



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ÉXITO DE LA
INGENIERÍA BÁSICA DE UN PROYECTO DE EXPLOTACIÓN MINERA
SUBTERRÁNEA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

FRANCISCO JAVIER MIRANDA TORRES

PROFESOR GUÍA:
GUSTAVO REYES BORQUEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HUGO SALAS HARTUNG
SEBASTIÁN CARMONA CALDERA

SANTIAGO DE CHILE
2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL DE MINAS
POR: FRANCISCO JAVIER MIRANDA TORRES
FECHA: 08/01/2018
PROFESOR GUÍA: GUSTAVO REYES

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ÉXITO DE UNA INGENIERÍA BÁSICA DE UN PROYECTO DE EXPLOTACIÓN MINERA SUBTERRÁNEA

La mediana y gran minería se caracterizan normalmente, por presentar proyectos con un extenso ciclo de vida, exhibiendo un largo proceso de ingeniería hasta la aprobación de la inversión. Existen casos en que no se cuenta con las definiciones mínimas requeridas para iniciar la ingeniería básica. Esto genera que durante esta fase se desarrollen actividades propias de una ingeniería conceptual o que una vez levantada la información en el transcurso de la etapa se deban rehacer labores de ingeniería, incrementando su contenido y provocando el retraso del desarrollo de los alcances propios de esta fase.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo es determinar los parámetros de entrada fundamentales de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea y evaluar cómo y cuánto impacta no contar con estos en la ejecución de esta ingeniería.

Este estudio concluye que las actividades que deben estar completamente definidas previo a la ingeniería básica, corresponden al modelo geológico, modelo geotécnico y modelo de recursos entregado por la ingeniería conceptual, la alternativa de método de explotación seleccionado, criterios económicos de planificación minera, ritmo de producción definido, alternativa de sistema de manejo de materiales seleccionada y el listado de equipos principales definido.

Una vez concluidas las actividades mencionadas anteriormente, se puede dar inicio a la ingeniería básica cuya ruta crítica se encuentra definida por los siguientes contenidos: geología, geotecnia, evaluación de recursos, validación del método de explotación, estimación de la envolvente económica de reservas, planificación minera, diseño minero, plan de producción, sistema de manejo de materiales, operaciones unitarias, requerimiento de equipos y flota y la evaluación económica que incluye la estimación de los costos de operación y la inversión de capital.

Además, se concluye que la selección del método de explotación y del sistema de manejo de materiales se deben definir antes de iniciar la ingeniería básica, puesto que son los contenidos que más impactan en la duración y costo de esta etapa.

Finalmente, el contenido más importante de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea es el de Evaluación Económica del Proyecto, puesto que entrega la inversión de capital requerida y los indicadores de evaluación para que el inversor tome la decisión de materializar el proyecto.

DEFINING SUCCESS FACTORS OF A BASIC ENGINEERING OF AN UNDERGROUND MINING PROJECT

Mining projects are characterized by a wide-ranging project life cycle process, specifically a long engineering and approval investment term. The main problem is that basic engineering doesn't have all required minimum definition at the beginning phase. In consequence, it develops conceptual engineering activities or, once basic data is gathered during basic engineering phase, it must develop engineering activities again. Hence it increases his contents and causes a delay in execution.

For this reason, the main aim of this thesis is establish all basic engineering essential inputs and evaluate his impact on executing this engineering if they are uncompleted.

The study outcomes are engineering activities that must be done previously at the beginning of basic engineering phase correspond to geological, geotechnical and resources model developed, an underground mining method selected, economic planning criteria selected, a production rate established, an ore handling system selected and main equipment list defined.

Once the activities mentioned above have been completed, the basic engineering be started and its road map is first geology, then geotechnical, mineral resources evaluation, after that underground mining method approval, then establish an economic envelop, mine planning, a mining design, a production schedule, ore handling system, unit operation, fleet equipment required and a project financial evaluation that includes an operational expenditure and a capital expenditure estimation.

In addition, it is concluded that the underground mining method and the ore handling system must be defined before starting basic engineering, because they are the contents that most impact the schedule and cost of this stage.

Finally, the most important content of the basic engineering of an underground exploitation project is the Economic Evaluation of the Project, because it submits the required capital investment and the evaluation indicators so the investor can takes the decision to execute the project.

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Alcances	2
2	Metodología	4
2.1	Tipo de Minería a Analizar	4
2.2	Determinación de la Condición de Éxito de una Ingeniería Básica	4
2.3	Determinación del Plazo de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales..	5
2.4	Determinación de las Horas Hombre de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales.....	6
2.5	Comparación Cuantitativa entre la Ingeniería Conceptual y la Ingeniería Básica en Condiciones Normales	6
3	Antecedentes Generales	7
3.1	Fases de un Proyecto de Inversión	7
3.1.1	FEL 1	9
3.1.2	FEL 2	10
3.1.3	FEL 3.....	13
3.1.4	Productos de la Ingeniería Básica de un Proyecto de Explotación Minera Subterránea	13
3.2	Caracterización Proyectos Base	23
4	Desarrollo de la Memoria.....	25
4.1	Identificación de la Información de Entrada Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica	25
4.1.1	Geología	25
4.1.2	Hidrogeología	26
4.1.3	Geotecnia	27
4.1.4	Evaluación de Recursos	27
4.1.5	Método de Explotación	28
4.1.6	Envolvente Económica de Reservas	29
4.1.7	Diseño Minero	29
4.1.8	Infraestructura Principal.....	30
4.1.9	Planificación Minera	30
4.1.10	Plan de Producción	31
4.1.11	Sistema Manejo de Materiales	32
4.1.12	Operaciones Unitarias	32
4.1.13	Requerimientos de Equipos y Flota.....	33
4.1.14	Programa de Desarrollo.....	34
4.1.15	Requerimientos de Mano de Obra.....	35

4.1.16	Sistema de Ventilación	35
4.1.17	Sistema Abastecimiento de Agua Industrial	36
4.1.18	Sistema de Drenaje	36
4.1.19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	37
4.1.20	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación.....	38
4.1.21	Requerimientos de Servicios, Insumos y Materiales	38
4.1.22	Infraestructura para Operación Mina	39
4.1.23	Programa de Obras	40
4.1.24	Declaración de Reservas Mineras.....	40
4.1.25	Evaluación Económica	41
4.1.26	Plan de Ejecución del Proyecto	42
4.2	Estimación del Tiempo de Duración de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales.....	42
4.2.1	Programación de los Contenidos de la Ingeniería Básica	43
4.2.2	Identificación de la Ruta Crítica	51
4.2.3	Simulación de Monte Carlo del Cronograma de la Ingeniería Básica.....	51
4.3	Análisis de la Ingeniería Básica Según la Disponibilidad de la Información de Ingeniería Conceptual.....	55
4.3.1	Hidrogeología	56
4.3.2	Geotecnia	57
4.3.3	Evaluación de Recursos	58
4.3.4	Validación del Método de Explotación.....	58
4.3.5	Infraestructura Principal.....	59
4.3.6	Sistema de Manejo de Materiales	60
4.3.7	Operaciones Unitarias	61
4.3.8	Requerimiento de Mano de Obra	61
4.3.9	Sistema de Ventilación	62
4.3.10	Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	63
4.3.11	Sistema de Drenaje	63
4.3.12	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	64
4.3.13	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación.....	64
4.3.14	Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales	65
4.3.15	Programa de Obras	66
4.3.16	Plan de Ejecución.....	66
4.4	Análisis de la Ingeniería Básica según la Disponibilidad de Recursos Económicos	75
4.4.1	Estimación de las Horas Hombre de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales	76
4.4.2	Determinación de los Contenidos de la Ingeniería Básica con Mayor Demanda de Horas Hombre.....	79
4.4.3	Determinación de los Contenidos de Ingeniería Básica de Alto Costo Aplazables	81
4.4.4	Cuantificación del Impacto en la Ingeniería Básica la Postergación de Contenidos de esta Fase.....	82

4.5	Comparación Cuantitativa de la Duración de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales	85
4.6	Comparación Cuantitativa de las Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales	90
4.7	Comparación Cuantitativa del Costo de Hora Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica	95
4.8	Comparación Cuantitativa de la Dotación de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales	105
5	Conclusiones y Recomendaciones.....	108
6	Bibliografía.....	112
7	Anexo	113
	Anexo A	113
	Anexo B	114
	Anexo C	115
	Anexo D	116
	Anexo E	117
	Anexo F.....	117
	Anexo G.....	118
	Anexo H.....	118

Lista de Tablas

Tabla 1:	Duración Contenidos Ingeniería Básica Según Proyectos Reales.	44
Tabla 2:	Resultados de la Simulación de Monte Carlo de la Duración de los Contenidos de Ingeniería Básica.....	47
Tabla 3:	Relaciones de Precedencia y Simultaneidades de los Contenidos de la Ingeniería Básica.	48
Tabla 4:	Resumen Plazo y Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Básica.	54
Tabla 5:	Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Hidrogeología.....	56
Tabla 6:	Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Hidrogeología.	57
Tabla 7:	Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Geotecnia.....	57
Tabla 8:	Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Geotecnia.	57
Tabla 9:	Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Evaluación de Recursos.....	58
Tabla 10:	Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Evaluación de Recursos.	58
Tabla 11:	Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Validación del Método de Explotación.....	58

Tabla 12: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Validación del Método de Explotación.....	59
Tabla 13: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Hidrogeología.....	59
Tabla 14: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Hidrogeología.....	59
Tabla 15: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Manejo de Materiales.....	60
Tabla 16: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Manejo de Materiales.....	60
Tabla 17: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de las Operaciones Unitarias.....	61
Tabla 18: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de las Operaciones Unitarias.....	61
Tabla 19: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Requerimiento de Mano de Obra.....	61
Tabla 20: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de los Requerimientos de Equipo y Flota.....	62
Tabla 21: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Ventilación.....	62
Tabla 22: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Ventilación....	62
Tabla 23: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial.....	63
Tabla 24: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial.....	63
Tabla 25: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Drenaje.....	63
Tabla 26: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Drenaje.....	64
Tabla 27: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Abastecimiento Eléctrico.....	64
Tabla 28: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Abastecimiento Eléctrico.....	64
Tabla 29: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Comunicación e Instrumentación.....	65
Tabla 30: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Comunicaciones e Instrumentación.....	65
Tabla 31: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales.....	65
Tabla 32: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales.....	66
Tabla 33: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Programa de Obras.....	66
Tabla 34: Impacto de los Inputs del Programa de Obras en la Ingeniería Básica.....	66
Tabla 35: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Plan de Ejecución.....	67
Tabla 36: Impacto de los Inputs del Plan de Ejecución en la Ingeniería Básica.....	67

Tabla 37: Duración de los Contenidos de una Ingeniería Básica Según Proyectos Reales.....	76
Tabla 38: Resultado de la Simulación de Monte Carlo de las Horas Hombre de los Contenidos.....	77
Tabla 39: Disminución de los Costos, Plazos y HH de la Ingeniería Básica, Valores P80.....	82
Tabla 40: Resumen del Plazo y Hora Hombre de la Ingeniería Conceptual según P80 de la Curva Acumulada.....	86
Tabla 41: Duración de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual y una Básica según P80.....	87
Tabla 42: Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.....	91
Tabla 43: Precios de Mercado del Valor de Hora Hombre por Profesional.....	95
Tabla 44: Discretización de las Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica por Profesional.....	97
Tabla 45: Discretización de las Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual por Profesional.....	98
Tabla 46: Resumen Comparativo del Costo de Hora Hombre Promedio de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual y una Ingeniería Básica.....	100
Tabla 47: Horas Hombre de las Disciplinas de una Ingeniería Conceptual.....	105
Tabla 48: Horas Hombre de las Disciplinas de una Ingeniería Básica.....	106
Tabla 49: Dotación de Personal de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.....	106
Tabla 50: Resumen Comparativo de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica según P80.....	107
Tabla 51: Estadísticas Descriptivas de los Datos de Duración de los Contenidos de la Ingeniería Básica.....	113
Tabla 52: Estadísticas Descriptivas de los Datos de Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica.....	114
Tabla 53: Costos Utilizados en Proyectos.....	115
Tabla 54: Información de los Proyectos en Estudio.....	117
Tabla 55: Dotación de Personal de la Ingeniería Conceptual por Disciplina y Total.....	118
Tabla 56: Dotación de Personal de la Ingeniería Básica por Disciplina y Total.....	118

Lista de Figuras

Figura 1: Fases de un Proyecto (HATCH, 2013).....	8
Figura 2: Marco de Desarrollo de la Ingeniería.....	23
Figura 3: Carta Gantt de la Ingeniería Básica de un Proyecto de Explotación Subterránea.....	50
Figura 4: Duración de la Ingeniería Básica Según Distribución PERT.....	52
Figura 5: Estimación de las Horas Hombre Totales de una Ingeniería Básica.....	78
Figura 6: Diagrama Tornado del Impacto en Costos de Postergar Contenidos.....	83
Figura 7: Disminución en el Plazo de Duración de la Ingeniería Básica al Postergar Contenidos.....	83

Figura 8: Disminución en las Horas Hombre de la Ingeniería Básica al Postergar Contenidos.....	84
--	----

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Impacto en los Plazos de la Ingeniería básica al no Contar con los Inputs Fundamentales.	68
Gráfico 2: Impacto en Plazos de la Ingeniería Básica al tener Información Incompleta de la Ingeniería Conceptual.	69
Gráfico 3: Sobreestimación de Horas Hombre de la Ingeniería Básica al tener Información Incompleta de Ingeniería Conceptual.	71
Gráfico 4: Porcentaje de Participación en las Horas Hombres Totales de la Ingeniería Básica.	80
Gráfico 5: Comparación de la Duración de los Contenidos de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.	89
Gráfico 6: Comparación de las Horas Hombre entre la Ingeniería Conceptual y la Ingeniería Básica.	92
Gráfico 7: Incremento en Porcentaje de las Horas Hombre de cada Contenido entre la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.....	94
Gráfico 8: Comparación del Costo Total de la Ingeniería Conceptual y Básica en la Inversión de Capital del Proyecto.....	101
Gráfico 9: Comparación del Costo de Hora Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.	103
Gráfico 10: Participación por Profesional en el Total de Horas Hombre de la Ingeniería Básica.	116
Gráfico 11: Participación por Profesional en el Total de Horas Hombre de la Ingeniería Conceptual.	117

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1: Función de Distribución de Probabilidad Beta.	45
Ecuación 2: Media de la Distribución de Probabilidad Beta.	45
Ecuación 3: Varianza de la Distribución de Probabilidad Beta.....	45
Ecuación 4: Media de la Distribución Beta-PERT.	45
Ecuación 5: Varianza de la Distribución de Probabilidad Beta-PERT.	45

1 Introducción

1.1 Motivación

Los proyectos de minería subterránea se caracterizan por presentar un proceso de ingeniería y de aprobación de la inversión de extensa duración. Esto se debe principalmente a las características intrínsecas de un proyecto con esas particularidades, puesto que para su elaboración se necesita una base minera robusta, se requiere del desarrollo de campañas de sondajes con fines geometalúrgicos, geotécnicos, hidrogeológicos, además de análisis químicos, ensayos de muestras, pruebas metalúrgicas en laboratorios y en plantas piloto, a lo cual, se adiciona el desarrollo propio de las distintas fases de ingeniería, actividades que, dependiendo de la envergadura y complejidad del yacimiento, pueden demandar una amplia duración. Sin embargo, existen otros factores que extienden el ciclo de vida del proyecto, que amplifican el tiempo de ingeniería, en particular de la ingeniería básica, y el periodo de aprobación de la inversión, que pueden ser mejor controlados y gestionados, y que este trabajo de título busca describir.

La raíz de la extensión de la ingeniería y en particular de la ingeniería básica es que, muchas veces al inicio de ésta, no se cuenta con las definiciones mínimas requeridas para llevarla a cabo, entregados por la ingeniería conceptual. Esto genera que muchas veces esta fase desarrolle actividades propias de una ingeniería conceptual o que una vez levantada la información en el transcurso de la etapa, se deban rehacer labores de ingeniería, incrementando su contenido y provocando el retraso del desarrollo de los alcances propios de esta fase, lo cual conlleva ineludiblemente a un aumento del tiempo de duración de esta ingeniería y del número de horas hombre empleadas.

Otro de los factores que impactan en la duración del proyecto, es el tiempo que transcurre entre el fin de la ingeniería básica y la aprobación de la inversión, el cual, en múltiples ocasiones, se extiende por sobre lo estimado. Este suceso, se debe tanto a causas externas, tales como el ambiente económico internacional, del país o de la empresa, como también a elementos propios de la ingeniería del proyecto, puesto que el inversor pretende tomar una decisión en base a información robusta y trazable, que aumente la confiabilidad de la inversión y por ende si no se tienen todos los antecedentes fundamentales para el inversionista, a ser entregados por la ingeniería básica, éste no estará habilitado para tomar una decisión.

Por tanto, la hipótesis de este estudio es que una ingeniería básica será exitosa en la medida que se inicie con una ingeniería conceptual completa, que contemple toda la información de salida fundamental que permita desarrollar la ingeniería básica en un plazo acotado y completar todos sus alcances y antecedentes para permitir la aprobación de la inversión sin el uso excesivo de recursos, acortando el ciclo de vida del proyecto y adelantando la disponibilidad de los flujos económicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo de este trabajo de título es determinar los parámetros de entrada fundamentales para desarrollar una ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería¹ y evaluar cómo y cuánto impacta no contar con estos al comienzo de la ejecución de esta ingeniería, de forma de identificar las actividades imprescindibles a realizar y concluir en una ingeniería conceptual.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son evaluar el impacto en la variable tiempo y horas hombre de la ingeniería básica si:

- La información que entrega la ingeniería conceptual se encuentra incompleta
- Se cuenta con un plazo acotado para la realización de la ingeniería básica
- Se cuenta con un presupuesto económico acotado para la realización de la ingeniería básica

Además, se realiza una comparación cuantitativa entre los contenidos de la ingeniería conceptual y la ingeniería básica según las siguientes variables:

- Duración
- Número de horas hombre

1.3 Alcances

Para cumplir con el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo de título, se desarrollan las siguientes actividades:

1. Documentación del conocimiento actual de la industria sobre la información generada por la ingeniería conceptual e ingeniería básica de cinco proyectos de explotación subterránea de mediana minería.
2. División de la ingeniería básica en veintiséis contenidos. Luego se determinan cinco outputs y cinco inputs (proveniente de la ingeniería conceptual) fundamentales para cada uno de los contenidos anteriormente definidos.

¹ Cabe mencionar que se acota el estudio a estos proyectos dado la envergadura y complejidades asociadas a los proyectos de la Gran Minería.

3. Estimación de la duración y cantidad de horas hombre de cada uno de los contenidos y de cada uno de los inputs fundamentales definidos para cada contenido.
4. Estimación del impacto en la duración y número de horas hombre de los contenidos de la ingeniería básica y en el total de la fase, al no contar con los inputs fundamentales provenientes de la ingeniería conceptual.
5. Identificación y análisis de los contenidos imprescindibles de una ingeniería conceptual y los contenidos aplazables.
6. Análisis de la ruta crítica de la ingeniería básica y determinación de los contenidos sin holgura que afectan el plazo final de la fase.
7. Cuantificación de la disminución de plazos y horas hombre de la ingeniería básica al postergar contenidos de esta fase.
8. Comparación cuantitativa de la duración y número de horas hombre entre los contenidos de una ingeniería conceptual y una ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería.

2 Metodología

La metodología empleada consiste principalmente en dividir la ingeniería básica en veintiséis contenidos que agrupan las actividades de ingeniería contempladas por la fase. Luego se proponen cinco inputs fundamentales para la realización de cada contenido de la ingeniería básica, de forma de cuantificar el impacto en plazos y número de horas hombre en los contenidos, al no contar con estos inputs a un inicio de la fase.

Cabe mencionar que se establecen veintiséis contenidos para poder gestionar y agrupar los distintos documentos de ingeniería que se generan en esta etapa, tal como, criterios de diseño, especificaciones técnicas, memorias de cálculo, informes técnicos, planos, programas, planes, entre otros, los cuales tienen asociado una duración, horas hombre utilizadas, costo de hora hombre y dotación requerida. Esto facilita el estudio y posterior análisis de los datos.

2.1 Tipo de Minería a Analizar

Se entiende como proyecto de explotación subterránea a todas las labores necesarias para concebir la extracción del mineral de interés, por medio de un método de explotación subterránea, los cuales se clasifican en tres grupos principales:

- Métodos Soportado por Pilares
- Métodos Soportado por Rellenos
- Métodos de Hundimiento

Además, para efectos de este estudio, se entenderá como mediana minería a las faenas productivas que poseen un ritmo de extracción entre 3,000 y 15,000 toneladas por día.

2.2 Determinación de la Condición de Éxito de una Ingeniería Básica

El éxito de una ingeniería básica es que ésta se realice en un plazo acotado y que defina cabalmente todos los alcances requeridos por el inversor disminuyendo el tiempo de aprobación y por ende el ciclo del proyecto, adelantando los flujos económicos del éste.

Para determinar la condición de éxito de la fase se proponen cinco inputs fundamentales para la realización de cada uno de los veintiséis contenidos de la ingeniería básica.²

En función a información de actividades de ingeniería conceptual, se obtienen valores de duración y números de horas hombre de los inputs.

² Se proponen cinco inputs para acotar el estudio y facilitar el posterior análisis.

En base a estos datos se obtiene un promedio de duración y número de horas hombre para cada una de las variables mencionadas de cada input fundamental, las que se utilizan para medir el impacto en el plazo y número de horas hombre al no contar con estas actividades al inicio de la ingeniería básica y por tener que desarrollarlas durante la ingeniería básica.

En el caso de las horas hombre, el promedio de los parámetros de entrada de cada contenido se suma al total estimado de la ingeniería básica. En el caso del plazo se toma la relación de precedencia entre actividades para calcular un tiempo de duración estimado el cual se suma al algoritmo de plazo total de la ingeniería básica, siempre y cuando lo afecte directamente (en el caso que el input afecte a algún contenido de la ruta crítica).

Según lo expuesto, se determinan tiempos de prolongación y el aumento del número de horas hombre de los contenidos y del total de la ingeniería.

Luego el análisis viene dado por identificar los parámetros de entrada fundamentales que más impactan a los contenidos de la ingeniería básica, en términos de duración y número de horas hombre, además, de determinar los inputs fundamentales que más afectan a más de un contenido y finalmente analizar cualitativamente la forma en que queda detenida la fase.

2.3 Determinación del Plazo de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En primera instancia se cuenta con la información de duración de las actividades de ingeniería básica de cinco proyectos reales, cuyas actividades se agrupan en cada uno de los veintiséis contenidos definidos.

Con estos datos, se utiliza la función de probabilidad PERT, de forma de estimar el valor esperado de duración, para luego realizar una simulación de Monte Carlo y obtener una distribución de probabilidad y una curva acumulada que entregue el percentil P80, valor que se toma como válido para determinar la duración del contenido.

Una vez realizado esto, se construye la carta Gantt del proyecto a través del software Microsoft Project y se identifica la ruta crítica del proyecto, ingresando los datos de duración de las actividades de la ingeniería básica y las relaciones de precedencia. El resultado de este proceso es un valor determinístico de la duración total de la fase, que permite determinar los contenidos de ingeniería que no poseen holgura y que, de atrasarse, impactan directamente en la extensión de ésta.

Esta ruta crítica permite generar una fórmula matemática que calcule el tiempo de duración de la ingeniería básica y con ello realizar una simulación de Monte Carlo para obtener una distribución de probabilidad de los resultados posibles de duración de la ingeniería básica.

2.4 Determinación de las Horas Hombre de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En primera instancia se cuenta con la información de horas hombre de las actividades de ingeniería básica, cuyas actividades se agrupan en cada uno de los veintiséis contenidos definidos.

Con estos datos, se utiliza la función de probabilidad PERT, de forma de estimar el valor esperado del número de horas hombre, para luego realizar una simulación de Monte Carlo y obtener una distribución de probabilidad y una curva acumulada que entregue el percentil P80, valor que se toma como válido para determinar el número de horas hombre de cada contenido.

Una vez realizado esto, se tiene que el total de horas hombres de la ingeniería básica es la suma de las horas hombre de los veintiséis contenidos definidos. Luego, se identifican los contenidos con mayor número de horas hombre y se determina cuáles de estos se encuentran fuera de la ruta crítica de la ingeniería básica, de forma de determinar los contenidos con gran número de horas hombre y que su aplazamiento no impacta en la duración final de la fase.

2.5 Comparación Cuantitativa entre la Ingeniería Conceptual y la Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En este punto se realiza una comparación cuantitativa entre la ingeniería conceptual y la ingeniería básica en relación a la duración, número de horas hombre y costo de hora hombre de cada uno de sus contenidos de ingeniería.

Para estimar la duración y el número de horas hombre de una ingeniería conceptual, se realiza el mismo procedimiento utilizado para la ingeniería básica, mencionado en los puntos 2.3 y 2.4 del capítulo de metodología.

Para estimar el costo de hora hombre de cada contenido se definen cinco profesionales, que corresponden al Jefe de Proyecto, Jefe de Disciplina, Ingeniero Senior, Ingeniero y Projectista.

En base a los profesionales establecidos se desagrega el número de horas hombre de cada contenido según la participación de cada profesional. Además, se cuenta con valores de mercado de costos de hora hombre de los cinco profesionales definidos.

Luego, para cada contenido de ingeniería se realiza una sumatoria de la multiplicación de las horas hombre de cada profesional para cada contenido por su costo de hora hombre, lo que da como resultado un costo total del contenido.

Este costo total del contenido se divide por el número de horas hombre totales del contenido, lo cual resulta en un costo de hora hombre promedio del contenido.

3 Antecedentes Generales

3.1 Fases de un Proyecto de Inversión

Hoy en día la práctica más utilizada para la conceptualización, progreso y materialización de proyectos es a través del sistema de puertas o barreras de aprobación conocido como FEL, Front End Loading. Este sistema describe el ciclo de vida de un proyecto desde su formulación hasta su implementación, contemplando el desarrollo de fases de ingeniería consecutivas y complementarias.

El concepto fundamental es que para avanzar de una etapa a otra es necesario cumplir con ciertos requerimientos y condiciones que lo permitan, por ende el nivel de ingeniería progresa según las exigencias de la fase en que se encuentre.

Este sistema de puertas sucesivas de aprobación se lleva a cabo a través del proceso "Gate Review", el cual corresponde a un mecanismo de control que se lleva a cabo al final de cada fase FEL³ y que busca generar una oportunidad para que los inversionistas puedan evaluar si los objetivos, alcances, programa, estimación de costos y expectativas de rentabilidad del proyecto aún se alinean con la estrategia de negocio de la empresa, previo a la aprobación de fondos para avanzar a la fase siguiente.

Para materializar este sistema de revisión y facilitar la organización de las actividades dentro de la etapa, a un comienzo de cada fase se genera un checklist con los mínimos productos y contenidos requeridos, con los cuales se debe cumplir una vez finalizada la etapa, de forma de constituir un input de la etapa siguiente.

En resumen, el Gate Review detalla el alcance del trabajo de cada etapa FEL y los requerimientos mínimos para cumplir correctamente con su ejecución, indicando los productos de ingeniería solicitados y el nivel de detalle con el cual deben contar, además de identificar los temas que faltan por desarrollar y que condicionan la aprobación de avanzar hacia la siguiente fase.

En consecuencia, la aplicación rigurosa de un FEL aumenta las posibilidades de alcanzar un nivel de definición tal que posibilita efectuar una estimación de costo de inversión con una alta probabilidad de ocurrencia, optimizar el programa de ejecución, mejorar el desempeño en seguridad y disminuir los riesgos de operatividad.

Luego, continuando con el ciclo de vida de un proyecto, se define la existencia de cuatro fases FEL, a la que se le agrega una última etapa de puesta en marcha, tal como se muestra en la Figura 1:

³ Por lo general se efectúa al final de FEL 1, FEL 2, FEL 3 y durante el desarrollo de FEL 4, queda a criterio del mandante.

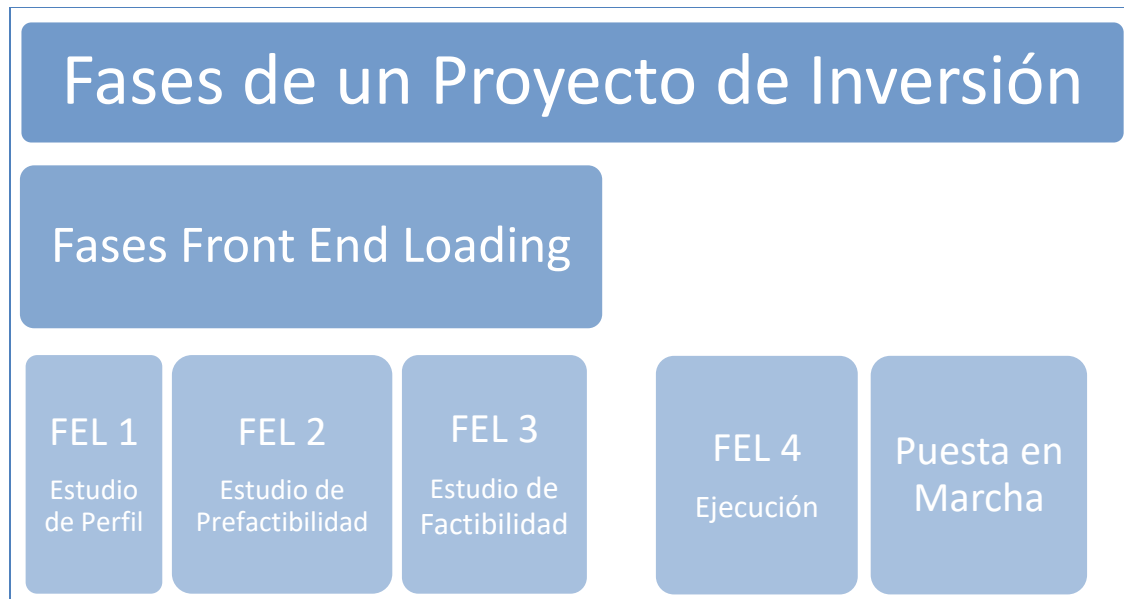


Figura 1: Fases de un Proyecto (HATCH, 2013).

El proceso FEL, como se conoce mayormente en los países de lengua anglosajona, se asocia al sistema de Estudios de Ingeniería, concibiendo el mismo procedimiento de avance por aproximaciones.

Para efecto de este documento un FEL 1 se asocia a un Estudio de Perfil, un FEL 2 a un Estudio de Prefactibilidad Técnica Económica, un FEL 3 a un Estudio de Factibilidad Técnica Económica y un FEL 4 a una Ejecución y Puesta en Marcha.

A su vez, en lo que a Ingeniería se refiere, un FEL 1 se asocia a una ingeniería de perfil, un FEL 2 a una ingeniería conceptual, un FEL 3 a una ingeniería básica y un FEL 4 a una ingeniería de detalles.

Por tanto, a partir de la Figura 1, se reconoce una fase previa a la inversión, en la cual el nivel de gasto económico y el tiempo es comparativamente menor a la fase inversional, puesto que la primera apunta a la formulación y definición la opción de proyecto que mejor represente los intereses del negocio y por ende los esfuerzos económicos se abocan al desarrollo del estudio de ingeniería y al aumento del nivel de información (recopilación de datos básicos). En cambio en la fase inversional, se ejecuta y materializa el proyecto formulado en la etapa anterior, lo cual implica desembolsar todos los fondos comprometidos para la construcción y lograr mayor claridad de la inversión realizada.

En efecto, la aproximación por fases del desarrollo del proyecto es un enfoque estructurado para determinar y hacer frente a las variables que influyen la definición de la iniciativa. Es así que se reconoce que una vez completada la etapa FEL 3 se tiene la información suficiente para iniciar la fase inversional ya que en el caso de un proyecto minero, al final de ésta etapa, se cuenta con un avanzado plan minero, un programa de obras, un plan de ejecución, estimación de plazos, conocimiento del

impacto ambiental, una declaración de reservas mineras y una evaluación económica de forma realizar la solicitud de fondos para su aprobación y ejecución.

A continuación, se procede a describir someramente el conocimiento actual de la industria sobre los contenidos de la etapa preinversional del ciclo de vida de un proyecto de explotación minera, de forma de contrastarlo con el conocimiento que pretende aportar en este documento.

3.1.1 FEL 1

Un FEL 1 se asocia a una Ingeniería de Perfil, determina el problema y establece el potencial de la oportunidad de negocio que genera el proyecto. Para lograr esto se procede a formular y conceptualizar preliminarmente la idea, definiendo claramente los objetivos, determinando las restricciones y detectando las iniciativas técnicamente viables. Más que nada se trata de responder sí es conveniente invertir capital en la profundización de los estudios pertinentes.

Para realizar un FEL 1 se debe contar con:

1. Un problema u oportunidad de negocio (caída de la ley de mineral, caída de producción de mineral al largo plazo, aumento de producción, copar capacidad instalada, entre otros)
2. Objetivos corporativos establecidos (aumentar la capacidad de producción al largo plazo, mantener la capacidad de producción en el largo plazo, optimizar y mejorar la operación del yacimiento actual, crear valor a los accionistas en base a nuevos proyectos, etc.)
3. Información preliminar geológica, hidrogeológica, geometalúrgica, geotécnica del yacimiento en cuanto a recursos minerales indicados y medidos, litologías, propiedades de la roca, estructuras de la roca, presencia de acuíferos, nivel freático, caudales de agua, granulometría, impurezas, entre otros.
4. Conocimiento del ambiente regulatorio del lugar donde se emplaza el proyecto

De esta forma, a modo resumen, una Ingeniería de Perfil de un proyecto de explotación minera debe entregar las siguientes salidas de ingeniería agrupadas en cinco ítems:

1. Definiciones del Proyecto

Una definición del problema u oportunidad de negocio, de los objetivos del proyecto, claramente alineados con la estrategia de la empresa, determinación de los intereses de los stakeholders e identificar y evaluar tecnologías, calculando costos preliminares.

2. Geología

Una definición preliminar del modelo de bloques geológico a partir de los resultados de datos básicos (geológicos, geotécnicos y geometalúrgicos).

3. Diseño Minero

Una definición preliminar de la envolvente económica de reservas, un diseño minero del método de explotación para la evaluación del potencial económico del proyecto.

4. Planificación Minera

Entrega una recomendación de un ritmo de explotación, un plan minero preliminar anual, una proposición de trazado de acceso principal, una selección y estimación preliminar de la flota de equipos y un esbozo del programa de obras con duración referencial de actividades.

5. Evaluación Potencial Económico

Entrega una estimación de OPEX⁴ y CAPEX⁵ del proyecto (en base a factores y benchmarking), una evaluación económica y determinación del potencial económico del proyecto (indicadores económicos) y un análisis de riesgo.

Cabe destacar que en esta fase de estudio se busca transformar una oportunidad de negocio en un caso de negocio, no entregar una alternativa de explotación ya optimizada sino que determinar el potencial económico del proyecto. En consecuencia, esta es una etapa en la cual no se demanda un desarrollo amplio de ingeniería y por ende no se requiere de una gran cantidad de tiempo ni de profesionales.

3.1.2 FEL 2

Corresponde a la segunda fase del estudio, la cual contiene una Ingeniería Conceptual. En primera instancia se generan alternativas de explotación (entre dos y cinco), las cuales son analizadas y evaluadas técnica y económicamente, con el objetivo de seleccionar una.

La fase finaliza con la decisión de profundizar, reformular o rechazar el proyecto. Esto quiere decir que se evalúa cada una de las opciones escogidas en base a la información existente y a un desarrollo inicial de ingeniería conceptual, realizando un trade-off entre ellas y concluyendo en la elección de la alternativa que mejor se alinea a los objetivos estratégicos de la empresa.

Luego se desarrolla el diseño de esta a un nivel de ingeniería conceptual tal que permita realizar una estimación de costos de operación e inversión y una evaluación económica con un grado de precisión de ± 20 a $\pm 30\%$, facultando la toma de decisión

⁴ Operational Expenditure (OPEX), incluye costos variables y costos fijos que son generados por la función operativa continua

⁵ Capital Expenditure (CAPEX), el gasto en bienes y servicios que incrementarán el activo fijo de una compañía

de avanzar o rechazar el proyecto en base a información de mayor robustez, en comparación a la fase anterior.

Para realizar un FEL 2 de un proyecto de explotación minera, aparte de lo desarrollado en el FEL 1, se necesita lo siguiente:

1. Resultados de campaña de sondajes geotécnicos y geológicos (para aumentar la precisión del modelo Geológico-Geotécnico-Geometalúrgico)
2. Resultados de ensayos mecánicos de rocas, interpretación del comportamiento del macizo rocoso y pruebas metalúrgicas

A modo resumen, una Ingeniería Conceptual de un proyecto de explotación minera debe entregar las siguientes actividades de ingeniería agrupadas en catorce contenidos:

1. Geología, Geotecnia y Evaluación de Recursos

Entrega un modelo Geológico, Geotécnico, Hidrogeológico y Geometalúrgico actualizado en base a nueva información generada al comienzo de la fase, además de un modelo de recursos actualizado. Por otra parte, entrega definiciones de parámetros geomecánicos para el diseño y planificación minera.

2. Definición Método Explotación

Entrega una evaluación y selección de un método de explotación.

3. Diseño Minero

Entrega la definición de criterios de diseño (geomecánicos, normativos, económicos, constructivos, operativos), un diseño minero preliminar del método de explotación propuesto, un diseño preliminar del sistema de fortificación, se generan planos de los trazados, cavernas y rampas, y planos de disposición general de la mina.

4. Definición Sistema Manejo de Material

Selección de una alternativa de manejo de material para el método de explotación propuesto, entrega un diseño preliminar de este y el cálculo de equipos de carguío y transporte.

5. Planificación Minera

Determinación de un ritmo de explotación del proyecto, propone una secuencia de explotación, genera un plan minero anual y define las operaciones unitarias del sistema de extracción.

6. Estimación de Equipos y Dotación de Personal

Selección y cálculo de la flota de equipos principales y la dotación de personal.

7. Sistema de Ventilación

Definición de los criterios de diseño del sistema de ventilación y entrega un estudio del requerimiento preliminar de caudal de aire, con lo cual se genera un diseño preliminar del sistema de ventilación y se dimensionan los equipos.

8. Suministro de Agua Industrial

Entrega el diseño preliminar del sistema de abastecimiento de agua industrial junto a la estimación de la demanda de agua industrial y a criterios de diseño.

9. Sistema de Drenaje

Entrega el diseño preliminar del sistema de drenaje junto a la estimación de la demanda de evacuación de aguas de drenaje y a los criterios de diseño, además, se entrega un dimensionamiento preliminar de las bombas y trazados principales.

10. Sistema Eléctrico

Entrega una estimación preliminar del requerimiento eléctrico, se definen criterios de diseño, el diseño preliminar del sistema eléctrico y el listado preliminar de los equipos eléctricos.

11. Sistema de Comunicaciones e Instrumentación

Entrega la definición de los criterios de diseño del proyecto de comunicaciones y automatización, la filosofía de operacional y de control y el listado preliminar de equipos.

12. Infraestructura para Operación Mina

Se propone un lugar de emplazamiento de la infraestructura mina, entrega el diseño preliminar de infraestructura para operación mina tal como casa de cambio, oficinas, estacionamientos, comedores, servicios higiénicos, centro de atención de primeros auxilios, taller electro mecánico, abastecimiento de combustible, polvorín de explosivos, planta de hormigón y shotcrete, refugios y otros, y un plano de disposición general.

13. Evaluación Económica y Análisis de Riesgo

Entrega la estimación del OPEX en base a cubicaciones preliminares y cotizaciones referenciales, la estimación del CAPEX en base a cubicaciones preliminares y valores factorizados, una evaluación económica de la alternativa seleccionada y un análisis de riesgo.

14. Definiciones del Proyecto

Definición de todos los alcances del proyecto, un programa de obras anual, una definición preliminar del Plan de Ejecución y Plan de Puesta en Marcha, una estrategia de financiamiento del proyecto, un estudio de pertinencia y elaboración de una línea base.

3.1.3 FEL 3

Corresponde a la última fase del estudio de ingeniería, previo a la aprobación de la inversión. Tal como lo define el IPA (Independent Project Analysis, 2015), el objetivo de esta etapa es: “Entregar una alternativa definitiva y completa con un detalle de costos y un plan de ejecución (PEP) propuesto, además de un cronograma detallado de las actividades a realizar durante la fase de preproducción del proyecto (diseño, construcción, commissioning y puesta en marcha)”. En otras palabras, el desarrollo de la ingeniería básica culmina con la petición de fondos de inversión y compromete un programa de ejecución y por ende ofrece flujos económicos o retornos a partir de un plazo determinado.

Para realizar un FEL 3 de un proyecto de explotación minera se necesita como mínimo, aparte de lo desarrollado en el FEL 2, lo siguiente:

1. Definición completa de los alcances del proyecto
2. Una alternativa de proyecto única, con ingeniería conceptual desarrollada
3. Programa e hitos que se deben cumplir durante el desarrollo de Ingeniería Básica
4. Resultados de campañas de sondajes geotécnicos y geológicos (para aumentar la precisión del modelo Geológico-Geotécnico-Geometalúrgico) de sectores críticos o con información insuficiente para cumplir con los grados de precisión que requiere una ingeniería básica
5. Modelos geológico, hidrogeológico y geotécnico actualizado
6. Modelo de recursos actualizado (Recursos minerales indicados y medidos, Reservas mineras probables y probadas)

El fin de los productos de ingeniería básica es presentar una base para la estimación de costos de inversión con una alta confiabilidad y precisión (± 10 a 15%), la determinación de plazos y tiempos para llevar a cabo las actividades del proyecto, determinar el ritmo de producción de la mina, el impacto ambiental y social del proyecto, las reservas mineras contenidas en un plan minero y el retorno económico del proyecto, entregando una mayor confianza al inversor para la toma final de decisión.

Finalmente, la fase preinversional se termina una vez que la dirección de la organización aprueba la inversión requerida para la ejecución del proyecto. Es así que comienza la fase inversional, donde se materializa todo lo diseñado, planificado y estructurado en las etapas anteriores.

3.1.4 Productos de la Ingeniería Básica de un Proyecto de Explotación Minera Subterránea

El desarrollo de una ingeniería básica de un proyecto de explotación minera debe entregar las siguientes actividades de ingeniería agrupadas en veintiséis contenidos:

3.1.4.1 Geología

La ingeniería básica de la geología se divide en dos etapas. La primera corresponde al levantamiento de información geológica-geotécnica-geometalúrgica para sustentar la etapa, cuyos resultados se obtienen al final de la fase. La segunda etapa corresponde al uso de la información generada en la primera etapa para la caracterización geológica y geometalúrgica del macizo y a la actualización del modelo geológico.

- 1) Resultados de sondajes, calicatas, mapeos de galerías subterráneas (si es que hay), pruebas mineralógicas y pruebas metalúrgicas (descritas en el punto 4.1.1).
- 2) Interpretación geológica de los sondajes perforados a una escala entre 1:1000 y 1:100 en un área que abarca desde 50 km² a menos de 500 m², además del mapeo geológico de galerías de exploración (si es posible).
- 3) Actualización y validación del modelo geológico que contiene principalmente unidades geológicas (litología, alteración, mineralización, estructuras y texturas), estructuras principales, fracturas, fallas, propiedades geológicas como grado y tipo de alteración, dureza, densidad, composición mineralógica y minerales de mena.
- 4) Actualización de modelo de leyes del metal de interés, subproductos e impurezas.
- 5) Actualización y validación del modelo geometalúrgico que contiene recuperaciones mineralógicas del metal de interés, de los subproductos y de los metales contaminantes o impurezas, además contiene la ley del metal principal en el concentrado final, índices de dureza como WI y SPI.

3.1.4.2 Hidrogeología

La ingeniería básica de la hidrogeología entrega lo siguiente:

- 1) Caudales de agua en régimen continuo y transitorio en los distintos sectores del proyecto.
- 2) Niveles de agua subterránea identificados.
- 3) Propiedades de permeabilidad determinadas (conductividad hidráulica [m/s], transmisividad [m²/día], coeficiente de almacenamiento [S]⁶).
- 4) Modelo hidrogeológico numérico en régimen permanente e impermanente, que contiene las propiedades de permeabilidad, diferentes estratos, flujos de entrada y salida, tiempos de descarga y recarga.
- 5) Balance hídrico, probabilidades de excedencia, cálculo de periodos de recarga y descarga.

3.1.4.3 Geotecnia

La ingeniería básica de la geotecnia se divide en dos etapas. La primera corresponde al levantamiento de información para sustentar la fase y la segunda es el desarrollo de las propias actividades de ingeniería, las cuales se muestran a continuación:

⁶Coeficiente de Almacenamiento: Volumen del agua que un acuífero puede entregar o retener del depósito general por unidad de superficie del acuífero.

- 1) Resultados de ensayos geotécnicos (ensayo uniaxial, triaxial, de corte directo, generación y propagación de fracturas,), calicatas y mapeo de galerías subterráneas.
- 2) Estimación precisada de las propiedades geotécnicas tales como módulo de Young [E_m], resistencia a la tracción [t_m], resistencia a la compresión [UCS], coeficiente de Poisson [ν], cohesión de macizo rocoso [c], criterios de falla de Hoek-Brown (m_b , s , a), velocidad de propagación de ondas P y S, porosidad (n) y peso unitario (γ).
- 3) Estimación de indicadores de calidad del macizo rocoso como RMR, GSI, MRMR, IRMR, Q de Barton y RQD.
- 4) Valores de parámetros geotécnicos tal como radio hidráulico, razón H/W, hundibilidad, fragmentación, ángulo de subsidencia, velocidad de extracción, distancias permisibles y factor de seguridad (FS).
- 5) Modelo geotécnico actualizado (confiabilidad sobre 85%) que contiene unidades geotécnicas, dominios estructurales, frecuencia de fracturas (FF), propiedades geotécnicas, condición de discontinuidades (JC) e indicadores de calidad de roca (RMR, GSI, MRMR, IRMR, Q de Barton y RQD).
- 6) Modelo del comportamiento del macizo rocoso en los distintos sectores de la mina, se modelan los esfuerzos inducidos por la extracción de mineral, se modela la fortificación, la secuencia de extracción, análisis de hundibilidad y sismicidad.

3.1.4.4 Evaluación de Recursos

La ingeniería básica de la evaluación de recursos entrega lo siguiente:

- 1) Redefinición de la unidad de estimación por elemento de interés (metal principal, subproducto e impureza).
- 2) Modelo de recursos con una mayor proporción de recursos medidos, luego una menor participación de recursos indicados y una mínima proporción de inferidos, aumentando la confianza de estimación sobre un 85%.

3.1.4.5 Validación Método Explotación

Al inicio de la ingeniería básica se valida el método de explotación seleccionado en la ingeniería conceptual. Esta validación se realiza en base a nueva información de geología, geotecnia y geometurgia, y a una revisión del alineamiento de los objetivos y alcances del proyecto con los objetivos estratégicos y económicos del dueño.

3.1.4.6 Reestimación de la Envolvente Económica de Reservas

La ingeniería básica de la reestimación de la envolvente económica de reservas entrega lo siguiente:

- 1) Ley de corte marginal reestimada, en base a la estimación de costos mina y planta que entrega la fase anterior y a una actualización de los parámetros económicos utilizados (inflación, tasa de cambio, precio de los commodities).
- 2) Envolvente económica de reservas, en base a nueva ley de corte marginal.

- 3) Análisis del impacto en el diseño y en la planificación minera de la nueva envolvente económica.
- 4) Análisis de sensibilidad a la envolvente, con distintos escenarios y diferentes probabilidades de ocurrencia.

3.1.4.7 Diseño Minero

El desarrollo de ingeniería básica del diseño minero entrega lo siguiente:

- 1) Confirmación de los criterios de diseño minero definidos en la ingeniería conceptual.
- 2) Unidad básica de explotación (SMU), secciones, orientación, trazado de las galerías y la distribución espacial de las SMUs.
- 3) Especificaciones técnicas de los elementos de soporte (tipo y características de pernos, shotcrete, marcos de soporte, malla) para diferentes clases de roca.
- 4) Modelo 3D del diseño minero que contenga los niveles, las SMUs, los accesos entre niveles, los accesos principales y secundarios y la infraestructura interior mina.
- 5) Análisis de constructibilidad y operatividad del diseño en el sector de explotación, considerando los distintos sistemas (ventilación, agua industrial, drenaje), disponibilidad de equipos, interferencias.
- 6) Planos de disposición general del método, junto a sus distintos niveles.

Se debe mencionar que este contenido se realiza simultáneamente al contenido de planificación minera.

3.1.4.8 Infraestructura Principal

La ingeniería básica de la infraestructura principal del diseño entrega lo siguiente:

- 1) Trazados de los accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación y transporte de mineral del diseño definidos.
- 2) Planos del trazado y secciones de los túneles de acceso principal, de las rampas de conexión entre niveles de la mina, las aerovías de ventilación y el transporte de mineral, incorporando elementos de fortificación, ventilación, drenaje, comunicación y del sistema eléctrico.
- 3) Definición del método constructivo de los desarrollos principales.
- 4) Análisis de constructibilidad y operatividad del diseño.

3.1.4.9 Planificación Minera

La ingeniería básica de la planificación minera entrega lo siguiente:

- 1) Confirmación de los criterios de planificación definidos en la ingeniería conceptual (incorporación de dilución, recuperación de reservas, velocidad de extracción, criterios geomecánicos, productividad, operatividad).
- 2) Secuencia de extracción del mineral definida.
- 3) Modelo de dilución numérico en base a la secuencia de extracción.

- 4) Plan minero de mediano y largo plazo que incorpore el programa de extracción, áreas activas, áreas agotadas, programa de construcción, requerimiento de equipos, de forma mensual el primer año y anual el resto.
- 5) Análisis de riesgo del plan minero propuesto, enfocado principalmente a la confiabilidad del cumplimiento del plan e identificación de interferencias operacionales.

3.1.4.10 Plan de Producción

La ingeniería básica del plan de producción considera entregar la siguiente información:

- 1) Validación del plan de producción y la capacidad productiva propuesta por la ingeniería conceptual.
- 2) Simulación del plan de producción considerando variaciones en la tasa de extracción, consumo de reservas mineras, la secuencia de explotación, velocidades de extracción los ritmos de producción y de desarrollo.
- 3) Plan de producción con la ley del metal principal, tonelaje, dilución y recuperación minera, mensualmente el primer año de producción (al menos).
- 4) Análisis de sensibilidad a los parámetros que determinan la capacidad productiva y al sistema de manejo de materiales, de forma de evaluar la confiabilidad del plan de producción.
- 5) Estudio de la variabilidad de la ley del metal de interés los primeros años de producción.

3.1.4.11 Sistema Manejo de Materiales

La ingeniería básica del sistema de manejo de materiales entrega lo siguiente:

- 1) Diseño del sistema de manejo de materiales seleccionado.
- 2) Análisis del manejo de material en el nivel de producción y de acarreo.
- 3) Simulación del sistema, considera los equipos de carguío y transporte, las rutas de transporte, capacidad, velocidad y mantenibilidad de los equipos, interferencias operacionales y riesgos.

Cabe mencionar que este contenido requiere como input el plan de producción y se puede desarrollar en simultáneo al programa de desarrollo y la definición de las operaciones unitarias.

3.1.4.12 Operaciones Unitarias

Las operaciones unitarias se dividen en los procesos de arranque y manejo de materiales, las cuales a su vez contienen a las operaciones de perforación, tronadura, carguío y transporte. Además, cabe mencionar que este contenido se realiza previo a la determinación del requerimiento de equipos y flota.

La ingeniería básica de las operaciones unitarias entrega lo siguiente:

- 1) Definición de las operaciones unitarias y descripción de todas sus actividades.
- 2) Valores calculados de tiempo de ciclo de producción y desarrollo.

- 3) Cálculo del rendimiento de producción [ton/hora] en los distintos sectores productivos y cálculo del ciclo de desarrollo [metros/día] o [metros/mes] de las distintas labores horizontales y verticales.
- 4) Tiempo de construcción de todos los desarrollos del diseño propuesto.
- 5) Memoria de cálculo de diagramas de perforación y tronadura de producción y desarrollo.

3.1.4.13 Requerimientos de Equipos y Flota

La ingeniería básica del requerimiento de equipos y flota entrega lo siguiente:

- 1) Flota y selección de equipos principales y secundarios completa.
- 2) Estudio de mantenibilidad y productividad de los equipos según la vida útil de los equipos y condiciones de trabajo.
- 3) Especificaciones técnicas, hojas de datos y requisiciones de cada equipo, para el cálculo de costos de inversión y operación.

Como equipo principal se entiende al jumbo de perforación frontal, el jumbo de perforación radial, LHD de desarrollo, camión de desarrollo, Jumbo empernador, camión mixer, LHD de producción, camión de producción, cargador de emulsión, proyector de shotcrete, raise borer (Dependerá del método de explotación escogido y de las operaciones unitarias relacionadas).

Como equipo secundario se entiende motoniveladoras, equipo de levante, martillo móvil, camión cisterna, retroexcavadora, buses de transporte de personal, camionetas, ambulancias, entre otros.

3.1.4.14 Programa de Desarrollo

La ingeniería básica del programa de desarrollo entrega la siguiente información:

- 1) Identificación de la secuencia final de desarrollos para dar cumplimiento al plan de producción.
- 2) El programa de desarrollo y preparación por sector y niveles de la mina, desde el inicio de la construcción hasta la entrada en régimen del proyecto. Se considera como desarrollos al acceso principal, rampas, conexión interrampa, chimeneas, accesos secundarios, calles de producción y desarrollos propios del método.
- 3) Simulación del programa de desarrollo incluyendo variables de entrada tal como ritmos de avance, factores operacionales, disponibilidad mecánica y utilización de los equipos e interferencias con otros sectores.
- 4) Análisis de constructibilidad y operatividad de los desarrollos (interferencias y abastecimiento de servicios).

El contenido de programa del desarrollo requiere como input el plan de producción y se puede realizar en simultáneo al requerimiento de equipos y flotas.

3.1.4.15 Requerimientos de Mano de Obra

La ingeniería básica del requerimiento de mano de obra entrega la dotación de personal necesaria para la operación y administración de la mina, a partir de las operaciones unitarias definidas (perforación, tronadura, carguío y transporte), la flota operativa de equipos (principales y secundarios) y el régimen de trabajo (turnos, factor de reemplazo) del nivel de producción y de los servicios.

3.1.4.16 Sistema de Ventilación

La ingeniería básica del sistema de ventilación entrega los siguientes productos:

- 1) Caudal de aire demandado.
- 2) Diseño de los circuitos principales y secundarios.
- 3) Cálculo del sistema, regulación de los flujos de inyección y extracción y la caída de presión, incorporando pérdidas y resistencias del sistema.
- 4) Selección y especificaciones técnicas de ventiladores principales y secundarios.
- 5) Consumo de energía por parte del sistema.
- 6) Especificaciones técnicas de los componentes de ventilación, tales como mangas, puertas de regulación, tapados y obras civiles.

Este contenido requiere tener desarrollado en parte el contenido de requerimiento de equipos y flota y el de requerimiento de mano de obra para poder calcular un requerimiento de caudal de aire.

3.1.4.17 Sistema Abastecimiento de Agua Industrial

La ingeniería básica del sistema de abastecimiento de agua industrial considera:

- 1) Determinación del caudal instantáneo máximo [l/h] y máximo diario [l/día].
- 2) Diseño del sistema de agua industrial y agua contra incendio (red húmeda) considerando la demanda máxima instantánea, velocidad máxima de transporte, pérdidas por fricción, pérdida en singularidades y la ubicación de los equipos en interior mina.
- 3) Diseño de piscinas de almacenamiento de agua industrial interior y exterior mina (en el caso de ser necesario) y del estanque de agua contra incendio.
- 4) Diseño de estaciones y elementos de reducción de presión (válvulas reductoras).
- 5) Especificaciones de los elementos del sistema como cañerías (material, espesor, elasticidad), válvulas de control de presión, ventosa, filtros, gabinetes de manguera y carros porta extintores.
- 6) PI&D con el trazado de las cañerías, ubicación de las válvulas reductoras y estanques.

3.1.4.18 Sistema de Drenaje

La ingeniería básica del sistema de drenaje entrega la siguiente información:

- 1) Determinación del caudal instantáneo máximo [l/h] y máximo diario [l/día].

- 2) Diseño y cálculo de sistemas de impulsión en serie requeridos por la mina (bomba, piscina y control de automatización), considerando pérdidas por fricción y singularidades.
- 3) Diseño y cálculo de las piscinas de traspaso y el estanque de almacenamiento en superficie, considerando tiempos de llenado y residencia.
- 4) Determinación del sistema de evacuación del agua del estanque de superficie.
- 5) Sistema de control y automatización de las bombas (medidor de nivel, alarma).
- 6) Especificaciones de las bombas principales (HP, NPSH, eficiencia, TDH)⁷, cañerías (material, espesor, elasticidad) y válvulas reguladoras de presión.

3.1.4.19 Sistema Abastecimiento Eléctrico

La ingeniería básica del sistema eléctrico entrega los siguientes productos:

- 1) Validación de los criterios de diseño del sistema eléctrico propuestos en la ingeniería conceptual.
- 2) Estudio de demanda eléctrica, flujos de potencia y niveles de cortocircuito eléctrico.
- 3) Diseño, especificaciones y requisiciones técnicas de subestaciones eléctricas en superficie e interior mina y del sistema de distribución (media y baja tensión).
- 4) Listado y especificaciones de equipos y ubicaciones de instalaciones eléctricas.
- 5) Simulación del sistema eléctrico considerando flujos de potencia, niveles de cortocircuito, partida de grandes motores, factores de potencia.
- 6) Estudio de trade off para mejorar la eficiencia energética (control de demanda máxima y control de factor de potencia).

3.1.4.20 Sistema de Comunicaciones e Instrumentación

La ingeniería básica del sistema de comunicación e instrumentación entrega la siguiente información:

- 1) Especificaciones de los equipos e instalaciones del sistema de comunicaciones, el cual incluye:
 - a. Sistema de Radio Trunking Digital.
 - b. Sistema de Repetición de Señal en Superficie: repetidores, controladores, amplificadores, respaldo de energía.
 - c. Sistema de Antenas Distribuidas: fibra óptica y unidades remotas⁸.
 - d. Sistema de Comunicaciones, Voz y Datos: red jerárquica Backbone redundante de fibra óptica.
- 2) Diagrama de bloques del sistema de comunicaciones indicando la disposición de equipos.
- 3) Especificaciones de los equipos e instalaciones de automatización tal como:
 - a. Control de Drenaje: medidor de nivel.
 - b. Control de Ventilación: controlador de ventiladores de inyección y extracción, de puertas y sistema anti incendio.

⁷ NPSH: Mínima presión requerida en el punto de succión de la bomba para evitar la cavitación
 TDH: Altura total equivalente, a la cual el fluido es bombeado

⁸ Equipo que transforma una señal de fibra óptica en una señal de radio frecuencia

- c. Control Tráfico Vehicular: control de semáforos, detector de vehículos y señalética.
 - d. Gestión y Control de Producción: sistema de televisión, transferencia de datos y comunicaciones.
 - e. Centro Integrado de Operaciones en Superficie.
- 4) Diagrama de bloques del sistema con la disposición de instalaciones, equipos y el centro integrado de operaciones en superficie.

3.1.4.21 Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales

La ingeniería básica del requerimiento de servicios, insumos y materiales entrega lo siguiente:

- 1) Requerimiento de insumos tales como combustible, explosivos, lubricantes, aceros de perforación y neumáticos, para lo cual se considera los equipos principales y secundarios definidos.
- 2) Requerimiento de materiales tales como fortificación (perno, malla, marcos, shotcrete).
- 3) Requerimiento de servicios como la mantención, contrato de mano de obra, de administración y de labores especiales.
- 4) Esquema y evaluación del sistema de abastecimiento de los servicios, insumos y materiales presupuestados.

3.1.4.22 Infraestructura Operación Mina

La ingeniería básica de la infraestructura de operación mina entrega lo siguiente:

- 1) Definición del lugar de emplazamiento de la infraestructura tales como el taller de mantención (superficie e interior mina), polvorín de explosivos, planta de shotcrete, refugios, casa de cambio, comedores, oficinas, servicios higiénicos, centro de acopio de RILES y RISES, centro de primeros auxilios, bodegas, estacionamiento de camionetas y buses.
- 2) Dimensionamiento y cálculo de la infraestructura para operación mina.
- 3) Cubicación, listado de materiales y especificaciones técnicas de los componentes de la infraestructura anteriormente definida.
- 4) Plano de disposición general de la infraestructura.

3.1.4.23 Programa de Obras

La ingeniería básica entrega los siguientes productos:

- 1) Obras de construcción definidas por la ingeniería básica.
- 2) Métodos constructivos de las obras de construcción definidos, rendimientos asociados y plazos de obra.
- 3) Secuencia constructiva que considere plazos de construcción de obras calculados, flexibilidad constructiva, logística, interferencias operacionales y un análisis de constructibilidad.

- 4) Programa de obras que incorpore recursos (horas hombre) y cubicaciones (excavaciones, obras civiles, estructuras y equipos).

3.1.4.24 Declaración de Reservas Mineras

La ingeniería básica de la declaración de reservas considera entregar lo siguiente:

- 1) Declaración de reservas mineras probables y probadas del proyecto, cuantificando el tonelaje, la ley del producto principal, coproductos, subproductos, impurezas y la dilución.
- 2) Análisis de riesgo de la categorización de reservas mineras, evaluando la información geológica, la calidad de los estudios de ingeniería, checklists, permisos ambientales y sectoriales aprobados.

3.1.4.25 Evaluación Económica

La ingeniería básica de la evaluación económica considera lo siguiente:

- 1) Estimación del OPEX con una precisión del $\pm 10\%$, que incluye lo siguiente:
 - a. Operaciones Unitarias: Perforación, tronadura, carguío y transporte.
 - b. Servicios: Mano de obra, insumos, suministros y materiales.
- 2) Estimación del CAPEX con una precisión del $\pm 15\%$, lo cual incluye lo siguiente:
 - a. Costos Directos: Equipos, desarrollos, obras de construcción y materiales.
 - b. Costos Indirectos: Administración, ingeniería, repuestos y proveedores.
 - c. Contingencia: Desde un ± 10 a 15% (considera una contingencia de 10% para el hormigón, 8% para los aceros, un 15% para el movimiento de tierra).
- 3) Evaluación económica del proyecto con su rentabilidad, periodo de retorno de la inversión, los principales indicadores financieros (VAN, TIR, IVAN) y los flujos económicos del proyecto.
- 4) Análisis de sensibilidad del proyecto variando parámetros como precio del metal, costos de operación de la mina y planta, costo de suministros como energía y agua, costos de servicios.

3.1.4.26 Plan de Ejecución del Proyecto

La ingeniería básica del plan de ejecución del proyecto entrega lo siguiente:

- 1) Definición completa de la WBS del proyecto.
- 2) Validación del plan maestro propuesto por la fase anterior y se complementa según el detalle de todas las actividades del proyecto definidas en la ingeniería básica (ingeniería, adquisiciones, obras de construcción, de montaje y puesta en marcha).
- 3) Actualización del plan de permisos ambientales y sectoriales.
- 4) Definición del plan de ingeniería, de adquisiciones, de contratos, de sustentabilidad, de seguridad y salud ocupacional y de gestión de calidad de obras.

Es importante dejar en claro que, los productos de ingeniería de esta fase tal como planos, cubicaciones, especificaciones técnicas y memorias de cálculo no pueden ser utilizados para construir, puesto que necesitan desarrollo de ingeniería de detalles.

3.2 Caracterización Proyectos Base

El estudio realizado en este trabajo de título considera la información proveniente de ingenierías de proyectos de explotación subterránea de mediana minería (ritmo de producción entre 3,000 y 15,000 toneladas por día), desarrolladas en Chile, Perú, Brasil y México.

Además, dentro del marco actual del desarrollo de una ingeniería, donde existe un mandante, un consultor principal y sub contratos específicos. La información utilizada en este trabajo de título corresponde exclusivamente a la desarrollada por la consultora principal de ingeniería y por ende no considera los recursos (horas hombre) utilizados por el mandante en la ingeniería de contraparte ni por los sub contratos específicos ni tampoco por parte de los trabajos en terreno (sondajes, pruebas metalúrgicas, análisis químicos), tal como se muestra indicado con líneas rojas en la Figura 2:

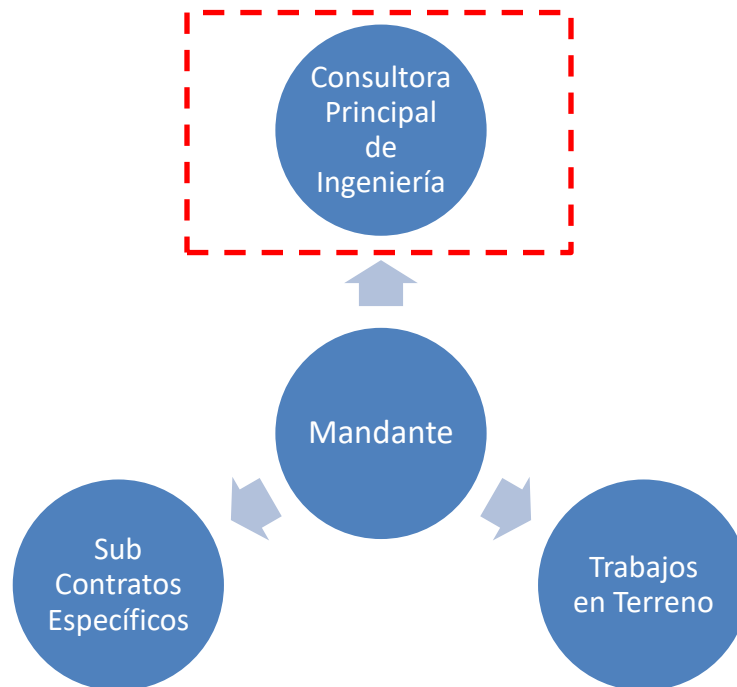


Figura 2: Marco de Desarrollo de la Ingeniería.

➤ Proyecto 1

Este proyecto se realiza en Chile y se considera tanto el desarrollo de su ingeniería conceptual como básica, las cuales se desarrollan entre los años 2005 y 2006 respectivamente. Los alcances de la iniciativa son reemplazar la producción de sectores en agotamiento, alcanzando 13.000 [tpd], y maximizar la utilización de la infraestructura existente, tal como la ventilación, el nivel de traspaso de mineral, los talleres y accesos.

➤ **Proyecto 2**

Este proyecto se desarrolla en Brasil. Consiste en diseñar y concebir la explotación de los recursos minerales contenidos en un yacimiento de cobre y oro, con el cobre como producto principal, logrando un régimen de 9.000 [tpd]

El alcance del proyecto es realizar la ingeniería básica del diseño del método minero, la definición de reservas explotables, un plan minero y programa de desarrollos, definición de la infraestructura para la mina, un estudio de fragmentación y tronadura, selección de equipos, estimación dotación y estimación de costos de capital y de operación.

➤ **Proyecto 3**

Este proyecto se desarrolla en Perú. Los alcances del trabajo corresponden al desarrollo del plan minero para la extracción en régimen de 3.000 [tpd] y el diseño de la mina en base a nueva información geomecánica y de una emisión actualizada del modelo de bloques.

➤ **Proyecto 4**

Este proyecto se realiza en Chile y se considera tanto el desarrollo de su ingeniería conceptual como básica, las cuales se desarrollan entre los años 2010 y 2012. Los alcances de la iniciativa son reemplazar la producción de sectores en agotamiento, manteniendo un régimen de extracción de 10.000 [tpd], de forma de cumplir con el plan de negocios y mantener copada la planta de procesamiento.

➤ **Proyecto 5**

Este proyecto se realiza en México en el año 2014. Los alcances del trabajo corresponden a diseñar y planificar la explotación subterránea de los recursos minerales contenidos en un yacimiento de hierro, de forma de asegurar la producción de 11.000 [tpd].

4 Desarrollo de la Memoria

A continuación, se presenta el desarrollo de los alcances de este trabajo de título, el cual se inicia con la identificación de la información de entrada fundamental para la ejecución de la ingeniería básica, a partir de un estudio detallado de la estructura lógica de la ingeniería básica de los cinco proyectos de explotación subterránea seleccionado y sus principales productos de ingeniería.

4.1 Identificación de la Información de Entrada Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica

A continuación, se presentan las cinco salidas fundamentales de la ingeniería conceptual para ejecutar cada uno de los contenidos de la ingeniería básica, definidos anteriormente en el capítulo 3.1.4., cuya importancia radica en que al disponer de la totalidad de éstas, la ingeniería básica se efectuará en un plazo acotado y con un menor costo.

4.1.1 Geología

Los parámetros de entrada fundamentales para la ejecución de la ingeniería básica se dividen en dos, los primeros corresponden a los outputs de la ingeniería conceptual y los segundos al levantamiento de la información base para sustentar la ingeniería básica del proyecto minero, tal como se describe a continuación:

- Información de salida de la ingeniería conceptual:
 - Modelo geológico de bloques con unidades geológicas, estructuras principales y propiedades geológicas como tipo de alteración, composición mineralógica y dureza.
 - Modelo de leyes que incluye la ley del metal de interés y la impureza principal.
 - Modelo geometalúrgico que contiene recuperación metalúrgica del metal e impureza principal, WI y SPI.

- Levantamiento de información base para sustentar la Ingeniería Básica:
 - Campaña de Sondajes
 - Caracterización mineralógica
 - Pruebas metalúrgicas
 - Análisis químicos

La información anteriormente mencionada es requerida por el siguiente motivo:

El modelo geológico de la ingeniería conceptual contiene la geología estructural, la litología, mineralización más las propiedades como densidad, dureza y propiedades elásticas. El modelo se actualiza para la ingeniería básica en base a mayor información levantada, profundizando la definición de las unidades geológicas (litología, alteración, mineralización, estructuras y texturas) y la geología estructural, además se agregan datos como fracturas, grado de alteración y minerales de mena.

La escala de interpretación geológica que se utiliza para la confección del modelo geológico en una ingeniería conceptual va desde 1:5000 a 1:500 y el área de análisis va desde 50 a 0.5 km^2 .

El modelo de leyes de la ingeniería conceptual se actualiza para la ingeniería básica, en base a la interpretación de los resultados de sondajes, análisis químicos y la aplicación de técnicas de estimación de ley como Kriging, inverso a la distancia y/o simulaciones.

El modelo geometalúrgico de la ingeniería conceptual se actualiza para la ingeniería básica, en base a pruebas mineralógicas y metalúrgicas (pruebas de flotación y medición de densidad).

4.1.2 Hidrogeología

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica de la hidrogeología es la siguiente:

- Resultados de sondajes hidrogeológicos.
- Resultados de pruebas de permeabilidad.
- Resultados de análisis químico del agua.
- Resultados del estudio hidrogeológico.
- Modelo hidrogeológico conceptual.

La información anteriormente mencionada es requerida por lo siguiente:

Los sondajes hidrogeológicos son requeridos para identificar el nivel freático, sus variaciones y determinar márgenes de los acuíferos.

Las pruebas de permeabilidad entregan valores de conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

El análisis químico del agua entrega valores de temperatura, impurezas, pH, contenido de minerales y de sales.

El estudio hidrogeológico analiza caudales de agua de entrada y salida, la presencia de acuíferos y define unidades de permeabilidad, base para el modelo hidrogeológico conceptual.

El modelo hidrogeológico conceptual describe los acuíferos, estratos, parámetros hidrogeológicos (permeabilidad y coeficiente almacenamiento), descargas y recargas del sistema, lo cual es fundamental para desarrollar el modelo numérico hidrogeológico en la ingeniería básica.

4.1.3 Geotecnia

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica de la geotecnia es la siguiente:

- Interpretación de los resultados de ensayos geotécnicos (pruebas mencionadas en punto 3.1.4.3).
- Interpretación de la medición de esfuerzos.
- Estudio de la fragmentación.
- Modelo geotécnico conceptual.
- Modelo geotécnico 3D.

La información anteriormente mencionada es requerida por lo siguiente:

Los ensayos geotécnicos permiten actualizar las propiedades geotécnicas de la roca intacta, mencionadas en el punto 3.1.4.3, base para la validación de los parámetros geomecánicos de diseño y planificación durante la ingeniería básica.

La medición de esfuerzos se utiliza para identificar los esfuerzos in situ en el yacimiento, con esta información, en la ingeniería básica, se modelan los esfuerzos y su distribución.

El estudio de la fragmentación del macizo rocoso permite que en la ingeniería básica interprete el escurrimiento de flujos, la predicción del tamaño de colpas y la incorporación de reducción secundaria.

El modelo geotécnico conceptual define las unidades geotécnicas, dominios geotécnicos y dominios estructurales, información base para la construcción del modelo 3D, durante la ingeniería básica.

El modelo geotécnico 3D que entrega la ingeniería conceptual contiene al menos tres indicadores de calidad de macizo rocoso tal como RMR, GSI y Q de Barton, además de propiedades geotécnicas como la resistencia a la compresión uniaxial [UCS], el módulo de Young [E_m], el coeficiente de Poisson [ν] y peso unitario (γ). En la ingeniería básica, el modelo se actualiza, incorporando más propiedades geotécnicas, tales como cohesión de macizo rocoso [c], criterios de falla de Hoek-Brown (m_b , s , a), porosidad (n) y velocidad de propagación de ondas P y S.

4.1.4 Evaluación de Recursos

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica de la evaluación de recursos es la siguiente:

- Análisis exploratorio de datos (univariable, bi-variable y multivariable) y cálculo de variogramas.
- Unidad de estimación definida para el metal de interés e impureza principal.
- Definición del método de interpolación espacial de datos.
- Modelo de recursos de la ingeniería conceptual.
- Declaración de recursos de la ingeniería conceptual.
- Modelo geológico de la ingeniería básica.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El análisis exploratorio de datos entrega información sobre la distribución de los datos, correlaciones entre los datos, estadísticas descriptivas (media, varianza, desviación estándar, máximos y mínimos), la calidad y validez de los datos.

En la ingeniería conceptual se define la unidad de estimación del metal e impureza principal, durante la ejecución de la ingeniería básica, estas se re bloquean según al método de explotación definido y a la unidad básica de explotación y se agregan unidades de estimación para subproductos y otras impurezas presentes.

La ingeniería conceptual entrega el método de interpolación espacial definido para la modelación. Este también se utiliza en la ingeniería básica y se complementa al incorporar técnicas de simulación de la distribución espacial de las leyes.

El modelo de recursos debe contener la categorización de recursos (mayoría indicados), la ley del metal de interés y la densidad, cuyos datos se precisan durante la ingeniería básica al tener mayor información.

La declaración de recursos entrega el tonelaje, cantidad de finos y la ley media del metal de interés por cada categorización de recurso mineral y del total del yacimiento.

El modelo geológico de la ingeniería básica permite actualizar las unidades de estimación en función a la actualización de las unidades geológicas que controlan la distribución espacial de la ley del metal de interés, tal como la unidad de alteración, de mineralización y la litología.

4.1.5 Método de Explotación

La validación del método de explotación en la ingeniería básica requiere que la ingeniería conceptual entregue definido los siguientes parámetros:

- Método de explotación definido en la ingeniería conceptual.
- Modelo geológico actualizado de la ingeniería básica.
- Modelo geotécnico actualizado de la ingeniería básica.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La actualización del modelo geológico y geotécnico de la ingeniería básica se requiere para realizar un análisis del método de explotación, como por ejemplo un análisis de la condición del macizo rocoso, un análisis de hundibilidad y socavación, un análisis de la fragmentación y un análisis del estado tensional de esfuerzos.

4.1.6 Envolverte Económica de Reservas

La ingeniería básica requiere que la ingeniería conceptual entregue los siguientes parámetros relativos a la envolverte económica de reservas:

- Criterio económico de planificación minera.
- Envolverte económica de recursos calculada en la ingeniería conceptual.
- Costo mina y costo planta estimado en la ingeniería conceptual.
- Modelo de reservas de la ingeniería conceptual.
- Modelo económico.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El costo mina y costo planta resultante de la ingeniería conceptual, el modelo de reservas y el modelo económico (Precio metal, costo venta, costo tratamiento, inflación, tasa de cambio), representan los parámetros claves para reestimar la ley de corte marginal y redefinir la envolverte económica en la cual se emplazará el diseño minero.

4.1.7 Diseño Minero

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del diseño minero es la siguiente:

- Modelo geotécnico actualizado de la ingeniería conceptual.
- Criterios de diseño minero tales como normativos, geométricos, fortificación, ventilación y constructibilidad.
- Diseño 3D de la mina que contenga las unidades básicas de explotación, calles de producción, acceso principal y niveles propuestos.
- Layout del diseño minero con el emplazamiento y secciones de los túneles.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El modelo geotécnico se utiliza para validar los criterios de diseño minero definidos por la ingeniería conceptual en base a la actualización de las propiedades geotécnicas, indicadores de calidad de macizo rocoso y parámetros geomecánicos del yacimiento.

Los criterios de diseño minero definidos por la ingeniería conceptual se validan y complementan durante la ingeniería básica y se utilizan para validar y/o actualizar el diseño.

La ingeniería conceptual, además debe entregar un diseño preliminar de la mina expresado en un modelo 3D con los trazados de los accesos principales, disposición del nivel de producción y sus galerías, disposición de otros niveles, la ubicación y el área de la infraestructura interior mina, posibles trazados de aerovías de ventilación, sin mayor detalle. Este modelo se valida y detalla durante la ingeniería básica.

4.1.8 Infraestructura Principal

Las salidas fundamentales de la ingeniería conceptual de la infraestructura principal y requeridas por la ingeniería básica, son las siguientes:

- Trazado de los accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación y transporte de mineral.
- Secciones de los accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación y transporte de mineral.
- Layout de los accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación y transporte de mineral.
- Análisis de constructibilidad.

La información de salida de la ingeniería conceptual se requiere por lo siguiente:

El trazado y secciones propuestas para los accesos principales y secundarios se validan en la ingeniería básica, en función de la mayor información de geología estructural, la calidad de la roca, de la reestimación de la envolvente económica, ubicación final de los niveles de producción, del nivel de transporte principal y de la infraestructura para operación mina.

El análisis de constructibilidad de los accesos principales y secundarios, las aerovías de ventilación y el transporte de mineral, realizado en la ingeniería conceptual, entrega un análisis de las interferencias y condiciones del sitio, además evalúa y propone métodos constructivos, información base para definir los trazados y secciones finales de los accesos principales y secundarios durante la ingeniería básica.

4.1.9 Planificación Minera

Las salidas fundamentales de la ingeniería conceptual de la planificación minera son las siguientes:

- Diseño de la unidad básica de explotación.
- Criterios económicos y técnicos de planificación minera.
- Modelo de dilución y de recuperación.
- Secuencia de extracción propuesta.
- Alternativa de manejo de materiales seleccionada.

La información de salida de la ingeniería conceptual es requerida en la ingeniería básica por lo siguiente:

El diseño de la unidad básica de explotación se confirma o actualiza durante la ejecución de la ingeniería básica, a partir de mayor información de la calidad de la roca y con ello de los parámetros de diseño. La definición de la unidad básica de explotación es fundamental para determinar la secuencia de extracción definitiva de las unidades en el tiempo.

Los criterios de planificación minera se validan durante la ingeniería básica, en base a las orientaciones comerciales del dueño y a nueva información geotécnica.

El modelo de dilución y de recuperación entregado por la ingeniería conceptual se actualiza durante la ingeniería básica en función a las dimensiones finales de la unidad básica de explotación, a la secuencia de extracción final, ritmo de producción y tasas de extracción.

La secuencia de extracción propuesta por la ingeniería conceptual se valida y analiza (operatividad y geomecánica) durante la ingeniería básica, en función del mayor conocimiento geológico y geotécnico.

El sistema de manejo de materiales seleccionado se requiere para determinar la capacidad máxima de producción.

4.1.10 Plan de Producción

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del plan de producción es la siguiente:

- Capacidad y ritmo de producción minera.
- Modelo de dilución y de recuperación.
- Estrategia de consumo de reservas.
- Plan de producción anual (ramp up, régimen y ramp down).
- Modelo geometalúrgico de la Ingeniería Conceptual.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El modelo de dilución volumétrico es la base para la construcción del modelo de dilución numérico.

La estrategia de consumo de reservas se valida en la ingeniería básica a partir de las orientaciones comerciales del dueño (maximizar el valor presente neto, maximizar la recuperación, rentabilidad mínima, entre otros) y se utiliza en la construcción del plan de producción final.

El plan de producción entregado por la fase conceptual se valida y completa durante la ingeniería básica a partir de la secuencia de extracción final, la validación de los criterios de planificación y la estrategia de consumo de reservas final.

El modelo geometalúrgico de la ingeniería conceptual contiene al menos la mineralogía, tamaño de grano, durezas, chancabilidad, textura, ley de concentrado, ley metal principal e impurezas. Este modelo se actualiza en la ingeniería básica, en función de las pruebas mineralógicas y metalúrgicas realizadas, incorporando los parámetros mencionados en el punto 3.1.4.1, y es la base para precisar el plan de producción.

4.1.11 Sistema Manejo de Materiales

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del sistema de manejo de materiales es la siguiente:

- Ritmo de producción definido.
- Alternativa del sistema de manejo de materiales definido.
- Flota de equipos principales.
- Layout del sistema de transporte horizontal y vertical.
- Análisis de riesgo del sistema de transporte principal.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El ritmo de producción definido se utiliza para simular la confiabilidad de la capacidad de manejo de material del sistema.

La alternativa seleccionada se valida y detalla durante la ingeniería básica, en función del plan de producción final, la configuración geométrica de la mina, consideraciones geomecánicas (fragmentación), de la constructibilidad y de su operatividad.

La flota de equipos principales (carguío y transporte) definido en la ingeniería conceptual, se optimiza durante la ingeniería básica en función de los trazados finales del sistema de manejo de materiales, capacidades, velocidades y mantenibilidad de los equipos y de la simulación del sistema.

El layout del sistema se valida durante la ingeniería básica en función al trazado final del sistema de manejo de materiales.

El análisis de riesgo entrega las consideraciones a tomar en cuenta en la validación y/o modificación del diseño del sistema de manejo de materiales.

4.1.12 Operaciones Unitarias

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica de las operaciones unitarias es la siguiente:

- Alternativa de manejo de materiales definido.
- Identificación de las operaciones unitarias del proceso minero.
- Definición tecnológica de las operaciones unitarias (benchmarking, factores y supuestos)
- Estudio de fragmentación de la roca, como base de los diseños de transporte.

La alternativa de manejo de materiales seleccionada en la ingeniería conceptual es fundamental para la identificación de las operaciones unitarias y la selección de equipos.

La identificación de las operaciones unitarias del proceso minero permite que en la ingeniería básica se determinen todas las actividades dentro de cada ciclo de la operación unitaria y con ello calcular un tiempo de ciclo, los consumos de materiales e insumos, rendimientos y factores tecnológicos.

La definición tecnológica de las operaciones unitarias permiten que en la ingeniería básica se calculen parámetros tales como productividad del ciclo de producción [toneladas/hora] y los avances de desarrollos por turno [metros/turno], por día [metros/día] y por mes [metros/mes] para las distintas labores horizontales y verticales y para sus diferentes secciones.

4.1.13 Requerimientos de Equipos y Flota

La información fundamental para ejecutar la ingeniería básica del cálculo de equipos y flota es la siguiente:

- Plan de producción de la ingeniería básica.
- Programa de desarrollo de la ingeniería básica.
- Parámetros técnicos y operacionales de los equipos
- Simulación del sistema de manejo de materiales
- Estudio de mantenibilidad de los equipos

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El plan de producción final entrega las toneladas a extraer por cada periodo (año), lo que permite el cálculo de la flota de los equipos de producción tales como LHD, camiones, jumbo de perforación frontal y radial.

El programa de desarrollo final entrega los metros de avance requeridos por cada periodo lo cual permite el cálculo de la flota de equipos tales como LHD para desarrollo, camión para desarrollo, jumbo de perforación frontal, jumbo empernador y camión mixer.

Los parámetros técnicos y operacionales entregan valores de capacidades de los equipos, velocidades de transporte y equipamiento

La simulación del sistema de manejo de materiales permite optimizar el cálculo de la flota de equipos al incorporar interferencias operativas y factores operacionales.

El estudio de mantenibilidad entrega los valores de disponibilidades mecánicas y factores operacionales para ser incorporados en el cálculo de flota.

4.1.14 Programa de Desarrollo

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del plan de desarrollo es la siguiente:

- Identificación de los desarrollos críticos.
- Secuencia lógica de los desarrollos horizontales y verticales.
- Tiempos de ciclo y rendimientos de avance (valores factorizados o benchmarking de faenas con similares condiciones).
- Programa de desarrollo anual (preliminar).
- Plan de producción de la ingeniería básica.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La identificación de los desarrollos críticos (acceso principal, accesos secundarios, aerovías de ventilación, nivel de transporte e infraestructura por nivel), se utiliza para determinar los hitos del programa.

La secuencia de los desarrollos horizontales y verticales se utiliza para la construcción del programa de desarrollo y la determinación de plazos.

Si no se tienen los desarrollos identificados y una posible secuencia constructiva no se puede estimar ciclos de avance y sin ello no se puede estimar un plazo de construcción de las obras requeridas antes del inicio de la producción.

Los valores de tiempos de ciclo y de rendimientos de avance entregados por la ingeniería conceptual son una base para el cálculo de los valores durante la ingeniería básica.

El programa de desarrollo de la ingeniería conceptual detalla el movimiento de material de forma anual y por obra, ejemplo túnel acceso principal, accesos secundarios, rampas de interconexión entre niveles, chimeneas, galerías de producción. Este programa se valida y completa durante la ingeniería básica en función del plan de producción final, a las operaciones unitarias definidas, los equipos finales y los rendimientos calculados, lo cual se utiliza para la simulación del cumplimiento de la capacidad de producción.

El plan de producción de la ingeniería básica es la base para completar el programa de desarrollo durante esta fase.

4.1.15 Requerimientos de Mano de Obra

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del cálculo de mano de obra es la siguiente:

- Estructura organizacional.
- Régimen de trabajo.
- Definición de las operaciones unitarias realizada en la ingeniería básica
- Flota de equipos operativa calculada en la ingeniería básica.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La estructura organizacional se utiliza para determinar la organización de la faena.

El régimen de trabajo entrega el sistema de turnos y las horas trabajadas por día.

La definición de las operaciones unitarias realizada por la ingeniería básica permite calcular el requerimiento de operadores y ayudantes por equipo y actividad.

La flota de equipos operativa permite estimar la cantidad de personal por turno, lo cual según el régimen de trabajo, permite calcular el personal diario.

4.1.16 Sistema de Ventilación

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del sistema de ventilación es la siguiente:

- Requerimientos de caudal de aire durante la operación de la mina.
- Estimación de la caída de presión (resistencia) del sistema.
- Normativa y criterios de diseño del sistema de ventilación.
- Dimensionamiento de los ventiladores principales.
- Layout del sistema de ventilación.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El caudal de aire requerido se actualiza durante la ingeniería básica en función del cálculo final de la flota de equipos operativa y de la estimación de personal definitiva, el cual se utiliza para el dimensionamiento de la ventilación principal y secundaria.

La normativa y los criterios definidos se utilizan en la confección del diseño

El dimensionamiento de los ventiladores se valida durante la ingeniería básica y se utiliza para la confección de especificaciones y requisiciones técnicas.

4.1.17 Sistema Abastecimiento de Agua Industrial

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del sistema de abastecimiento de agua industrial es la siguiente:

- Fuente y capacidad de alimentación de agua industrial.
- Caracterización del fluido (T°, pH, densidad, viscosidad).
- Demanda de agua industrial.
- Criterios de diseño (factores de caudales de diseño, velocidad transporte del agua, ubicación cañerías dentro de la sección del túnel, diseño para máxima demanda de agua, cumplimiento de normas, de material de cañerías, etc.).
- Layout de la red de distribución agua industrial.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La capacidad de la fuente de alimentación es vital para determinar si se satisface la demanda de agua industrial.

La caracterización del fluido se utiliza en la determinación de los materiales del sistema.

La demanda de agua industrial se valida durante la ingeniería básica en base a los consumos verificados de los equipos definitivos, del plan de producción y el programa de desarrollo final.

Los criterios de diseño se utilizan para la confección del diseño del suministro de agua industrial.

4.1.18 Sistema de Drenaje

Las salidas fundamentales de la ingeniería conceptual del sistema de drenaje son las siguientes:

- Caracterización del fluido.
- Estimación del caudal de drenaje.
- Layout del sistema de drenaje.
- Dimensionamiento de las bombas principales.
- Consumo de energía eléctrica.

La información de salida de la ingeniería conceptual es requerida por la ingeniería básica debido a lo siguiente:

La caracterización del fluido y demanda de caudal de drenaje se utiliza para el diseño de los materiales y del sistema de drenaje.

El layout del sistema de drenaje indica el trazado preliminar de las cañerías, ubicación de las bombas y estanques de decantación, lo cual se valida y/o modifica durante la ingeniería básica.

El dimensionamiento de las bombas se utiliza para la confección de especificaciones técnicas y cotización a firme.

4.1.19 Sistema Abastecimiento Eléctrico

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del sistema de abastecimiento eléctrico es la siguiente:

- Estudio de fuentes de alimentación.
- Estudio de cargas y demandas eléctricas: centros de carga eléctrica en términos de su potencia instalada y demanda.
- Selección de los niveles de tensión (alta, media y baja tensión).
- Topología de la red de distribución eléctrica⁹.
- Diagrama unilineal general de la mina¹⁰.
- Criterios de diseño del sistema eléctrico.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El estudio de las fuentes de alimentación eléctrica es fundamental para determinar el punto de entrega de la energía eléctrica para el proyecto y si existe capacidad para su alimentación.

El estudio de cargas y demandas eléctricas se valida durante la ingeniería básica en base a una actualización del estudio según el cálculo final y especificaciones de la flota de equipos de carguío y transporte, ventiladores y bombas principales, cuya información representa la base para el diseño del sistema eléctrico.

La selección de los niveles de tensión permite que en la ingeniería básica se precise el diseño del sistema de transmisión y distribución de tensión (transformador de distribución y medios de transmisión) y el sistema de regulación de la tensión en régimen permanente y en la partida de grandes motores.

La topología muestra la distribución de los centros de carga de la mina, es decir el lugar físico en el cual se encuentran los principales consumos eléctricos (ventiladores, de bombas de drenaje y el área de explotación con equipos mineros).

⁹ Topología: Es la representación esquemática de la forma en que se distribuye la energía por medio de un circuito eléctrico.

¹⁰ Diagrama unilineal: Corresponde a la representación gráfica de una instalación eléctrica.

4.1.20 Sistema de Comunicaciones e Instrumentación

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del sistema de comunicaciones e instrumentación es la siguiente:

- Condiciones ambientales.
- Requerimientos de comunicación e instrumentación.
- Filosofía del control de procesos productivos (ventilación, drenaje, camiones y LHD, martillos picadores, buzones).
- Topología del sistema de red, comunicaciones y transmisión de datos.
- Ubicación del centro integrado de operación.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

Las condiciones ambientales de los túneles y de los accesos a la mina (T° , humedad, gases corrosivos, polvo, agua) son fundamentales para calcular el recubrimiento y material de los medios de transmisión.

En la ingeniería básica se validan los requerimientos de comunicación e instrumentación a partir del cálculo final de la flota de equipos, la definición del sistema de manejo de materiales, el cálculo de bombas de drenaje y piscinas de traspaso, equipos y elementos de ventilación, estaciones eléctricas y los correspondientes sistemas de automatización.

Además, la filosofía de control de procesos productivos (ventilación, drenaje, red contra incendio, control de tráfico, control manejo de material, control LHDs), son fundamentales para el diseño y la confección de especificaciones que se realizan en la ingeniería básica.

En la ingeniería básica se valida la ubicación del centro integrado de operación en función a la actualización de los requerimientos de comunicación e instrumentación y a los trazados finales de los accesos, los niveles productivos y de transporte.

Finalmente, se debe entregar un diagrama general del sistema de telecomunicaciones (topología) que indique la ubicación del centro integrado de operación (dentro o fuera de la mina). En la ingeniería básica, la topología del sistema se valida y actualiza en función de la definición final de los requerimientos, trazados y equipos.

4.1.21 Requerimientos de Servicios, Insumos y Materiales

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del cálculo de requerimiento de servicios, insumos y materiales es la siguiente:

- Definición de las operaciones unitarias de la ingeniería básica.
- Flota de equipos principales operativa de la ingeniería básica.
- Estimación preliminar de factores tecnológicos.
- Layout de los niveles de producción y de desarrollo de la ingeniería básica.

- Identificación de los servicios requeridos por la operación de la mina (mantención, mano de obra, administración, servicio de transporte de personal, servicio de alimentación).

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La definición de las operaciones unitarias (perforación y tronadura) permite el cálculo de aceros de perforación (avance y de fortificación), explosivos y accesorios (cordón de ignición, fulminante, iniciador, cordón detonante) y de elementos de fortificación.

La flota de equipos operativa de la ingeniería básica permite calcular el requerimiento de insumos de los equipos con mayor precisión (combustible, lubricantes, neumáticos).

La estimación preliminar de factores tecnológicos tales como kg de aceros de perforación por metros de perforación, kg de explosivos por tronadura, litros de combustible por hora de equipo y litros de lubricante por hora de equipo, se utiliza como valor de referencia durante su cálculo en la ingeniería básica.

El layout de los niveles de producción y desarrollo generado por la ingeniería básica se utiliza para planificar la logística de la entrega de materiales e insumos y la construcción del diagrama de procesos.

En la ingeniería básica se establece la modalidad de contratación de los servicios para la operación de la mina.

4.1.22 Infraestructura para Operación Mina

A continuación se presenta la información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica de la infraestructura para operación mina, que contiene principalmente el taller de mantención, el polvorín de explosivos, la planta de shotcrete, refugios, casa de cambio, comedores, oficinas, servicios higiénicos, centro de acopio de RILES y RISES, centro de primeros auxilios, bodegas, estacionamiento de camionetas y buses.

- Estimación de la dotación final de la ingeniería básica.
- Flota de equipos principales definida en la ingeniería básica.
- Estimación preliminar de los materiales e insumos de la ingeniería básica.
- Requerimiento de la infraestructura para operación mina (análisis de la capacidad instalada).
- Layout de la infraestructura interior y exterior de la mina.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La estimación de personal de la ingeniería básica se utiliza para calcular refugios, casas de cambio, comedores, oficinas y otros.

La flota de equipos principales se utiliza para el diseño de los talleres de mantención.

La cubicación de materiales e insumos se utiliza para el diseño del lugar de almacenamiento.

El layout y emplazamiento de la infraestructura se valida durante la ingeniería básica y se modifica con el cálculo de las secciones de la infraestructura e incorporando elementos como cañerías de suministro de agua industrial, cañerías de drenaje, ductos de ventilación, medios de transmisión eléctrica y de comunicación.

4.1.23 Programa de Obras

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del programa de obras es la siguiente:

- Conceptualización del programa de construcción.
- Identificación de las obras de la ingeniería básica.
- Secuencia de desarrollos y actividades de la ingeniería básica.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

Los plazos y rendimientos que entrega la ejecución de la ingeniería conceptual, permiten a la siguiente fase tener valores referenciales de actividades de construcción de faenas con similares condiciones, tal como tiempos de instalación de faenas, de movilización de personal de construcción, tiempos de capacitación de personal, rendimientos de distintos métodos constructivos de desarrollos horizontales y verticales, como perforación y tronadura para condiciones similares de roca, raise borer, blind hole, entre otros. Esta información de rendimientos y plazos se actualiza durante la ingeniería básica a partir del cálculo de los rendimientos de los equipos finales y de la identificación final de las obras.

La identificación de obras se utiliza en la construcción del programa de obras durante la ingeniería básica, incorporando análisis de ruta crítica, simulaciones de ruta crítica, análisis probabilísticos a través de softwares computacionales, además de determinar plazos de construcción e incluyendo los recursos para llevarlo a cabo (HH y materiales).

La secuencia de desarrollos de la ingeniería básica entrega el orden final de las distintas actividades y obras de construcción, lo cual permite calcular plazos de construcción e identificar la ruta crítica del programa de obras.

4.1.24 Declaración de Reservas Mineras

Para realizar una declaración de reservas mineras al término de la ingeniería básica, se necesita que la ingeniería entregue la siguiente información:

- Programa de Producción
- Modelo de recursos.
- Categorización de reservas mineras.
- Análisis de riesgo de la categorización de reservas mineras.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

La categorización de reservas mineras contabiliza la proporción de reservas probadas y posibles que se tiene al final de la ingeniería conceptual.

El análisis de riesgo que se debe desarrollar en la ingeniería conceptual del proyecto debe identificar los aspectos en los cuales no se cuenta la definición necesaria para transformar recursos medidos en reservas probadas o recursos medidos o indicados en reservas probables, de forma que en la ingeniería básica se destinen los recursos económicos y de personal en precisar la información faltante para poder obtener una mayor proporción del mineral contenido en los planes de producción.

4.1.25 Evaluación Económica

Para realizar una evaluación económica del proyecto a nivel de ingeniería básica, se necesita que la ingeniería entregue la siguiente información:

- Estimación de CAPEX, OPEX y principales indicadores económicos de la ingeniería básica.
- Modelo económico (Precio metal, costo venta, costo tratamiento, inflación, tasa de cambio, impuestos).
- Modelo de costos ($US\$/kW$, $US\$/m^3$ agua, $US\$/l$), combustible, costo explosivos, costo hora hombre, costo transporte equipos, factor contingencia, precio unitario de materiales como barras, bits, pernos, mallas, neumáticos).
- Supuestos utilizados por la ingeniería conceptual para la estimación del CAPEX, OPEX, los flujos económicos y los principales indicadores financieros del proyecto
- Estructura de quiebre del proyecto minero (WBS).

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

El CAPEX, OPEX e indicadores se realizan nuevamente durante la ingeniería básica, al considerar mayor información para su estimación.

El modelo económico y de costos es la base para la estimación del CAPEX y OPEX.

Los supuestos utilizados por la ingeniería conceptual corresponden a la tasa de descuento de flujos, impuestos, índices monetarios (IPM U.S), tipo de cambio, factores de actualización de la moneda nacional y extranjera, precios de los metales, costo de suministros, costo de materiales, insumos y servicios. Estos se verifican en la ingeniería básica y se actualizan según la existencia de cambios en las orientaciones comerciales de la compañía o en el mercado.

La WBS es la base para la estructuración de la estimación del CAPEX y OPEX.

4.1.26 Plan de Ejecución del Proyecto

La información de ingeniería conceptual fundamental para ejecutar la ingeniería básica del plan de ejecución del proyecto es la siguiente:

- Plan de permisos y ruta crítica.
- Plan de adquisición de los equipos críticos.
- Plan de contratos.
- Estructura organizacional del proyecto.
- Plan de ejecución del proyecto.

La información anteriormente mencionada se requiere por lo siguiente:

En la ingeniería básica, se verifica y se le da seguimiento al plan de permisos y a la hoja de ruta de estos, cuyo proceso de tramitación y aprobación se evalúa periódicamente ante cualquier modificación que se deba realizar en el transcurso de la fase.

La ingeniería conceptual entrega un plan de adquisición de los equipos críticos (mayor plazo de entrega) y un cronograma de compra. En ingeniería básica, esta información se valida y complementa en base a los equipos, insumos y materiales presupuestados, además de, estudiar el cronograma propuesto y la gradualidad de compra de los equipos.

El plan de contratos entregado por la ingeniería conceptual se ratifica y complementa en función del paquete de obras de infraestructura y servicios establecidos a realizar por terceros, además de, las modalidades contractuales (EPCM, EP, EPC, otros) y las modalidades de pago definidas (costo unitario, suma alzada, gastos reembolsables).

El plan de ejecución entregado por la ingeniería conceptual y la ruta crítica del proyecto es necesario para dar cumplimiento a los debidos procesos de ingeniería, licitaciones, órdenes de compra, plazos de aprobación del proyecto, entre otros, y así cumplir con las fechas proyectadas para las distintas obras del proyecto.

4.2 Estimación del Tiempo de Duración de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales

Uno de los objetivos específicos de este trabajo de título es evaluar el desarrollo de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea bajo un escenario en el cual se cuenta con una disponibilidad de tiempo limitada, de forma de identificar los contenidos de ingeniería básica que se deben priorizar y cuya situación se puede dar en los siguientes casos:

- El precio de los commodities es alto y por ende el dueño solicita adelantar lo antes posible la entrada en producción, acelerando el proceso de ingeniería del proyecto.

- El agotamiento de las reservas mineras del yacimiento actual se aproxima y por ende la materialización de nuevos proyectos de restitución y/o expansión se hace urgente.
- Se necesita copar la capacidad de la planta de procesamiento de mineral lo antes posible con el objetivo de disminuir los costos de operación o maximizar el uso de los activos o producir más.
- Cambios en la legislación del país de origen del proyecto, que involucre cambios sustanciales como modificaciones al método de explotación.
Ejemplo, que se considere un método por hundimiento pero producto del cambio en la legislación no se pueda intervenir físicamente la superficie en la cual se emplaza el proyecto.
- Otros casos.

Para realizar el análisis, en primera instancia se construye un programa de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea, para luego realizar un análisis de ruta crítica con el objetivo de identificar los contenidos que no poseen holgura y cuyo retraso impacta en la duración final de la fase y, en consecuencia, se debe priorizar su ejecución.

Además, es fundamental señalar que este análisis considera que a un comienzo de la ingeniería básica se cuenta con toda la información requerida para iniciar la fase, es decir, que la ingeniería conceptual entrega todos los outputs definidos en la sección anterior 4.1.

4.2.1 Programación de los Contenidos de la Ingeniería Básica

La metodología de cálculo del programa de actividades de la ingeniería es la siguiente:

1. Definición de los contenidos de la ingeniería básica
2. Estimación de los tiempos de duración de cada contenido
3. Definición de las relaciones de precedencia y secuencia entre contenidos
4. Representación gráfica de los contenidos junto a sus interrelaciones (carta Gantt)
5. Determinación del tiempo de duración de la ingeniería básica

La definición de los contenidos y actividades de ingeniería básica asociadas se encuentran en el punto 3.1.4.

Luego, para la estimación de los tiempos de duración de cada contenido se utiliza la información proveniente de cinco ingenierías básicas, específicamente de los proyectos descritos en el punto 3.2 de este documento, cuyos datos se muestran en la Tabla 1 de a continuación:

Tabla 1: Duración Contenidos Ingeniería Básica Según Proyectos Reales.

Duración de los Contenidos de una Ingeniería Básica de Proyectos Reales						
N°	Contenido	Proyecto 1 [Meses]	Proyecto 2 [Meses]	Proyecto 3 [Meses]	Proyecto 4 [Meses]	Proyecto 5 [Meses]
1	Geología ¹¹	2.0	1.5	2	2.5	2.0
2	Hidrogeología ¹²	2.0	1.0	1	1.5	1.4
3	Geotecnia ¹³	3.0	2.0	2	2.5	2.4
4	Evaluación de Recursos	1.0	0.8	1	2.0	1.2
5	Validación Método Explotación	0.5	0.3	1	1.0	0.7
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	0.5	0.5	1	0.8	0.7
7	Diseño Minero	3.0	2.5	2	3.0	2.6
8	Infraestructura Principal	1.5	1.0	1	1.3	1.2
9	Planificación Minera	3.5	2.0	2	2.5	2.5
10	Plan de Producción	1.5	1.0	1.3	1.5	1.3
11	Programa de Desarrollo	1.0	1.0	1	1.5	1.1
12	Sistema Manejo de Materiales	3.0	1.5	2	2.5	2.3
13	Operaciones Unitarias	1.0	0.8	1	1.3	1.0
14	Requerimiento de Equipos y Flota	1.3	0.8	1	1.0	1.0
15	Requerimiento de Mano de Obra	0.5	0.5	1	0.8	0.7
16	Sistema de Ventilación	3.0	1.5	2	2.5	2.3
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	1.8	1.3	2	2.5	1.9
18	Sistema de Drenaje	1.8	1.3	2	2.0	1.8
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	3.0	2.5	3	4.0	3.1
20	Sistema Comunicación e Instrumentación	1.5	1.0	2	1.8	1.6
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	1.0	0.8	1	1.3	1.0
22	Infraestructura Operación Mina	3.0	2.0	2	2.5	2.4
23	Declaración de Reservas Mineras	0.8	1.0	1	1.3	1.0
24	Programa de Obras	3.0	-	2.5	2.8	2.8
25	Plan de Ejecución	3.0	1.0	3	2.5	2.4
26	Evaluación Económica	3.0	1.0	2	2.0	2.0
Total		9	7	9	13	10

En el Anexo A se presentan las estadísticas descriptivas de los datos de duración de los contenidos de ingeniería básica de los proyectos reales:

Luego, para obtener un valor estimado de duración de cada uno de los contenidos definidos para la ingeniería básica, se modelan las variables según la distribución de probabilidad PERT, la cual se describe a continuación.

¹¹ Sólo incluye la actualización del modelo geológico, de leyes y geometalúrgico.

¹² No considera el tiempo de pruebas de permeabilización, pruebas de bombeo y sondajes.

¹³ No considera el tiempo de desarrollo de sondajes y ensayos geotécnicos.

La distribución de probabilidad PERT (Program Evaluation and Review Technique en inglés) corresponde a un caso especial de la distribución Beta. Esta última se representa por la siguiente función de densidad de probabilidad (Ahuja, Dozzi, & Abourizk, 1994).

$$f(x, \alpha, \gamma, L, U) = \frac{\Gamma(\alpha + \gamma)(x - L)^{\alpha-1}(U - x)^{\gamma-1}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\gamma)(U - L)^{\alpha+\gamma-1}}$$

Ecuación 1: Función de Distribución de Probabilidad Beta.

Con $L \leq x \leq U$; L es el límite menor y U es el límite mayor, “ α ” y “ γ ” corresponden a los factores de forma y $\Gamma ()$ es la función gamma.

Además, la media y varianza de la distribución Beta están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \frac{\alpha U + \gamma L}{\alpha + \gamma}$$

Ecuación 2: Media de la Distribución de Probabilidad Beta.

$$\sigma^2 = \frac{(U - L)^2 \alpha \gamma}{(\alpha + \gamma)^2 (\alpha + \gamma + 1)}$$

Ecuación 3: Varianza de la Distribución de Probabilidad Beta.

Entonces la distribución PERT o Beta-PERT corresponde a una distribución Beta bajo el supuesto que la desviación estándar corresponde a un sexto de la diferencia entre el límite máximo y el mínimo, situación que se da cuando los factores de forma poseen los siguientes valores: $\alpha = 2$ y $\gamma = 3$.

En consecuencia, se facilita la formulación de la media y varianza de la siguiente manera:

$$\mu = \frac{L + 4M + U}{6}$$

Ecuación 4: Media de la Distribución Beta-PERT.

Con L como el valor mínimo, M como el valor más probable y U el valor máximo.

$$\sigma^2 = \frac{(\mu - L)(U - \mu)}{7}$$

Ecuación 5: Varianza de la Distribución de Probabilidad Beta-PERT.

La simplificación viene dada porque la estimación solicita sólo tres parámetros, correspondientes a un valor mínimo, uno más probable y un máximo. En base a estos tres valores se construye una distribución de probabilidad que tiene la característica de ser más suavizada disminuyendo el sesgo hacia un valor en particular (Guía para el uso de @RISK, 2010).

En base a lo anterior, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se cuenta con cinco valores reales de duración para cada uno de los contenidos de ingeniería básica
2. Se asume que la función de distribución que mejor describe la duración de cada contenido de ingeniería es la función PERT
3. La función PERT solicita un valor optimista, un valor esperado y un valor pesimista. En base a esto, como valor optimista se considera el mínimo de los valores del contenido, para el valor esperado se considera la media entre los cinco valores reales del contenido, para el valor pesimista se considera el máximo de los valores del contenido
4. Cada contenido se considera como un evento independiente (no se incluye correlación)
5. Se realiza una simulación de Monte Carlo a través del software @RISK de Microsoft Excel, considerando la realización de 10.000 iteraciones por contenido
6. El resultado de la simulación de Monte Carlo, es una distribución de probabilidad PERT junto a distintas probabilidades de ocurrencia
7. Se asume que el valor P80 de la distribución acumulada es el más adecuado para el propósito de este trabajo¹⁴. Este número corresponde al valor con un 80% de probabilidad de ocurrencia.

En la siguiente Tabla 2, se presentan los resultados de la simulación de Monte Carlo para la obtención de un plazo de ejecución de cada uno de los contenidos de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea.

14

Tabla 2: Resultados de la Simulación de Monte Carlo de la Duración de los Contenidos de Ingeniería Básica.

Duración Contenidos de la Ingeniería Básica			
N°	Contenido	Valor Esperado [meses]	P80 [meses]
1	Geología	2.0	2.2
2	Hidrogeología	1.5	1.7
3	Geotecnia	2.5	2.7
4	Evaluación de Recursos	1.1	1.3
5	Validación Método Explotación	0.5	0.7
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	0.5	0.6
7	Diseño Minero	2.9	3.0
8	Infraestructura Principal	1.3	1.3
9	Planificación Minera	2.6	2.8
10	Plan de Producción	1.4	1.5
11	Programa de Desarrollo	1.1	1.1
12	Sistema Manejo de Materiales	2.4	2.7
13	Operaciones Unitarias	1.0	1.1
14	Requerimiento de equipos y flota	1.0	1.1
15	Requerimiento de mano de obra	0.5	0.6
16	Sistema de Ventilación	2.4	2.7
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	1.8	2.0
18	Sistema de Drenaje	1.7	1.8
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	3.1	3.3
20	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	1.5	1.6
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	1.0	1.0
22	Infraestructura Operación Mina	2.5	2.7
23	Reservas Mineras	1.0	1.1
24	Programa de obras	2.8	2.9
25	Plan de ejecución	2.3	2.7
26	Evaluación Económica	2.0	2.3

Luego, para definir las simultaneidades y precedencias de los contenidos, se toma como válido las precedencias definidas por el programa de actividades del Proyecto N°1 y N°4¹⁵, caracterizados en el punto 3.2 Caracterización Proyectos Base de este documento.

Para sistematizar y graficar las precedencias definidas se utiliza el software Microsoft Project, el cual utiliza las siguientes abreviaciones:

- SS: Start to Start, quiere decir que las actividades A y B comienzan simultáneamente.

¹⁵ Se utiliza el Proyecto N°1 y N°4, debido que se cuenta con más información respecto al programa y secuencia de actividades de la ingeniería.

- FF: Finish to Finish, quiere decir que las actividades A y B finalizan simultáneamente.
- FS: Finish to Start, quiere decir que cuando la actividad A finaliza, la actividad B se inicia.

Por ejemplo, en el caso de la Hidrogeología cuya relación de precedencia señala 2SS + 2 semanas, significa que esta actividad se inicia dos semanas después de haber comenzado la actividad N°2 de Geología.

Entonces, en la Tabla 3, se muestran las relaciones de simultaneidad y de precedencia entre los contenidos, las cuales se utilizan para planificar el programa de actividades de la ingeniería básica.

Tabla 3: Relaciones de Precedencia y Simultaneidades de los Contenidos de la Ingeniería Básica.

Ingeniería Básica		
N°	Contenido	Precedencia
2	Geología	
3	Hidrogeología	2SS+2 semanas
4	Geotecnia	2SS+3 semanas
5	Evaluación de Recursos	2FF+2 semanas
6	Validación Método Explotación	4FF-1 semana,5SS
7	Reestimación Envolvente Económica de Reserva	5FF+3 semanas
8	Diseño Minero	6FS,4FS-1 semana
9	Infraestructura Principal	8FF
10	Planificación Minera	5,6,7FS+2 semanas,4,8SS+3 semanas
11	Plan de Producción	10FF,4
12	Programa de Desarrollo	11FF+3 semanas
13	Sistema Manejo de Materiales	11SS+2 semanas
14	Operaciones Unitarias	8FS,13FF
15	Requerimiento de equipos y flotas	13FF+1 semana,14
16	Requerimiento de mano de obra	15FS,14FS
17	Sistema de Ventilación	15SS
18	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	15SS,3FS
19	Sistema de Drenaje	18SS+2 semanas,3FS
20	Sistema Abastecimiento Eléctrico	13FS-1 semana
21	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	20FF-1 mes
22	Requerimiento de Servicios y Suministros	14FS,15FS,16FS
23	Infraestructura Operación Mina	8FS+2 semanas
24	Reservas Mineras	8FS,11FS
25	Programa de obra	8FS,12FS+2 semanas
26	Plan de ejecución	25SS+2 semanas,8FS
27	Evaluación Económica	15FS,8FS,11FS

Una vez estimada la duración de cada contenido y definida su secuencia, se procede a graficar el cronograma de la ingeniería. Para la representación gráfica de los contenidos y sus interrelaciones, se utiliza el software Microsoft Project, del cual se obtiene una Carta Gantt, tal como se ilustra en la Figura 3.

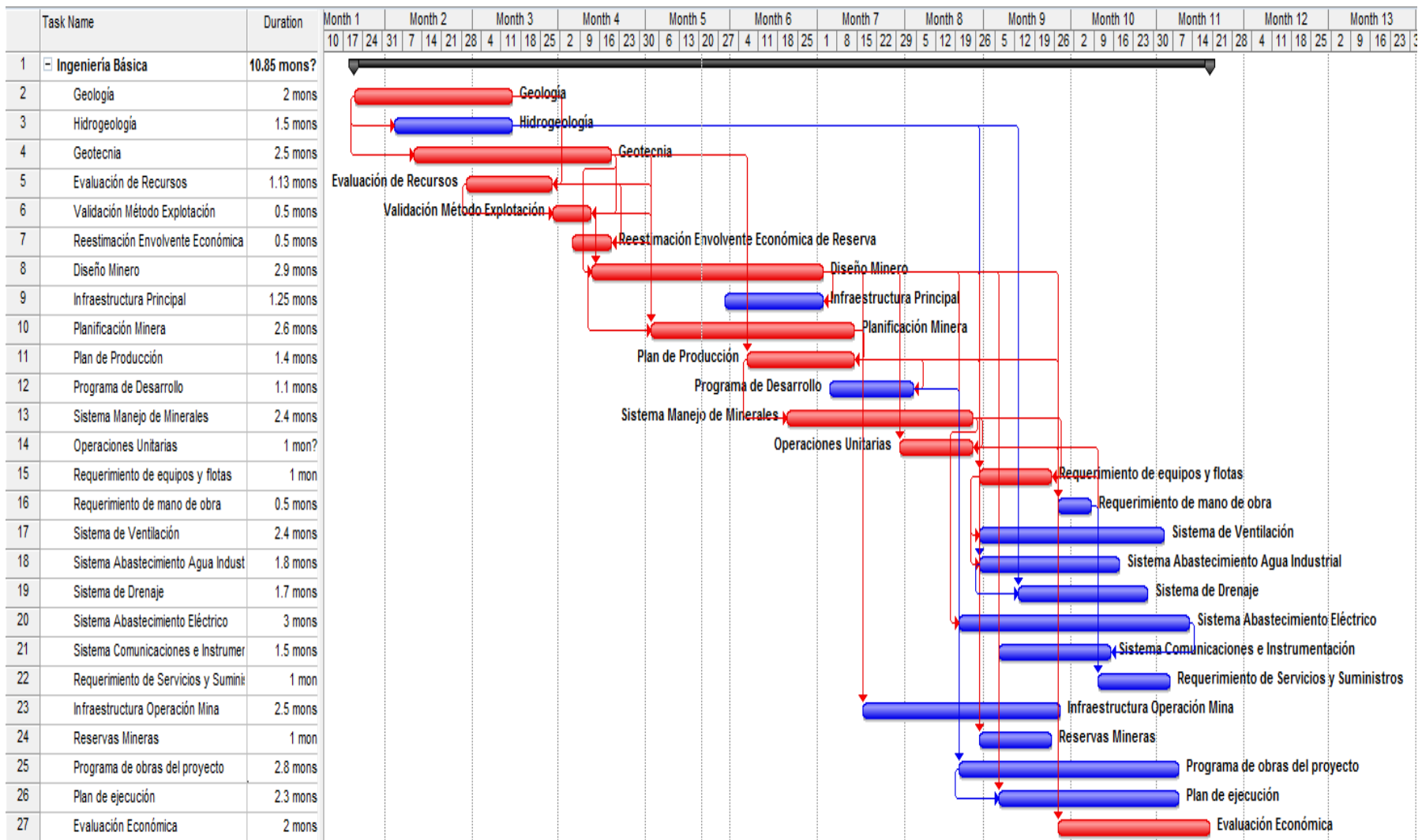


Figura 3: Carta Gantt de la Ingeniería Básica de un Proyecto de Explotación Subterránea.

Una vez graficada la programación de contenidos de la ingeniería básica se procede a estimar el plazo de duración de la ingeniería básica, para lo cual se utiliza el método de la ruta crítica, el cual entrega el valor mínimo de duración de la fase (valor determinístico).

4.2.2 Identificación de la Ruta Crítica

Como se puede observar de la Figura 3, las líneas rojas del diagrama indican la ruta crítica de la ingeniería. Esto quiere decir que se muestra el orden cronológico de los contenidos cuya secuencia entrega la duración determinística de la ingeniería básica.

De la carta Gantt, se identifica la siguiente ruta crítica:

1. Geología
2. Geotecnia
3. Evaluación de Recursos
4. Validación del método de explotación
5. Reestimación de la envolvente económica
6. Planificación Minera
7. Diseño Minero
8. Plan de Producción
9. Sistema Manejo de Materiales
10. Operaciones Unitarias
11. Requerimiento de Equipos y Flota
12. Evaluación Económica

Al encontrar la ruta crítica de la ingeniería básica, se obtienen los contenidos cuyo retraso impactan directamente en el tiempo final de la ingeniería, por tanto, se puede asumir que, si se tiene poco tiempo para realizar la ingeniería básica, estos contenidos o sus predecesores se deben priorizar.

Finalmente, de la programación de los contenidos de la ingeniería básica en Microsoft Project, se obtiene un valor mínimo de duración de la fase de 10.85 meses, resultado que se encuentra dentro del rango de duración de las ingenierías básicas de los proyectos considerados para este estudio.

4.2.3 Simulación de Monte Carlo del Cronograma de la Ingeniería Básica

Como el valor entregado en la sección 4.2.2 es determinístico, para el propósito de esta sección y del documento, interesa agregar variabilidad al resultado y generar múltiples escenarios de duración de la fase, para lo cual se realiza una simulación de Monte Carlo.

Al considerar los contenidos que se encuentran en la ruta crítica de la ingeniería básica, se genera una fórmula matemática en base a la sumatoria aritmética de cada uno de ellos.

Para la simulación de la duración total de la fase de ingeniería básica se utiliza el software @RISK de Microsoft Excel, en el cual se tiene la celda objetivo que contiene la sumatoria aritmética de los contenidos de la ruta crítica de la ingeniería básica.

En este caso, las variables de entrada de la celda objetivo son la duración de los contenidos de la ruta crítica, las cuales son descritas por la función de distribución PERT, utilizando el valor optimista, esperado y pesimista para cada una de ellas, tal como se menciona anteriormente.

Luego, se procede a realizar la simulación de Monte Carlo a esta celda objetivo, que incluye 10,000 iteraciones, de la cual se obtienen múltiples eventos de duración de la ingeniería básica, representados en una distribución de probabilidad, tal como se muestra en la Figura 4.

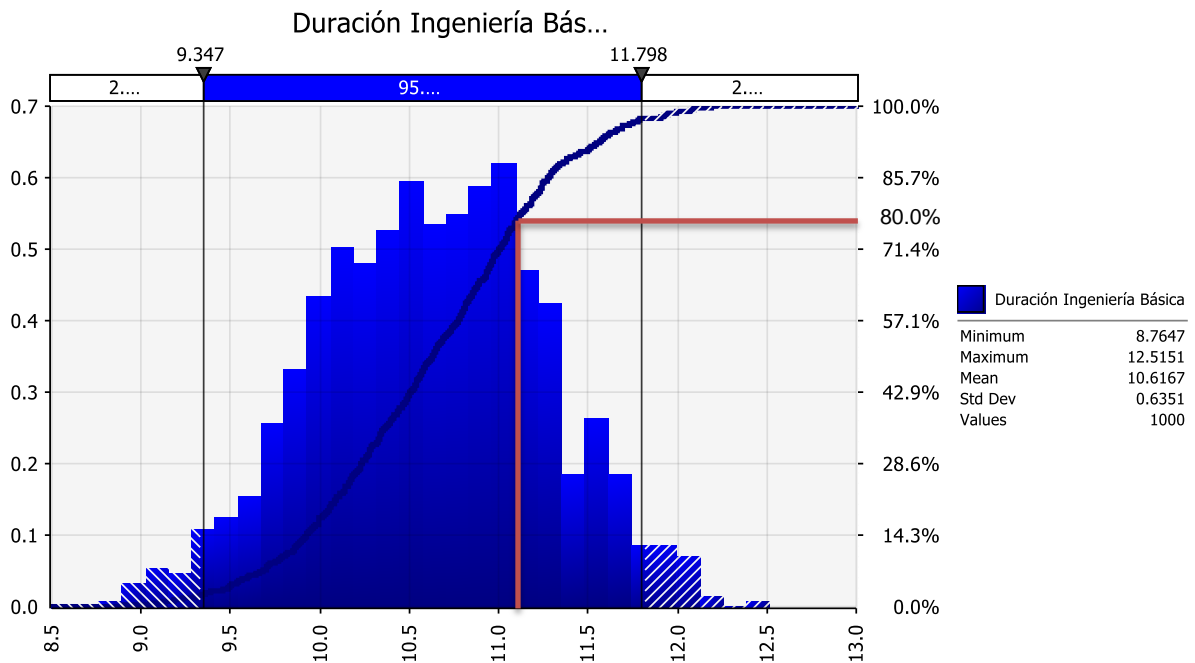


Figura 4: Duración de la Ingeniería Básica Según Distribución PERT.

Como muestra la Figura 4 el histograma de la distribución toma una forma de una distribución normal, la cual indica que en un intervalo de confianza del 95% la duración de la ingeniería básica se extenderá entre los 9.35 y 11.79 meses.

La curva de distribución de probabilidad acumulada entrega el valor de P80, el cual indica la probabilidad de obtener un valor menor al indicado. En este caso se

tiene que con una probabilidad del 80% la duración de la ingeniería básica será menor a 11.1 meses.

Este análisis considera que cada contenido de la ingeniería básica cuenta con toda la información a un inicio de la fase y por ende el tiempo final estimado podría aumentar si se toma en cuenta posibles atrasos por no contar con la información base a tiempo, análisis que se realiza en la sección siguiente 4.3.

Luego, se presenta la siguiente Tabla 4 que resume los resultados de la simulación de Monte Carlo tanto para plazos y horas hombre de los contenidos de una ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea.

Además, cabe mencionar que en el caso del número de horas hombre de los contenidos de ingeniería básica, se utiliza el mismo procedimiento realizado para la variable de duración, sin embargo, para calcular el número total de horas hombre de la fase, se realiza la suma de cada uno de los veintiséis contenidos y se simula considerando 10,000 iteraciones. Este cálculo se expresa en detalle, más adelante, en el punto 4.4.

Tabla 4: Resumen Plazo y Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Básica.

Plazo y Horas Hombre de la Ingeniería Básica según P80 Curva Acumulada			
N°	Contenido	Meses	HH
1	Geología	2.2	898
2	Hidrogeología	1.7	292
3	Geotecnia	2.7	2,002
4	Evaluación de Recursos	1.3	403
5	Validación Método Explotación	0.7	152
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	0.6	267
7	Diseño Minero	3.0	1,475
8	Infraestructura Principal	1.3	972
9	Planificación Minera	2.8	1,159
10	Plan de Producción	1.5	575
11	Programa de Desarrollo	1.1	630
12	Sistema Manejo de Materiales	2.7	1,190
13	Requerimiento de Equipos y Flota	1.1	584
14	Requerimiento de Mano de Obra	0.6	103
15	Sistema de Ventilación	2.7	839
16	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	2.0	512
17	Sistema de Drenaje	1.8	660
18	Sistema Abastecimiento Eléctrico	3.3	725
19	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	1.6	440
20	Requerimiento de Servicios y Suministros	1.0	435
21	Infraestructura Operación Mina	2.7	1,420
22	Reservas Mineras	1.1	320
23	Programa de Obras	2.9	996
24	Plan de Ejecución	2.7	1,248
25	Evaluación Económica	2.3	980
Total		11.1	18,103

En conclusión, una ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería, en condiciones normales, es decir con toda la información de entrada disponible y con plena disposición de recursos toma 11.1 meses y emplea 18,103 horas de ingeniería dentro de un percentil del 80%.

Estos valores en conjunto a la información de entrada fundamental para la ejecución de la ingeniería básica (punto 4.1), representan la base para el análisis que se realiza en la siguiente sección.

4.3 Análisis de la Ingeniería Básica Según la Disponibilidad de la Información de Ingeniería Conceptual

Uno de los objetivos específicos de este trabajo de título corresponde a evaluar el desarrollo de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea, bajo el escenario en el cual al inicio de esta etapa no se cuenta con toda la información proveniente de la ingeniería conceptual, es decir que existen parámetros de entrada incompletos. Este es el caso en que a un inicio de la ingeniería básica no se cuenta con alguno de los parámetros fundamentales presentados en la sección 4.1 de este documento. Algunos ejemplos se presentan a continuación:

- A un inicio de la ingeniería básica no se cuenta con un método de explotación seleccionado, puesto que el desarrollo de la ingeniería conceptual no fue concluyente o se pospuso su elección a espera del levantamiento de mayor información respecto a la geometría del yacimiento, la distribución de leyes, la orientación del cuerpo mineralizado o las características geomecánicas de la roca
- La ingeniería conceptual no entrega un sistema de manejo de materiales definido y por ende la flota de equipos principales tampoco se encuentra delimitada
- La ingeniería conceptual no define el trazado del acceso principal a la mina subterránea y por ende la ubicación de la infraestructura interior mina queda sujeta a esta definición
- El desarrollo de la información base de geología, geometalurgia y geotécnica que sustenta a la ingeniería básica, no se encuentra completada a un inicio de ésta y por ende la actualización de los distintos modelos deben esperar su finalización
- Otras indefiniciones

A partir de la simulación de posibles valores de duración de la ingeniería básica y la identificación de los parámetros fundamentales de salida de la ingeniería conceptual, se cuantifica el impacto en los plazos y horas hombre de la ingeniería básica, al no contar con estos.

En este análisis se considera que la actividad correspondiente a la ingeniería conceptual no se realiza y por ende su duración proyectada en esa ingeniería se

traspasa a la ingeniería básica y por ende los recursos (HH y costo) presupuestados también¹⁶.

La metodología descrita en la sección 2.2 de este documento, consiste principalmente en:

1. Se proponen cinco inputs fundamentales para cada uno de los contenidos de una ingeniería básica (definido en el punto 4.1).
2. En base a la información de actividades de ingeniería conceptual de tres proyectos reales, se obtienen datos de duración y horas hombre de cada una de ellas.
3. De los tres valores, por cada variable de cada actividad de ingeniería conceptual, se obtiene un promedio, el cual se considera como su valor válido.
4. En el caso de las horas hombre, la sumatoria de los cinco inputs de cada contenido se suma al total estimado para la ingeniería básica.
5. En el caso del plazo, se toma la relación de precedencia entre actividades de ingeniería conceptual para estimar el tiempo de duración del conjunto de inputs, el cual se suma al plazo total de la ingeniería básica, siempre y cuando lo afecte directamente (en el caso que los inputs afecten a algún contenido de la ruta crítica).
6. Luego se realiza una comparación cuantitativa de la estimación original de duración y horas hombre de la ingeniería básica y la sobreestimación de estas variables al no contar con la información de entrada.

A continuación, se evalúa el impacto en la ingeniería básica en plazos y horas hombres al no contar con los parámetros de entrada fundamentales para cada uno de los contenidos de una ingeniería básica.

4.3.1 Hidrogeología

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual.

Tabla 5: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Hidrogeología.

Hidrogeología	Semanas	HH
Resultados de los Sondajes Hidrogeológicos	5	540
Resultados de las Pruebas de Permeabilidad	4	350
Resultados del Análisis Químico del Agua	6	250
Resultados del Estudio Hidrogeológico	8	120
Modelo Hidrogeológico Conceptual	6	200
Total	8	1,460

¹⁶ Para simplificar el estudio se asume el traspaso total de la duración y HH de las actividades de la ingeniería conceptual a la ingeniería básica, para el caso que no se hayan realizado, de forma de evitar la asignación de proporciones inciertas del avance o atraso de cada ítem y así disminuir la variabilidad en los resultados de éste trabajo.

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Hidrogeología.

Impacto de los Inputs de Hidrogeología	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación original	11.1	18,103
Sobreestimación	13.1	19,557
% Sobreestimación	18%	8%

Para el cálculo de la sobreestimación se considera como tiempo de atraso los resultados del estudio hidrogeológico, puesto que agrupa la información mínima para continuar con el estudio de ingeniería básica.

4.3.2 Geotecnia

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual.

Tabla 7: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Geotecnia.

Geotecnia	Semanas	HH
Interpretación de los Ensayos Geotécnicos	9	347
Interpretación de la Medición de Esfuerzos	8	480
Estudio de la Fragmentación	5	267
Modelo Geotécnico Conceptual	5	240
Modelo Geotécnico 3D	5	400
Total	14	1,733

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Geotecnia.

Impacto de los Inputs de Geotecnia	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	14.6	19,840
% Sobreestimación	32%	10%

La sobreestimación considera el tiempo de duración de la interpretación de los ensayos geotécnicos y la construcción del modelo geotécnico 3D, puesto que reúne la información mínima requerida.

4.3.3 Evaluación de Recursos

La estimación considera el siguiente supuesto: No se cuenta con los siguientes inputs fundamentales para ejecutar la ingeniería básica de la evaluación de recursos.

Tabla 9: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Evaluación de Recursos.

Evaluación de Recursos	Semanas	HH
Análisis Exploratorio de Datos	1	50
Unidad de Estimación y Método de Interpolación Espacial	2	80
Modelo de Recursos de la Ingeniería Conceptual	6	360
Declaración de Recursos	2	50
Modelo Geológico Actualizado de la Ingeniería Básica	7	347
Total	11	887

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Evaluación de Recursos.

Impacto de los Inputs de Evaluación de Recursos	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	13.9	18,990
% Sobreestimación	25%	5%

Para el cálculo de sobreestimación se considera como tiempo de atraso la suma del tiempo de análisis exploratorio de datos, la unidad de estimación y método de interpolación espacial, el modelo de recursos de la Ing. Conceptual y la declaración de recursos, puesto que son las actividades mínimas que se tienen que desarrollar para la evaluación de los recursos mineros.

4.3.4 Validación del Método de Explotación

El cálculo considera el siguiente supuesto: la ingeniería básica no entrega un modelo geológico y geotécnico actualizado y la ingeniería conceptual no entrega un método de explotación definido.

Tabla 11: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Validación del Método de Explotación.

Validación del Método de Explotación	Semanas	HH
Definición del Método de Explotación	9	845
Modelo Geológico Ingeniería Básica	7	347
Modelo Geotécnico Ingeniería Básica	4	201
Total	11	1,393

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Validación del Método de Explotación.

Impacto de los Inputs del Método de Explotación	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	13.7	19,500
% Sobreestimación	23%	8%

Si en la ingeniería conceptual no se define un método de explotación a la espera de mayor información geomecánica del macizo, se tiene que esperar a la actualización del modelo geológico (7 semanas) y el modelo geotécnico (4 semanas) para definir el método.

4.3.5 Infraestructura Principal

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual.

Tabla 13: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de la Hidrogeología.

Infraestructura Principal	Semanas	HH
Trazado de la Infraestructura Principal	4	201
Secciones de la Infraestructura Principal	3	110
Layout Accesos Principales	2	84
Análisis de Constructibilidad	3	100
Total	8	494

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 6.

Tabla 14: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de la Hidrogeología.

Impacto de los Inputs de Hidrogeología	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación original	11.1	10,103
Sobreestimación	13.2	18,592
% Sobreestimación	19%	3%

Para el cálculo de sobreestimación se considera la suma del tiempo de la actividad de definición del trazado de la infraestructura principal, el layout de los accesos principales y el análisis de constructibilidad, ya que corresponde a la secuencia de desarrollo de las actividades.

4.3.6 Sistema de Manejo de Materiales

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 15.

Tabla 15: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Manejo de Materiales.

Sistema de Manejo de Materiales	Semanas	HH
Ritmo de Producción	3	97
Alternativa de Manejo de Materiales	5	413
Flota de Equipos Principales	4	107
Layout del Sistema de Transporte	2	38
Análisis de Riesgo del Sistema	1	45
Total	12	699

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Manejo de Materiales.

Impacto de los Inputs del Sistema de Manejo de Materiales	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	13.5	18,777
% Sobreestimación	22%	4%

Al observar la carta Gantt de la ingeniería básica del proyecto minero se puede concluir que de no contar con las actividades de entrada para desarrollar el contenido de sistema de manejo de materiales a un nivel de ingeniería básica, en especial, tener una alternativa seleccionada, es posible desarrollar estas actividades a un inicio de la ingeniería básica de forma de no retrasar la fase. Sin embargo, esto repercute en otras actividades puesto que no permite determinar la capacidad de cumplir con el plan minero mensualmente o anualmente y con esto la confiabilidad de lograr la producción estipulada.

Además, afecta a la identificación de las operaciones unitarias y con ello la elección de equipos y dimensionamiento de la flota, ello impacta en la determinación de mano de obra y requerimientos de caudales de aire.

A su vez, existe un impacto directo en la estimación de inversión y de costos operacionales del diseño propuesto, lo cual afecta a la evaluación económica del proyecto minero. Puesto que el dimensionamiento de equipos y de la flota de transporte se requiere para que en la ingeniería básica se elaboren especificaciones técnicas y requisiciones para obtener cotizaciones a firme, fundamental para la preparación del CAPEX del proyecto.

En consecuencia, un factor de éxito del desarrollo de la ingeniería básica es que la elección del sistema de manejo de materiales se realice en la etapa anterior de

ingeniería y por ende se entregue como un parámetro de entrada. Puesto que, permite definir en parte el parque de equipos, la dotación de personal, requerimientos de túnel de transporte, infraestructura para los equipos de transporte, consumo de suministros y materiales.

4.3.7 Operaciones Unitarias

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 17.

Tabla 17: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica de las Operaciones Unitarias.

Operaciones Unitarias	Semanas	HH
Definición del Método de Explotación	9	845
Alternativa de Manejo de Materiales	5	413
Identificación Operaciones Unitarias	3	69
Definición Tecnológica de las Operaciones Unitarias	2	65
Estudio de Fragmentación	3	180
Total	7	1,572

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de las Operaciones Unitarias.

Impacto de los Inputs de las Operaciones Unitarias	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.7	19,150
% Sobreestimación	14%	6%

La sobreestimación se calcula como la suma del tiempo de identificación de las operaciones unitarias, definición tecnológica de las operaciones unitarias y del estudio de fragmentación.

4.3.8 Requerimiento de Mano de Obra

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 19.

Tabla 19: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Requerimiento de Mano de Obra.

Requerimiento de Mano de Obra	Semanas	HH
Estructura Organizacional	2	40
Régimen de Trabajo	2	30
Definición de las Operaciones Unitarias de la Ingeniería Básica	3	120
Flota de Equipos Operativa de la Ingeniería Básica	3	100

Total	3	290
--------------	----------	------------

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs de los Requerimientos de Equipo y Flota.

Impacto de los Inputs del Requerimiento de Mano de Obra	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18.103
Sobreestimación	11.5	18,400
% Sobreestimación	3.6%	1.6%

Se considera como tiempo de sobreestimación la duración de la definición de la flota de equipos operativa de la ingeniería básica y de la estructura organizacional, puesto que representan los inputs mínimos para calcular el requerimiento de personal.

4.3.9 Sistema de Ventilación

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 21.

Tabla 21: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Ventilación.

Sistema de Ventilación	Semanas	HH
Requerimientos de Caudal	3	55
Estimación de la Caída de Presión	3	80
Normativa y Criterios de Diseño de Ventilación	2	52
Equipos de Ventilación Principal	2	38
Layout del Sistema de Ventilación	2	70
Total	6	294

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Ventilación.

Impacto de los Inputs del Sistema de Ventilación	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.5	18,390
% Sobreestimación	13%	1.6%

La sobreestimación del plazo considera el tiempo de duración del cálculo de los requerimientos de caudal, de los equipos de ventilación principal y del layout del sistema, actividades que representan la información mínima para desarrollar a nivel de ingeniería básica el sistema de ventilación.

4.3.10 Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 23.

Tabla 23: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial.

Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	Semanas	HH
Caracterización de Agua Industrial	4	85
Demanda de Agua Industrial	3	80
Criterios de Diseño del Sistema	2	45
Fuente y Capacidad de Alimentación	2	28
Layout de la Red de Distribución de Agua Industrial	2	38
Total	6	275

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial.

Impacto de los Inputs del Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.5	18,370
% Sobreestimación	12.6%	1.5%

La sobreestimación considera la suma de la duración del cálculo de demanda de agua industrial, la definición de los criterios de diseño del sistema y la confección del layout de la red de distribución, cuya información es fundamental.

4.3.11 Sistema de Drenaje

La estimación considera el supuesto que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 25.

Tabla 25: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Drenaje.

Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	Semanas	HH
Caracterización del Fluido	4	85
Estimación del Caudal de Drenaje	2	75
Layout del Sistema de Drenaje	1	38
Dimensionamiento de las Bombas Principales	2	38
Consumo de Energía Eléctrica	2	23
Total	6	258

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Drenaje.

Impacto de los Inputs del Sistema de Drenaje	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.3	18,344
% Sobreestimación	10.8%	1.3%

El cálculo de sobreestimación considera la suma del tiempo de estimación del caudal de drenaje, la confección del layout del sistema y el dimensionamiento de las bombas principales.

4.3.12 Sistema de Abastecimiento Eléctrico

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 27.

Tabla 27: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Abastecimiento Eléctrico.

Sistema de Abastecimiento Eléctrico	Semanas	HH
Estudio de Fuentes de Alimentación Eléctrica	2	40
Estudio de Cargas y Demandas Eléctricas	4	150
Selección de los Niveles de Tensión	2	30
Topología de la Red de Distribución	2	75
Diagrama Unilineal General	3	117
Criterios de Diseño del Sistema Eléctrico	2	28
Total	8	440

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Abastecimiento Eléctrico.

Impacto de los Inputs del Sistema de Abastecimiento Eléctrico	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	13.15	18,541
% Sobreestimación	18%	2.4%

El cálculo de sobreestimación considera la suma del tiempo de estudio de cargas y demandas eléctricas, topología de la red de distribución y la definición de los criterios de diseño del sistema eléctrico.

4.3.13 Sistema de Comunicaciones e Instrumentación

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 29.

Tabla 29: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Sistema de Comunicación e Instrumentación.

Sistema de Comunicación e Instrumentación	Semanas	HH
Condiciones Ambientales Interior Mina	3	58
Requerimientos de Comunicación e Instrumentación	2	30
Filosofía del Control de Procesos	2	80
Topología de la Red del Sistema	2	33
Ubicación del Centro Integrado de Operación	1	28
Total	4	228

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Sistema de Comunicaciones e Instrumentación.

Impacto de los Inputs del Sistema de Comunicación e Instrumentación	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.1	18,332
% Sobreestimación	9.0%	1.3%

El cálculo de sobreestimación considera la suma del tiempo de cálculo de requerimientos de comunicación e instrumentación, definición de la filosofía del control de procesos y la topología de la red del sistema.

4.3.14 Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 31.

Tabla 31: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales.

Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales	Semanas	HH
Definición de las Operaciones Unitarias de la Ingeniería Básica	3	58
Flota de Equipos Operativa de la Ingeniería Básica	2	30
Estimación Preliminar Factores Tecnológicos	2	80
Layout de los Niveles de Producción y Desarrollos	2	33
Identificación de los Servicios Requeridos	1	28
Total	4	228

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32: Impacto en la Ingeniería Básica de los Inputs del Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales.

Impacto de los Inputs del Requerimiento de Servicios, Insumos Y Materiales	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	11.9	18,522
% Sobreestimación	7.2%	2.3%

El cálculo de sobreestimación considera la suma del tiempo de la definición de las operaciones unitarias de la ingeniería básica y la flota de equipos operativa de la ingeniería básica, puesto que representan la información mínima para desarrollar a nivel de ingeniería básica éste contenido.

4.3.15 Programa de Obras

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 33.

Tabla 33: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Programa de Obras.

Programa de Obras	Semanas	HH
Rendimientos y Plazos de la Ingeniería Conceptual	2	65
Identificación de Obras de la Ingeniería Básica	2	55
Secuencia de Obras de la Ingeniería Básica	3	110
Total	6	230

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34: Impacto de los Inputs del Programa de Obras en la Ingeniería Básica.

Impacto de los Inputs del Programa de Obras	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.5	18,316
% Sobreestimación	13%	1.2%

El cálculo de sobreestimación considera la suma del tiempo del cálculo de los rendimientos y plazos en la ingeniería conceptual, la identificación de las obras y la determinación de la secuencia de los desarrollos de la ingeniería básica.

4.3.16 Plan de Ejecución

La estimación considera que no se cuenta con las siguientes actividades de ingeniería conceptual, presentadas en la Tabla 35.

Tabla 35: Información Fundamental para la Ejecución de la Ingeniería Básica del Plan de Ejecución.

Plan de Ejecución del Proyecto	Semanas	HH
Plan de Permisos y Ruta Crítica	3	90
Plan de Adquisición	2	70
Plan de Contratación	2	50
Estructura Organizacional	2	40
Plan de Ejecución del Proyecto	3	117
Total	5	277

El impacto de no contar con los parámetros señalados en la tabla anterior, a un inicio de la ingeniería básica, se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36: Impacto de los Inputs del Plan de Ejecución en la Ingeniería Básica.

Impacto de los Inputs del Plan de Ejecución	Plazo [meses]	Horas Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Sobreestimación	12.4	18,364
% Sobreestimación	12%	1.4%

El cálculo del tiempo de sobreestimación considera la suma de la duración de la definición del plan de permisos, ruta crítica y del plan de ejecución del proyecto de la ingeniería conceptual, puesto que representan la información mínima para desarrollar el contenido a nivel de ingeniería básica.

Cabe mencionar que los contenidos de Declaración de Reservas Mineras y Evaluación Económica del Proyecto, no se consideran en el análisis puesto que, aunque no se cuentan con sus inputs provenientes de la ingeniería conceptual, de todas formas durante la ejecución de la ingeniería básica, se tienen que llevar a cabo.

A continuación, se presenta el Gráfico 1 y Gráfico 2, que resumen los resultados del análisis del impacto en la duración final de la ingeniería básica al no disponer con toda la información de ingeniería conceptual.

El Gráfico 1, muestra la extensión del tiempo de duración de la ingeniería básica al no contar con los inputs fundamentales de cada contenido analizado.

Impacto en Plazos de la Ingeniería Básica

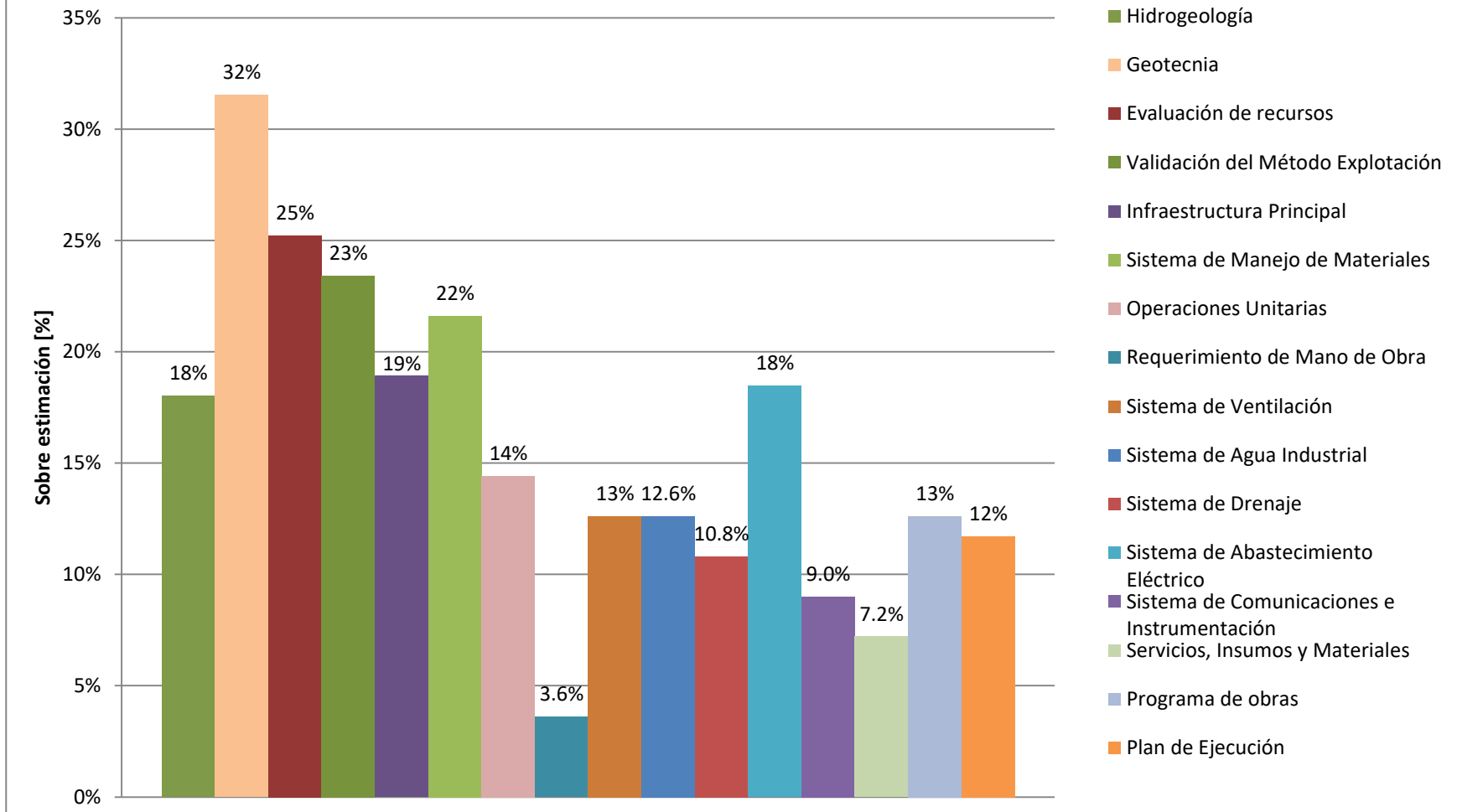


Gráfico 1: Impacto en los Plazos de la Ingeniería básica al no Contar con los Inputs Fundamentales.

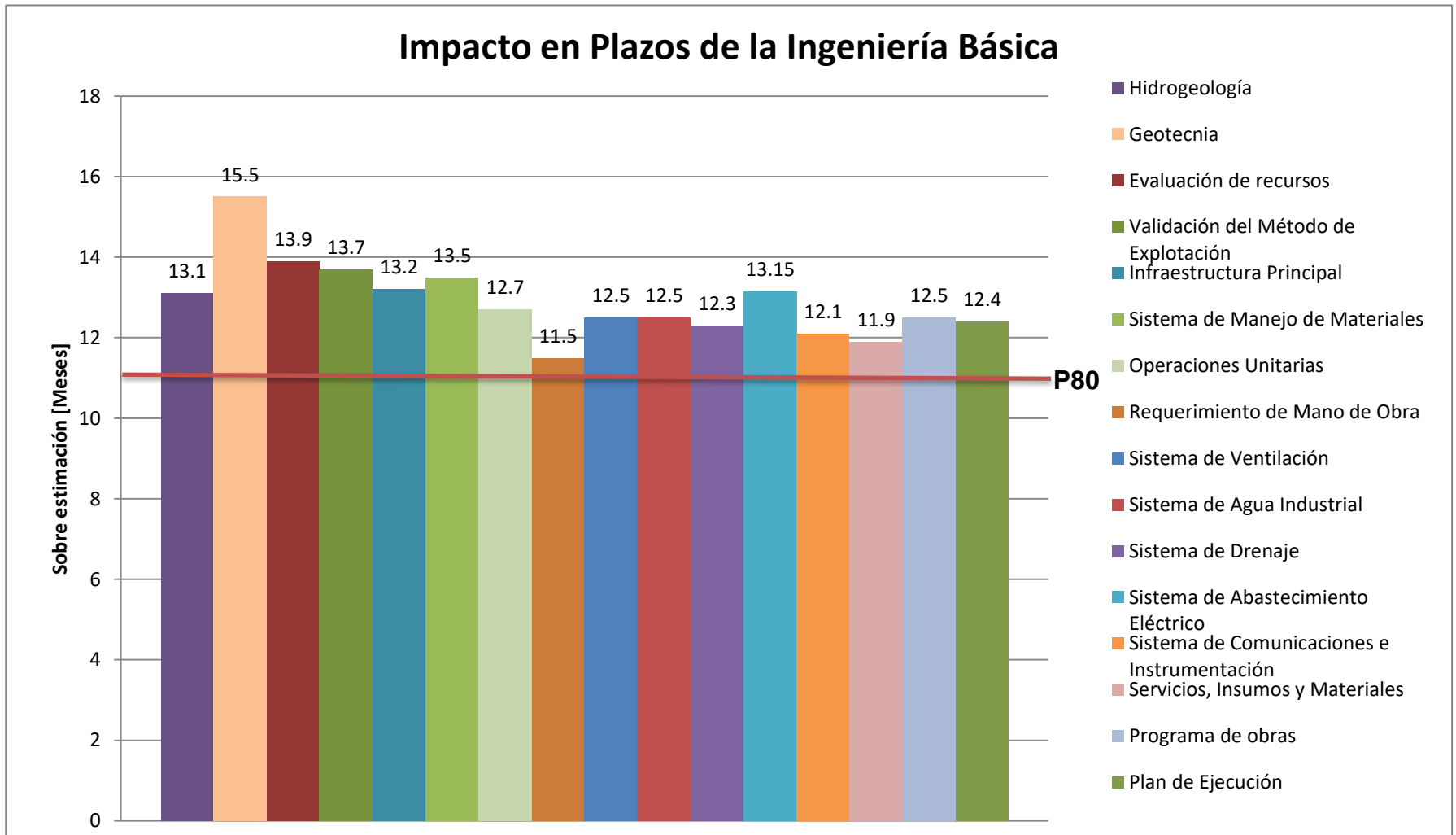


Gráfico 2: Impacto en Plazos de la Ingeniería Básica al tener Información Incompleta de la Ingeniería Conceptual.

El gráfico Gráfico 2 muestra la extensión del tiempo de ingeniería básica en meses, del cual se concluye que los contenidos, cuya ausencia de sus inputs, más retrasa la ingeniería básica son la geotecnia, evaluación de recursos, validación método explotación y el sistema de manejo de materiales

En el caso de la geotecnia, si no se cuenta con toda la información de entrada (punto 0), el plazo final de ingeniería básica se extiende a 14 meses, sobreestimando su duración en un 32%, cuyos inputs que más impactan son la realización de ensayos geotécnicos (9 semanas) y la medición de esfuerzos (8 semanas).

En el caso de la evaluación de recursos, si no se cuenta con toda la información de entrada (punto 0), el plazo final de ingeniería básica se extiende a 13.4 meses, sobreestimando su duración en un 26%, cuyos inputs que más impactan son la actualización del modelo geológico en la ingeniería básica (7 semanas) y la entrega de un modelo de recursos a nivel de ingeniería conceptual (6 semanas).

En el caso de la validación del método de explotación, si no se cuenta con toda la información de entrada (punto 0), el plazo final de ingeniería básica se extiende a 13.4 meses, sobreestimando su duración en un 25.5%, cuyo input que más impacta a los plazos de la ingeniería básica es la definición de un método de explotación (9 semanas).

En el caso del sistema de manejo de materiales, si no se cuenta con toda la información de entrada (punto 4.3.5), el plazo final de ingeniería básica se extiende a 13 meses, sobreestimando su duración en un 22%, cuyo input que más afecta a los plazos estimados es la elección de una alternativa de manejo de materiales (5 semanas).

Luego se analiza el impacto en horas hombre de la ingeniería básica al no contar con los parámetros de entrada claves.

El Gráfico 3, que se muestra a continuación, resume los resultados del aumento de horas hombre del total de la fase de ingeniería básica, al no contar con toda la información de ingeniería conceptual. Esta sobreestimación se muestra en porcentaje, es decir el aumento porcentual de horas hombre del total de la fase.

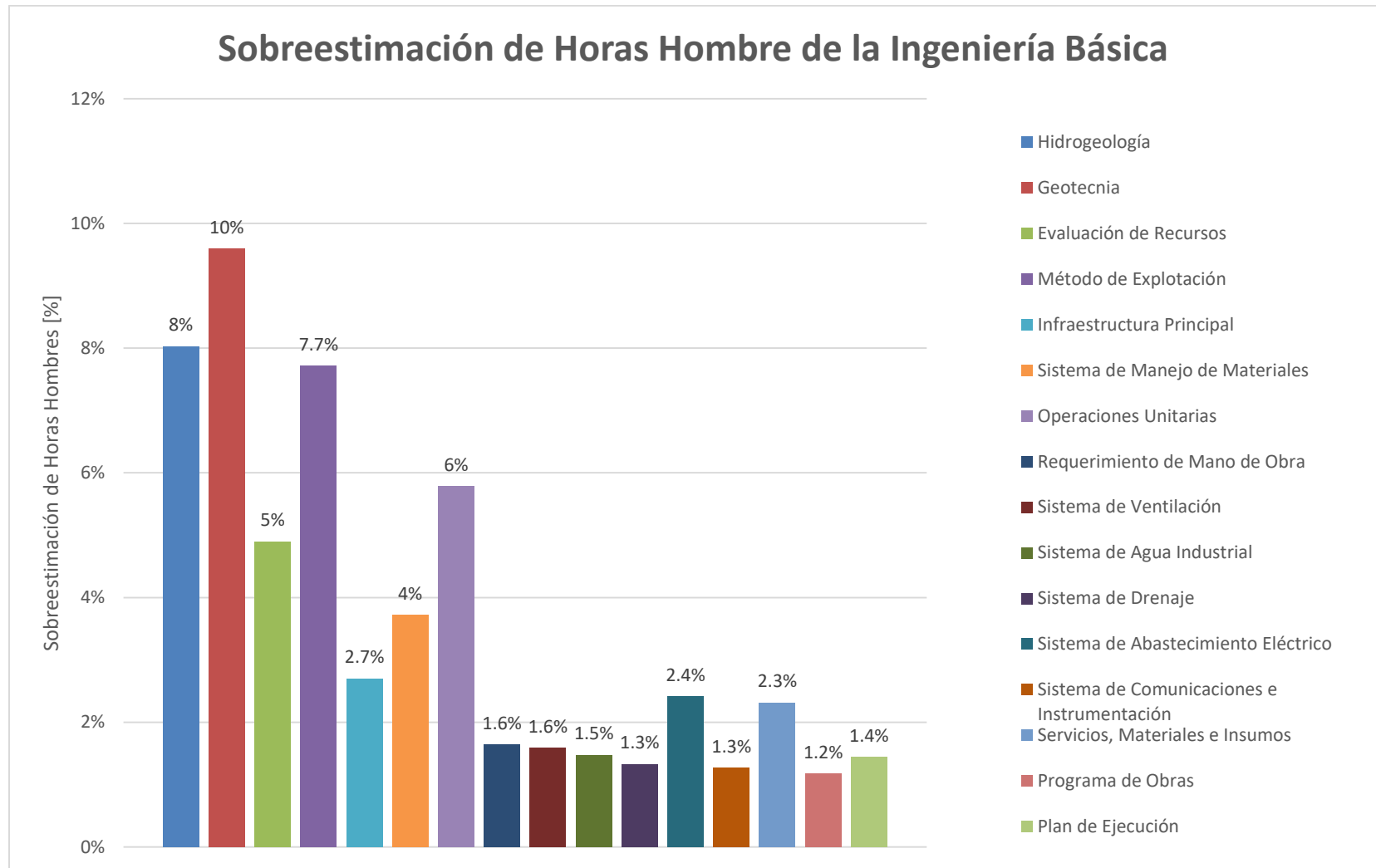


Gráfico 3: Sobreestimación de Horas Hombre de la Ingeniería Básica al tener Información Incompleta de Ingeniería Conceptual.

Del Gráfico 3 se concluye que los contenidos de ingeniería que más impactan en el total de horas hombre de la ingeniería básica, al no contar con toda la información de entrada disponible, corresponden a la hidrogeología (8%), la geotecnia (10%), la evaluación de recursos (5%), el método de explotación (7.7%) y las operaciones unitarias (6%). Esto se debe a lo siguiente:

1. En el contenido de hidrogeología, los inputs que más afectan el número de horas hombre y por ende el total de la ingeniería básica, corresponden a la interpretación de los sondajes hidrogeológicos (540 HH) y la interpretación de las pruebas de permeabilidad (350HH).
2. En el contenido de geotecnia, los inputs que más afectan el número de horas hombre y por ende el total de la ingeniería básica, corresponden a la interpretación de la medición de esfuerzos (480 HH) y al modelo geotécnico de la ingeniería conceptual (400 HH).
3. En el contenido de evaluación de recursos, los inputs que requieren de una mayor cantidad de horas hombre son el modelo de recursos de la ingeniería conceptual (360 HH) y el modelo geológico de la ingeniería básica (347 HH).
4. En el contenido de validación de la explotación, el input que requiere de más horas hombre es la definición del método de explotación (845 HH).
5. En el contenido de operaciones unitarias, el input que requiere de más horas hombre es la definición del método de explotación (845 HH) y la selección de la alternativa de manejo de materiales (413 HH).

Una vez analizado el impacto en la duración y el número de horas hombre de la ingeniería básica, se determinan los inputs que poseen una mayor cantidad de precedencias, es decir los que más se repiten como información de entrada de los contenidos, con el objetivo de determinar algunos de los parámetros de salida fundamentales de la ingeniería conceptual.

El input de ingeniería conceptual que posee más precedencias corresponde al cálculo de la flota de equipos principales, el cual es requerido por los contenidos de sistema de manejo de materiales, requerimiento de equipos y flota, estimación de mano de obra, requerimiento de servicios, insumos y materiales.

El segundo con una mayor cantidad de precedencias es el modelo geotécnico, ya sea el entregado por la ingeniería conceptual o el actualizado de la ingeniería básica. Este es requerido por el contenido de geotecnia, la validación del método de explotación y diseño minero.

El tercero es el modelo geológico, ya sea el entregado por la ingeniería conceptual o el actualizado de la ingeniería básica. Este es requerido por el contenido de geología, evaluación de recursos y validación del método de explotación.

Por último, se encuentra el sistema de manejo de materiales, el cual es requerido por el contenido de planificación minera, sistema de manejo de materiales y las operaciones unitarias.

Finalmente, a modo de conclusión se tiene lo siguiente

1. Si no se cuenta con la información de entrada de la hidrogeología, mencionada en el punto 4.3.1, la ingeniería básica se extiende en dos meses y el total de horas de ingeniería aumenta en 1,460.
2. Si no se cuenta con la información de entrada de la geotecnia, tal como la interpretación de ensayos geotécnicos, la interpretación de mediciones de esfuerzos expresados en un modelo de esfuerzos, un estudio de la fragmentación y un modelo geotécnico 3D, la ingeniería básica se extiende en tres meses y dos semanas y el número total de horas de ingeniería aumentan en 1,737 horas.
3. Si no se tiene la información de entrada del contenido de evaluación de recursos, indicados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende en aproximadamente tres meses, aumentando el número total de horas de ingeniería en 887 horas.
4. Si no se tiene definido un método de explotación a un inicio de la ingeniería básica, esta se extiende en 2.6 meses y aumentan las horas de ingeniería en 1,397 horas.
5. Si no se tiene la información de entrada del contenido de infraestructura principal, tal como el trazado y las secciones preliminares de los accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación y transporte de mineral y un análisis de constructibilidad, la ingeniería básica se extiende en dos meses y las horas de ingeniería se incrementan en 489 horas.
6. Si no se tiene definido un sistema de manejo de materiales a un inicio de la ingeniería básica, esta se extiende en dos meses y dos semanas y aumentan las horas hombre de ingeniería en 674 horas.
7. Si no se tiene la información de entrada para ejecutar la ingeniería básica de las operaciones unitarias, tal como la definición del método de explotación, la alternativa de manejo de materiales seleccionada, la identificación preliminar de las operaciones unitarias y la definición tecnológica, la ingeniería básica se extiende en un mes y medio y las horas de ingeniería aumentan en 1,047 horas.

8. Si no se tiene la información de entrada del contenido de requerimiento de mano de obra, mencionados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende en casi dos semanas y las horas de ingeniería aumentan en 297 horas.
9. Si no se tiene la información de entrada de la ventilación tal como el requerimiento preliminar de caudal y caída de presión, los criterios de diseño, los equipos de ventilación principal y el layout del sistema, la ingeniería básica se extiende un mes y dos semanas y las horas de ingeniería aumentan en 287 horas.
10. Si no se tiene la información de entrada del sistema de abastecimiento de agua industrial, tal como la demanda de agua industrial, los criterios de diseño y el layout del sistema de abastecimiento, la ingeniería básica se extiende un mes y dos semanas y las horas de ingeniería aumentan en 267 horas.
11. Si no se cuenta con los inputs del sistema de drenaje, como el caudal de drenaje, el dimensionamiento de las bombas principales y la estimación del consumo de energía, la ingeniería básica se extiende un mes y una semana y las horas de ingeniería se incrementan en 241 horas.
12. Si no se cuenta con los inputs del sistema eléctrico, como el cálculo de cargas y demandas eléctricas, los criterios de diseño del sistema eléctrico y diagramas unilineales, la ingeniería básica se extiende en dos meses y las horas de ingeniería aumentan en 438 horas.
13. Si no se tiene la información de entrada del sistema de comunicaciones e instrumentación, mencionados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende un mes y las horas de ingeniería aumentan en 230 horas.
14. Si no se tiene la información de entrada del contenido de requerimiento de servicios, insumos y materiales, mencionados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende en tres semanas y el total de horas de ingeniería aumenta en 419 horas.
15. Si no se tiene los inputs del programa de obras, mencionados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende en un mes y dos semanas y el total de horas de ingeniería aumenta en 213 horas.
16. Si no se tienen los inputs del plan de ejecución, mencionados en el punto 0, la ingeniería básica se extiende un mes y una semana y el total de horas de ingeniería aumenta en 261 horas.
17. Cabe mencionar, que en el caso que no se tengan dos o más inputs a la vez, se debe evaluar su efecto en la ruta crítica de la ingeniería básica para poder concluir respecto al atraso final de ésta y no sumar aritméticamente sus efectos en la duración de la fase, por separado.

4.4 Análisis de la Ingeniería Básica según la Disponibilidad de Recursos Económicos

Otro de los objetivos específicos de este trabajo de título corresponde a evaluar el desarrollo de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subterránea bajo un escenario en cual no se dispone de los recursos económicos necesarios para completar todos los outputs de la ingeniería básica y por ende es estrictamente necesario privilegiar la elaboración de ciertos contenidos de la ingeniería sobre otros. Esto puede corresponder a los siguientes casos:

- El mandante o la empresa interesada, cuenta con pocos recursos para financiar el o la cartera de proyectos y por ende busca optimizar su inversión en la definición del proyecto (Ingeniería)
- El mercado de los commodities atraviesa por un periodo de bajos precios y por tanto las empresas mineras tienden a ajustar sus costos y niveles de inversión, buscando optimizar la utilización de sus recursos
- En las fases de ingeniería anterior se comprometió un monto de inversión menor al requerido para elaborar todos los estudios necesarios para completar la definición del proyecto a nivel de ingeniería básica (Es decir, en la ingeniería conceptual se dijo que la ingeniería básica va a costar “x” monto, pero los estudios necesarios requieren de una mayor inversión)
- En la fase de ingeniería anterior no se establece correctamente el alcance del proyecto y por ende durante la ingeniería básica se deben desarrollar más alcances de los presupuestados originalmente con el mismo nivel de inversión

La utilización de recursos económicos en la ingeniería básica se expresa principalmente a través del número de horas hombre y al costo de los contenidos de la ingeniería. Este último corresponde a la multiplicación de las horas hombre por el valor de la hora hombre del contenido.

A continuación, se presenta una planilla con el número de horas hombre de los contenidos de una ingeniería básica de cinco proyectos reales.

Tabla 37: Duración de los Contenidos de una Ingeniería Básica Según Proyectos Reales.

Número de Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Básica de Proyectos Reales						
N°	Contenido de Ingeniería Básica	Proyecto 1 [HH]	Proyecto 2 HH]	Proyecto 3 [HH]	Proyecto 4 [HH]	Proyecto 5 [HH]
1	Geología	784	336	747	1,033	1,088
2	Hidrogeología	260	216	249	296	332
3	Geotecnia	2,501	1,141	1,669	1,658	1,742
4	Evaluación de Recursos	150	170	242	620	295
5	Validación Método Explotación	104	80	111	196	159
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	200	294	255	260	252
7	Diseño Minero	1,437	987	1,323	1,411	1,676
8	Infraestructura Principal	1,034	696	832	839	1,105
9	Planificación Minera	1,420	709	983	983	1,024
10	Plan de Producción	501	447	502	566	655
11	Programa de Desarrollo	572	443	560	631	717
12	Sistema Manejo de Materiales	1,411	722	941	974	1,316
13	Operaciones Unitarias	488	395	507	273	540
14	Requerimiento de Equipos y Flota	572	472	506	498	666
15	Requerimiento de Mano de Obra	78	45	80	130	108
16	Sistema de Ventilación	884	389	793	871	954
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	375	264	406	670	429
18	Sistema de Drenaje	710	388	629	740	617
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	675	388	659	864	646
20	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	375	291	371	531	392
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	355	214	362	538	367
22	Infraestructura Operación Mina	1,703	844	1,160	1,086	1,557
23	Declaración de Reservas Mineras	150	189	226	450	254
24	Programa de Obras	1,151	590	835	868	1,119
25	Plan de Ejecución	1,610	698	991	950	1,062
26	Evaluación Económica	1,225	491	825	863	851
Total		20,722	11,899	16,762	18,797	19,924

Luego se presentan las estadísticas descriptivas de los datos de horas hombre de los cinco proyectos reales, en el Anexo B.

4.4.1 Estimación de las Horas Hombre de una Ingeniería Básica en Condiciones Normales

Luego, al igual que en el caso de la estimación de la duración de los contenidos de ingeniería básica (punto 4.2), se utiliza la misma metodología para determinar el valor de hora hombre de cada contenido.

Se asume que la distribución de probabilidad PERT es la que mejor describe al número de horas hombre de cada contenido de la ingeniería básica y al total.

Esta distribución requiere como parámetros de entrada un valor mínimo, uno más probable y un máximo. Como valor mínimo se entrega el menor de los cinco datos, como más probable el promedio de los cinco datos y como máximo el mayor valor.

Luego, el número de horas hombre total de la fase corresponde a la sumatoria de cada uno de los contenidos de ingeniería básica.

El resultado de lo estimación y simulación se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38: Resultado de la Simulación de Monte Carlo de las Horas Hombre de los Contenidos.

Horas Hombres por Contenido de la Ingeniería Básica			
N°	Contenido	Valor Esperado [HH]	P80 [HH]
1	Geología	769	898
2	Hidrogeología	272	292
3	Geotecnia	1,769	2,002
4	Evaluación de Recursos	325	403
5	Validación Método Explotación	133	152
6	Reestimación de la Envolvente Económica de Reservas	251	267
7	Diseño Minero	1,355	1,475
8	Infraestructura Principal	901	972
9	Planificación Minera	1,037	1,159
10	Plan de Producción	540	575
11	Programa de Desarrollo	583	630
12	Sistema Manejo de Materiales	1,071	1,190
13	Operaciones Unitarias	429	476
14	Requerimiento de Equipos y Flota	551	584
15	Requerimiento de Mano de Obra	88	103
16	Sistema de Ventilación	743	839
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	441	512
18	Sistema de Drenaje	599	660
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	640	725
20	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	398	440
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	370	435
22	Infraestructura Operación Mina	1,271	1,420
23	Declaración de Reservas Mineras	269	320
24	Programa de Obras	898	996
25	Plan de Ejecución	1,093	1,248
26	Evaluación Económica	853	980
Total		17,649	18,103

Entonces, la distribución de frecuencia que representa los eventos de horas hombre total de una ingeniería básica se muestra a continuación:

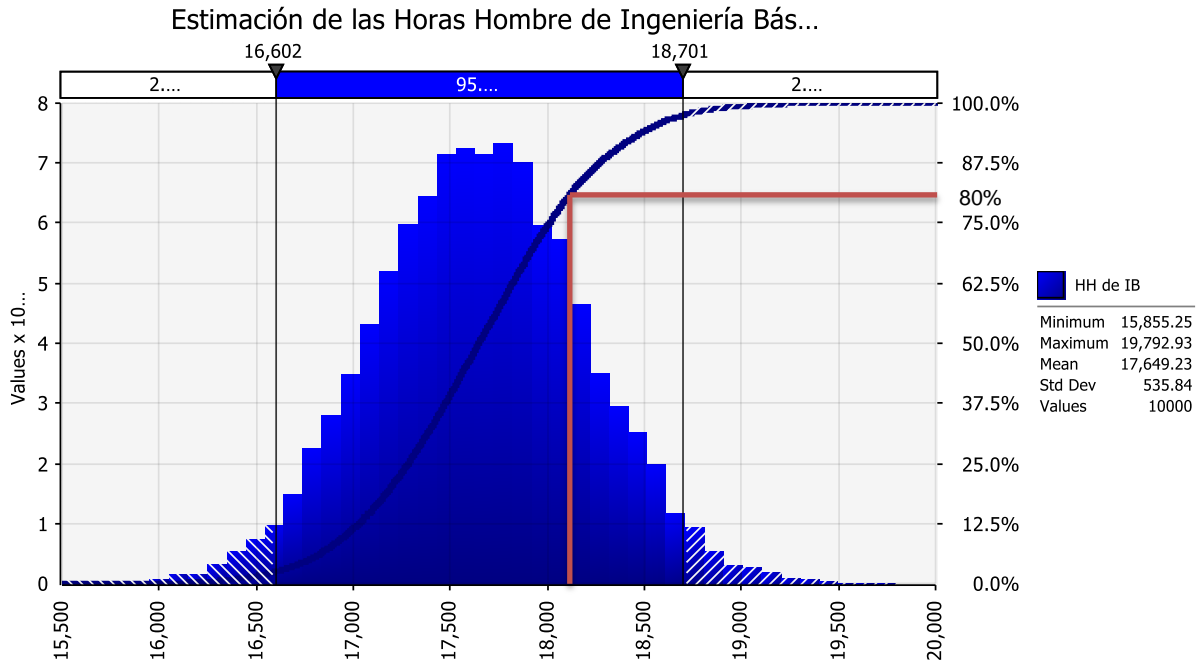


Figura 5: Estimación de las Horas Hombre Totales de una Ingeniería Básica.

La distribución de probabilidad de la Figura 5 indica que en un intervalo de confianza de 95% el número total de horas hombre de la fase oscila entre 16,600 HH y 18,700 HH.

Además, la curva de distribución acumulada entrega un valor P80 de 18,103 HH.

A su vez, es importante señalar que este análisis considera que cada actividad de la ingeniería básica cuenta con toda la información a un inicio de la fase y por ende el volumen final de horas hombre estimado podría aumentar si no se cuenta con los datos base.

Por otra parte, cabe mencionar que la estimación de horas hombre realizada anteriormente estipula que los valores del contenido de geología, hidrogeología y geotecnia no consideran las actividades de sondajes, pruebas metalúrgicas, sondajes hidrogeológicos, pruebas de permeabilidad y ensayos geotécnicos. Los valores de metros de sondaje de diamantina, sondajes hidrogeológicos, pruebas de permeabilidad, ensayos geotécnicos y medición de esfuerzos se encuentran en el contenido Anexo C.

4.4.2 Determinación de los Contenidos de la Ingeniería Básica con Mayor Demanda de Horas Hombre

A continuación, se procede a determinar cuáles son los contenidos que demandan una mayor cantidad de horas hombre en la ingeniería básica.

De la Tabla 38, que contiene el número de horas hombre por contenido de ingeniería básica, se deduce lo siguiente:

1. El contenido de la ingeniería básica que demanda una mayor cantidad de horas hombre es la geotecnia, con 2,002 HH, lo cual representa un 11% del total de la ingeniería, porcentaje no menor considerando que la ingeniería básica considera la realización de veintiséis contenidos. Esto se debe a que considera la utilización de distintos softwares y licencias (Examine, Phase, Flac3D) para actualizar el modelo geotécnico, modelar el comportamiento del macizo rocoso, modelar el estado tensional de esfuerzos, modelar numéricamente el sistema de soporte diseñado para la mina, analizar la estabilidad de la infraestructura involucrada y estudiar los esfuerzos inducidos por la secuencia de extracción.
2. El segundo contenido que demanda una mayor cantidad de recursos es el diseño minero, con 1,475 HH, lo cual representa aproximadamente un 8% del de la ingeniería. La cantidad de horas hombres se debe principalmente a la construcción del modelo de la mina en 3D, la generación de múltiples planos de los distintos niveles incorporados en el diseño, el diseño de las labores de fortificación junto a sus especificaciones, entre otras mencionadas en la sección 3.1.4.7.
3. El tercer contenido que requiere un volumen mayor de horas hombre es el de infraestructura para operación mina con 1,420 HH. Esto se debe principalmente al dimensionamiento, cálculo, cubicación y elaboración de especificaciones de toda la infraestructura para operación mina, que se detalla en el punto 3.1.4.22.
4. El cuarto contenido que demanda un volumen mayor de horas hombre es el plan de ejecución del proyecto, con 1,248 HH, lo cual representa un 7% del total de la ingeniería. Esto se debe principalmente a que se demandan recursos en discutir la estrategia de ejecución del proyecto, se estudia la estructura organizacional, se analiza la planificación y administración de las etapas de construcción del proyecto (ingeniería, adquisición, construcción, montaje y puesta en marcha), se planifica el control del proyecto, se construye el plan maestro y se analiza la estrategia de contratación que responde de mejor forma a los intereses económicos del proyecto y del dueño, entre otras. Por tanto, se requiere de la participación de personal altamente calificado y con experiencia en la ejecución de proyectos y por ende su costo asociado es mayor.

5. El quinto contenido que demanda más horas hombre es el sistema de manejo de materiales con 1,190 HH y representa un 6.6% del total de horas hombre de la ingeniería básica.
6. Finalmente, el otro contenido que se destaca es el de planificación minera, el cual demanda 1,159 HH y representa un 6.4% del total de la ingeniería. La demanda de horas se debe a la cantidad de análisis que se deben realizar y al tiempo asociado a cada uno, como por ejemplo detallar la secuencia de explotación, nivel por nivel, sector por sector y por unidad básica de explotación, a su vez, estudiar la interferencia del proyecto con otros sectores de la mina (proyecto brownfield), o las mismas interferencias internas, análisis de la capacidad de producción y el cumplimiento de la producción en régimen, entre otros estudios.

Lo anteriormente descrito se resume en el Gráfico 4:

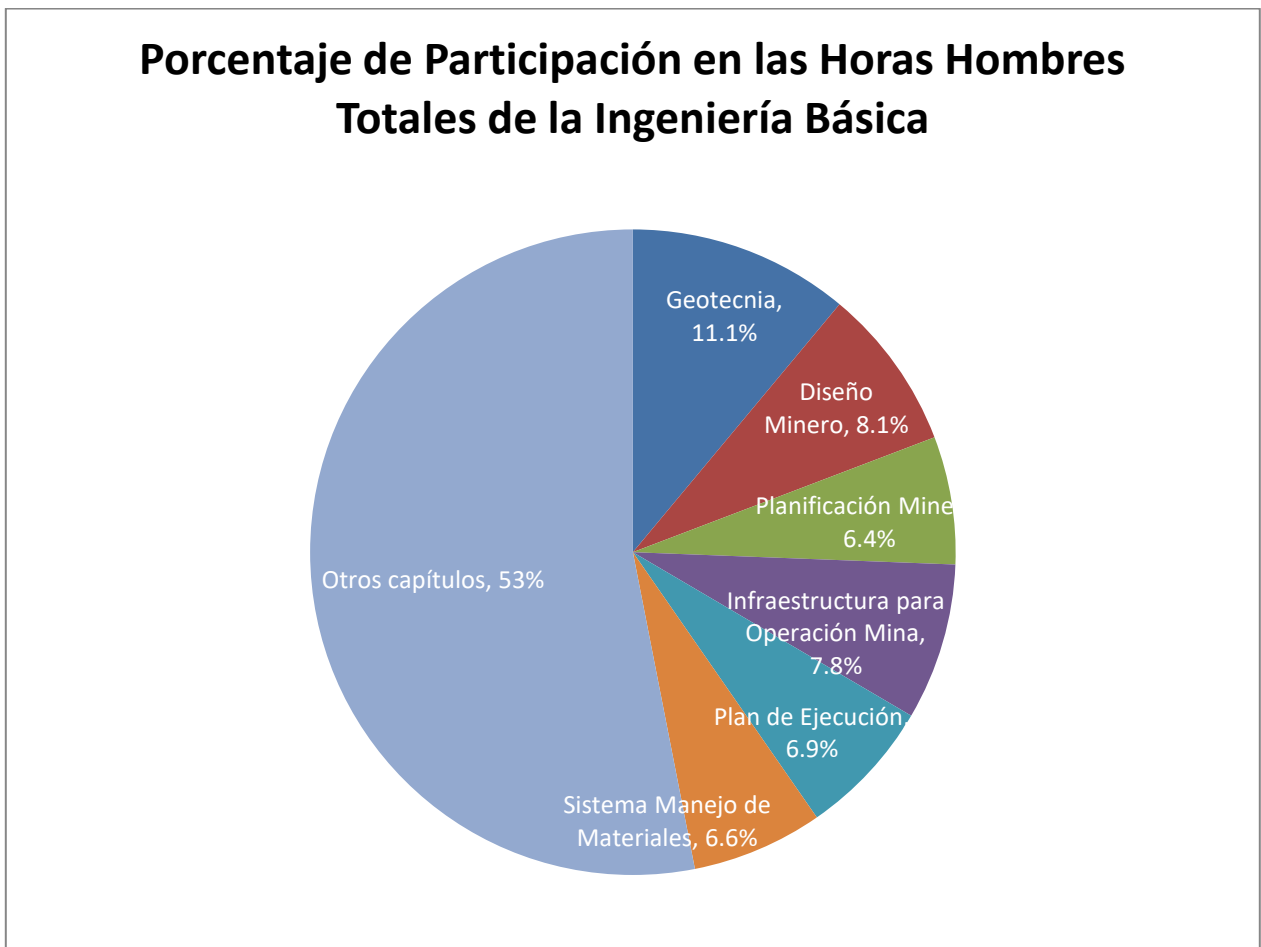


Gráfico 4: Porcentaje de Participación en las Horas Hombres Totales de la Ingeniería Básica.

Es decir que la suma de las horas hombre de los seis contenidos señalados en el gráfico anterior representa casi el 50% del número de horas hombre total de la ingeniería básica, de todas formas, el contenido de geotecnia, diseño minero, planificación minera y sistema de manejo de materiales son fundamentales para el negocio minero y además se encuentran dentro de la ruta crítica de la ingeniería básica y por ende son contenidos indispensables, que no se pueden postergar.

4.4.3 Determinación de los Contenidos de Ingeniería Básica de Alto Costo Aplazables

Luego, para cumplir con el objetivo de este análisis y determinar los contenidos de alto costo que son prescindibles o se pueden aplazar a estudios de ingeniería posteriores, se define lo siguiente:

El contenido de hidrogeología, cuyo número de horas hombre es de 292 HH (considera sólo el modelo hidrogeológico numérico), es prescindible puesto que no se encuentra en la ruta crítica de la ingeniería básica y al menos que existan temas medio ambientales pendientes a ser estudiados, se puede retrasar su ejecución.

El contenido de validación del método de explotación, a pesar de encontrarse en la ruta crítica de la ingeniería básica, no es fundamental si es que la ingeniería conceptual es concluyente y por ende no es necesario realizarlo.

Del contenido de ventilación minera, cuyo número de horas hombre es 839 HH, se puede aplazar el diseño de la ventilación auxiliar, las especificaciones de los ventiladores secundarios, el cálculo y especificaciones de los elementos de ventilación, de forma de disminuir costos de ingeniería, pero no así el diseño de la ventilación principal y las especificaciones técnicas de los ventiladores principales.

Los contenidos de abastecimiento de agua industrial (512 HH), sistema de drenaje (660 HH) y sistema de comunicaciones e instrumentación (440 HH) son anexos al negocio principal que es la extracción minera, por tanto su ejecución es aplazable.

Las actividades de ingeniería dentro del contenido de infraestructura para operación mina que se pueden aplazar a la ingeniería siguiente es el cálculo y diseño de la casa de cambio, comedores, oficinas, servicios higiénicos, centro de acopio de RILES y RISES, centro de primeros auxilios, bodegas, estacionamiento de camionetas y buses, puesto que son elementos que no se encuentran en la ruta crítica de la ingeniería básica ni son propios del negocio principal de extracción minera.

4.4.4 Cuantificación del Impacto en la Ingeniería Básica la Postergación de Contenidos de esta Fase

El análisis siguiente tiene como objetivo cuantificar la disminución de horas hombre y por ende del costo de la etapa, al aplazar contenidos de esta fase ante el escenario de un presupuesto económico limitado.

Esta estimación considera la eliminación de los contenidos de hidrogeología, validación del método de explotación, sistema de abastecimiento de agua industrial, sistema de drenaje, sistema de comunicaciones e instrumentación, infraestructura operación mina, el programa de obras y la declaración de reservas mineras.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 39: Disminución de los Costos, Plazos y HH de la Ingeniería Básica, Valores P80.

Impacto de la Postergación de los Contenidos de la Ingeniería Básica	Plazos [meses]	Hora Hombre [HH]
Estimación Original	11.1	18,103
Disminución Estimación	10.4	13,773
% Disminución	6.3%	24%

Al eliminar los contenidos anteriormente señalados, el tiempo de duración de la ingeniería básica disminuye un 6.3% aproximadamente, alcanzando los 10.4 meses. El número de horas de ingeniería disminuye en 4,330 horas, lo que significa un 24% menos.

Los contenidos que más afectan el número total de horas hombre de la fase son el de infraestructura operación mina (1420 HH), el programa de obras (996 HH), el sistema de abastecimiento de agua industrial (512 HH) y el sistema de drenaje (660 HH), tal como se muestra en el siguiente diagrama de Tornado, Figura 6:

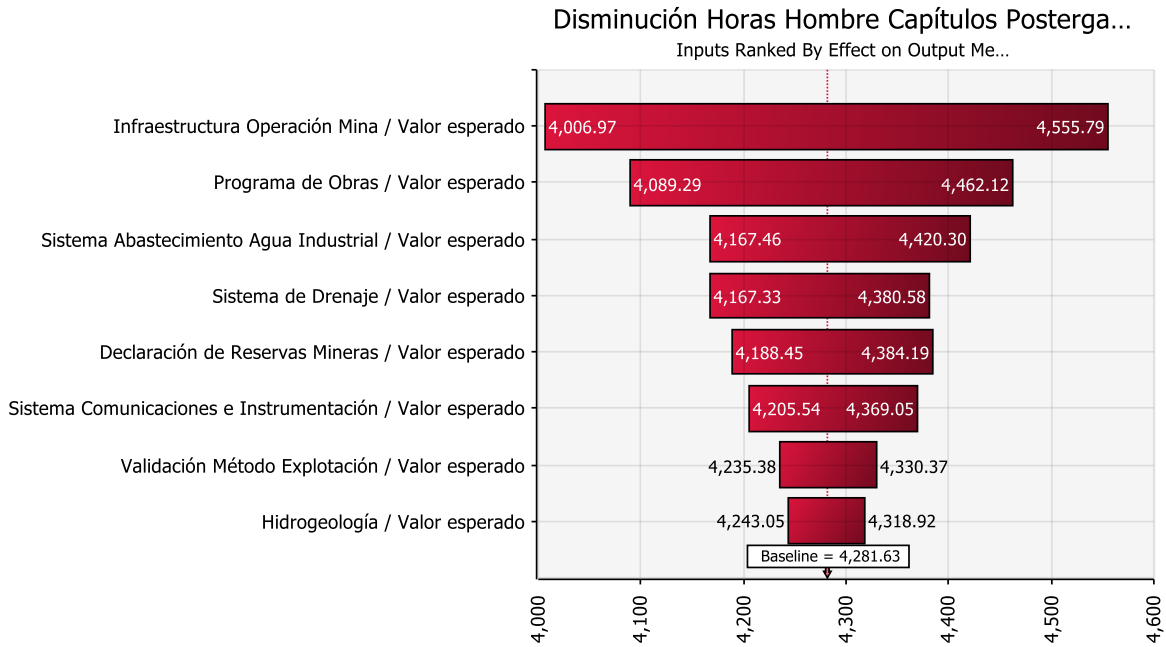


Figura 6: Diagrama Tornado del Impacto en Costos de Postergar Contenidos.

A continuación, en la Figura 7 se expresa la disminución en tiempo de ingeniería al eliminar los contenidos anteriormente mencionados, de lo cual se puede observar que el contenido que afecta a la ruta crítica de la ingeniería básica es el de validación del método de explotación y por ende se reduce el plazo final.

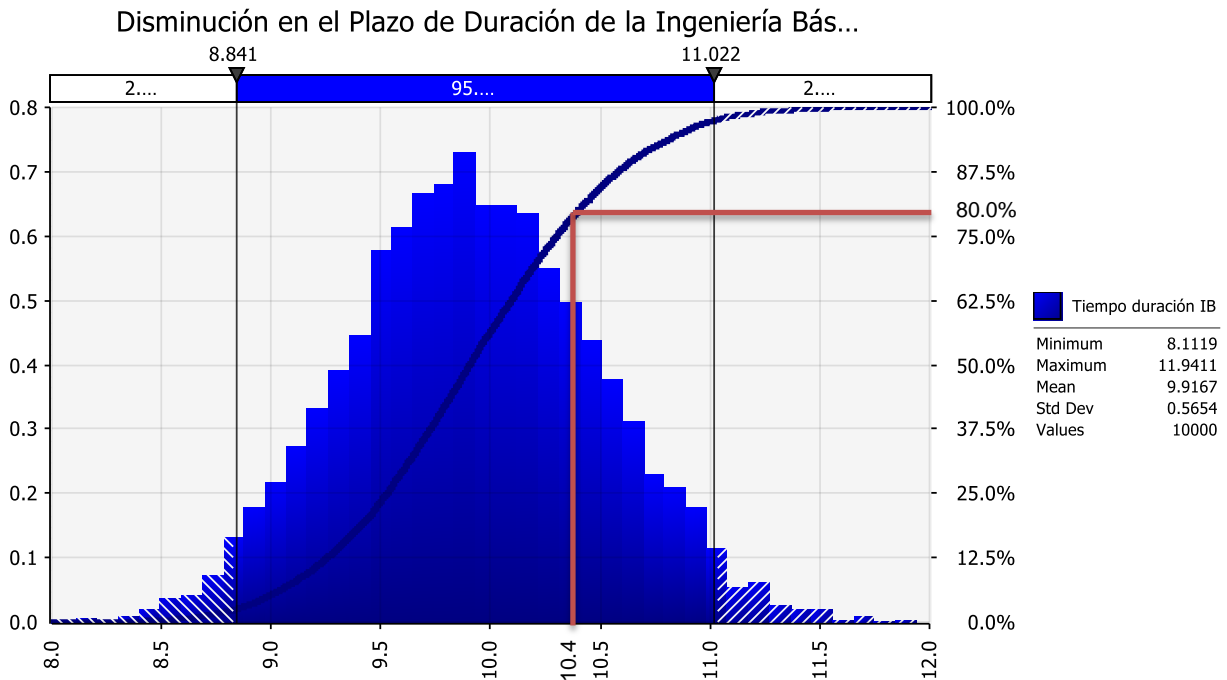


Figura 7: Disminución en el Plazo de Duración de la Ingeniería Básica al Postergar Contenidos.

La Figura 7 muestra que el P80 de la disminución del tiempo de duración de la ingeniería básica es de 10.4 meses y en consecuencia el plazo total de la fase se reduce en dos semanas.

Luego, se presenta la distribución de probabilidad que caracteriza la disminución de horas hombre de la ingeniería básica. Esta se muestra en la siguiente Figura 8, en la cual se observa que el P80 de la disminución del total de horas hombre de la ingeniería básica es de 13,773 HH. Entonces al comparar con el P80 del total de horas hombre de la ingeniería básica en condiciones normales (18,103 HH), se observa una diferencia de 4,330 HH.

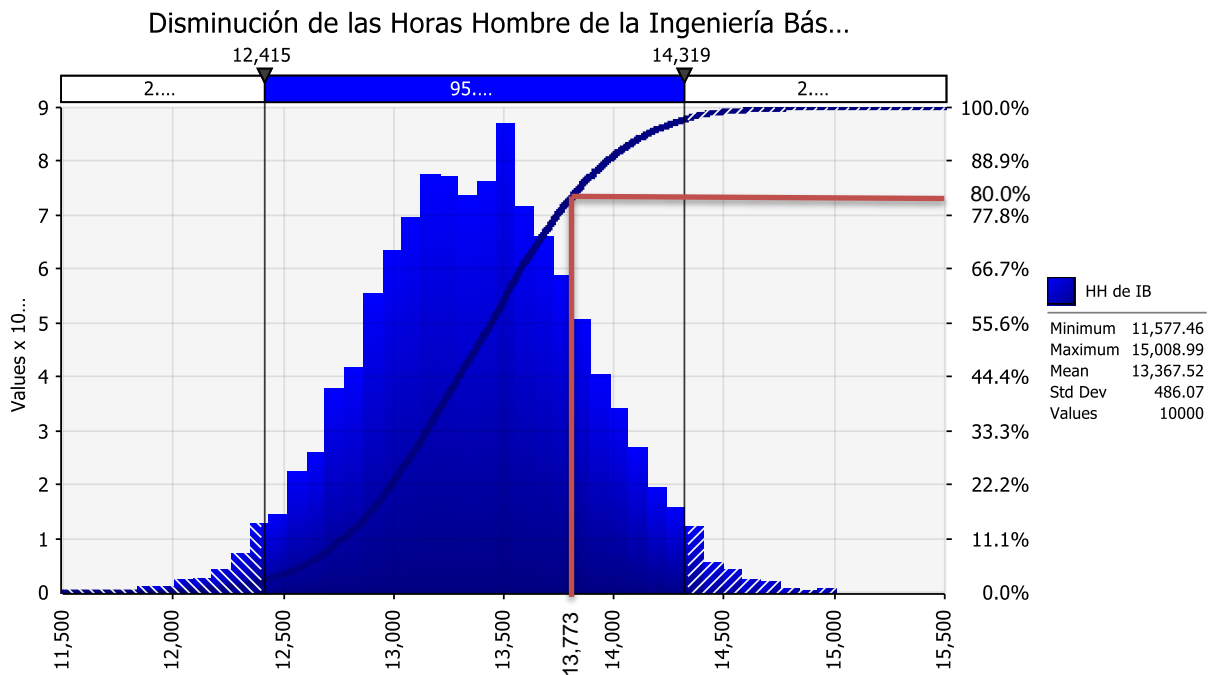


Figura 8: Disminución en las Horas Hombre de la Ingeniería Básica al Postergar Contenidos.

En conclusión, los contenidos de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería, cuya ejecución debe priorizarse en el caso que se cuente con recursos económicos limitados corresponden a:

- Geología
- Geotecnia
- Evaluación de recursos
- Reestimación de envolvente económica
- Planificación minera
- Diseño minero
- Infraestructura principal
- Plan de producción
- Programa de desarrollo
- Sistema de manejo de materiales
- Operaciones unitarias
- Requerimiento de equipos y flota
- Evaluación económica.

Esto se debe a que estos contenidos son imprescindibles para asegurar la sustentabilidad económica del negocio minero, a pesar de que algunos de ellos poseen un mayor costo.

En cambio, los contenidos de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería, que bajo el supuesto de contar con recursos económico limitados, se pueden postergar a estudios posteriores de ingeniería corresponden a

- Hidrogeología
- Validación del método de explotación
- Sistema de abastecimiento de agua industrial
- Sistema de drenaje
- Sistema de comunicaciones e instrumentación
- Infraestructura para operación mina
- Programa de obras
- Declaración de reservas.

Cabe mencionar que, para obtener la aprobación de la inversión del proyecto, estos contenidos postergados deben llevarse a cabo.

En conclusión, la postergación de estos contenidos reduce el tiempo de ingeniería básica en un mes y disminuye las horas de ingeniería en 4,330 horas.

4.5 Comparación Cuantitativa de la Duración de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En este capítulo se realiza una comparación de la duración de los contenidos de una ingeniería conceptual y una ingeniería básica, considerando que en ambas fases se cuenta con toda la información de entrada requerida y con plena disposición de recursos.

Para determinar los valores de duración de los contenidos de una ingeniería conceptual, se realiza el mismo procedimiento realizado para la ingeniería básica, indicado en el punto 2.3 del capítulo de metodología. La diferencia es que en este caso sólo se cuenta con tres ingenierías conceptuales (proyectos 1, 3 y 4 indicados en el punto 3.2).

Los resultados del procedimiento anterior se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40: Resumen del Plazo y Hora Hombre de la Ingeniería Conceptual según P80 de la Curva Acumulada.

Plazo y Horas Hombre de la Ingeniería Conceptual			
N°	Contenido de Ingeniería	Plazo [Meses]	HH
1	Geología	2.0	445
2	Hidrogeología	1.7	264
3	Geotecnia	2.6	674
4	Evaluación de Recursos	1.2	312
5	Definición del Método Explotación	2.3	845
6	Definición Criterio Económico de Planificación	0.4	100
7	Estimación Envolvente Económica de Reservas	0.3	77
8	Diseño Minero	2.8	482
9	Infraestructura Principal	1.1	278
10	Planificación Minera	2.5	533
11	Plan de Producción	1.2	263
12	Programa de Desarrollo	0.9	200
13	Sistema de Manejo de Materiales	1.7	413
14	Operaciones Unitarias	0.6	175
15	Requerimiento de Equipos y Flota	0.6	238
16	Requerimiento de Mano de Obra	0.5	80
17	Sistema de Ventilación	1.6	297
18	Sistema de Abastecimiento Agua Industrial	0.9	215
19	Sistema de Drenaje	0.9	207
20	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	1.8	277
21	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	0.9	200
22	Requerimiento de Servicios y Suministros	0.8	203
23	Infraestructura Operación Mina	1.3	365
24	Evaluación de Reservas Mineras	0.9	190
25	Programa de Obras	1.6	241
26	Plan de Ejecución	1.6	252
27	Evaluación Económica	1.4	234
Total		7.2	7,597

Cabe mencionar que la ingeniería conceptual, a diferencia de la básica, incorpora un contenido de definición del método de explotación, uno de definición del criterio económico de planificación minera y uno de estimación de la envolvente económica de reservas, por tanto no considera el contenido de validación del método de explotación ni el de reestimación de la envolvente económica de reservas (definidos en la ingeniería básica).

Luego, en base a la sección 4.2, en el cual se calcula el tiempo de duración de la ingeniería básica, se realiza un análisis comparativo de la duración de los

contenidos de las fases de ingeniería conceptual e ingeniería básica, cuyo resultado se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41: Duración de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual y una Básica según P80.

Duración de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica			
N°	Contenido de Ingeniería	Ingeniería Conceptual [meses]	Ingeniería Básica [meses]
1	Geología	2.0	2.2
2	Hidrogeología	1.7	1.7
3	Geotecnia	2.6	2.7
4	Evaluación de Recursos	1.2	1.3
5	Definición Método Explotación ¹⁷	2.3	0.7
6	Definición Criterio Económico de Planificación	0.4	-
7	Estimación Envolvente Económica de Reservas	0.3	0.6
8	Diseño Minero	2.8	3.0
9	Infraestructura Principal	1.1	1.3
10	Planificación Minera	2.5	2.8
11	Plan de Producción	1.2	1.5
12	Programa de Desarrollo	0.9	1.1
13	Sistema de Manejo de Materiales	1.7	2.7
14	Operaciones Unitarias	0.6	1.1
15	Requerimiento de Equipos y Flota	0.6	1.1
16	Requerimiento de Mano de Obra	0.5	0.6
17	Sistema de Ventilación	1.6	2.7
18	Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	0.9	2.0
19	Sistema de Drenaje	0.9	1.8
20	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	1.8	3.3
21	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	0.9	1.6
22	Requerimiento de Servicios y Suministros	0.8	1.0
23	Infraestructura Operación Mina	1.3	2.7
24	Declaración de Reservas Mineras ¹⁸	0.9	1.1
25	Programa de Obras	1.6	2.9
26	Plan de Ejecución	1.6	2.7
27	Evaluación Económica	1.4	2.3
Total		7.2	11.1

Según la estimación anterior, el contenido de hidrogeología tiene una duración similar tanto en la ingeniería conceptual como en la ingeniería básica, esto es

¹⁷ En la ingeniería básica el contenido se llama Validación del Método de Explotación

¹⁸ En la ingeniería conceptual el contenido se llama Evaluación de Reservas Mineras.

producido por la estimación realizada y la falta de información, ya que lo correcto sería que el contenido de hidrogeología de la ingeniería básica demandase más tiempo.

Además, se observa una diferencia de cuatro meses en el plazo de duración de una ingeniería básica y una ingeniería conceptual, lo que representa un incremento del 152%.

Luego, se presenta el siguiente Gráfico 5 que resume la diferencia en tiempo (%) entre los contenidos de ambas ingenierías, tomando como valor de duración base el del contenido de ingeniería conceptual.

Cabe mencionar que esta gráfica no considera el capítulo de definición del método de explotación ni el de la definición del criterio económico de planificación minera, puesto que difieren entre ambas fases.

Comparación Porcentual de la Duración de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica

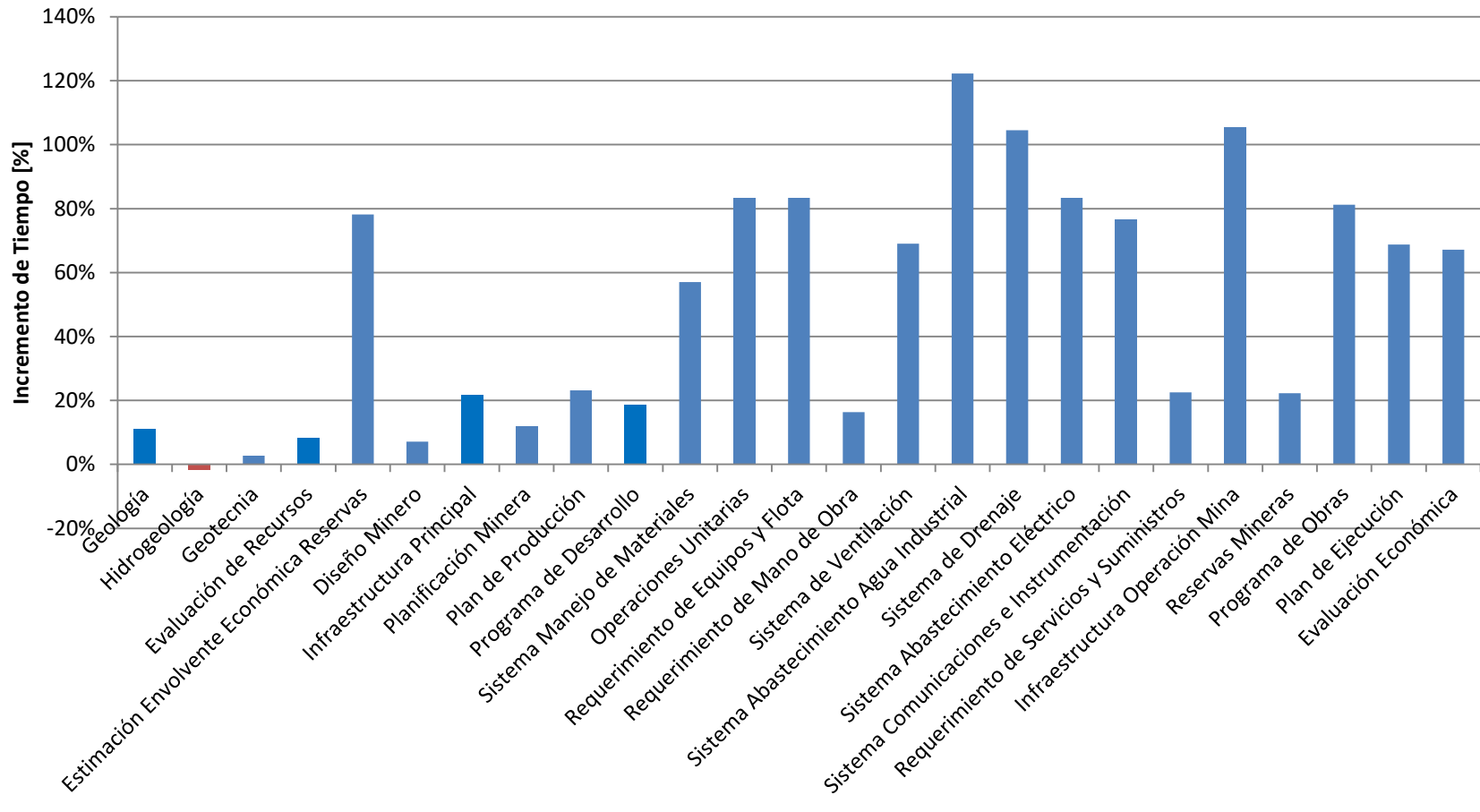


Gráfico 5: Comparación de la Duración de los Contenidos de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.

Del Gráfico 5 se puede concluir lo siguiente:

Los contenidos de la ingeniería básica que requieren un plazo de tiempo notoriamente mayor en comparación a la ingeniería conceptual, son los siguientes: Estimación de envolvente económica de reservas (80% más que su símil de la ingeniería conceptual), operaciones unitarias (83%), requerimiento de equipos (83%), sistema agua industrial (122%), sistema de drenaje (105%), sistema eléctrico (83%), infraestructura operación mina (105%) y el programa de obras (81%).

Cabe señalar que en general los contenidos de ingeniería básica, anteriormente señalados, requieren de más tiempo debido al desarrollo de una mayor cantidad de documentos de ingeniería, tal como memorias de cálculo, planos de disposición general, diagramas unilineales, listado de equipos, especificaciones técnicas, hojas de datos, requisiciones, cotizaciones, desarrollo de bases técnicas de licitación, informes de ingeniería, talleres de ingeniería, lo cual demanda una mayor cantidad de recursos de tiempo y de horas hombre.

En conclusión, una ingeniería conceptual tiene un plazo de duración de 7.2 meses y una ingeniería básica un plazo de duración de 11.1 meses (ambas corresponden al valor P80), lo cual resulta en una diferencia de cuatro meses, que significa en un aumento del 154% entre una fase y otra.

4.6 Comparación Cuantitativa de las Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En esta sección se realiza un análisis comparativo según la estimación de las horas hombre de cada uno de los contenidos de una ingeniería conceptual y una ingeniería básica.

Para estimar las horas hombre de cada contenido de una ingeniería conceptual, se ejecuta el mismo procedimiento realizado para los contenidos de una ingeniería básica, señalado en la sección 2.4 del capítulo de la metodología. La diferencia es que en este caso sólo se cuenta con tres ingenierías conceptuales (proyectos 1, 3 y 4 indicados en el punto 3.2).

Los resultados de la estimación de horas hombre por contenido, se presenta en la siguiente Tabla 42:

Tabla 42: Horas Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.

Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica			
N°	Contenido de Ingeniería	Ingeniería Conceptual [HH]	Ingeniería Básica [HH]
1	Geología	445	898
2	Hidrogeología	264	292
3	Geotecnia	674	2002
4	Evaluación de Recursos	312	403
5	Definición Método Explotación	845	152
6	Definición Criterio Económico de Planificación	100	
7	Estimación Envolvente Económica de Reservas	77	267
8	Diseño Minero	482	1475
9	Infraestructura Principal	278	972
10	Planificación Minera	533	1159
11	Plan de Producción	263	575
12	Programa de Desarrollo	200	630
13	Sistema de Manejo de Materiales	413	1190
14	Operaciones Unitarias	175	476
15	Requerimiento de Equipos y Flota	238	584
16	Requerimiento de Mano de Obra	80	103
17	Sistema de Ventilación	297	839
18	Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	215	512
19	Sistema de Drenaje	207	660
20	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	277	725
21	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	200	440
22	Requerimiento de Servicios y Suministros	203	435
23	Infraestructura Operación Mina	365	1420
24	Declaración de Reservas Mineras	190	320
25	Programa de Obras	241	996
26	Plan de Ejecución	252	1248
27	Evaluación Económica	234	980
Total		7,597	18,103

Al comparar la totalidad de contenidos de cada etapa, es decir veintisiete contenidos para la ingeniería conceptual y veintiséis para la ingeniería básica, la diferencia en el total de horas hombres es de 10,500 HH.

Entonces para un análisis mayor se construye el Gráfico 6, el cual presenta una comparación de las horas hombre estimadas para cada uno de los contenidos en común entre la ingeniería conceptual y básica.

Comparación del Número de Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica

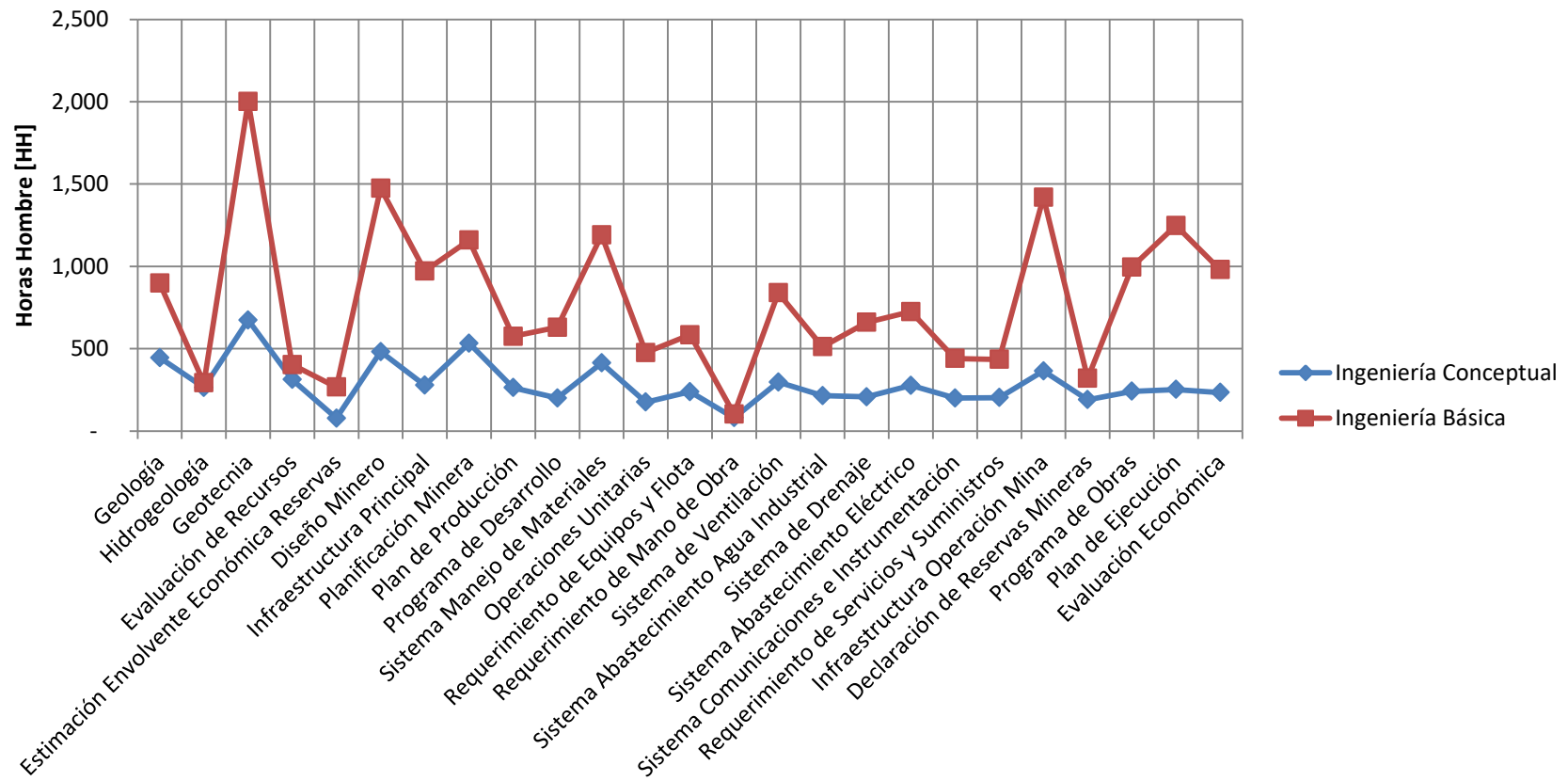


Gráfico 6: Comparación de las Horas Hombre entre la Ingeniería Conceptual y la Ingeniería Básica.

Del Gráfico 6 se identifica que los contenidos de evaluación de recursos, requerimiento de mano de obra y declaración de reservas mineras no presentan una gran diferencia en el número de horas hombre entre la ingeniería conceptual e ingeniería básica. Esto se explica porque estos contenidos realizan actividades de ingeniería similares entre una fase y otra, la diferencia se produce por el nivel de información que se cuenta para llevar a cabo los productos de ingeniería.

Se observa que los contenidos de geotecnia, diseño minero, infraestructura para operación de la mina y plan de ejecución de la ingeniería básica presentan un volumen de horas hombre notoriamente mayor a los de la ingeniería conceptual (sobre 500 HH).

El contenido de geotecnia de la ingeniería básica demanda 1,328 HH más que el de la ingeniería conceptual producto del aumento de horas de modelamiento del macizo rocoso en los sectores productivos de la mina, el modelamiento de los esfuerzos inducidos por la secuencia de extracción, el modelamiento de los elementos de fortificación, el incremento en horas en estudios de estabilidad de nivel de producción, análisis de requerimiento de fortificación de infraestructura interior mina y accesos principales, estudios de sismicidad y colapsos y el desarrollo del plan de medición de esfuerzos.

El contenido de diseño minero de la ingeniería básica demanda 993 HH más que el de la ingeniería conceptual debido principalmente al aumento de horas en la elaboración del modelo 3D del diseño de la mina (detallando todos sus niveles, posicionando las unidades básicas de explotación, accesos principales y secundarios, aerovías de ventilación), generación de planos de los distintos niveles de la mina y en el diseño de las labores de fortificación y confección de especificaciones técnicas.

El contenido de infraestructura para operación mina demanda 1,055 HH más que el de la ingeniería conceptual, puesto que en esta fase se realiza la memoria de cálculo de toda la infraestructura para operación interior y exterior mina (indicadas en el punto 3.1.4.22), además de la cubicación de los materiales y elementos complementarios a la infraestructura.

El contenido de plan de ejecución de la ingeniería básica demanda 996 HH más que el de la ingeniería conceptual principalmente por el aumento de horas en la confección de estudios de empleabilidad (200 HH), de riesgos del proyecto y de la gestión de calidad de obras, además, existe un incremento en las horas de informes que contienen la estrategia de contratación de la ingeniería de detalles, construcción y puesta en marcha (sobre 120 HH), el plan de sustentabilidad, el plan de gestión de riesgos y la actualización del plan de adquisiciones. Finalmente existe una demanda de horas en la actualización y revisión del plan maestro del proyecto (sobre 200 HH).

A continuación, se presenta el Gráfico 7 que muestra el incremento o disminución de las horas hombre totales de cada contenido entre la fase conceptual y básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería.

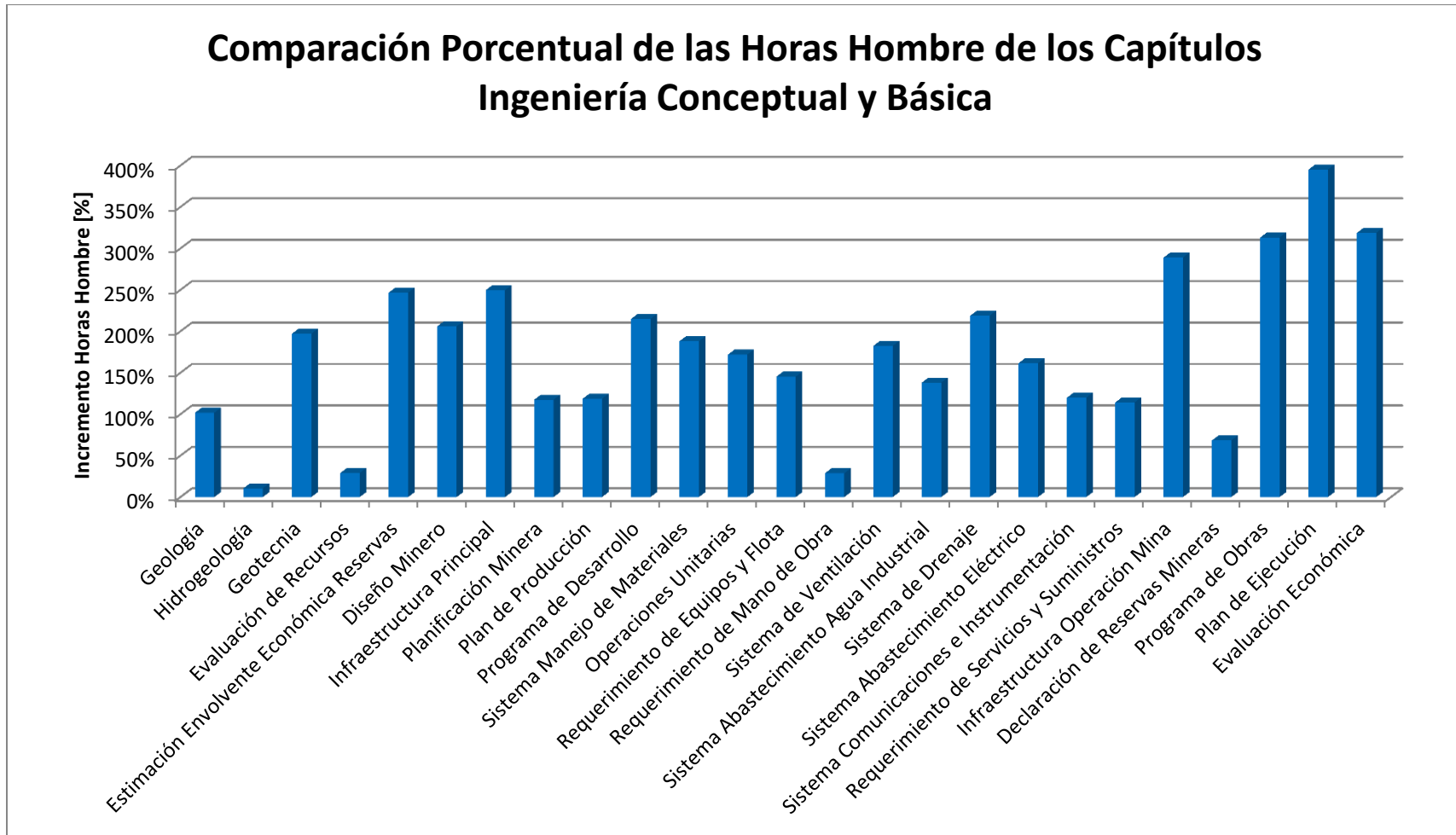


Gráfico 7: Incremento en Porcentaje de las Horas Hombre de cada Contenido entre la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.

Se observa que los contenidos de la ingeniería básica que más aumentan la cantidad de horas hombre en comparación a su símil de la conceptual son el de geotecnia (197%), estimación de envolvente económica (247%), diseño minero (250%), infraestructura principal (250%), sistema de manejo de materiales (188%), programa de desarrollo (215%), sistema de ventilación (182%), sistema de drenaje (219%), infraestructura operación mina (289%), programa de obras (313%), plan de ejecución (395%) y evaluación económica (319%).

En conclusión, una ingeniería conceptual demanda 7,597 horas hombre y una ingeniería básica requiere de 18,103 horas hombre, resultando en una diferencia de 10,500 horas de ingeniería, lo cual significa un aumento de un 240% entre una fase y la otra.

4.7 Comparación Cuantitativa del Costo de Hora Hombre de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica

En esta sección se compara el costo de hora hombre de cada uno de los contenidos de una ingeniería conceptual y una ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería.

Para estimar el costo de hora hombre de cada contenido se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se tiene valores de mercado del costo de hora hombre de cinco categorías de profesionales que participan en la elaboración de los contenidos de ingeniería.
2. Se discretizan las horas hombre de cada contenido de ingeniería según las horas hombre aportadas por cada profesional.
3. Se realiza una sumatoria de la multiplicación del precio de hora hombre por las horas hombres trabajadas por cada profesional.
4. Se obtiene un costo total del contenido, el cual se divide por el número total de horas hombre del contenido, resultando en un costo de hora hombre promedio del contenido.

A partir del procedimiento anterior se tiene lo siguiente:

Tabla 43: Precios de Mercado del Valor de Hora Hombre por Profesional.

Profesional	US\$/HH
Jefe de Proyecto	150
Jefe de Disciplina	100
Ingeniero Senior	80
Ingeniero	50
Proyectista	40

Estos valores corresponden al promedio de los precios ofertados por las empresas consultoras de ingeniería que llevan a cabo la ingeniería básica de los cinco proyectos.

En la Tabla 44 y Tabla 45 se muestra la discretización de las horas hombre de los contenidos de la ingeniería básica y de la ingeniería conceptual, respectivamente.

Tabla 44: Discretización de las Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica por Profesional.¹⁹

Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica por Profesional							
N°	Contenido	Jefe de Proyecto	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	HH Totales
1	Geología	45	135	269	359	90	898
2	Hidrogeología	15	44	131	88	15	292
3	Geotecnia	200	400	641	701	60	2,002
4	Evaluación de Recursos	40	81	161	121	0	403
5	Validación Método Explotación	46	53	38	15	0	152
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	13	27	93	134	0	267
7	Diseño Minero	74	148	221	516	516	1,475
8	Infraestructura Principal	49	146	243	340	194	972
9	Planificación Minera	58	174	464	464	0	1,159
10	Plan de Producción	29	86	201	259	0	575
11	Programa de Desarrollo	32	95	221	284	0	630
12	Sistema de Manejo de Materiales	60	179	238	357	357	1,190
13	Operaciones Unitarias	24	71	95	286	0	476
14	Requerimiento de Equipos y Flota	29	88	117	350	0	584
15	Requerimiento de Mano de Obra	5	5	10	82	0	103
16	Sistema de Ventilación	42	84	168	294	252	839
17	Sistema de Abastecimiento Agua Industrial	26	41	61	128	256	512
18	Sistema de Drenaje	33	53	79	165	330	660
19	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	36	73	109	181	326	725
20	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	22	66	66	88	198	440
21	Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales	22	65	87	261	0	435
22	Infraestructura Operación Mina	71	142	213	426	568	1,420
23	Declaración de Reservas Mineras	64	96	80	80	0	320
24	Programa de Obras	100	199	349	349	0	996
25	Plan de Ejecución	250	437	437	125	0	1,248
26	Evaluación Económica	98	98	490	294	0	980
Total		1,483	3,086	5,282	6,747	3,162	18,103

¹⁹ Las HH por contenido y por profesional corresponden a un promedio de las HH asignadas en los cinco proyectos que se consideran en el estudio (3.2 Caracterización Proyectos Base).

Tabla 45: Discretización de las Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual por Profesional.²⁰

Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual por Profesional							
N°	Contenidos	Jefe de Proyecto	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	HH Totales
1	Geología	45	89	134	134	45	445
2	Hidrogeología	26	53	106	79	0	264
3	Geotecnia	67	169	236	169	34	674
4	Evaluación de Recursos	31	78	125	78	0	312
5	Definición del Método Explotación	254	380	169	42	0	845
6	Definición Criterio Económico de Planificación	25	45	20	10	0	100
7	Estimación Envolvente Económica de Reservas	8	8	23	39	0	77
8	Diseño Minero	48	72	121	145	96	482
9	Infraestructura Principal	14	70	167	0	28	278
10	Planificación Minera	53	160	187	133	0	533
11	Plan de Producción	13	66	184	0	0	263
12	Programa de Desarrollo	10	50	140	0	0	200
13	Sistema de Manejo de Materiales	21	83	145	103	62	413
14	Operaciones Unitarias	9	26	53	88	0	175
15	Requerimiento de Equipos y Flota	12	36	71	119	0	238
16	Requerimiento de Mano de Obra	4	12	24	40	0	80
17	Sistema de Ventilación	15	59	104	89	30	297
18	Sistema de Abastecimiento Agua Industrial	11	54	108	0	43	215
19	Sistema de Drenaje	10	52	104	0	41	207
20	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	28	69	111	0	69	277
21	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	10	60	80	0	50	200
22	Requerimiento de Servicios, Insumos y Materiales	10	51	102	41	0	203
23	Infraestructura Operación Mina	18	73	91	91	91	365
24	Evaluación de Reservas Mineras	48	57	57	29	0	190
25	Programa de Obras	36	72	84	48	0	241
26	Plan de Ejecución	76	101	76	0	0	252
27	Evaluación Económica	23	47	94	70	0	234
Total		925	2,092	2,929	1,611	510	7,597

²⁰ Se toma como referencia las HH asignadas en la ingeniería conceptual de los proyectos 1, 3 y 4 (3.2 Caracterización Proyectos Base).

Al comparar las horas hombre por profesional en la ingeniería básica (gráfico en Anexo D) se observa que la mayor participación en las horas hombres totales la tiene el Ingeniero(34%) y el Ingeniero Senior (27%), en cambio en la ingeniería conceptual (gráfico en Anexo E) los profesionales que tienen mayor participación corresponde al Ingeniero Senior (36%) y jefe de disciplina (26%).

Además, entre la ingeniería conceptual e ingeniería básica se ve un aumento de horas hombre del Proyectista, desde 589 a 3,162 horas hombre, lo que significa un incremento de un 537%, pasando a participar en el total de horas hombre de ingeniería de un 7% en la ingeniería conceptual a un 16% en la ingeniería básica.

Esto se explica porque la ingeniería básica considera la elaboración de un mayor número de planos de disposición general del nivel de producción, del nivel de transporte principal, de los accesos a la mina y a los niveles, del circuito de ventilación (inyección y eyección), además de diagramas unilineales de la mina y sus distintos sectores, la topología de la red de comunicación e instrumentación, los PI&Ds de las redes de drenaje y del sistema de abastecimiento de agua industrial.

Asimismo, entre la ingeniería conceptual e ingeniería básica se ve un aumento de horas hombre del Ingeniero, desde 1,547 a 6,747 horas hombre, lo que significa un incremento de 436%, pasando a participar en el total de horas hombre de ingeniería de un 19% en la ingeniería conceptual a un 34% en la ingeniería básica.

Esto se explica por un aumento en la ingeniería básica de los recursos destinados a realizar memorias de cálculo (flota de equipos y dotación de personal, circuito de ventilación, circuito de abastecimiento de agua industrial, de drenaje, eléctrico, de redes de comunicación, sistema de fortificación, estructuras civiles, entre otros), como también un aumento de horas hombre destinada a la realización de especificaciones técnicas de equipos y al modelamiento del diseño de la mina.

Caso contrario es el del Jefe de Proyecto, Jefe de Disciplina e Ingeniero Senior, los cuales aumentan sus horas hombres desde la ingeniería conceptual a la ingeniería básica en un 160%, 148% y 181% respectivamente, pero su participación en el total de horas hombre de la ingeniería decrece de una fase a la otra. En el caso del Jefe de Proyecto pasa de un 11.5% a un 7.5% del total, el Jefe de Disciplina pasa de un 26% a un 15.6% y en el caso del Ingeniero Senior disminuye desde un 36 a un 27%.

Luego, se realiza la sumatoria de la multiplicación del precio de hora hombre de cada profesional por las horas hombre trabajadas en cada contenido de ingeniería, obteniendo un costo total para cada contenido. Entonces para conseguir el costo de hora hombre promedio de cada contenido se divide el costo total del contenido por las horas hombre totales de este.

Tabla 46: Resumen Comparativo del Costo de Hora Hombre Promedio de los Contenidos de una Ingeniería Conceptual y una Ingeniería Básica.

Costo de Hora Hombre Promedio de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica			
N°	Contenido de Ingeniería	Ingeniería Conceptual [US\$/HH]	Ingeniería Básica [US\$/HH]
1	Geología	78	71
2	Hidrogeología	82	76
3	Geotecnia	83	79
4	Evaluación de Recursos	84	82
5	Definición Método Explotación	109	105
6	Definición Criterio Económico de Planificación	104	
7	Estimación Envolvente Económica de Reservas	75	70
8	Diseño Minero	73	61
9	Infraestructura Principal	85	68
10	Planificación Minera	85	75
11	Plan de Producción	88	73
12	Programa de Desarrollo	89	73
13	Sistema de Manejo de Materiales	74	66
14	Operaciones Unitarias	72	68
15	Requerimiento de Equipos y Flota	72	69
16	Requerimiento de Mano de Obra	72	60
17	Sistema de Ventilación	74	63
18	Sistema de Abastecimiento de Agua Industrial	81	58
19	Sistema de Drenaje	80	58
20	Sistema de Abastecimiento Eléctrico	82	60
21	Sistema de Comunicaciones e Instrumentación	80	63
22	Requerimiento de Servicios y Suministros	83	69
23	Infraestructura Operación Mina	70	61
24	Evaluación de Reservas Mineras	100	93
25	Programa de Obras	90	81
26	Plan de Ejecución	109	98
27	Evaluación Económica	82	80
Total		85	72

La tabla anterior muestra que la ingeniería conceptual tiene un costo de hora hombre promedio de 85 US\$/HH y la ingeniería básica un costo de hora promedio de 72 US\$/HH, lo cual representa una diferencia de US\$ 13, resultado que se encuentra dentro de la realidad del mercado.

A su vez, los contenidos de ingeniería conceptual con un mayor costo de hora hombre promedio corresponden al de definición del método de explotación (109 US\$/HH), la definición del criterio económico de planificación minera (104

US\$/HH), la evaluación de reservas mineras (100 US\$/HH) y el plan de ejecución (109 US\$/HH).

En cambio, los contenidos de ingeniería básica que poseen un mayor valor de hora hombre promedio corresponden a la validación del método de explotación (105 US\$/HH), la declaración de reservas mineras (93 US\$/HH) y el plan de ejecución (98 US\$/HH).

El mayor valor económico de estos capítulos por sobre los otros desarrollados en ambas ingenierías, se debe principalmente al nivel de conocimiento y experiencia del profesional que participa en ellos y a las actividades de ingeniería que se deben llevar a cabo.

Para profundizar el análisis se presenta el siguiente Gráfico 8, el cual muestra una comparación del costo total de la ingeniería conceptual y básica con la inversión de capital del proyecto. Cabe mencionar que se considera como valor de inversión de capital el estimado en la ingeniería básica del proyecto, cuya información se encuentra en la Tabla 54 del Anexo F.

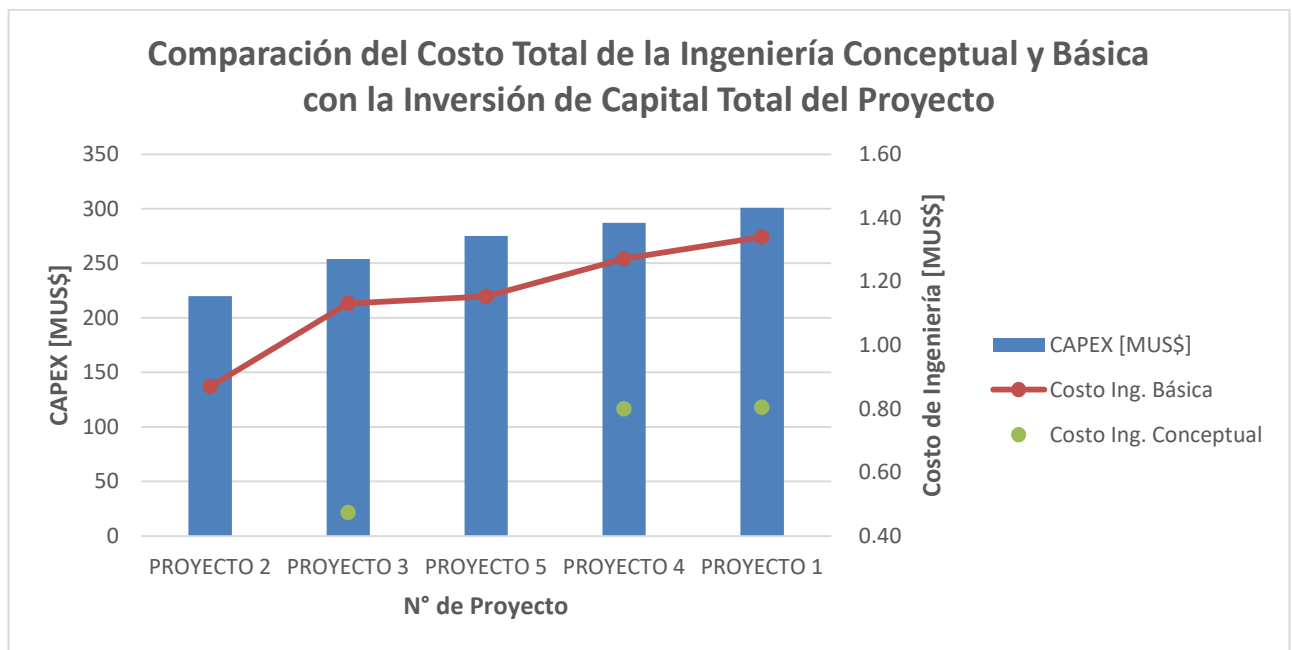


Gráfico 8: Comparación del Costo Total de la Ingeniería Conceptual y Básica en la Inversión de Capital del Proyecto.

Cabe mencionar que estos costos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica sólo incluyen las HH de los productos de ingeniería indicados en el punto 3.1.4, por tanto, no se consideran las HH y costos asociados a los estudios geológicos-geotécnicos-hidrogeológicos tal como sondajes, ensayos geotécnicos, pruebas de permeabilización, análisis químicos, caracterización mineralógica, pruebas metalúrgicas, entre otras. En consecuencia, los valores de los estudios de ingeniería son mayores que los indicados en el gráfico anterior.

Luego, como se observa, a mayor monto de la inversión de capital del proyecto, mayor es el costo de la ingeniería básica y de la ingeniería conceptual, alcanzando a representar entre ambas más del 1% del total del capital de la iniciativa.

Esto se relaciona a que proyectos con mayor envergadura y complejidad (mayor costo) requieren un mayor desarrollo de ingeniería, involucrando una mayor cantidad de horas hombres.

Además, un mayor desarrollo de ingeniería básica indica un mayor detalle en el cálculo y estimación de todas las obras asociadas al proyecto (menor incertidumbre), tal como:

- Sistema de fortificación: Cuantificación de pernos, malla, shotcrete, hormigón para la carpeta de rodado, lozas, estructuras, marcos de soporte, entre otros.
- Excavaciones: Cuantificación de la marina a remover en desarrollos horizontales y verticales.
- Sistema de Manejo de Materiales: Cuantificación de la flota de equipos para el proceso de transporte del mineral (metros lineales de correas, número de camiones, tipo de chancador primario y secundario, número y especificaciones de tolvas, entre otros).
- Plan de Producción y Plan Minero: Planificación mensual y anual de la extracción de mineral, % de dilución, leyes de corte, cuantificación de reservas mineras.
- Infraestructura: Cuantificación de las obras requeridas para la construcción y operación del proyecto, tal como número de ventiladores principales y auxiliares, bombas de drenaje, circuito de cañerías, estaciones y sub estaciones eléctricas, cables eléctricos y de fibra óptica.
- Flota de equipos: Cuantificación de la flota de equipos para la construcción y operación del proyecto (scoop, camiones, jumbos de avance, jumbos de fortificación, equipos de levante, raise borer, mixer, camiones aljibes, camionetas).
- Mano de obra: Cálculo del personal requerido para la construcción y operación del proyecto.
- Servicios, insumos y materiales: Cuantificación de explosivos, lubricantes, combustible, aceros, neumáticos, entre otros.
- Entre otros indicados en el punto 3.1.4 Productos de la Ingeniería Básica de un Proyecto de Explotación Minera Subterránea.

Esta información es clave para evaluar el costo de inversión de la iniciativa y obtener una aproximación certera del costo total del proyecto ($\pm 10-15\%$ con un 90% de probabilidad de ocurrencia) y además para cuantificar con mayor exactitud los ingresos y rentabilidad de la extracción del mineral.

Por otro lado, en el Gráfico 9 se muestra una comparación del costo de hora hombre promedio de los contenidos en común entre una ingeniería conceptual y la ingeniería básica.

Comparación del Costo Hora de Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica

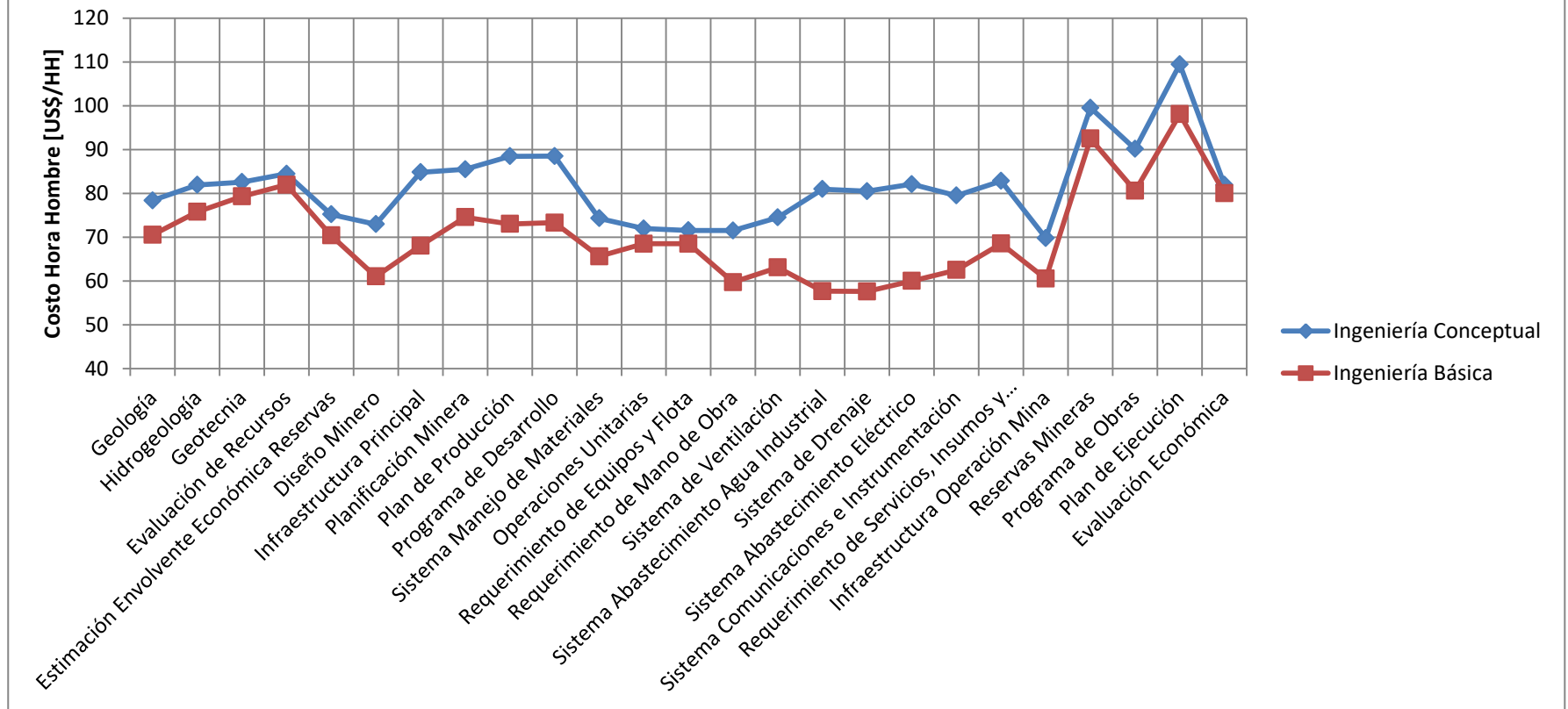


Gráfico 9: Comparación del Costo de Hora Hombre de los Contenidos de Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.

El Gráfico 9 no considera el contenido de definición del método de explotación ni el de definición del criterio económico de planificación minera.

Del gráfico anterior se evidencia que los contenidos de evaluación de recursos, operaciones unitarias, requerimiento de equipo y flota y la evaluación económica tienen un costo de hora hombre similar en ambas ingenierías. Esto se debe a que estos cuatro contenidos desarrollan actividades de ingeniería similares y participan profesionales con el mismo nivel de destrezas.

Además, los contenidos de ingeniería conceptual que presentan una diferencia mayor de valor de hora hombre en comparación a su símil de ingeniería básica son los siguientes:

- El contenido de infraestructura principal de la ingeniería conceptual tiene un costo de US\$17 mayor que su símil de ingeniería básica, puesto que en la ingeniería conceptual interfiere en mayor proporción el jefe de proyecto y líder de disciplina de minería en la decisión del trazado de los accesos, rampas de conexión y aerovías de ventilación.
- El contenido de sistema de abastecimiento de agua industrial de la ingeniería conceptual tiene un costo de US\$23 mayor que su símil de ingeniería básica, ya que en la ingeniería básica se elabora una mayor cantidad de planos (PI&Ds) y diagramas, por ende existe una mayor demanda de horas hombre de proyectista.
- El contenido de sistema de drenaje de la ingeniería conceptual difiere en US\$23 en comparación a su símil de ingeniería básica, puesto que en la ingeniería básica se genera una mayor cantidad de planos (PI&Ds) y diagramas y por tanto existe una mayor demanda de horas hombre de proyectista.
- El contenido del sistema de abastecimiento eléctrico de la ingeniería conceptual tiene un costo de US\$22 mayor que su símil de ingeniería básica, ya que en la ingeniería básica se genera una mayor cantidad de especificaciones técnicas de los equipos, diagramas unilineales y planos de disposición general de los equipos. En consecuencia, se demanda una mayor cantidad de horas hombre de ingeniero y proyectista.
- El contenido de sistema de comunicaciones e instrumentación de la ingeniería conceptual difiere en US\$17 de su símil de ingeniería básica, puesto que en esta ingeniería el cálculo de los elementos del sistema de comunicación, las especificaciones técnicas de los equipos y materiales es realizado en gran parte por el Ingeniero, como además aumenta las horas hombre destinadas a la elaboración de diagramas de redes y planos de ubicación de los equipos del sistema.

En conclusión, una ingeniería conceptual tiene un costo promedio de hora hombre de 85 US\$/HH y una ingeniería básica tiene un costo promedio de hora hombre de 72 US\$/HH.

4.8 Comparación Cuantitativa de la Dotación de una Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica en Condiciones Normales

En esta sección se realiza un análisis comparativo según la dotación de personal requerida por cada uno de los contenidos de ingeniería conceptual e ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería.

Para estimar la dotación de personal total se consideran los siguientes profesionales: Jefe de Proyecto, Jefe de Disciplina, Ingeniero Senior, Ingeniero y Projectista.

Además, se definen las siguientes disciplinas laborales en las cuales participan los profesionales anteriormente definidos:

1. Disciplina de Minería.
2. Disciplina de Geomecánica.
3. Disciplina de Geología, Hidrogeología y Evaluación de Recursos.
4. Disciplina de Mecánica y Piping.
5. Disciplina Eléctrica.
6. Disciplina de Civil y Estructuras.

Luego, las horas hombre de los veintisiete contenidos de ingeniería conceptual se agrupan en las seis disciplinas definidas, tal como se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47: Horas Hombre de las Disciplinas de una Ingeniería Conceptual²¹

Horas Hombre de Disciplinas de la Ingeniería Conceptual	Jefe de Proyecto	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Projectista	Total
Horas Hombre de Minería	669	1,344	1,719	1,087	307	5,126
Horas Hombre de Geología, Hidrogeología y Evaluación de Recursos	102	220	365	291	45	1,023
Horas Hombre de Geomecánica	67	169	236	169	34	675
Horas Hombre de Piping	21	106	212	-	84	423
Horas Hombre de Electricidad	38	129	191	-	119	477
Horas Hombre de Civil y Estructuras	28	124	193	132	91	568
Total	925	2,092	2,916	1,679	680	7,597

Conjuntamente, las horas hombre de los veintiséis contenidos de ingeniería básica se agrupan en las seis disciplinas definidas, tal como se muestra en la Tabla 48.

²¹ Para calcular las HH por Profesional y Disciplina se considera el promedio de las HH asignadas en la ingeniería conceptual de los proyectos 1, 3 y 4.

Tabla 48: Horas Hombre de las Disciplinas de una Ingeniería Básica.

Horas Hombre de Disciplinas de la Ingeniería Básica	Jefe de Proyecto	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	Total
Horas Hombre de Minería	973	1,986	3,465	4,229	1,887	12,540
Horas Hombre de Geología, Hidrogeología y Evaluación de Recursos	100	260	561	568	105	1,594
Horas Hombre de Geomecánica	200	400	641	701	60	2,002
Horas Hombre de Piping	59	94	140	293	586	1,172
Horas Hombre de Electricidad	58	139	175	269	524	1,165
Horas Hombre de Civil y Estructuras	93	207	300	687	-	1,287
Total	1,483	3,086	5,282	6,747	3,162	18,103

Se establece que a cada disciplina le corresponde un líder o jefe del área y la cantidad de Ingenieros Senior, Ingenieros y Proyectistas depende de las horas hombre asignadas y el tiempo disponible para realizar la labor.

Luego, para el cálculo de la dotación, es importante tener en cuenta que el personal de una ingeniería de un proyecto de explotación subterránea varía durante el transcurso de la fase a medida que aumentan o disminuyen las labores de ingeniería, es decir que no se tiene un número constante de profesionales durante todo el estudio de ingeniería.

Por lo general, una ingeniería se inicia con un equipo de trabajo reducido, para luego aumentar hasta alcanzar una cantidad peak de profesionales y que después disminuye a medida que se finalizan las distintas etapas de la ingeniería.

En consecuencia, el cálculo de dotación que se realiza, determina a todos los profesionales que participan de la ingeniería, pero no indica su variación durante el progreso de la fase, lo cual se observa en la Tabla 49.

Tabla 49: Dotación de Personal de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica.

Dotación	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	Total
Ingeniería Conceptual	6	7	3	3	19
Ingeniería Básica	6	7	10	5	28

Cabe mencionar que tanto para la dotación total de la ingeniería conceptual como para la de ingeniería básica, el cálculo de personal total incluye a un jefe de proyecto.

Como se observa, la ingeniería conceptual alcanza un total de diecinueve profesionales y la ingeniería básica un total de veintiocho profesionales, lo cual significa una diferencia de nueve profesionales, sin embargo, es importante reiterar que esta cantidad corresponde al total de profesionales que participan de

la ingeniería y no un valor que se mantiene constante durante el desarrollo de la fase.

Finalmente, se presenta la siguiente tabla comparativa con los valores de duración, horas hombre, costo hora hombre y de dotación de personal de la ingeniería conceptual y la ingeniería básica.

Tabla 50: Resumen Comparativo de la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica según P80.

Resumen Comparativo entre la Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica				
Ingeniería	Meses	HH	US\$/HH	Dotación
Ingeniería Conceptual	7.2	7,597	85	19
Ingeniería Básica	11.1	18,103	72	28
% de Aumento	154%	238%	-15%	147%

5 Conclusiones y Recomendaciones

A continuación, se presentan las principales conclusiones de este documento, que responden al objetivo general y a los objetivos específicos de este estudio.

1. El éxito de una ingeniería básica es que ésta se realice en un plazo acotado y que defina cabalmente todos los alcances requeridos por el inversor disminuyendo el tiempo de aprobación y por ende el ciclo del proyecto, adelantando los flujos económicos de éste.
2. El análisis de ruta crítica de los contenidos de la ingeniería básica entrega la hoja de ruta del proyecto, tomando como supuesto que esta fase se inicia con toda la información que debe otorgar la ingeniería conceptual y el levantamiento de la información base para sustentar la etapa. En consecuencia, las actividades de ingeniería que se deben priorizar dentro de la ingeniería básica, son las siguientes:
 - Geología
 - Geotecnia
 - Evaluación de Recursos
 - Validación del método de explotación
 - Reestimación de envolvente económica
 - Planificación Minera
 - Diseño Minero
 - Plan de Producción
 - Sistema Manejo de Materiales
 - Operaciones Unitarias
 - Requerimiento de Equipos y Flota
 - Evaluación Económica (incluye la estimación de CAPEX y OPEX)
3. Los contenidos de la ingeniería básica que ven más afectada su duración y total de horas de ingeniería, al no contar con los parámetros de entrada provenientes de la ingeniería conceptual son el contenido de geotecnia, evaluación de recursos, validación método explotación y el sistema de manejo de materiales.

Si no se cuenta con la información de entrada de la geotecnia, la ingeniería básica se extiende en tres meses y dos semanas y el número total de horas de ingeniería aumentan en 1,737 horas.

Si no se tiene la información de entrada del contenido de evaluación de recursos, la ingeniería básica se extiende en aproximadamente tres meses, aumentando el número total de horas de ingeniería en 887 horas.

Si no se tiene definido un método de explotación a un inicio de la ingeniería básica, esta se extiende en 2.6 meses y aumentan las horas de ingeniería en 1,397 horas.

Si no se tiene definido un sistema de manejo de materiales a un inicio de la ingeniería básica, esta se extiende en dos meses y dos semanas y aumentan las horas hombre de ingeniería en 674 horas.

4. Las actividades de ingeniería conceptual que deben estar completamente definidas y que son fundamentales para iniciar y darle continuidad al proceso de ingeniería básica corresponden a las siguientes:
 - El modelo geológico entregado por la ingeniería conceptual
 - El modelo geotécnico entregado por la ingeniería conceptual
 - El modelo geometalúrgico entregado por la ingeniería conceptual
 - Modelo de recursos entregado por la ingeniería conceptual
 - Alternativa de método de explotación escogido
 - Criterios económicos de planificación minera
 - Ritmo de producción
 - Alternativa del sistema de manejo de materiales escogido
 - Listado de equipos principales

5. Los contenidos de la ingeniería básica que se pueden aplazar a estudios posteriores de ingeniería, pero que deben estar completados para aprobar la inversión del proyecto son la hidrogeología, la validación del método de explotación, el sistema de abastecimiento de agua industrial, el sistema de drenaje, el sistema de comunicaciones e instrumentación, la infraestructura operación mina, el programa de obras y la declaración de reservas mineras. Al eliminar estos contenidos el plazo de la ingeniería básica disminuye un 6.3 % y las horas hombres requeridas en un 24 %.

6. Los contenidos de la ingeniería básica que son imprescindibles para asegurar la sustentabilidad económica del negocio minero y que por tanto no se pueden aplazar son el contenido de geología, geotecnia, evaluación de recursos, reestimación de envolvente económica, diseño minero, planificación minera, infraestructura principal, plan de producción, programa de desarrollo, sistema de manejo de materiales, requerimiento de equipos y flota y la evaluación económica.

7. Los contenidos de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería, que se pueden postergar a estudios posteriores de ingeniería corresponden al de hidrogeología, validación del método de explotación, sistema de abastecimiento de agua industrial, sistema de drenaje, sistema de comunicaciones e instrumentación, infraestructura para operación mina, el programa de obras y la declaración de reservas, cuya postergación reduce el tiempo de ingeniería básica en un mes y disminuye las horas de ingeniería en 4,330 horas.
8. En conclusión, el contenido más importante de la ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea es el de Evaluación Económica del Proyecto, puesto que entrega la inversión de capital requerida y los indicadores de evaluación para que el inversor tome la decisión de materializar el proyecto. Algunos de estos criterios o indicadores son el periodo de retorno de capital (cuándo se recupera la inversión inicial), la tasa interna de retorno (TIR) que refleja la rentabilidad promedio del proyecto y el valor presente neto del proyecto (VAN) cuyo resultado manifiesta el enriquecimiento económico del inversor. Todos estos indicadores van asociados a la precisión de la información que los sustenta y con ello la probabilidad de ocurrencia de cada uno.
9. Del análisis comparativo entre la fase de ingeniería conceptual e ingeniería básica de un proyecto de explotación subterránea de mediana minería se puede concluir que los contenidos de la ingeniería básica que demandan una mayor cantidad de horas hombre que su símil de ingeniería conceptual corresponden al de geotecnia, diseño minero, infraestructura operación mina y el plan de ejecución del proyecto.
10. Los contenidos de la ingeniería básica que demandan un mayor plazo de duración corresponden a la estimación de envolvente económica de reservas (80% más que su símil de la ingeniería conceptual), operaciones unitarias (83%), requerimiento de equipos (83%), sistema agua industrial (122%), sistema de drenaje (105%), sistema eléctrico (83%), infraestructura operación mina (105%) y el programa de obras (81%). Esto se debe a que generan más productos de ingeniería, tal como memorias de cálculo, planos de disposición general, diagramas unilineales, listado de equipos, especificaciones técnicas, hojas de datos, requisiciones, cotizaciones, desarrollo de bases técnicas de licitación, informes de ingeniería, talleres de ingeniería, lo cual demanda una mayor cantidad de recursos de tiempo y de horas hombre.
11. En relación al costo de hora hombre, se tiene que la ingeniería conceptual tiene un costo promedio de 85 US\$/HH y la ingeniería básica 72 US\$/HH; lo cual se debe principalmente a la calidad de profesional demandado por las etapas y a la cantidad de horas que participan cada uno, puesto que en la ingeniería conceptual el Jefe de Disciplina e Ingeniero Senior tienen una mayor participación en el total de horas hombre de la etapa, 26% y 36%

respectivamente. En cambio, en la ingeniería básica el Ingeniero Senior e Ingeniero tienen una mayor participación en el total de horas de ingeniería, 27% y 34% respectivamente.

12. Se observa que a medida que incrementa el costo de la ingeniería básica, aumenta el monto de inversión de capital de la iniciativa, lo que puede indicar una mayor envergadura y complejidad del proyecto, como también un desarrollo más amplio de ésta etapa de ingeniería (más Horas Hombre), con lo cual se logra una mayor precisión en el cálculo y estimación de todas las obras asociadas al proyecto (menor incertidumbre). El nivel de detalle de la información que se desarrolla en la ingeniería básica es clave para evaluar el costo de inversión de la iniciativa y obtener una aproximación certera del costo total del proyecto ($\pm 10-15\%$ con un 90% de probabilidad de ocurrencia) y con ello cuantificar con más exactitud los ingresos y rentabilidad de la extracción del mineral.
13. Como recomendación, es interesante medir el impacto de eliminar actividades de ingeniería prescindibles dentro de los contenidos indispensables de la ingeniería básica como por ejemplo en el plan de ejecución del proyecto, es posible aplazar a la siguiente fase el estudio de la empleabilidad en la zona del proyecto y la planificación de la puesta en marcha, del contenido de sistema de manejo de materiales es posible aplazar la simulación que se realiza, del contenido de ventilación es posible aplazar el cálculo de elementos de ventilación como mangas, compuertas y reguladores.
14. Además, es interesante desagregar las horas hombre de cada contenido de ingeniería básica en las horas hombre aportadas por cada disciplina o profesional, junto al costo de hora hombre por personal, de forma de observar el aporte de cada tipo de profesional al total del contenido y al total de la fase.
15. Como conclusiones generales se puede decir que la recopilación de información toma tiempo y maduración, por ende para apresurar la fase de ingeniería muchas veces se privilegia el avance y no la obtención de los datos necesarios, impactando en su desarrollo, en la calidad y la capacidad de entregar confianza al inversor en la toma de decisión de inversión.

6 Bibliografía

- Ahuja, H. N., Dozzi, S., & Abourizk, S. (1994). *Project Management Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*. New York: John Wiley and Sons.
- AngloAmerican. (2010). *The Anglo Projects Way Geosciences Disciplines*.
- COCHILCO. (2013). *Monitoreo de la Mediana y Pequeña Minería Chilena*.
- COCHILCO. (2015). *Inversión en la minería chilena-Cartera de proyectos 2015-2024*. Santiago. Obtenido de COCHILCO: <http://www.cochilco.cl/estudios/tema-inversion.asp>
- Consejo Minero. (2016). *Minería en Cifras*.
- Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. (s.f.). *Hidrología e Hidrogeología*. (F. J. Sánchez San Román, Ed.) Obtenido de Departamento de Geología, Universidad de Salamanca: <http://hidrologia.usal.es/>
- Dr. Andrew F. Griffith, P. (2005). *Scheduling Practices and Project Success. PS.05*. AACE International Transactions.
- HATCH. (2013). FEL Phases and Gate Reviews. En *Process Guide FEL 3* (pág. 3).
- HATCH. (2013). *Process Guide FEL 3*.
- Independent Project Analysis. (2015). *Independent Project Analysis, Inc*. Obtenido de Independent Project Analysis Web Site: <http://www.ipaglobal.com/>
- International Ergonomics Association. (2016). *Definition and Domains of Ergonomics*. Obtenido de IEA, International Ergonomics Association Web Site: <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- Mun, J. (2012). Obtenido de <http://www.realoptionsvaluation.com/attachments/rsmanual-spanish.pdf>
- Palisade Corporation. (2010). *Guía para el uso de @RISK*. Nueva York.
- Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (Fifth ed.).
- Reyes, G. (2014). Clase N°4 Gestión de Alcances. Slice 10. Santiago, Chile.
- Verschoor, J. (2005). *The Benefit of Monte Carlo Schedule Analysis*. AACE International Transaction.

7 Anexo

Anexo A

Tabla 51: Estadísticas Descriptivas de los Datos de Duración de los Contenidos de la Ingeniería Básica.

Estadísticas Descriptivas							
N°	Contenido de la Ingeniería Básica	Mínimo	Media	Máximo	Desviación Estándar	Varianza	Moda
1	Geología	1.5	2.0	2.5	0.354	0.125	2
2	Hidrogeología	1.0	1.4	2.0	0.415	0.172	1
3	Geotecnia	2.0	2.4	3.0	0.415	0.172	2
4	Evaluación de Recursos	0.8	1.2	2.0	0.480	0.230	1
5	Validación Método Explotación	0.3	0.7	1.0	0.325	0.105	1
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	0.5	0.7	1.0	0.207	0.043	0.5
7	Diseño Minero	2.0	2.6	3.0	0.415	0.172	3
8	Infraestructura Principal	1.0	1.2	1.5	0.207	0.043	1
9	Planificación Minera	2.0	2.5	3.5	0.612	0.375	2
10	Plan de Producción	1.0	1.3	1.5	0.207	0.043	1.5
11	Programa de Desarrollo	1.0	1.1	1.5	0.217	0.047	1
12	Sistema Manejo de Materiales	1.5	2.3	3.0	0.559	0.313	-
13	Operaciones Unitarias	0.8	1.0	1.3	0.177	0.031	1
14	Requerimiento de Equipos y Flota	0.8	1.0	1.3	0.177	0.031	1
15	Requerimiento de Mano de Obra	0.5	0.7	1.0	0.207	0.043	0.5
16	Sistema de Ventilación	1.5	2.3	3.0	0.559	0.313	-
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	1.3	1.9	2.5	0.451	0.203	-
18	Sistema de Drenaje	1.3	1.8	2.0	0.306	0.094	1.75
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	2.5	3.1	4.0	0.545	0.297	3
20	Sistema Comunicación e Instrumentación	1.0	1.6	2.0	0.370	0.137	-
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	0.8	1.0	1.3	0.177	0.031	1
22	Infraestructura Operación Mina	2.0	2.4	3.0	0.415	0.172	2
23	Declaración de Reservas Mineras	0.8	1.0	1.3	0.177	0.031	1
24	Programa de Obras	2.5	2.8	3.0	0.204	0.042	-
25	Plan de Ejecución	1.0	2.4	3.0	0.820	0.672	-
26	Evaluación Económica	1.0	2.0	3.0	0.707	0.500	2

De la Tabla 51 se identifica que los datos de duración de los contenidos de ingeniería básica que presentan una mayor desviación estándar corresponden al de planificación minera, plan de ejecución y la evaluación económica. Además los

contenidos que tienen una mayor diferencia entre el valor máximo y mínimo son el plan de ejecución y la evaluación económica.

Anexo B

Tabla 52: Estadísticas Descriptivas de los Datos de Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica.

Estadística Descriptiva					
N°	Contenido de Ingeniería Básica	Media [HH]	Desviación Estándar [σ]	Máximo [HH]	Mínimo [HH]
1	Geología	798	298	689	172
2	Hidrogeología	270	45	228	40
3	Geotecnia	1,742	487	2,501	574
4	Evaluación de Recursos	295	190	620	190
5	Validación Método Explotación	130	47	150	40
6	Reestimación Envolvente Económica de Reservas	252	34	294	34
7	Diseño Minero	1,367	249	1,105	181
8	Infraestructura Principal	901	166	795	117
9	Planificación Minera	1,024	255	1,420	309
10	Plan de Producción	534	80	435	32
11	Programa de Desarrollo	585	100	485	52
12	Sistema Manejo de Materiales	1,073	284	1,085	294
13	Operaciones Unitarias	440	108	375	60
14	Requerimiento de Equipos y Flota	543	78	440	28
15	Requerimiento de Mano de Obra	88	32	100	25
16	Sistema de Ventilación	778	225	680	156
17	Sistema Abastecimiento Agua Industrial	429	149	670	149
18	Sistema de Drenaje	617	138	740	220
19	Sistema Abastecimiento Eléctrico	646	170	864	170
20	Sistema Comunicaciones e Instrumentación	392	87	531	119
21	Requerimiento de Servicios y Suministros	367	115	538	115
22	Infraestructura Operación Mina	1,270	353	1,310	242
23	Declaración de Reservas Mineras	254	116	450	116
24	Programa de Obras	913	230	885	211
25	Plan de Ejecución	1,062	336	1,610	383
26	Evaluación Económica	851	260	1,225	340

De la Tabla 52: Estadísticas Descriptivas de los Datos de Horas Hombre de los Contenidos de Ingeniería Básica. se observa que los datos de hora hombre de los contenidos de ingeniería básica que presentan una mayor desviación estándar corresponden al de geotecnia, infraestructura para operación mina y el plan de ejecución.

Anexo C

Costos Actividades para Sustentar Ingeniería Básica

Tabla 53: Costos Utilizados en Proyectos.²²

Actividad	Valor	Unidad
Geólogo – Geotécnico	5,900	US\$/mes
Analista - Ayudante	295	US\$/día
Sondajes para Piezómetros	300	US\$/metro
Pruebas de Permeabilidad	1,000	UN
Mediciones de Esfuerzos (Hollow Inclusion)	25,000	UN
Ensayos de Corte Directo	300	UN
Ensayos de UCS a Testigos	120	UN
Sondaje Subterráneo Diamantina	440	US\$/metro
Sondaje Superficie Diamantina	220	US\$/metro

²² Obtenidos del proyecto SUR SUR Subterráneo de la División Andina, CODELCO.

Anexo D

Porcentaje de Participación por Profesional en la Ingeniería Básica

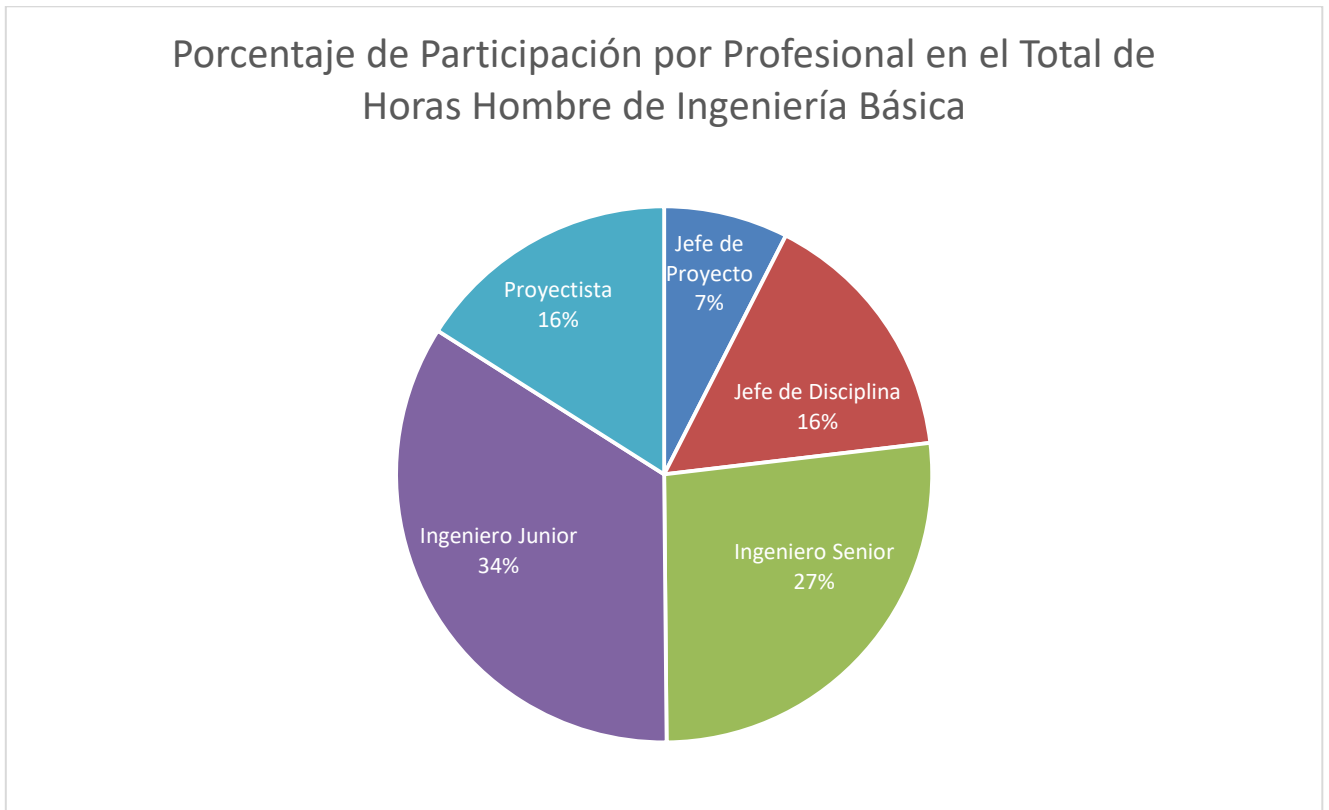


Gráfico 10: Participación por Profesional en el Total de Horas Hombre de la Ingeniería Básica.

Anexo E

Porcentaje de Participación por Profesional en la Ingeniería Conceptual



Gráfico 11: Participación por Profesional en el Total de Horas Hombre de la Ingeniería Conceptual.

Anexo F

Tabla 54: Información de los Proyectos en Estudio.²³

N° Proyecto	CAPEX [MUS\$]	Costo Ingeniería Básica [MUS\$]	Costo Ingeniería Conceptual [MUS\$]
PROYECTO 1	301	1.34	0.80
PROYECTO 2	220	0.87	-
PROYECTO 3	254	1.13	0.47
PROYECTO 4	287	1.27	0.80
PROYECTO 5	275	1.15	-

²³ Esta información se obtiene de la ingeniería básica de los cinco proyectos estudiados.

Anexo G

Tabla 55: Dotación de Personal de la Ingeniería Conceptual por Disciplina y Total.

Dotación de la Ingeniería Conceptual	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	Total
Dotación Minería	1	2	1	1	5
Dotación Geología, Hidrogeología y Evaluación de Recursos	1	1	1	-	3
Dotación Geomecánica	1	1	1	-	3
Dotación Piping	1	1	-	1	3
Dotación Eléctrica	1	1	-	1	3
Dotación Civiles y Estructuras	1	1	-	-	2
Total	6	7	3	3	19

Anexo H

Tabla 56: Dotación de Personal de la Ingeniería Básica por Disciplina y Total.

Dotación de la Ingeniería Básica	Jefe de Disciplina	Ingeniero Senior	Ingeniero	Proyectista	Total
Dotación Minería	1	2	4	1	8
Dotación Geología, Hidrogeología y Evaluación de Recursos	1	1	2	1	5
Dotación Geomecánica	1	1	1	-	3
Dotación Piping	1	1	1	2	5
Dotación Eléctrica	1	1	1	1	4
Dotación Civiles y Estructuras	1	1	1	-	3
Total	6	7	10	5	28