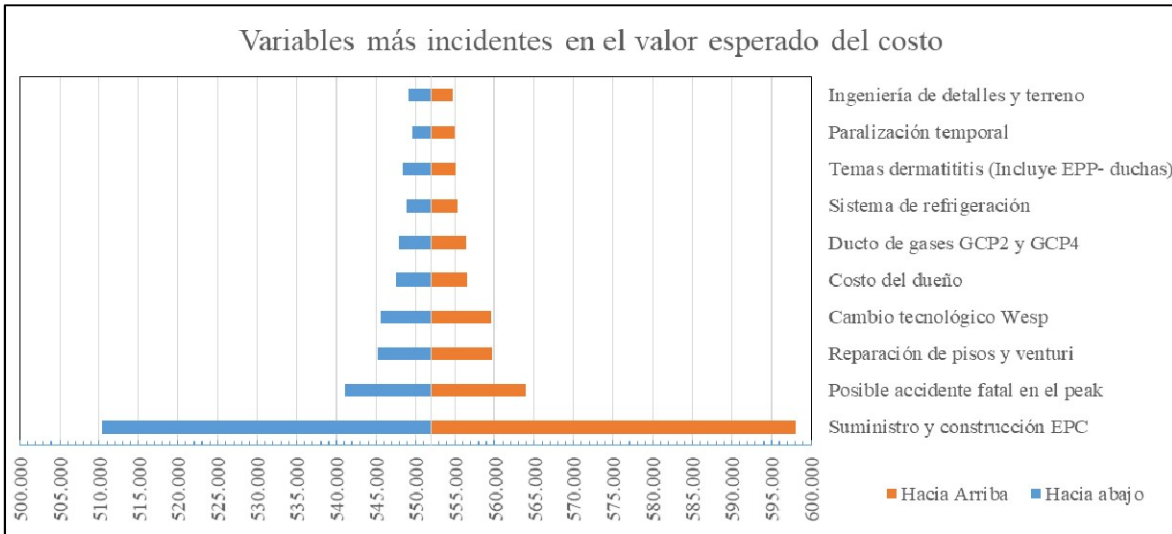


Figura 15 Gráfico de tornado variables más incidentes en valor esperado de costo.
Fuente: Elaboración propia.

4.11 Simulaciones aplicadas al modelo de plazo

Con los rangos de variabilidad indicados en el capítulo anterior, se realizó una simulación mediante Montecarlo, considerando 5000 iteraciones, de modo que la diferencia entre resultados no varíe en más de una semana.

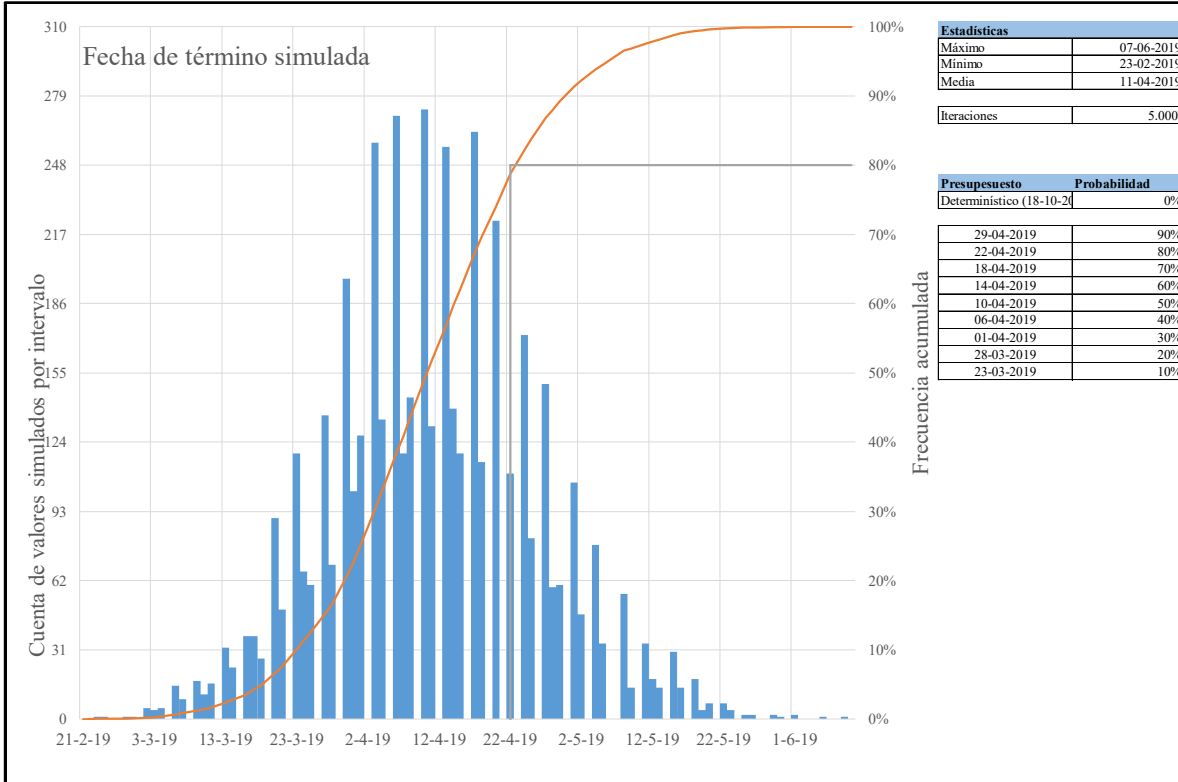


Figura 16 Gráfico de distribución de la fecha a término.
Fuente: Elaboración propia.

Los paquetes más incidentes en el valor esperado del plazo se muestran en el siguiente gráfico de tornado.

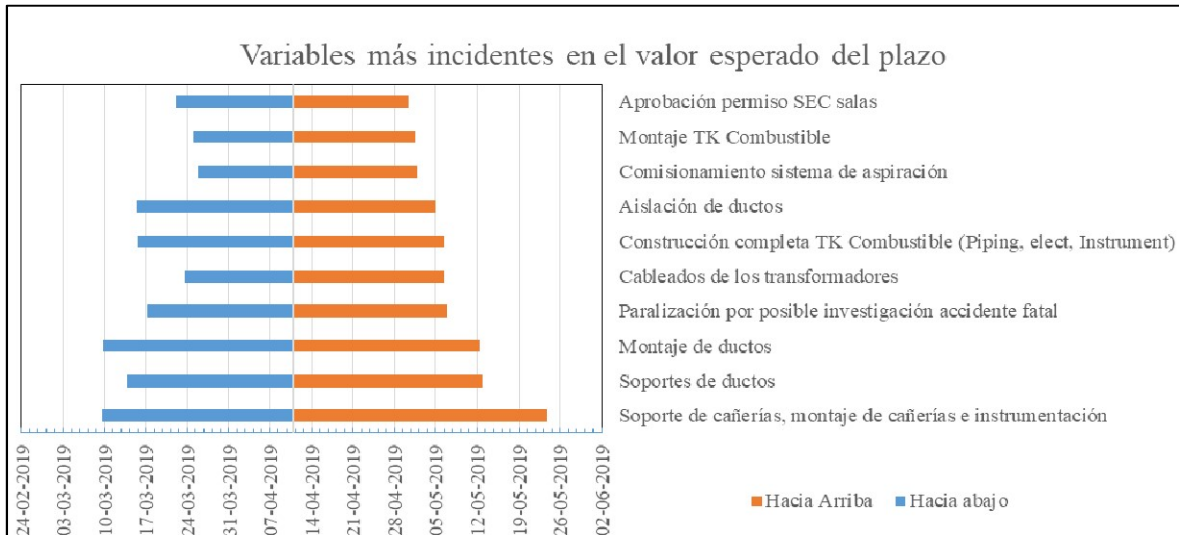


Figura 17 Gráfico de tornado variables más incidentes en valor esperado del plazo.

Fuente: Elaboración propia.

4.12 Nivel de confianza de las fechas de término y costos comprometidos en el caso base, última actualización del análisis de riesgos y, valores recomendados de acuerdo al presente análisis de riesgos.

Respecto a los costos, de acuerdo a lo mostrado por la simulación, la probabilidad de que se cumpla el presupuesto de control, después de 5000 iteraciones, es de un 0%. Así mismo, con un 80% de probabilidad de ocurrencia, el presupuesto a término del proyecto será de al menos de 564 millones de dólares.

Con respecto al plazo, la probabilidad de que se cumpla el plazo determinista, después de 5000 iteraciones, es de un 0%. Así mismo, con un 80% de probabilidad de ocurrencia, la fecha de término del proyecto no ocurrirá antes del 24 de abril de 2019.

Fecha determinista / Nivel de confianza	Fecha última actualización AR / Nivel de confianza	Fecha estimada de término / 80% confianza	Presupuesto base / Nivel de confianza	Presupuesto última actualización AR / Nivel de confianza	Presupuesto estimado / 80% de confianza
18-10-18	24-02-19	23-04-19	463 MUSD	472 MUSD	564 MUSD
/	/	/	/	/	/
0%	<1%	80%	0%	0%	80%

Tabla 28 Resumen valores caso base, estimado y recomendado VS nivel de confianza

Fuente: Elaboración propia

A la luz de los resultados de la presente simulación, y debido a las diferencias en la metodología y criterios empleados para determinar las fechas de término y costos estimados, se tiene que los criterios más relevantes en los resultados obtenidos son:

- Modelo simplificado versus utilización de Primavera Risk en el caso de la simulación de plazo. Lo anterior permite modificar los parámetros del análisis de rango en el caso

que el valor determinística se considere optimista y no esperado. Además permitió la interacción entre las actividades de permisos y precom para la determinación del término.

- En el caso de los costos, la principal diferencia se origina de proyectar los rangos mediante los PF pesimistas y luego estimar un caso aún más desfavorable debido a que las curvas de avance ya entraron en el último cuarto donde se manifiestan los rendimientos decreciente, sumado al hecho que se proyecta un claim adicional del parte del EPC, el cual podría ser insuficiente, de mantenerse los problemas financieros entre el SNC y su contratista principal.

Por lo anterior, las proyecciones presentadas en esta simulación se consideran más confiables que las desarrolladas por el proyecto.

5 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES MAS INCIDENTES QUE EL CASO BASE NO LOGRÓ CAPTURAR EN LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO, Y QUE LA GESTIÓN DE RIESGOS NO LOGRÓ MITIGAR.

5.1 Variables de costo

Por el lado de las estimaciones de costos, las variables que se identifican como las más incidentes y que el caso base no capturó son:

- EPC:
 - Subestimación de cantidades de obra.
 - Subestimación de rendimientos.
 - No considerar los efectos de emisiones de gases en torno a evitar casos de dermatitis mediante cremas.
 - No considerar casa de cambio húmeda para duchas de los trabajadores al final del turno.
 - No considerar el efecto de los cambios de ingeniería del EPC, contratado a suma alzada, respecto al contratista de construcción, contratado a precios unitarios.
 - Subestimación de los rendimientos en términos de densidad por superficie.
 - No considerar la ruptura de la relación entre el EPC y su contratista de construcción.
 - Intervención en la relación entre el EPC y su contratista de construcción.
- Overhaul:
 - Subestimación de las cantidades de obra por salir a licitar con ingeniería básica.
 - Subestimación de adicionales por efectos de cambios al diseño entregado como apto para construir por interferencias.
 - Subestimación de los trabajos de parada de planta y los recursos necesarios para su ejecución.
 - Subestimación del grado de reparación requerido en los Wesp, intentando recuperar partes que se desconoce su deterioro hasta que son intervenidos los equipos.
 - Errores en levantamientos de terreno con que se realizaron los diseños.

- Válvulas que no cortan líneas y las mantienen presurizadas, esperando realizar mantención y/o conexiones en paradas no planificadas por la división.
- No considerar efectos de las emisiones de gases en torno a evitar casos de dermatitis en trabajadores.
- No considerar casas de cambio húmedas para duchas de los trabajadores al final del turno.

5.2 Variables de plazo

Por el lado de programa, las variables más incidentes y que el caso base no capturó son:

- EPC:
 - Subestimación de plazos para las cantidades de obra a ejecutar.
 - Optimismo en secuencias de ingeniería y compras, y omitir los impactos de estos atrasos en la construcción.
 - Subestimación y optimismo en plazos y secuencias de construcción, sobre todo en la parte de la curva S donde históricamente se manifiestan los rendimientos decrecientes por problemas de densidad y simultaneidad de disciplinas.
 - Omisión del riesgo e impacto de dejar toda la ejecución en un solo contratista de construcción, y la falta de visión al retirar alcance e ingresar otros contratistas sin un plan de interferencias definido y sin considerar las curvas de aprendizaje de los nuevos constructores.
- Overhaul:
 - Subestimación de los plazos en los trabajos de parada de planta.
 - Subestimación de los plazos en los trabajos en los precipitadores húmedos debido al desconocimiento del real estado de estos equipos antes de iniciar los trabajos.
 - Subestimación de plazos producto de interferencias originadas en un levantamiento deficiente de las condiciones de sitio para el diseño.
 - Subestimación y falta de concordancia en los plazos de los procesos de compra debido a atrasos de ingeniería.
 - Subestimación de los plazos de respuesta de los proveedores con respecto al estado del mercado y demanda de otros clientes.
 - Falta de estandarización en los diseños ha provocado fabricaciones particulares que aumentaron los plazos de entrega.

5.3 Análisis cualitativo de la efectividad de los planes de mitigación.

La mayoría de las variables que el caso base no capturó y que fueron consideradas para la determinación de rangos de la presente simulación, están contenidas en la matriz de riesgos del proyecto del caso base.

Lo anterior no debería ser posible, más aún cuando en la fecha de control y de corte de la información de análisis, el cumplimiento de los controles de sobre los riesgos de proyecto, está sobre el 95% en la totalidad de los riesgos identificados.

Esta aparente contradicción entre que los riesgos de materialicen aun cuando la implementación las medidas de control sobre estos riesgos presenta sobre el 95%, nos permite cuestionarnos si las medidas de control sobre los riesgos efectivamente resultarían efectivas. De investigación sobre lo anterior, no existe evidencia que luego de la formulación de la matriz de riesgos y la determinación de las medidas de control, exista algún seguimiento a la efectividad de las medidas de control.

Tampoco existe evidencia que luego de determinar medidas de control sobre los riesgos de proyecto, esté considerado en el Capex la valorización e implementación de éstas, por lo que, tampoco fue considerado su implementación en los análisis de riesgo, tanto en costo como en plazo. En consecuencia, dado que la administración del proyecto no dispone de presupuesto para la implementación de estas medidas, difícilmente existirá el incentivo de ejecutarlas de modo proactivo, y si se ejecutan será reactivamente.

6 CONCLUSIÓN

La presente tesis ha buscado determinar, utilizando la metodología de simulaciones de Montecarlo, el costo y fecha de término del Proyecto Plantas de Ácido de División Chuquicamata y contrastar estos resultados con los valores reportados a los niveles facultados y stakeholders.

Resulta fundamental entender que el resultado de una simulación es una distribución de probabilidades sobre un modelo que busca representar la realidad, y es en este sentido, que cobra mayor relevancia cuánto se ajusta el modelo al comportamiento real y sus parámetros de entrada respecto a los resultados que se obtengan en la simulación.

Con lo anterior en mente, las conclusiones y recomendaciones que se dependen de este trabajo, en base a las diferencias de los resultados, están basados en el modelo sobre el cual se corre la simulación y sus datos de entrada.

6.1 Respecto a la estimación de la fecha de término

Se puede indicar que los resultados de las simulaciones realizadas en este trabajo pronostican con un 80% de probabilidad de ocurrencia que el proyecto estará en operación a fines de abril de 2019, 4 meses después de la entrada en vigencia del Decreto Supremo N°28.

Lo anterior se origina en dos diferencias claramente identificables en la simulación: Los parámetros de variabilidad y modelo utilizado.

Respecto a los parámetros de variabilidad, se ha demostrado mediante la evolución del proyecto - porcentaje de cumplimiento de programa en curvas de avance, avances requeridos a término, PF y comportamiento aplanado de las curvas S en los términos constructivos - que no se puede avalar la suposición que las duraciones del programa de recuperación puedan ser consideradas como probables, sino más bien, optimistas. Este simple hecho no puede ser modelado mediante Primavera Risk y genera impacto en los parámetros de variabilidad, dando prácticamente 0% de probabilidad de ocurrencia al programa de recuperación sobre el que se hizo la simulación oficial.

Al analizar el modelo sobre la que se ejecutó la simulación se identifican 2 aspectos que diferencian el programa de recuperación como modelo de la simulación oficial respecto al utilizado en este trabajo; el primero es el uso excesivo de relaciones término - término o comienzo - comienzo el cual alcanza el 60% del total de las vinculaciones presentes en la malla CPM del programa de recuperación, y el segundo es la mala vinculación entre actividades del término de construcción, el inicio del precomisionamiento, los permisos asociados y las secuencias de pruebas.

Lo anterior genera un desapego a la realidad como proyección y además con esto, subyacen atrasos en la programación que además afectan la simulación, generando la expectativa que es posible finalizar en fecha.

6.2 Respetto a la estimación de costo a término

Se puede indicar que los resultados de las simulaciones realizadas en este trabajo pronostican con un 80% de probabilidad de ocurrencia que el costo a término será de 564 millones de dólares, generando un sobre costo de al menos en 90 millones de dólares.

De lo observado, la estimación de costo a término oficial no difiere en el modelo utilizado, dado que aunque se haya realizado con @Risk, el modelo es el mismo, la suma de los costos, por lo que la diferencia radica en el optimismo de los parámetros de variabilidad.

Al igual que ocurrió en el modelo de plazo, los montos del modelo de costo fueron considerados los esperados, asumiendo un delta negativo para el caso optimista y un del positivo para el caso pesimista en la simulación oficial. No obstante, en modelo en Excel se utilizó el presupuesto como valor optimista, se amplificó por el PF acumulado para valor esperado, y se estimó para el caso pesimista un crecimiento sobre el PF a modo de reclamo o compensación, siendo el más significativo de estos costos el que podría presentar el EPC por su dotación y medidas a implementar para cubrir el plan de recuperación, bajo el supuesto que, aun siendo un EPC, pedirá indemnización por este concepto, el cual se estima en al menos 50 millones de dólares.

6.3 Proyección de Impacto en División Chuquicamata y el distrito Norte sobre las consecuencias de no finalizar en fecha el proyecto

Conforme la fecha de término proyectada con 80% de probabilidad de ocurrencia no será hasta fines abril del 2019, con lo cual, el negocio de fundición de DCH se verá paralizado al menos por 4 meses.

Durante agosto del año 2016, la Vicepresidencia desarrollo un FAE (Fondo de abastecimiento estratégico) para iniciar las ingenierías y compras críticas del proyecto plantas de Ácido mientras se autorizan los fondos del API. En este contexto, División Chuquicamata desarrolló una evaluación económica sobre la situación de su negocio de fundición, contando con los recursos solicitados e iniciar anticipadamente las ingenierías y compras críticas, respecto de esperar la aprobación del API para recién contar con los fondos para iniciar estas actividades críticas. Dicha evaluación mostro que el impacto promedio de no contar con los fondos e impactar la fecha de término de las nuevas plantas sobre diciembre de 2018, resulta en una pérdida promedio mensual de 34 millones de dólares a partir de enero de 2019.

Con lo anterior, se puede inferir que el impacto para Codelco será, con al menos un 80% de probabilidad de ocurrencia, una pérdida de 136 millones de dólares por estos 4 meses de atraso.

Este impacto de 34 millones de dólares por mes de atraso tiene el supuesto que el concentrado se trasladará a la Fundición de Teniente para ser procesado. Resulta necesario indicar que los impactos económicos podrían ser mucho mayores, si eventualmente la fundición en Teniente presenta los mismos problemas y no esté operativa para diciembre.

La extrapolación del problema a todas las fundiciones de Codelco, que no estén operativas para la entrada en vigencia del DS N°28, proyecta un escenario en que todas las fundiciones de la corporación este detenidas mientras implementan los cambios tecnológicos que les permitan operar. Esta situación plantea problemas de venta, debido a que el concentrado con el nivel de arsénico que presenta el distrito norte no podría ser comercializado y tendría que ser estoqueado.

Un agravante nuevo presenta este escenario, que no está valorizado en los 34 millones de dólares mes, y el hecho que, con las fundiciones apagadas, las plantas de limpieza y de ácido no estarían operativas, ergo, no se tendría capacidad de producir ácido, lo que encarecería los costos C1 por lo que habría que comprar ácido para el proceso productivo.

6.4 Recomendaciones

Considerando que un proyecto minero es un conjunto ordenado e integrado de procesos que conllevan una evaluación técnico-económica que se realiza sobre variables minero-metalúrgicas, técnicas y de mercado, las cuales presentan en la mayoría de los casos una alta incertidumbre, una etapa de construcción y de posterior operación, con sus riesgos inherentes, se concluye que el principal error de la administración del proyecto fue generar falsas expectativas sobre la promesa de valor.

La diferencia de utilizar modelos simplificados y con un mayor apego a los posibles escenarios futuros, así como el diferente entendimiento de las proyecciones han provocado las diferencias más significativas en las proyecciones: La falta de una visión sistémica, claridad de ejecución, estimación deficiente, errores u omisiones de diseño, bajo desempeño de los contratistas o programas claramente optimistas, agresivos (tendencia full potential) o que simplemente niegan la realidad de la tendencias, resultan en factores causales del incumplimiento en las promesas de valor - término dentro costo y plazos, con calidad y seguridad - que se realizan al nivel facultado, todo lo anterior potenciado por una débil gestión de riesgos de proyecto, donde la falta de visión sistémica nubla el entendimiento e impactos de estos, o se identifican tardíamente cuando ya no son un riesgo sino una realidad que impacta negativamente al proyecto.

Además se evidencia que existe una falsa sensación de control sobre los riesgos al interior del proyecto dado que, el grado de cumplimiento de los planes de mitigación para con los riesgos de proyecto se registra sobre el 95%, no obstante los riesgos y sus impactos se han materializado de igual modo, por lo que se desprende que la gestión de riesgos falla en verificar la efectividad de las medidas de mitigación, conforme a la evolución del proyecto.

En resumen, los factores a considerar para una realizar estimaciones de término costo y plazo utilizando Montecarlo son:

- Preparar modelo integrados de costo y plazo, de todas las etapas de vida del proyecto. Estos deben ser modelos simplificados en los que el equipo de proyecto se asegure que su comportamiento se ajuste a lo proyectado como realidad.
- Considerar los riesgos de la estrategia de contratación de manera integrada.

- Realizar estimaciones de cantidades de obra conservadoras para evitar crecimientos por evolución de la ingeniería.
- Realizar estimación de PF considerados conforme las condiciones de sitio, estimaciones de adicionales por interferencias producto de la calidad y madurez de la ingeniería, y finalmente, estimaciones de los posibles reclamos de parte del contratista ejecutor conforme la expectativa de real transferencia del riesgo (Durante la formulación del API, el proyecto no logró prever que, al adjudicar al proponente con la oferta económica más baja, siendo ésta más baja que el presupuesto estimado sin contingencia, el contratista tendría problemas de flujo. Lo anterior se debió a que la modalidad de contrato con el EPC fue una suma alzada, pero éste último negoció con su contratista de construcción contrato precios unitarios)

Realizar actualizaciones periódicas de las simulaciones con la información actualizada, cuidando que el modelo para la simulación de cuenta de, incorpore o corrija:

- Falta de alineamiento entre lo que se planifica y lo que se ejecuta, ya sea en ingeniería, gestión de adquisiciones y construcción.
- Cambios e impactos no reconocidos en la planificación (el EPC sistemáticamente no cumplió con los avances programados semanales de ingeniería, y se aceptó la actualización de programa cuando se reprogramó su término sin afectar tanto a las compras como a construcción)
- Optimismo injustificado en las proyecciones a término (El programa de recuperación sobre el que se realizó simulación oficial exigía avances semanales sobre el 3% sostenido)
- Dotación requerida versus dotación planificada (El EPC cumplía con la dotación programada, pero gastaba casi el doble de lo que producía, por lo que la dotación presente no era suficiente)
- Los rendimientos decrecientes al final de los procesos en cuanto a % de avance semanal y plazos (producto de terminaciones, retrabajos, ajustes, simultaneidad de trabajos y problemas de densidad por confinamiento de áreas de trabajo)
- Mala planificación e integración de la puesta en marcha. (Secuencia de pruebas mal enlazadas entre ellas, sin vinculación con los permisos requeridos para iniciarlas, o mal vinculadas con los términos constructivos)
- Ignorar las curvas de aprendizaje cuando se quita alcance al contratista y se incluyen otros

Para finalizar se debe enfatizar en que el proyecto Planta de Ácido, administrado por la Vicepresidencia de Proyecto, es solo uno de varios proyectos que conforman la cartera de proyectos que DCH necesita concretar para dar cumplimiento al DS N°28, de los cuales, la VP no maneja o consolida el estatus de avance de la cartera, por lo tanto, la falta de visión sistémica con que se ha abordado esta cartera de proyectos es un factor adicional que tiene el potencial de afectar al negocio de fundición de DCH en el distrito norte posterior al 12 de diciembre de 2018.

7 BIBLIOGRAFÍA

Corporación Nacional del Cobre - Vicepresidencia de Proyectos (Octubre 2016). Capítulos del API N17FA07 Proyecto Transformación Plantas de ácido a Doble contacto / doble absorción, División Chuquicamata. (Documento interno)

Corporación Nacional del Cobre - Vicepresidencia de Proyectos (Agosto 2016). Fondo de abastecimiento estratégico N16FA07FAE Proyecto Transformación Plantas de ácido a Doble contacto / doble absorción, División Chuquicamata. (Documento interno)

Corporación Nacional del Cobre - Vicepresidencia de Proyectos (Junio 2018). Informe Mensual e Informes semanales N16FA07FAE Proyecto Transformación Plantas de ácido a Doble contacto / doble absorción, División Chuquicamata. (Documento interno)

James Benton (2018). Monte Carlo Simulation: The Art of Random Process Characterization. Kindle.

Solminihaec H. (2012) Procesos y técnicas de construcción. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Instituto de Gestión de Proyectos. (2000). Guía Fundamental Para la Gestión de Proyectos (PMBOK® GUIDE). Newton Square, Pennsylvania USA.

CHILE. Ministerio de Medio Ambiente. 2013. Decreto Supremo N°28. Norma de emisiones para fundiciones de cobre y otras fuentes emisoras de arsénico. Diciembre 2013. 11p.

Redacción de citas bibliográficas. Sistema de servicios de información y Bibliotecas (SISIB) Universidad de Chile (En línea) < <http://www.tesis.uchile.cl/pdf/guia.pdf>> [consulta: 09 marzo 2019]