



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

ALINEAMIENTO DE LA SELECCIÓN DEL PIT FINAL CON LA
OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO ESTRATÉGICO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

FABIÁN ALBERTO MIRANDA JÉLDEZ

PROFESOR GUÍA:
SEBASTIÁN TRONCOSO BÓRQUEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CRISTIAN POBLETE MATAMALA
ANDRÉS SOLAR DROGUETT

SANTIAGO DE CHILE
2017

ALINEAMIENTO DE LA SELECCIÓN DEL PIT FINAL CON LA OPTIMIZACIÓN DEL SECUENCIAMIENTO ESTRATÉGICO

Tradicionalmente, el proceso de selección de *pit* final se ha llevado a cabo mediante gráficos que incluyen casos emblemáticos de secuenciamiento para las envolventes anidadas generadas por la parametrización del algoritmo de Lerchs y Grossmann. Estos casos emblemáticos, buscan establecer los márgenes superior e inferior en valor económico de la explotación, sin embargo, no consideran aspectos de carácter operacional, resultando prácticamente imposible recrear el valor propuesto en etapas posteriores de ingeniería. Por otro lado, la metodología tradicional opera en base a leyes marginales, por lo que entrega una incorrecta optimización de las escalas de producción. Es por esto, que la metodología propuesta en este trabajo, a través de la incorporación de más variables al proceso de selección de *pit* final y en base a la generación de planes mineros, para un conjunto de escenarios posibles, determinado en base diversas consideraciones y sugerencias de carácter técnico-operativo, pretende entregar una mejor definición de envolvente, alineando de esta manera, la selección del *pit* final con el secuenciamiento de fases preliminares y las escalas de producción.

El objetivo principal de este trabajo, es proponer, justificar y probar una metodología de planificación estratégica que permita obtener la mejor definición de envolvente económica. La metodología propuesta, comienza con una traducción de los objetivos estratégicos comúnmente seguidos por las compañías mineras a indicadores cuantificables en un plan de producción, para luego, establecer un marco de escenarios posibles de planificación, en base a diversas recomendaciones, para finalmente, proponer análisis de curvas y superficies de los indicadores estratégicos definidos en primera instancia, permitiendo así, la elección de la o las mejores envolventes económicas a cielo abierto.

Con el fin de probar el enfoque sugerido, se utilizó un caso de estudio correspondiente a un yacimiento real de cobre, se asumió un lineamiento orientado a la maximización del valor presente neto (VPN) y se consideraron escenarios de planificación con distintos tamaños de envolvente final, capacidades de minado y leyes de corte, para una capacidad de procesamiento fija de 15 Mt/año. Los principales resultados, mostraron que las envolventes finales que presentaron los mejores desempeños en cuanto a valor económico, tienen tonelajes cercanos a los 617 Mt, correspondientes a 367 Mt de estéril y 250 Mt de mineral. Además, la metodología permitió determinar la tasa de minado y la ley de corte que lograron los mejores resultados en cuanto a captura de renta económica para las variables evaluadas en ese tamaño de envolvente.

Se concluye finalmente, que la metodología aborda, entrega sugerencias y documenta temas que estaban poco documentados en la literatura con respecto al proceso de selección de la envolvente final y por lo tanto, cumple con el objetivo de ser una metodología más robusta. Es por esto que finalmente se recomienda el uso de este trabajo, como una herramienta válida y de apoyo al proceso de determinación del *pit* final.

ALIGNMENT OF THE FINAL PIT SELECTION WITH THE OPTIMIZATION OF STRATEGIC SEQUENCING

Traditionally, the final pit selection limits has been carried out by means of graphs that include sequencing cases for the envelopes and the generations by the parameterization of the algorithm of Lerchs and Grossmann, through factors modifying the price. These sequencing cases are the best and worst cases, which seek to establish the upper and lower margins in the economic value of the exploitation, however, do not consider the operational conditions, and it is practically impossible to recreate the value proposed in the later stages of engineering. On the other hand, the traditional methodology works on the basis of marginal cutoff grades, so it leads to an incorrect optimization of production scales. It is for this reason that the methodology proposed in this thesis, through the incorporation of more variables to the process of final pit selection limits and based on the generation of mining plans at strategic level, for a set of possible planning scenarios, determined based on various operational considerations and suggestions, it seeks a better definition of envelope, thus incorporating the selection of the final pits limits with the sequencing of pushbacks and production scales.

The main objective of this thesis is to propose, justify and test a strategic planning methodology that allows obtaining the best definition of open pit economic envelope in terms of different indicators commonly used in the evaluation of a strategic mining plan. The proposed methodology begins with a interpretation of the strategic objectives commonly followed by the mining companies to quantifiable indicators in a production mining plan, and then, to establish a framework of possible planning scenarios, based on justified and documented recommendations, to finally propose curves and surfaces analysis of strategic indicators defined in the first instance, thus allowing the choice of the best economic final pit limits.

In order to test the suggested approach, a real skarn-type poly-metallic deposit of copper was used, the strategic guideline was taken to maximize net present value (NPV) and considered planning scenarios with different final envelope sizes, mining capacities and fixed cutoff grades, for a fixed processing capacity of 15 Mt/year. The main results of the case study showed that the final envelopes that presented the best performances in terms of economic value have tonnages close to 617 Mt, corresponding to 367 Mt of waste and 250 Mt of ore upper the breakeven grade. In addition, the methodology allowed determining the mining rate and the fixed cutoff grade that obtained the best results in terms of NPV for the variables evaluated in that envelope size.

It is concluded that the methodology addresses, delivers suggestions and documents topics that were poorly documented in the literature regarding the process of selection of final pit limits and therefore, fulfills the objective of being a more robust methodology. It is for this reason that the use of this methodology is finally recommended, as a valid and supportive tool for the final pit determination process.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, a mis padres, Luis y Geny, por haber sido el pilar fundamental en todo mi proceso estudiantil, desde el colegio hasta la Universidad, gracias por su sacrificio y por siempre entregarme lo mejor de ustedes, su amor incondicional.

A mi tata y a mi tío Cesar, por animar cada fin de semana que pasé en Los Andes, me ayudaron enormemente a distenderme en momentos de alto estrés.

A María Angélica, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en el área de servicios de GEOVIA y a Cristian, por sus consejos y el enorme apoyo brindado durante todo el proceso que conllevó el desarrollo de este trabajo. Gracias por entregarme herramientas que sin duda me ayudarán a comenzar mi carrera como profesional.

Al profe Seba, por su gran compromiso y buena disposición a apoyarme desde el primer momento en que lo contacté. Gracias por instarme siempre a cuestionar las cosas más allá de lo sencillo, a través de críticas constructivas que apuntaron siempre a realizar un trabajo de excelencia. Junto a Cristian, fueron realmente los guías que necesité.

También agradezco a Andrés, por aceptar el desafío de participar en mi comisión evaluadora y responder en los momentos en los que solicité de su opinión.

A mis grandes amigos, los cabros, mi vecinito, mi tocayo, el gringo, mi perro, Felipito, Raulito, Oscarito, loco Agüero, Tomás, Cañon, Nuñez, Alvarito y los que se me queden en el tintero por cada momento, carrete, asado, junta y locura realizada en el periodo que viví como estudiante. De verdad que con ustedes mi paso por la Universidad se convirtió en una de las mejores etapas de mi vida.

A todos mis conocidos y las personas que forman parte del departamento de Ingeniería de Minas de la Facultad, incluyendo docentes y funcionarios. Particularmente agradezco a Nicole, por su gran apoyo en todo el proceso de titulación.

Finalmente, a todo el equipo de Dassault Systèmes Chile, especialmente a los del ala norte de la oficina, Carmencita, Mariana, Iván, Rodrigo, Esteban y Fabrizio, por acogerme y por haber hecho de mi estadía no una obligación, sino un placer. Mención especial a la Sra. Luz, por aguantarme hasta última hora las veces que me quedé hasta tarde en la oficina.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.1.3. Alcances.....	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Planificación Minera	4
2.2. Planificación minera estratégica.....	6
2.3. Planificación minera estratégica a cielo abierto.....	7
2.3.1. Enfoque integrado.....	7
2.3.2. Enfoque tradicional.....	8
2.3.3. Valorización del modelo de recursos mediante la configuración de los parámetros de entrada.....	9
2.3.4. Determinación de los límites de pit final utilizando restricciones geométricas y/o geomecánicas	10
2.3.5. Tasas de producción y leyes de corte.....	11
2.3.6. Elección del secuenciamiento de fases preliminares o <i>pushbacks</i>	12
2.3.7. Indicadores de desempeño utilizados en la evaluación de planes mineros a cielo abierto	16
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA.....	19
3.1. Interpretar objetivos estratégicos	20
3.2. Plantear escenarios de planificación	22
3.3. Ejecutar los escenarios y almacenar los resultados.....	31
3.4. Evaluar el rendimiento de las opciones.....	33
3.5. Seleccionar el Pit final.....	35
4. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	38
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	41
5.1. Descripción del yacimiento de estudio.....	41
5.2. Interpretar objetivos estratégicos	46
5.3. Plantear escenarios de planificación	47

5.3.1.	Rango de tamaños posibles del pit final	48
5.3.2.	Capacidades de mina.....	48
5.3.3.	Leyes de corte	49
5.3.4.	Consideraciones geométricas y de geometría de las fases.....	49
5.3.5.	Inversión estimada	51
5.4.	Ejecutar los escenarios y almacenar los resultados.....	52
5.5.	Evaluar el rendimiento de las opciones.....	53
5.5.1.	Análisis de acuerdo a la ley de corte.....	53
5.5.2.	Análisis de acuerdo a la capacidad de minado.....	56
5.5.3.	Análisis de acuerdo al tamaño del pit final	58
5.5.4.	Análisis de acuerdo a la geometría (número de fases).....	60
5.5.5.	Análisis de los planes mineros obtenidos para el mejor caso con el pit final de 743 Mt (RF 1) y el mejor caso con el pit final de 617 Mt	61
5.6.	Seleccionar el pit final.....	63
6.	DISCUSIÓN	64
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
7.1.	Conclusiones con respecto a la propuesta de la metodología	67
7.2.	Conclusiones con respecto al caso de estudio.....	68
7.3.	Recomendaciones.....	68
8.	BIBLIOGRAFÍA	69
9.	ANEXO.....	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1.	Fórmula del valor presente neto	17
Ecuación 2-2.	Fórmula del índice del valor actual neto.....	17
Ecuación 3-1.	Función polinómica aplicada para estimar la inversión asociada a cada punto de diseño	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Gráfico Pit anidado por Pit anidado	2
Figura 2-1.	Etapas consecutivas en el proceso de planificación minera.....	9

Figura 2-2. Escalando la colina de valor (Hill of value), (Hall, B. E., 2003)	12
Figura 2-3. Esquema de extracción Best case.....	13
Figura 2-4. Esquema de extracción Worst case	14
Figura 2-5. Planes mineros generados por los secuenciamientos del Best case (izq.) y del Worst case (der.), obtenidos por (Smith, 2001).....	14
Figura 2-6. Planes mineros generados por los algoritmos <i>Milawa Balanced</i> (izq.) y <i>Milawa NPV</i> (der.), obtenidos por (Smith, 2001).....	15
Figura 3-1. Pasos generales de la metodología propuesta	20
Figura 3-2. Indicadores estratégicos a priorizar para los objetivos de rentabilidad mínima exigida (izq.), maximizar la riqueza de los accionistas (centro) y mantener una posición de liderazgo en el mercado (der.)	21
Figura 3-3. Indicadores estratégicos a priorizar para los objetivos de mantener una posición de estabilidad en el mercado (izq.), maximizar la recuperación de reservas (centro) y obtener flujos de caja positivos anticipadamente (der.).....	22
Figura 3-4. Indicadores estratégicos a priorizar para el objetivo de copar la capacidad de los activos.	22
Figura 3-5. Gráfico Pit anidado por Pit anidado	24
Figura 3-6. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para un yacimiento de Cu particular	25
Figura 3-7. Plan minero estratégico obtenido mediante el algoritmo <i>Milawa NPV</i> y sin limitar la capacidad de minado a leyes marginales y sin considerar el uso de <i>stockpiles</i>	26
Figura 3-8. Plan minero estratégico obtenido mediante el algoritmo <i>Milawa NPV</i> y sin limitar la capacidad de minado, a leyes marginales y sin considerar el uso de <i>stockpiles</i>	26
Figura 3-9. Regresión polinomial ajustada a los datos de inversión en plantas de procesamiento según informe de (COCHILCO, 2015).....	27
Figura 3-10. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para un yacimiento de Cu particular	29
Figura 3-11. Vista de perfil Este-Elevación del modelo de recursos utilizado como ejemplo para determinar la curva tonelaje-ley de la figura 3.10, filtrado por una ley de 1.6% Cu.....	30
Figura 3-12. Visualización de perfil, considerando 6 envolventes anidadas como <i>pushbacks</i>	31
Figura 3-13. Plan minero estratégico para un pit final de 687 Mt utilizando una capacidad de minado de 50 Mt/año y una ley de corte fija de 0.45%Cu mediante el algoritmo <i>Milawa NPV</i> .	32
Figura 3-14. Ejemplo de gráfico de superficie: Colina de valor (VPN) para distintas capacidades de minado y distintos valores de leyes de corte para el Cu	34
Figura 3-15. Ejemplo de gráfico tipo: Curvas de valor (VPN) en función de la capacidad de minado para distintos valores de leyes de corte de Cu	35
Figura 3-16. Costo caja promedio, para distintas envolventes finales, a una tasa de minado de 70 Mt/año	36
Figura 3-17. Toneladas de Cu fino producido al año, para distintas envolventes finales, a distintas leyes de corte de Cu.....	37
Figura 3-18. Toneladas totales de Cu fino producido a lo largo de la vida de la explotación, para distintas envolventes finales, a distintas leyes de corte de Cu.....	37

Figura 5-1. Curva Tonelaje-Ley de Cu del yacimiento completo para el mineral de sulfuro primario.....	42
Figura 5-2. Perfiles Este-Elevación del modelo filtrado por la ley de Au marginal (izq.) y por la ley de Ag marginal (der.)	43
Figura 5-3. Perfil Este-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre	44
Figura 5-4. Vista isométrica desde el Nor-Este del modelo de recursos filtrado por la ley de corte marginal de cobre.....	44
Figura 5-5. Vista en planta sin topografía mostrando un corte en la coordenada 125,000 Este...	45
Figura 5-6. Corte sección vertical en la coordenada 125,000 Este	45
Figura 5-7. Vistas en planta para las cotas 4,000 (izq.) y 4,100 (der.)	45
Figura 5-8. Perfil Este-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre	46
Figura 5-9. Perfil Norte-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre	46
Figura 5-10. Plan minero estratégico para el Pit a RF 1 del yacimiento de estudio obtenido mediante el algoritmo <i>Milawa NPV</i> y sin limitar la capacidad de minado, a leyes marginales y sin considerar el uso de <i>stockpiles</i>	48
Figura 5-11. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para el yacimiento en estudio.....	49
Figura 5-12. Visualización de perfil, considerando 4 envolventes anidadas como <i>pushbacks</i> , para el pit a RF 1	50
Figura 5-13. Flujo de trabajo seguido en la aplicación de la metodología propuesta mediante el software GEOVIA Whittle	51
Figura 5-14. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.15% Cu.....	54
Figura 5-15. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.25% Cu.....	54
Figura 5-16. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.45% Cu.....	55
Figura 5-17. <i>Payback</i> descontado para distintas tasas de minado y a una ley de 0.65% Cu.....	55
Figura 5-18. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de <i>pit</i> final y tasas de minado a una ley de 0.55% Cu	56
Figura 5-19. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de <i>pit</i> final y leyes de corte para el Cu, a una tasa de minado de 50 Mt/año	57
Figura 5-20. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de pit final y leyes de corte para el Cu, a una tasa de minado de 60 Mt/año	57
Figura 5-21. VPN por tamaño de pit final a distintas leyes de corte para el Cu, y para una capacidad de minado de 70 Mt/año	58
Figura 5-22. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 514 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu.....	59
Figura 5-23. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 617 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu.....	59
Figura 5-24. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 743 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu.....	60
Figura 5-25. Visualización en planta de las fases preliminares óptimas obtenidas para el pit final de tamaño 617 Mt utilizando 4 fases (izq.) y 5 fases (der.).....	61

Figura 5-26. Visualización en perfil Norte-Cota de las fases preliminares óptimas obtenidas para el pit final de tamaño 617 Mt utilizando 4 fases (superior) y 5 fases (inferior)	61
Figura 5-27. Plan minero estratégico para el pit final de 617 Mt utilizando una capacidad de minado de 70 Mt/año y una ley de corte fija de 0.65%Cu.....	62
Figura 5-28. Plan minero estratégico para el pit final de 743 Mt utilizando una capacidad de minado de 70 Mt/año y una ley de corte fija de 0.65%Cu.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Enfoques de cada subgrupo en planificación	5
Tabla 2-2. Objetivos estratégicos de algunas compañías mineras.....	6
Tabla 3-1. Variables y parámetros de entrada utilizados en planificación minera estratégica a cielo abierto.....	19
Tabla 3-2. Ejemplo de matriz de experimentos	23
Tabla 3-3. Estimación del CAPEX para distintos escenarios de capacidad de procesamiento, minado y tamaño de la envolvente final.	28
Tabla 3-4. Ejemplo de tabla tipo, para almacenar los resultados obtenidos de cada escenario planteado.....	32
5-1. Información del yacimiento completo.....	41
Tabla 5-2: Parámetros técnico-económicos.....	42
Tabla 5-3: Parámetros técnico-económicos.....	42
Tabla 5-4. Estimación del CAPEX para distintos escenarios de capacidad de procesamiento, minado y tamaño de la envolvente final.	52
Tabla 5-5. Extracto de la tabla usada para almacenar los resultados de los 1,800 escenarios de planificación.....	52

1. INTRODUCCIÓN

Desde el surgimiento de las primeras civilizaciones, es que la extracción de recursos naturales ha tenido un papel importante, en principio sirviendo para la confección de distintas herramientas, utensilios y armas, hasta convertirse en una potente industria caracterizada por el uso intensivo de capital. Este último punto, sumado a que en tiempos actuales, la demanda por recursos naturales es cada vez mayor y la disponibilidad de estos recursos es cada vez más limitada, han hecho que la industria requiera de procesos cada vez más eficientes en la determinación de cuáles, cómo y cuándo extraer estos recursos. La planificación minera, es justamente el área de la minería que se encarga de responder estas, y otras preguntas.

Se entiende por planificación minera, al proceso mediante el cual se determina la mejor estrategia de extracción de los recursos presentes en un yacimiento mineral dado, de acuerdo y en sintonía a los objetivos estratégicos que tenga la compañía explotadora o dueña del yacimiento. En particular, la planificación minera estratégica es el área de la planificación minera que se encarga de integrar y alinear estos objetivos estratégicos con el proceso de planificación, involucrando continuos ajustes en respuesta a los cambios producidos en el ambiente empresarial o de negocios.

Una de las primeras decisiones en este proceso de búsqueda de la mejor estrategia, es la selección del mineral que económicamente llevará al mejor negocio productivo del recurso (para los parámetros considerados), i.e. la definición de la envolvente económica. La importancia de definir adecuadamente este límite, entre el material que será procesado y el que será descartado, es el poder establecer la base sobre la cual la planificación minera trabajará para obtener finalmente un plan minero que transforme los recursos a extraer, en la mejor promesa productiva para el dueño.

Específicamente, en minería a cielo abierto, y bajo el contexto de la manera tradicional de planificación, la definición de la envolvente económica se traduce en la selección de un límite de *pit* final, que como se dijo en el párrafo anterior, establecerá la frontera del material que deberá ser explotado. Hay otras metodologías, como el secuenciamiento directo, que no necesitan como punto de partida la selección de un límite espacial de explotación, ya que resuelven el problema de la planificación minera (espacial y temporal) en un solo paso. La metodología propuesta en este trabajo tiene alcance en la manera tradicional de resolver el problema de planificación, específicamente en el problema espacial, de determinación de la envolvente final.

Antes de escoger límite, se debe establecer con claridad, cuál será el criterio de selección. La mayoría de las compañías mineras buscan maximizar el valor económico para sus accionistas, y usualmente este objetivo se logra a través de la maximización del valor presente neto (VPN) de los flujos de caja obtenidos de la venta del producto final de la operación, sin embargo, hay compañías que establecen otros objetivos como maximizar la extracción de recursos o mantener un costo menor que un determinado límite, es por esto, que es importante que la metodología de selección de envolvente esté alineada con la estrategia corporativa.

En la figura 1.1, se muestra un ejemplo del gráfico *Pit a Pit*, usualmente utilizado para orientar la selección de la envolvente. En este gráfico se muestran los tonelajes de estéril y de mineral para cada *pit* anidado, obtenido mediante la parametrización del algoritmo de Lerchs y Grossmann (LG) por factores de ajuste al precio del metal de interés, además, se muestran dos curvas que representan el beneficio descontado para cada *pit* de dos casos emblemáticos de agendamiento, el *best case*, que representa una extracción *pit* anidado por *pit* anidado y el *worst case*, que representa una extracción banco a banco. A menudo, la utilización de estos dos casos emblemáticos produce un amplio rango de envolventes que podrían ser consideradas como *pit* final, esto se puede notar en la figura 1.1, donde el límite económico se podría encontrar entre los *pits* 10 y 28, cuyo rango en tonelajes va desde los 200 Mt, hasta los 750 Mt, aproximadamente. Para seleccionar cuál de estas envolventes será utilizada finalmente como la frontera de explotación, es que se han desarrollado distintas metodologías, como el *Skin Analysis* propuesto por Hanson, Hodson y Mullins (2001) y otras como seleccionar el *pit* cuyo promedio de beneficio entre los casos emblemáticos sea el más elevado o simplemente el *pit* cuyo beneficio del *best case* sea el máximo o hasta incluso, un porcentaje del máximo. Lo que tienen en común estas metodologías es que son muy dependientes del criterio del ingeniero planificador, contribuyendo a que el proceso de selección esté poco documentado y consecuentemente, poco alineado con los objetivos estratégicos que mueven a los dueños del yacimiento.

Autores como (Caccetta & Hill, 2003) señalan que a pesar de que el secuenciamiento *best case* busca representar la mejor opción de explotación, esta no necesariamente provee un límite superior al valor presente.

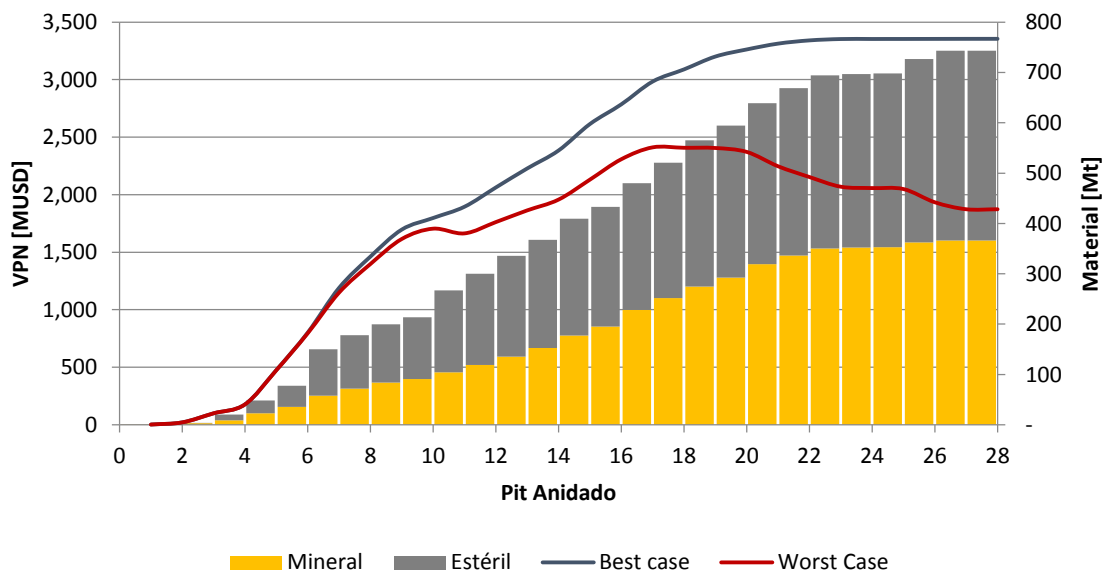


Figura 1-1. Gráfico Pit anidado por Pit anidado

Otro de los aspectos que se puede discutir en relación a la utilización de gráficos de este tipo, es que el algoritmo utilizado para obtener los *pits* anidados (LG), entrega una solución geométrica de bloques que no considera un factor de descuento asociado a la temporalidad de los beneficios

obtenidos por la extracción de los bloques, sino que asume que la extracción se lleva a cabo de forma simultánea, problema que comúnmente deriva en la elección de envolventes finales mayores a las óptimas desde el punto de vista económico. En adición a estas dificultades, en los secuenciamientos emblemáticos tampoco se consideran cuestiones como la variación de las capacidades de procesamiento y minado, además de aspectos operacionales como tasas de avance vertical (*sinking rate*) o anchos mínimos de operación. Estos últimos problemas y los demás nombrados, finalmente desencadenan que la decisión sea tomada bajo un marco poco realista y/o informado, provocando expectativas de valor económico que posteriormente son transformadas en decepción, al no alcanzar los valores prometidos.

Sin perjuicio de los asuntos anteriormente nombrados, es que el presente trabajo de título no busca desacreditar formas de trabajo, que sin duda, se han aplicado con éxito en muchas de las operaciones mineras que se encuentran activas hoy en día, sino más bien, lo que se persigue es proponer una metodología que considere estos aspectos, en pos de realizar una selección de envolvente final a cielo abierto más realista, rigurosa y en sintonía con los objetivos estratégicos definidos por la compañía minera dueña del yacimiento.

1.1. Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos definidos para el trabajo.

1.1.1. Objetivo General

Proponer, justificar y probar una metodología de planificación estratégica que permita tomar la mejor definición de envolvente de *pit* final.

1.1.2. Objetivos Específicos

Identificar los objetivos estratégicos de una compañía e incorporarlos al proceso de selección del *pit* final y la secuencia de fases preliminares.

Definir un conjunto de escenarios posibles de planificación que permitan evaluar el desempeño técnico y económico de planes de producción asociados a secuenciamientos óptimos de fases preliminares de distintas envolventes finales.

Proponer análisis de tablas y gráficos que incorporen el aspecto multidimensional de las variables involucradas en la definición de la envolvente económica.

Aplicar la metodología a un modelo de recursos de un yacimiento mineral real mediante la utilización de herramientas computacionales específicas.

1.1.3. Alcances

El siguiente trabajo se enmarca en la planificación estratégica de minería a cielo abierto y en las decisiones que son competentes a este tipo de planificación. El enfoque abordado para cada uno de los planes de mineros presentados en este trabajo es a escala de vida mina, a través de periodos anuales de producción basados en el secuenciamiento de unidades fase-banco. Queda fuera del

alcance de este trabajo, aspectos de la planificación táctica y la planificación operativa. Tampoco se consideran rampas y otros elementos de acceso a las envolventes anidadas utilizadas como límites de *pit* final.

Las variables de planificación en las que se basó la metodología presentada en el siguiente trabajo, fueron las siguientes:

- Capacidad de mina
- Capacidad de procesamiento
- Criterio de entrada a proceso, aplicado como una ley de corte fija
- Tamaño del *pit* final
- Consideraciones operativas y de geometría aplicadas al proceso de selección de fases

Su utilización se debió al mayor control que posee el ingeniero planificador sobre ellas, en comparación a variables que dependen en mayor medida a factores externos, como los precios de los elementos de interés, recuperaciones metalúrgicas o aspectos geomecánicos como el ángulo de talud global. Además, las variables consideradas se pueden sensibilizar en virtud de los aspectos sobre los cuales se tiene incertidumbre, pero se aclara, que no está dentro del alcance de este trabajo realizar esta sensibilización, ni contemplar el efecto de la incertidumbre de factores externos en las variables consideradas.

Para efectos de la prueba de la metodología, se aclara que la selección de fases llevada a cabo, se traduce en el conjunto de envolventes anidadas intermedias, que maximizan el valor económico del plan, considerando restricciones operativas, como anchos mínimos de expansiones y fondos. El algoritmo utilizado para este proceso de selección es el llamado *Milawa NPV*, que mediante programación lineal y una heurística de resolución define este conjunto de envolventes anidadas.

El conjunto de escenarios factibles en planificación queda determinado por la combinación de los distintos valores posibles determinados para las anteriormente nombradas variables de planificación. Se documentan además, diversas consideraciones y sugerencias para establecer el denominado “conjunto de escenarios posibles de planificación”.

2. ANTECEDENTES

2.1. Planificación Minera

De manera global, la planificación minera se puede definir como el proceso mediante el cual se obtiene la porción del recurso mineral de un yacimiento que llevará al mejor negocio productivo, de acuerdo y en sintonía a los objetivos estratégicos del dueño y considerando distintos factores restrictivos, como la disponibilidad de recursos materiales, humanos y financieros, además de los aspectos climáticos, legales, sociales y de medio-ambiente. Para llevar a cabo este proceso de la mejor manera, es que la planificación se divide en tres subgrupos:

Planificación estratégica, que se encarga íntegramente de alinear los objetivos estratégicos de la compañía al proceso de planificación. Se utilizan factores que tienen que ver con el valor del recurso minero y en cómo este influye en las decisiones que la compañía requiera tomar, dado el ambiente de negocios y de mercado bajo el cual esté inmersa la futura explotación.

Planificación táctica, que fundamentalmente, se basa en las acciones requeridas para alcanzar los objetivos determinados por la planificación estratégica, con la restricción de los recursos que hay disponibles. Materias concernientes a este tipo de planificación por ejemplo son la implementación del plan estratégico, mediante la identificación y localización de los recursos necesarios para llevar a cabo ese plan.

Planificación operativa, que se encarga de la ejecución de los planes definidos en la planificación táctica, abarcando aspectos técnicos que tienen que ver con el desempeño de los equipos utilizados en la operación. También, este tipo de planificación se focaliza en la optimización de las rutas de carguío, los tiempos de mantenciones y el cumplimiento de las metas productivas a corta escala. Un aspecto destacable, de este tipo de planificación, es que permite retroalimentar a los niveles táctico y estratégico debido a su gran capacidad de recolectar datos directamente de la operación.

En la tabla 1, se aprecia una comparación entre los enfoques de cada tipo de planificación, basado en las percepciones de (Kear, 2006)

Tabla 2-1. Enfoques de cada subgrupo en planificación

Planificación estratégica	Planificación táctica	Planificación operativa
-Define la estrategia para alcanzar los objetivos	-Implementa la estrategia para alcanzar los objetivos	-Alcanza los objetivos
-Determina las restricciones	-Usa las restricciones	-Informa la ocurrencia de nuevas restricciones
-Analiza los escenarios disponibles	-Analiza prácticas operativas	-Implementa prácticas operativas
-Estructura abierta o flexible	-Estructura cerrada o rígida	-Estructura cerrada o rígida

En definitiva, el ambiente estratégico se encarga de definir y alinear el objetivo, mientras que el ambiente táctico, se encarga del cumplimiento de ese objetivo. Uno de los focos de la planificación táctica para (Kear, 2006), es que una vez que se ha delineado el cómo se va a llevar cabo la implementación del objetivo estratégico, comúnmente a través de metas productivas expresadas en toneladas de mineral, esta se alcance a los menores costos, a diferencia de la planificación estratégica, en donde el foco está puesto en la obtención del mejor negocio posible,

que muchas veces, se condice con obtener el mayor valor económico. Finalmente, también es importante señalar, que la planificación estratégica, debe estar presente en toda la etapa de vida de un proyecto, y también debe estar en constante evaluación, debido a los cambios que hay en las condiciones externas del negocio, como el precio de los *commodities*.

2.2. Planificación minera estratégica

Para entender de mejor manera a la planificación estratégica, es necesario definir que es un objetivo estratégico. Este se describe, como las distintas metas propuestas por una organización para alcanzar su desarrollo y permanecer en actividad. Si la componente estratégica no está clara, es común, según (Kear, 2006) que la organización comience a tener problemas en el corto plazo, lo que ocasionará que la componente operativa y táctica se vean obligadas a realizar cambios rápidos en sus actividades en poco tiempo para alcanzar sus metas productivas. Este hecho redundará eventualmente en una pérdida de los estándares operacionales, exacerbando los problemas.

En la siguiente tabla, se muestran en sólo una frase los objetivos estratégicos definidos por tres grandes compañías mineras, obtenidos de sus páginas *web* corporativas.

Tabla 2-2. Objetivos estratégicos de algunas compañías mineras

Compañía	Objetivo estratégico
-AngloAmerican	<i>“Generar rentabilidad para nuestros accionistas”</i>
-BHP	<i>“Crear valor a largo plazo para nuestros accionistas”</i>
-CODELCO	<i>“Maximizar en el largo plazo nuestro valor económico y los respectivos aportes al Estado”</i>

Por ser un proceso de ingeniería, necesariamente la planificación minera requiere de indicadores cuantificables, y como se puede notar, ninguno de los objetivos anteriores hace referencia explícita a algún indicador de desempeño o alguna métrica que permita cuantificar el cumplimiento de ese objetivo, ni menos a alguna variable de planificación o algún aspecto con un sentido más minero, por lo tanto, la pregunta que surge es ¿cómo interpreto ese objetivo estratégico?

Para responder a la pregunta anterior, es que se hace necesaria una transformación de la estrategia a indicadores cuantificables que sean función de las variables de planificación, alineando de esta manera, el objetivo o la interpretación del objetivo, con el proceso.

A juicio del autor y en complemento a la opinión de Reyes, es que al menos se distinguen 7 estrategias o formas de alcanzar los objetivos establecidos por una compañía minera. (G. Reyes, comunicación personal, 18 de mayo de 2017). Estos se detallan a continuación:

1. Obtener una rentabilidad mínima exigida, considerando a la rentabilidad como el beneficio obtenido en forma de proporción de la inversión o desembolso inicial.
2. Maximizar la riqueza de los accionistas mediante la maximización del valor presente neto (VPN).
3. Ejercer una posición de liderazgo dentro del mercado, a través de la maximización de la producción de metal fino por periodo.
4. Mantener una posición de estabilidad a largo plazo en el mercado.
5. Maximizar la recuperación de reservas. (Entendiendo el término “reserva”, en un sentido más coloquial y no por su definición más estricta dada en varios códigos de reporte de reservas y recursos mineros)
6. Obtener flujos de caja positivos anticipadamente en el tiempo.
7. Copar la capacidad de los activos disponibles.

Si bien, algunas de las estrategias anteriores son complementarias entre sí, no todas presentan esta característica. Puede darse el caso, que para llevar a cabo una estrategia determinada, necesariamente se deba restringir el cumplimiento de otra. Debido a esto, muchas veces la planificación debe enfrentar distintos *trade-off*, donde si no se tiene claro la prioridad a nivel de estrategia de la organización, difícilmente se podrán obtener los mejores resultados. En este aspecto, el presente trabajo busca robustecer la selección de la envolvente económica, de manera de que la planificación pueda mantenerse alineada a los objetivos estratégicos, intentando no desviarse. Todo esto, bajo el contexto de la manera tradicional de planificación, que actualmente, sigue siendo la más utilizada en la industria.

A pesar de que en las definiciones estratégicas no se hace mención a la división entre las operaciones mineras a cielo abierto y subterráneas, el método de explotación también es una variable, pero en el presente trabajo se estableció como alcance el método minero por cielo abierto. En los capítulos siguientes se presentan antecedentes relacionados a la planificación estratégica en este tipo de minería.

2.3. Planificación minera estratégica a cielo abierto

Para resolver el problema de la planificación minera a cielo abierto, consistente en la generación de un plan minero que represente una promesa de producción para el dueño, es que típicamente se han utilizado dos enfoques, uno denominado como integral y el otro como tradicional.

2.3.1. Enfoque integrado

Este enfoque, como su nombre lo dice, corresponde a una perspectiva integrada, que resuelve en un solo paso el problema espacial (determinación del límite de la explotación) y el plan minero (aspecto temporal). El método de resolución detrás de este enfoque, corresponde a la programación entera mixta (MIP, por sus siglas en inglés). Este método de resolución, incorpora variables enteras que modifican las restricciones de secuencia de extracción. Se busca eliminar el problema del minado parcial de bloques, que está permitido siempre y cuando los bloques del banco superior han sido removidos completamente. Este modelo, al incorporar la restricción del

minado parcial, resulta en una secuencia de extracción más continua y práctica, sin embargo, posee un número de variables binarias igual al número de bloques a secuenciar multiplicado por el número de períodos. Por ejemplo, si el *pit* final posee 10,000 bloques a ser extraídos en 5 períodos, la forma tradicional de la MIP involucrará determinar 50,000 variables binarias que determinarán en qué periodo es minado cada uno de los bloques. Con el objetivo de reducir las variables y restricciones que complican a la programación entera mixta y transformar el problema a una formulación más tratable, es que se han desarrollado distintos métodos de simplificación del problema, uno de ellos es la relajación lagrangeana, propuesto inicialmente por Dagdelen y Johnson (1986), se basa en la utilización de multiplicadores de *Lagrange* para relajar las restricciones asociadas a las capacidades de minado y de procesamiento, e incluirlas en la función objetivo del problema de maximización del valor presente asociado a la secuencia de extracción. Esta técnica permite abordar el problema multi-período como optimizaciones de un solo período ejecutadas en forma sucesiva, mediante algoritmos de clausura máxima o de flujo máximo en redes (Tales como LG o *Pseudoflow*). Por otra parte Cacceta y Hill (2003), presentaron un modelo MIP con una estrategia de *Branch and Cut*, obteniendo resultados interesantes. Entre otras características relevantes, los autores señalan que el método desarrollado contempla solo aquellos bloques incluidos en la envolvente económica final, y utiliza una estrategia que privilegia la búsqueda rápida de una buena secuencia, antes de profundizar en el árbol generado. Ellos usan su propia caracterización del problema para elegir que variable fijar y de qué manera cruzar el espacio completo de soluciones. También mediante programación entera mixta, Ramazan y Dimitrakopoulos (2004) presentan una descripción general de la formulación del problema de secuenciamiento. Ellos apuntan a maximizar el valor presente neto global del mineral de la mina sujeto a las limitaciones del ángulo de talud, requerimientos de mezcla de leyes, producción de mineral y capacidad de la mina. Proponen reducir el número de variables binarias mediante la separación de los bloques valorados positivamente (los cuales llaman como bloques de “mineral”) de los bloques valorados negativamente (que son denominados “estéril”). Sólo los bloques de mineral son definidos como binarios, mientras que los bloques de estéril siguen como remanentes que permitirán la excavación. Este análisis muestra que este esquema puede reducir significativamente el tiempo de solución.

2.3.2. Enfoque tradicional

El segundo enfoque, que es el abordado en el presente trabajo, se encarga de resolver el problema de planificación en etapas sucesivas, primero trata el problema espacial de determinación de los límites de la explotación o límite de *pit* final y luego trata con el problema temporal asociado al secuenciamiento y la generación del plan minero. Según (Gaupp, 2008), la principal desventaja de este enfoque es que se sacrifica la optimalidad del plan minero, ya que la separación de las etapas obliga al planificador a tomar decisiones concernientes a una etapa, sin la información de las siguientes.

Tradicionalmente, según (Hekmat, 2016), la base sobre la cual la planificación minera estratégica a cielo abierto busca determinar el mejor resultado, se puede subdividir en los siguientes puntos:

- Diseño de la forma y extensión de los límites de *pit* final.

- Definición de la secuencia de extracción óptima.
- Definición del destino de cada bloque del modelo de recursos.
- Establecimiento de la tasa a la cual el depósito debe ser minado o procesado.

El camino para resolver los aspectos anteriores, como se dijo al inicio de este capítulo, ha sido separando el problema en etapas consecutivas, las cuales se muestran en la figura 2.1 y se detallan en las siguientes subsecciones de este capítulo.

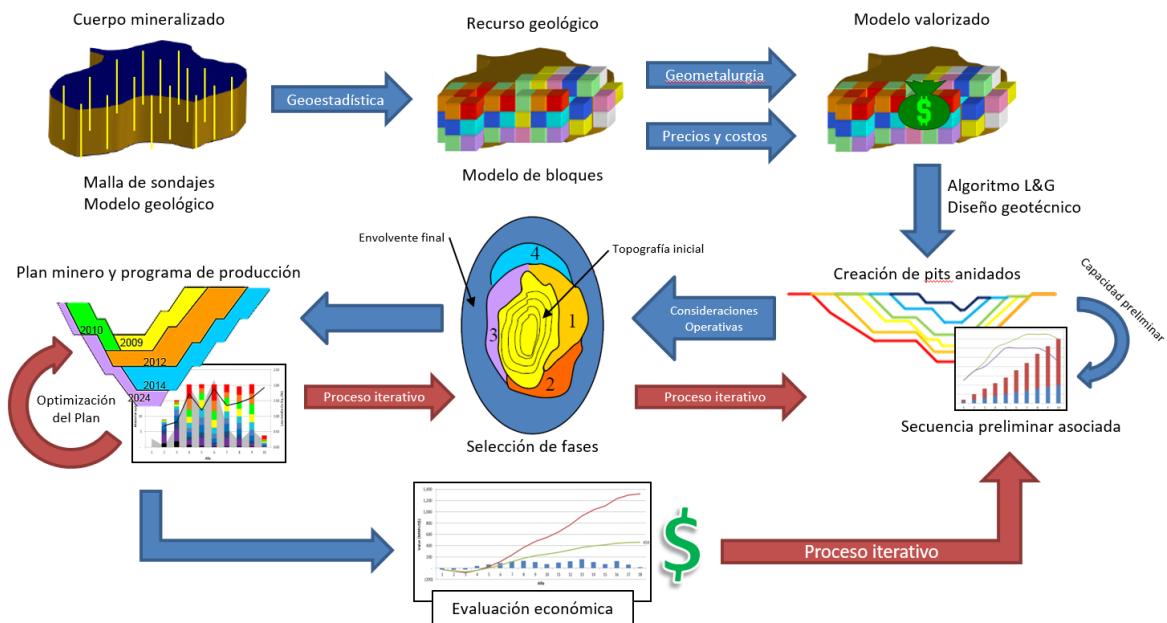


Figura 2-1. Etapas consecutivas en el proceso de planificación minera

1. Valorización del modelo de recursos mediante la configuración de los parámetros de entrada.
2. Determinación de los límites de *pit* final utilizando restricciones geométricas y/o geomecánicas.
3. Elección del secuenciamiento de fases preliminares o *pushbacks*.
4. Definición de un plan minero que permita fijar el mejor destino para los bloques contenidos en cada *pushback*

2.3.3. Valorización del modelo de recursos mediante la configuración de los parámetros de entrada

La planificación comienza con la valorización de cada bloque presente en el modelo de recursos, esta valorización se realiza en base a los parámetros económicos y técnicos definidos para este proceso, como estimaciones de los precios de los elementos de interés, costos asociados a la extracción, procesamiento y venta de cada bloque y también estimaciones de los procesos geometalúrgicos asociados a la extracción del metal fino contenido en los bloques de mineral. El resultado de esta primera etapa es el beneficio neto atribuible a la extracción de cada bloque del

modelo de recursos, este proceso permitirá obtener en una primera instancia el mineral que su extracción genera beneficio positivo del resto del material.

2.3.4. Determinación de los límites de pit final utilizando restricciones geométricas y/o geomecánicas

Luego de esta primera valorización y considerando restricciones geométricas y geomecánicas del modelo de bloques, se utilizan algoritmos matemáticos para definir la envolvente económica o rajo que maximice el beneficio de los bloques que la envolvente captura. Posteriormente, mediante la utilización de factores multiplicadores para variar el precio, es que se obtienen distintas expansiones o contracciones de la envolvente económica, constituyéndose así, los denominados *pits* anidados, que según la bibliografía, corresponden a la base del secuenciamiento de fases de minado del esquema tradicional en planificación estratégica.

La determinación de la envolvente económica, corresponde al aspecto espacial de la solución y en relación a este, se puede decir que ha sido ampliamente estudiado, desde el uso de metodologías manuales, que actualmente se encuentran en desuso, hasta la utilización de algoritmos computacionales y heurísticas de resolución, entendiéndose por heurística, una serie de pasos computacionales, que permiten llegar a una solución que puede o no ser óptima.

La primera aproximación a los límites del *pit* final, está dada por el conjunto de bloques pertenecientes a un modelo de recursos particular con una configuración de parámetros de entrada, que maximizan el beneficio no descontado resultante de su extracción, siguiendo restricciones de precedencia, dadas por los ángulos de talud a respetar. Según (Gaupp, 2008), el límite de *pit* final representa la frontera estática de bloques que maximizan el valor no descontado del mineral presente en un yacimiento. En cuanto a los algoritmos que determinan esta frontera estática, una primera línea de resolución la entregan los métodos de conos flotantes, que tienen la característica de ser algoritmos simples y de rápida solución. En pocas palabras, estos métodos se basan en una rutina que pregunta a cada bloque con beneficio positivo del modelo la conveniencia de extraer o no ese bloque, dada la sobrecarga que tenga el bloque de acuerdo al ángulo de talud definido. Desventajas de estos métodos son el solapamiento que se produce entre conos y que sus resultados no garantizan el óptimo. (Lemieux. M, en 1979) intenta abordar los problemas de los métodos de conos flotantes tradicionales mediante una versión mejorada denominada método del cono flotante optimizante.

Un paso delante de las soluciones mediante conos flotantes, está el conocido algoritmo de Lerchs y Grossmann (Lerchs and Grossmann, 1965), que garantiza la optimalidad de la solución mediante la envolvente de *pit* final que maximiza el beneficio no descontado. Este método se basa en la utilización de un grafo de arcos direccionados que representa al modelo de recursos valorizado de acuerdo a los parámetros de entrada adoptados, y cuyas direcciones se configuran de acuerdo a las restricciones geomecánicas de ángulos de talud mínimos y de geometría, marcando las precedencias de cada bloque. El algoritmo finalmente encuentra el subgrafo de mayor beneficio neto no descontado.

Siguiendo esta misma línea, (Hochbaum, 1997), hace una revisión del algoritmo de Lerchs y Grossmann, destacando que este resuelve el problema de mínimo corte y también propone una mejora que agrega el concepto de máximo flujo del grafo asociado a las precedencias del modelo de bloques. Esta solución sentaría las bases de lo que se conoce como el algoritmo *Pseudoflow*, para resolver el problema del *pit* final de forma más eficiente.

El estado del arte en cuanto a la determinación del *pit* final, se basa en la incorporación de la incertidumbre asociada a la estimación geoestadística y a los parámetros de valorización del modelo de recursos, con el objetivo ya no de generar envolventes deterministas, sino que estocásticas. No está dentro de los alcances del trabajo abordar la incertidumbre asociada a etapas anteriores a la valorización del modelo de recursos, ni la variabilidad de los parámetros de entrada o de mercado.

En resumen, los algoritmos descritos anteriormente definen el máximo cono, dadas las restricciones de talud, que es económico, entendiendo por “económico” a los bloques que generan un beneficio económico positivo o dicho de otra forma, maximizan la envolvente en función del beneficio no descontado. Esta envolvente máxima, podría o no, ser significativamente distinta a la envolvente que represente el mejor negocio económico.

2.3.5. Tasas de producción y leyes de corte

El siguiente paso en el proceso de planificación de manera tradicional, es definir la tasa a la cual el yacimiento será minado y la tasa a la cual el mineral será procesado. La definición de las escalas de producción es considerado como un aspecto estratégico en un proyecto minero debido al impacto en el valor económico que generan, ya sea por la influencia en la secuencia de extracción y en los flujos de caja asociados, o por la inversión requerida en activos para sustentar estas escalas de producción en el tiempo. Idealmente se buscan tasas de procesamiento que maximicen el valor económico del proyecto sujeto a las restricciones de costos de capital impuestas. Adicionalmente para la tasa de minado, se suele buscar la maximización de los activos asociados al sistema mina-planta. La primera aproximación a la determinación de las capacidades de producción, típicamente se ha llevado a cabo mediante fórmulas empíricas como las propuestas por Lopez-Jimeno (1988) o Taylor (1976). Estas fórmulas relacionan la cantidad de reservas con la vida de la mina y otros parámetros de la envolvente para obtener la tasa de producción óptima. Según McCarthy (2002), si bien la aplicación de estos métodos es útil para estimar el rango de capacidades que maneja la industria, estos no ofrecen ningún fundamento aplicable para encontrar la capacidad óptima y generalmente sobreestiman la capacidad que maximiza el valor económico del proyecto minero.

Desde otra arista, autores como Hall (2003), señalan la importancia que tiene la selección de las capacidades y en particular la política de leyes de corte en la operación. En su investigación, Hall denuncia que aquellos que toman decisiones en la industria minera generalmente no tienen la claridad suficiente acerca de lo que crea o destruye el valor económico de una operación minera. Específicamente, hace alusión al procesamiento de material que destruye valor (en vez de crearlo), debido a una subestimación generalizada de las leyes de corte; todo esto con la intención

de aumentar las reservas reportadas para el proyecto minero en cuestión. Hall atribuye el procesamiento de material que destruye valor económico al uso generalizado de valores fijos relacionados tanto con la ley de corte marginal o ley de corte *breakeven* en muchas operaciones mineras; a pesar del amplio conocimiento de la existencia del trabajo de Lane (1988). En respuesta a estas problemáticas es que el mismo Hall (2003) propone un método basado en la generación del “*Hill of Value*” o “*Colina de Valor*” Que consiste en una superficie tridimensional que presenta la variación de algún resultado estratégico (valor presente, costos caja por unidad de producto, producto fino por período, etc.) contra ciertas variables de diseño que el ingeniero planificador considere relevantes, tales como parámetros de la operación minera y de la operación metalúrgica, costos de operación, y costos de capital, entre otros. En la siguiente figura se observa un ejemplo de la generación de estas superficies “*Hill of Value*”, donde se muestra el comportamiento del VPN, en función de variables estratégicas como la capacidad de producción y la ley de corte del proceso.

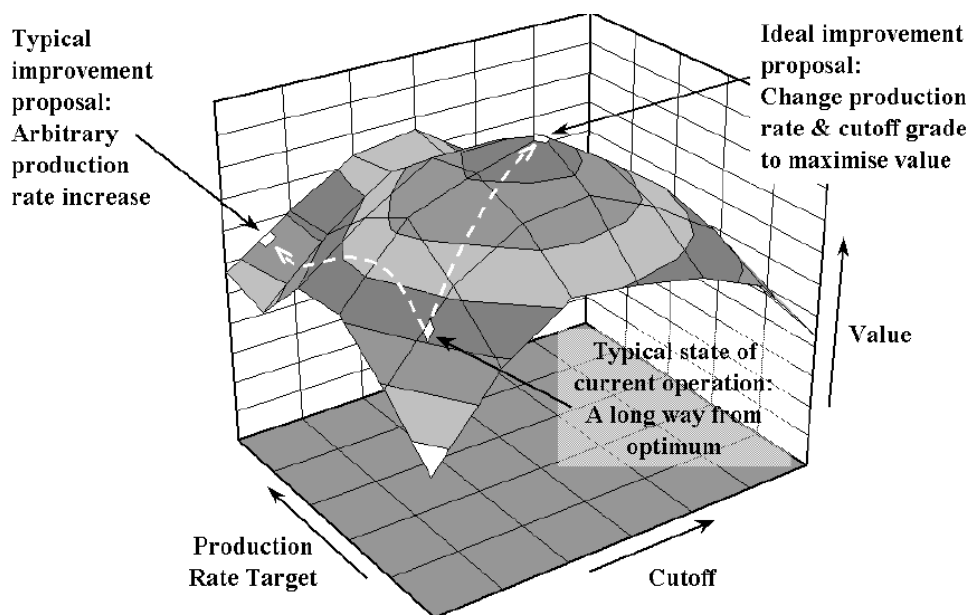


Figura 2-2. Escalando la colina de valor (Hill of value), (Hall, B. E., 2003)

2.3.6. Elección del secuenciamiento de fases preliminares o *pushbacks*.

Establecido el conjunto de *pits* anidados, es que se continúa con la definición de la estrategia de consumo de reservas, donde se analiza técnica y económicamente la factibilidad de extracción de las envolventes anidadas generadas anteriormente. En este paso, se establecen nuevas consideraciones operacionales, que permitirán al ingeniero planificador definir un sub-conjunto de *pits* anidados o *pushbacks* que corresponderán finalmente a la estrategia de consumo de reservas o secuenciamiento. Esta selección de *pushbacks*, se puede llevar a cabo de forma manual o mediante la implementación de un algoritmo específico de secuenciamiento minero. Si se utiliza la segunda opción, generalmente se usan algoritmos que maximicen el valor presente neto (VPN) generado por la extracción y procesamiento de cada bloque sujeto a restricciones operacionales

del tipo *sinking rate* o tasa de profundización máxima de bancos por periodo, anchos mínimos de fondo y expansión entre fases preliminares o desfases máximos y mínimos de bancos entre *pushbacks* (término denominado *lead* o *lag*), entre otros.

Para determinar el orden en que se extraerá cada porción del denominado *pit* final, los autores Lerchs y Grossmann proponen utilizar las envolventes anidadas como base para el secuenciamiento minero, de forma que se mine una envolvente anidada tras otra, hasta llegar a la envolvente final. Según (Coléou, 1989), la secuencia de minado mediante envolventes anidadas consecutivas prueba ser de gran utilidad para tener una idea general de los valores mínimos y máximos que se pueden obtener de la explotación. La mayoría de los métodos de secuenciamiento implementados en la diversa gama de *softwares* comerciales disponibles en el mercado, consideran la discretización de la envolvente final en fases, las que generalmente corresponden a un subconjunto de los *pits* anidados generados por el algoritmo de LG, obtenidos luego de la aplicación de distintas consideraciones y/o restricciones impuestas por el planificador. La generación de volúmenes de secuenciamiento más reducidos se obtiene de la separación de cada fase en bancos, definiendo así, el volumen resultante como una unidad fase-banco.

La primera aproximación al secuenciamiento minero generalmente comienza con dos de los casos más emblemáticos:

1. *Best case*, mostrado en la figura 2.3, consiste en el minado secuencial de las envolventes anidadas generadas por la parametrización mediante *revenue factors* del algoritmo LG, comenzando la extracción desde el *pit* más pequeño hasta el *pit* final. Esta secuencia, normalmente resulta en escenarios infactibles de llevar a cabo, debido al poco espacio disponible que hay entre envolventes y a la necesidad de extraer muchos bancos por periodo para llevar a cabo la extracción envolvente por envolvente. En la figura, cada envolvente anidada es representada por la letra P.
2. *Worst case*, mostrado en la figura 2.4, consiste en el minado banco a banco de la envolvente desde el banco de mayor cota hasta el banco contenido en el fondo del *pit* final. Si bien esta secuencia si es factible de llevar a cabo, los movimientos de estéril son mayores al inicio de la explotación, afectando de sobremanera a los flujos de caja iniciales, lo que lo convierte en un escenario pesimista y poco frecuente en las operaciones mineras. En la figura, cada banco es representado por la letra B.

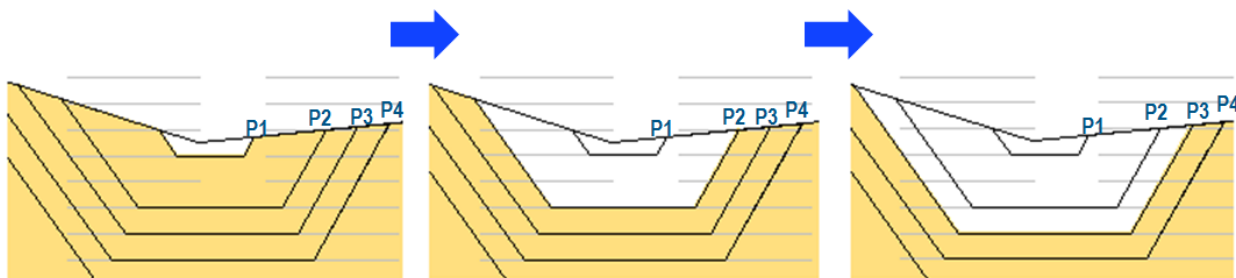


Figura 2-3. Esquema de extracción Best case

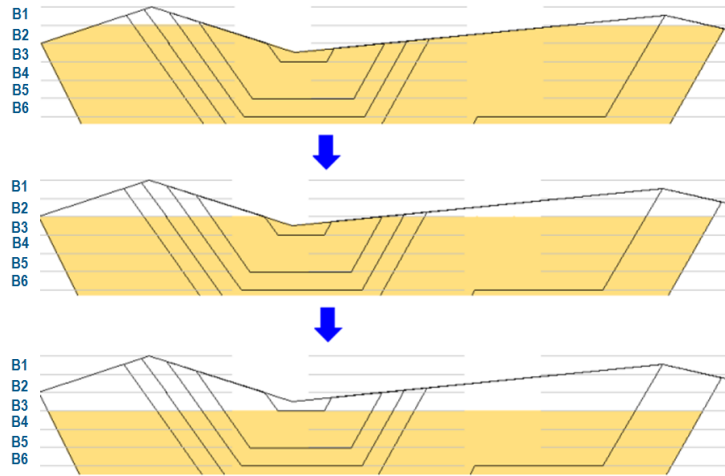


Figura 2-4. Esquema de extracción Worst case

Los planes mineros generados por los secuenciamientos *Best* y *Worst case*, se muestran en la figura 2.5. Se destacan las bajas relaciones estéril-mineral obtenidas en los primeros períodos del plan por el Best case, en contraste con las altas relaciones estéril-mineral que posee el plan emanado del Worst case.

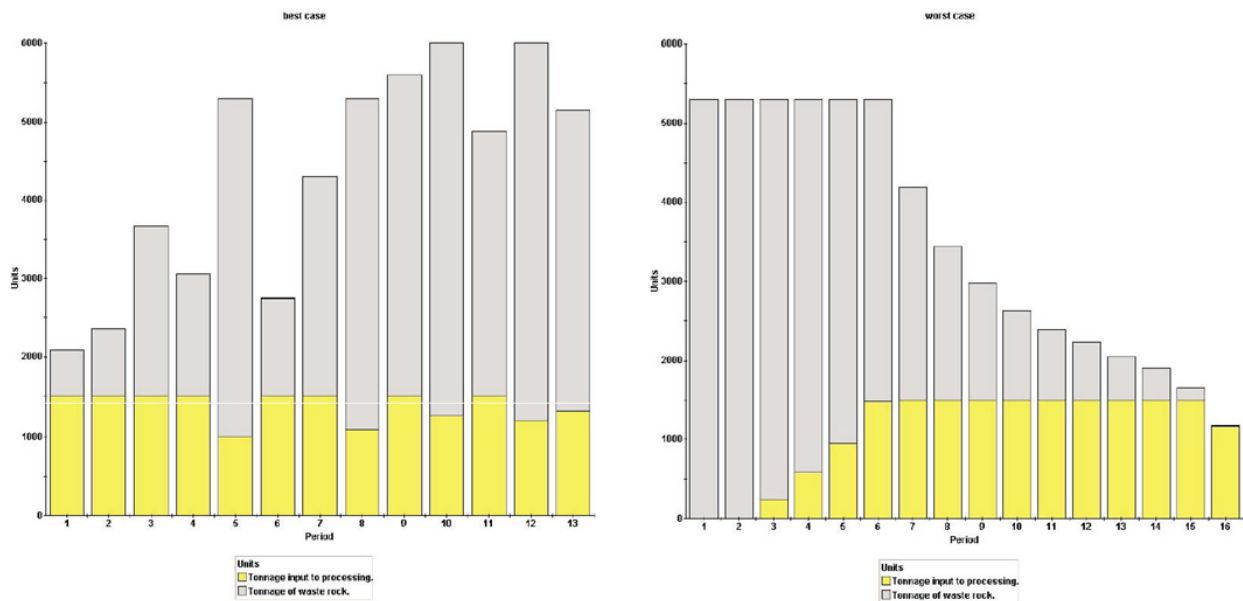


Figura 2-5. Planes mineros generados por los secuenciamientos del Best case (izq.) y del Worst case (der.), obtenidos por (Smith, 2001)

2.3.6.1. Algoritmo de secuenciamiento Milawa

Quizás uno de los algoritmos comerciales más conocidos es el algoritmo *Milawa* implementado en GEOVIA Whittle. Según la información recopilada y del uso del software de planificación, el algoritmo *Milawa* resuelve el problema de planificación estratégica mediante programación lineal, combinada con una meta-heurística llamada *step and stride*. El algoritmo utiliza el secuenciamiento en base a unidades fase-banco en vez de bloques, lo que disminuye el número

de variables a trabajar y reduce el tiempo de cómputo. La determinación de la secuencia se hace considerando la extracción y valorización directa de las unidades fase-banco desde la mina, por lo que *Milawa* no considera la optimización del material en *stockpiles* ni la mezcla del material para alcanzar una calidad específica de material enviado a procesamiento.

Una ventaja del algoritmo *Milawa* respecto a la planificación fase-banco tradicional, es que permite al planificador tener control sobre el desarrollo de la profundidad (*sinking rate*) de la operación, y de la diferencia en bancos entre fases (*bench lead*). Cabe señalar que existen dos variantes del algoritmo *Milawa*:

- a) *Milawa Balanced*, que posee una función objetivo que privilegia aquellos esquemas de producción con razón estéril-mineral controlada durante la vida de la mina, lo que genera planes mineros que, por lo general, maximizan la utilización de los activos mina y planta, y restringen el uso de *stockpiles*. (Fig. 2.6 izq.)
- b) *Milawa NPV*, que busca maximizar el valor presente, por lo que privilegia el mineral de alta ley en los primeros períodos e intenta diferir la extracción de lastre. El algoritmo permite utilizar *stockpiles* pero no los optimiza, por lo que las políticas de acopio deben ser manejadas por el planificador. (Fig 2.6 der.)

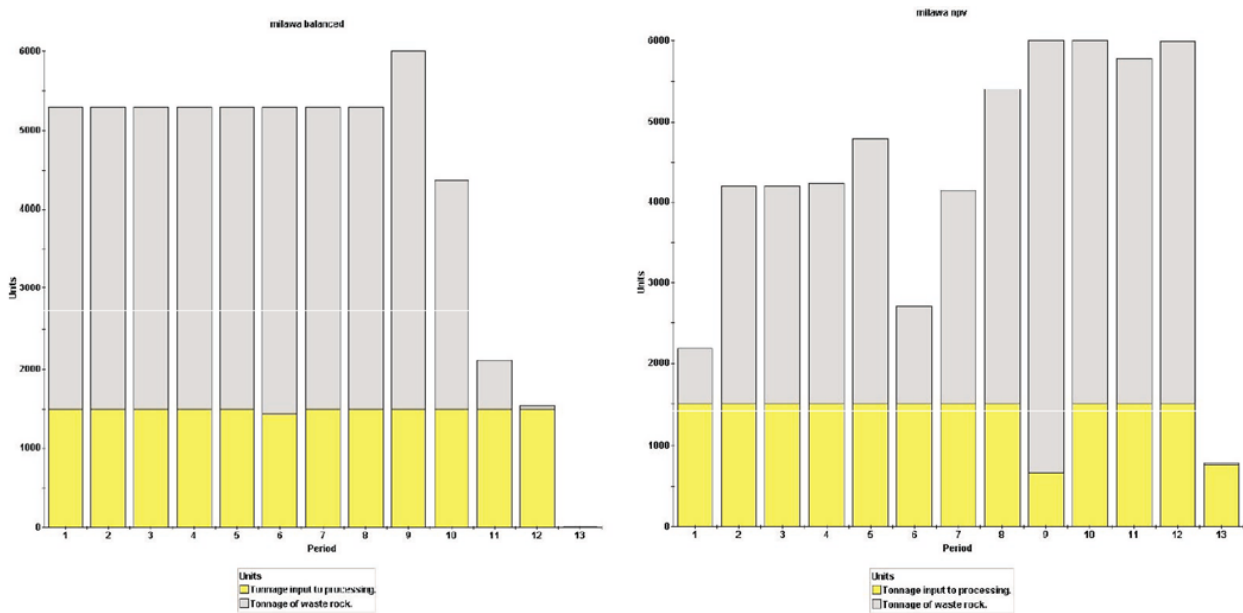


Figura 2-6. Planes mineros generados por los algoritmos *Milawa Balanced* (izq.) y *Milawa NPV* (der.), obtenidos por (Smith, 2001)

A pesar de ser una metodología simple y que requiere de la experticia del equipo de ingenieros planificadores para su correcta configuración en cuanto a los aspectos que el algoritmo no es capaz de optimizar, el algoritmo *Milawa* es conocido en la industria por entregar resultados económicos cercanos a los obtenidos con métodos de optimización más rigurosos (Bernabe & Dagdelen, 2002). La calidad del resultado obtenido con el algoritmo *Milawa* y la posibilidad de extraer un archivo de secuencia de minado que detalla el período de extracción de cada bloque, permiten que *Milawa* pueda ser la base para una aproximación por MIP (Smith, 2001).

2.3.6.2. Otros algoritmos

En complemento a los algoritmos de secuenciamiento ya presentados, Gershon (1987) desarrolla un método heurístico para determinar cuándo un bloque debe ser extraído. Esta metodología se basa en el uso del peso posicional de los bloques, obtenido en base a las calidades de leyes que posee cada uno. La metodología determina el atractivo de remover el bloque en un punto específico en el tiempo, mientras más alto es ese peso, más atractivo es el bloque. Otros autores, como Dowd y Onur (1992) también entregan una solución al problema de la secuencia de extracción de bloques, mediante programación dinámica. El algoritmo determina el bloque que debe ser minado primero, luego el siguiente y así hasta determinar todas las alternativas de secuencias posibles dentro de una misma combinación de bloques. Como desventaja de este algoritmo se puede decir que sufre un crecimiento exponencial del tiempo de proceso a medida que el número de bloques aumenta. Los autores además señalan que muchas de las secuencias de extracción de bloques pueden ser eliminadas por no ser factibles, reduciendo con esto el espacio de búsqueda.

Una vez que se defina el algoritmo de secuenciamiento y las restricciones a considerar, se puede generar un plan minero y un programa de producción que refleje los supuestos y las restricciones consideradas en la estrategia de consumo de reservas.

Finalmente, en base a la evaluación de desempeño técnico y económico del plan minero generado, se procede a optimizar este plan mediante alguna de las distintas herramientas disponibles, cuya función objetivo por lo general es el VPN del proyecto. En este proceso de optimización se pueden considerar las mismas restricciones operacionales usadas anteriormente para definir el secuenciamiento de *pushbacks* o se pueden incorporar nuevas restricciones, por lo que etapas que ya se encontraban completadas, se pueden volver a realizar, haciendo del proceso de planificación un ciclo iterativo.

Se destaca del proceso de planificación de forma tradicional, que normalmente en etapas tempranas de planificación, hay mucha información faltante o incierta, por lo que a medida que se va avanzando en el proceso, esta información se va completando y actualizando, provocando finalmente la necesidad de rehacer etapas que ya estaban acabadas. Este hecho es lo que hace, como se dijo anteriormente, que la planificación sea un ejercicio iterativo.

2.3.7. Indicadores de desempeño utilizados en la evaluación de planes mineros a cielo abierto

Una vez establecida la secuencia de explotación mediante la cual se minará el yacimiento, es posible elaborar un plan minero o programa de producción para finalmente evaluar el desempeño técnico-económico de este. Los indicadores considerados para llevar a cabo esta evaluación se detallan en las sub-secciones siguientes, haciendo la diferencia entre aquellos que son de carácter económico y los que son de carácter técnico.

2.3.7.1. Indicadores económicos

Valor presente neto (VPN)

Corresponde al valor actual de los desembolsos y de los ingresos del proyecto, actualizándolos al momento inicial ($t=0$) y aplicando una tasa de descuento en función del riesgo que conlleva el proyecto y la rentabilidad mínima exigida a este. El criterio de decisión asociado a este indicador dice que si el proyecto tiene un VPN positivo, es interesante de realizar, pero si tiene un valor negativo, el proyecto se debe descartar.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 2-1. Fórmula del valor presente neto

Dónde:

I_0 : Inversión

F_t : Flujo de caja o ingresos netos en el periodo t

r : Tasa de descuento

n : Periodos de duración del proyecto

Índice del valor actual neto (iVAN)

Este indicador mide la rentabilidad obtenida por cada peso invertido, el criterio de selección es escoger el proyecto con el iVAN más elevado.

$$iVAN = \frac{VPN}{Inversión}$$

Ecuación 2-2. Fórmula del índice del valor actual neto

Payback descontado

Mide el número de periodos que se tarda en recuperar el monto invertido en términos de valor actual, tomando en consideración los flujos de caja descontados en el tiempo. La desventaja evidente de la evaluación por este método es que no se consideran los flujos de caja posteriores al periodo de recuperación.

Tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador consiste en calcular la tasa de descuento a la cual el VPN se hace cero. La TIR refleja una tasa media de rentabilidad sobre la inversión, para los n periodos en que dure el proyecto. Un proyecto es interesante cuando su TIR es superior a la tasa de descuento exigida para proyectos con ese nivel de riesgo. Entre varios proyectos alternativos de inversión se recomienda escoger aquellos con la TIR más elevada.

2.3.7.2. Indicadores técnicos

Costo caja por unidad de producto

Corresponde a la suma de todos los costos directos incurridos en la operación para producir una unidad de producto minero. Este tipo de costo se compone de los egresos asociados al minado del material, los costos de tratamiento y los gastos generales, administrativos, de transporte y venta del producto final de la operación. Se excluyen en la cuantificación de este tipo de costo, los costos indirectos (como costos corporativos, de investigación y/o exploración), de depreciación, amortización y los costos financieros en general. En el caso específico de la minería del cobre, este costo se mide en US\$/lb de Cu de producida.

Vida de la mina (“LOM” por sus siglas en inglés)

Duración de la explotación minera determinada luego de la aplicación de un plan estratégico de producción. La vida de la mina tiene directa relación con el tamaño de la envolvente económica final.

Relación estéril-mineral o *stripping ratio*

Se define como la razón entre la cantidad de estéril que se debe extraer para arrancar una unidad de mineral con destino a proceso o a *stockpile*. En general, mientras más alta sea la relación estéril-mineral, mayores serán los costos de extracción.

Toneladas de metal fino producidas por periodo

Corresponde a la cantidad de producto metálico producido por una operación minera en un periodo de tiempo especificado.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA

Considerando que existen variables exógenas e internas que afectan el proceso de planificación, en el siguiente ejercicio se ha decidido separar las variables que dependen en mayor medida de factores externos, ya que su uso está condicionado por un nivel de incertidumbre. Estas variables se asumirán como parámetros de entrada en la presente metodología, mientras que las variables internas serán las consideradas para obtener la mejor definición de envolvente económica. La separación descrita se adjunta en la tabla 3.1.

Tabla 3-1. Variables y parámetros de entrada utilizados en planificación minera estratégica a cielo abierto

Variable de diseño	Parámetro de entrada
-Capacidad de planta	-Recuperaciones metalúrgicas
-Capacidad de mina	-Ángulo de talud global
-Tamaño del pit final	-Precio de los elementos de interés
-Inversión total estimada, como una función de las capacidades mina, planta y el tamaño de la envolvente	-Tasa de descuento
-Ley de corte, aplicada como un criterio de entrada a proceso	-Estimación del costo mina
-Consideraciones operativas y de geometría de las fases	-Estimación del costo de procesamiento
	-Estimación del costo de venta

Bajo el contexto de la metodología tradicional de planificación, el procedimiento propuesto en este trabajo se encarga de abordar el problema de selección del *pit* final desde un enfoque basado en la generación de planes de producción a nivel estratégico, para un conjunto de escenarios posibles de planificación, que consideren distintos tamaños de envolventes económicas, capacidades de mina y planta variables, leyes de corte y distintos aspectos operacionales considerados en la elección del mejor secuenciamiento de fases para cada escenario planteado, intentando alinear de esta manera, la estrategia de la compañía, con la generación de un plan minero, en pos de la definición de la envolvente económica. En la figura 3.1, se aprecia un diagrama que ilustra los cinco grandes pasos de la metodología propuesta y en las siguientes subsecciones se detallará la forma en que se recomienda abordar cada uno de estos pasos.

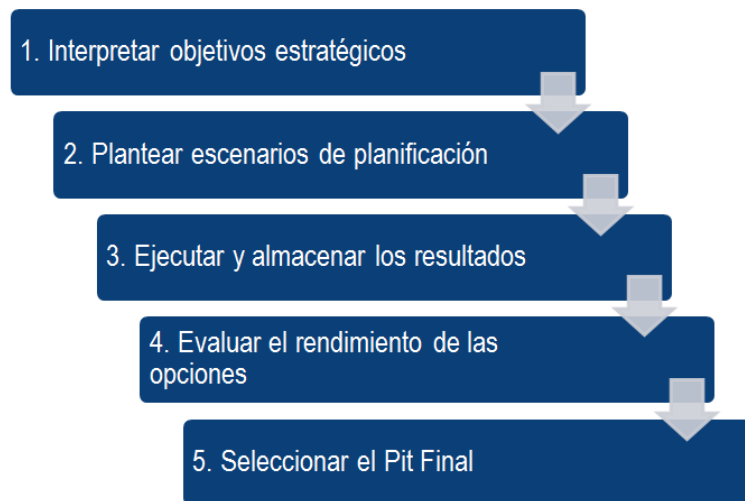


Figura 3-1. Pasos generales de la metodología propuesta

3.1. Interpretar objetivos estratégicos

El primer paso de la metodología busca sugerir órdenes de prioridad en los indicadores de desempeño a utilizar en la evaluación de los distintos escenarios planificación planteados. Se pretende entregar un alineamiento entre los indicadores que son más propicios o afines para determinados objetivos estratégicos. Las recomendaciones propuestas son las siguientes:

Si el lineamiento estratégico está asociado a la obtención de una rentabilidad mínima exigida, se sugiere priorizar indicadores como el iVAN y la TIR, ya que estos entregan resultados relacionados directamente con la rentabilidad sobre los activos. En particular, si se utiliza la TIR, por su característica de mostrar la rentabilidad promedio obtenida, sobre el valor de la inversión, para el periodo de vida del proyecto, se debe tener el cuidado de comparar proyectos de igual vida útil o hacer el ajuste necesario para igualar los periodos de evaluación. Esto con el fin de no incurrir en errores de asignación de rentabilidad media a periodos de vida inexistentes en el proyecto con menor vida útil.

Por otro lado, si lo que se quiere es maximizar la riqueza de los accionistas, se recomienda utilizar como indicador principal el VPN, por su extendido uso y entendimiento, además de la simpleza requerida en su cálculo, basado en la suma de los ingresos y egresos por período del proyecto en evaluación.

Si la estrategia a seguir se relaciona con ejercer una posición de liderazgo en el mercado, maximizando la producción de metal fino por periodo, es claro, que el indicador de la cantidad de fino producida debe ser prioridad, entre los demás indicadores.

Si el lineamiento está de lado de mantener una posición de estabilidad a largo plazo en el mercado, se sugiere considerar indicadores como el costo caja por unidad de producto y la relación estéril-mineral, que también tiene una incidencia en los costos, particularmente en los de minado. Bajo este lineamiento, lo que se busca con el indicador de costos caja es su minimización en miras a resistir ciclos de precios bajos en el tiempo y debido a que este ítem es

el único factor controlable sobre las utilidades, a diferencia del precio de los metales, que en el mercado específico de los minerales responde a factores externos o no controlables.

Si se maneja una estrategia relacionada a la maximización de los recursos a extraer, se recomienda priorizar indicadores como la vida de la mina y también los costos caja por unidad de producto. Este objetivo se asocia comúnmente a compañías que quieren asegurar el acceso a los recursos del yacimiento y también por otro lado para extender los aspectos positivos relacionados a algún ámbito en particular que lleva consigo una explotación minera, como la generación de empleo en el ámbito social por ejemplo, o aspectos estratégicos como el asegurar una cierta cantidad de producción por periodo.

Si el lineamiento se condice con la obtención anticipada de flujos de caja positivos en el tiempo, como sería el caso de una compañía, que dispuesta a asumir mayores riesgos, quiere obtener retornos positivos de manera rápida, no centrándose en los flujos de caja en el largo plazo, se sugiere el uso de indicadores como el periodo de recuperación de la inversión descontada o *payback* descontado.

Si el objetivo dice relación con copar la capacidad de los activos disponibles, se deben priorizar indicadores como la relación estéril-mineral. En particular, se recomienda mantener una relación estéril-mineral relativamente constante a lo largo de la vida de la mina, con el fin de no sub-utilizar los equipos de minado y procesamiento.

Cabe destacar que este primer paso de la metodología no busca limitar la evaluación de la estrategia a los indicadores recomendados, sino que pretende orientar cuáles de ellos son los que se deben tener en una mayor consideración con respecto a los demás. En las siguientes figuras, se aprecian diagramas que muestran los indicadores estratégicos a priorizar, para cada lineamiento definido.

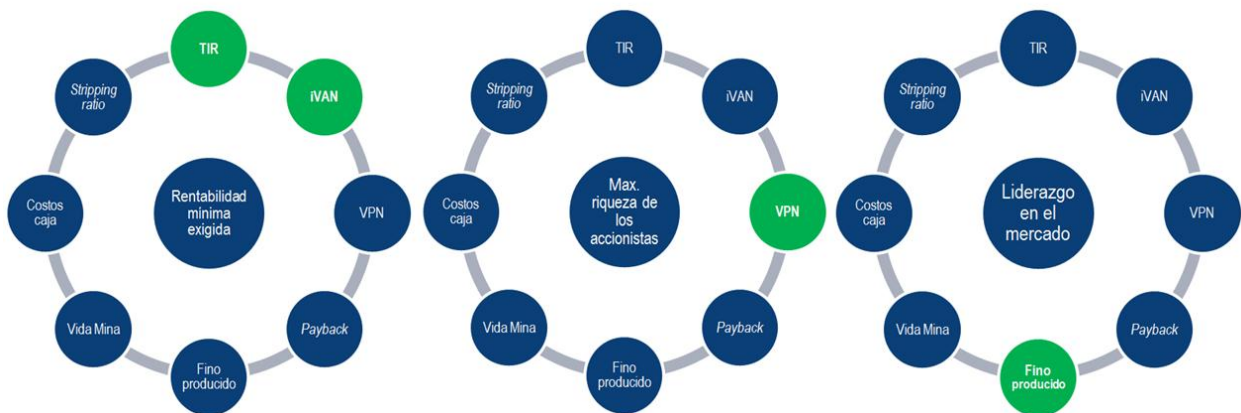


Figura 3-2. Indicadores estratégicos a priorizar para los objetivos de rentabilidad mínima exigida (izq.), maximizar la riqueza de los accionistas (centro) y mantener una posición de liderazgo en el mercado (der.)

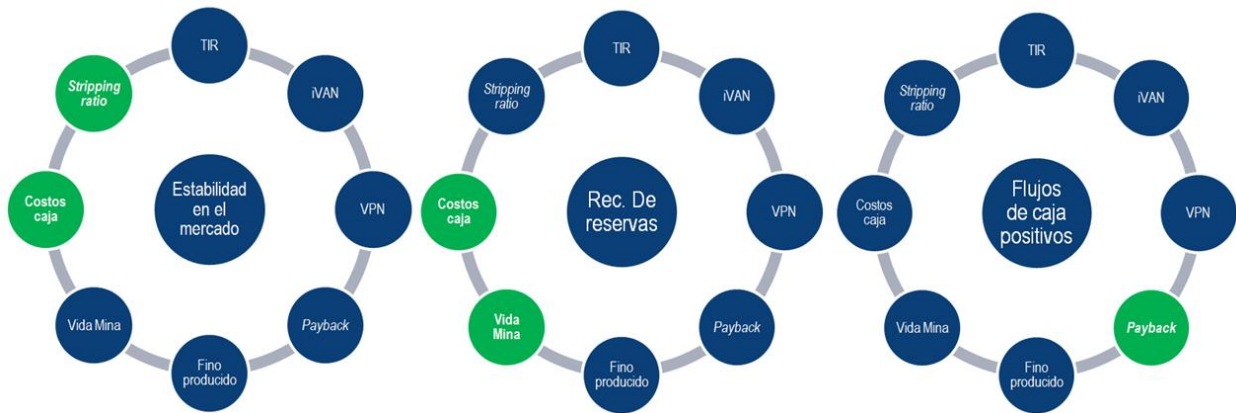


Figura 3-3. Indicadores estratégicos a priorizar para los objetivos de mantener una posición de estabilidad en el mercado (izq.), maximizar la recuperación de reservas (centro) y obtener flujos de caja positivos anticipadamente (der.)

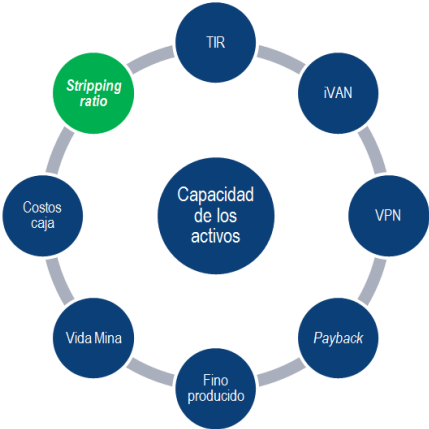


Figura 3-4. Indicadores estratégicos a priorizar para el objetivo de copar la capacidad de los activos.

3.2. Plantear escenarios de planificación

Una vez que se ha definido la métrica o los indicadores que se tomarán en cuenta para la evaluación y comparación de los distintos escenarios de planificación, se deben definir cuáles serán esos escenarios. Para esto, se propone considerar una matriz de experimentos, donde cada elemento de columna representa a un valor posible de cada variable a considerar, y así, las filas quedarán conformadas por las distintas combinaciones de los valores posibles de las distintas variables. A modo de ejemplo, en la tabla 3.2 se presenta la matriz de experimentos formada por 3 variables de planificación (variable A, B y C), que tienen dos posibles valores (1 y 2). Como se puede notar, la totalidad de escenarios a evaluar son 8.

Tabla 3-2. Ejemplo de matriz de experimentos

#	Variables de planificación		
	A	B	C
Escenario 1	1	1	1
Escenario 2	1	1	2
Escenario 3	1	2	1
Escenario 4	1	2	2
Escenario 5	2	1	1
Escenario 6	2	1	2
Escenario 7	2	2	1
Escenario 8	2	2	2

En palabras simples, la metodología plantea la búsqueda de la mejor envolvente a partir de la ejecución iterativa de planes de producción, entiendo por “ejecución” el hecho de confeccionar el plan minero y entendiendo el concepto de “iteración” como una repetición de la construcción de los planes mineros, pero incorporando como variables, parámetros que tradicionalmente se consideran estáticos en la definición del plan, estos parámetros son las capacidades de procesamiento y minado, un criterio de entrada a proceso expresado como una ley de corte fija, el tamaño de la envolvente final, la inversión y distintas consideraciones de carácter operativo con respecto a la geometría y el aspecto de las fases preliminares.

El fundamento en que se basa este enfoque del análisis de escenarios, es que con las herramientas computacionales disponibles en la actualidad, ya es posible generar procesos de iteración o repetición en tiempos de cómputo razonables. Es por esto que se sugiere, que de acuerdo a la disponibilidad de herramientas y de tiempo que tenga el usuario, se ejecute una alta cantidad de escenarios, con el fin de aumentar el marco de información disponible a través del cual se intenta establecer la mejor definición estratégica. Como ejemplo de una alta cantidad de escenarios, en el caso de prueba de este trabajo se consideran 1,800 casos distintos de planificación.

A continuación se presentan sugerencias para definir los valores posibles de las variables de planificación consideradas en este trabajo, lo que se busca con este tipo de sugerencias es entregar un punto de partida que ayude a establecer el espacio de escenarios a probar mediante la metodología.

Tamaño del *pit* final

Se propone considerar como límite máximo de posibles envolventes finales al *pit* obtenido por un factor de ajuste al precio o *revenue factor* (RF) de 1. Este *pit*, como se ha visto en antecedentes es el que maximiza los beneficios no descontados de los bloques que encierra, para el precio

definido. *Pits* obtenidos por RF mayores a 1, usualmente son utilizados para evaluar futuras expansiones de la explotación, en el caso de que la estimación de precio a largo plazo aumente.

Con respecto al número de posibles *pits* finales, se sugiere tomar en cuenta el lineamiento estratégico. Por ejemplo, si los objetivos están más cercanos a una estrategia de maximización de reservas o a mantener una posición de estabilidad en el mercado, se propone considerar tamaños de envolvente final cercanos al *pit* a *revenue factor* 1. Por otro lado, si se aborda el problema desde un punto de vista de maximización de la riqueza a través del VPN, se recomienda considerar posibles tamaños de *pit* final a los obtenidos con menores RF, como podrían ser factores entre 0.65 a 0.95, que según (Whittle, 2009), son los factores bajo los cuales usualmente se encuentra la envolvente óptima desde el punto de vista del VPN. En la figura 3.5, donde se aprecia un gráfico *pit* anidado por *pit* anidado utilizado en la investigación de (Whittle, 2009), se puede notar que la curva de flujo de caja descontado (color rojo) tiende a ser plana para los RF con los que se alcanzan los mayores valores, en particular se observa, que estos mayores valores de flujo de caja descontado se alcanzan aproximadamente entre los RF de 0.65 a 0.95.

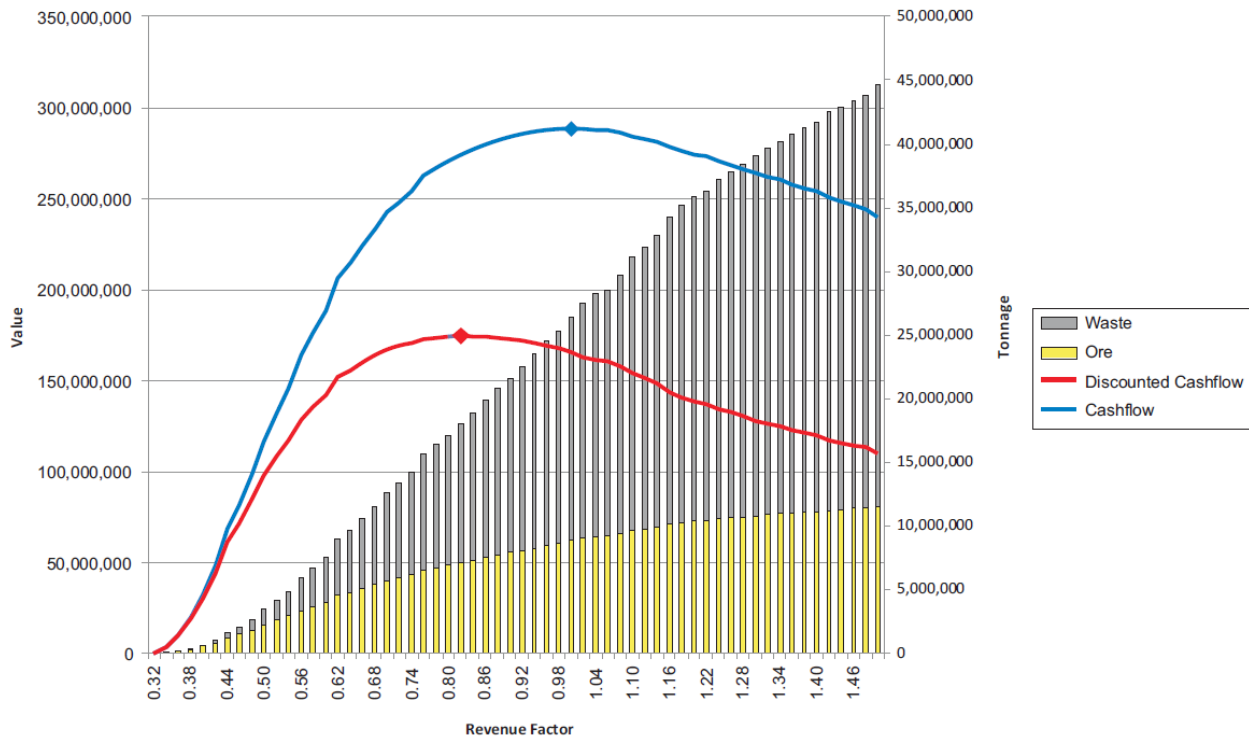


Figura 3-5. Gráfico Pit anidado por Pit anidado

Capacidad de planta

Para determinar el rango a evaluar de esta variable de diseño, se propone utilizar la curva tonelaje-ley asociada a un *pit* de referencia, como podría ser el *pit* a *revenue factor* 1. Se sugiere primero determinar las toneladas de mineral sobre la ley de corte marginal o *breakeven* obtenida con los parámetros de entrada asociados al metal principal del yacimiento, para luego, fijar valores de vida mina mínima y máxima establecidas por el planificador. En el caso específico de la gran minería del cobre (sobre 3 Mt de tratamiento de mineral anual, según la SONAMI), se

sugiere como vida mina mínima un valor de 10 años, y como valor máximo valores entre 25 y 30 años. Fijados los límites de vida mina, y con las toneladas de mineral sobre la ley marginal, se determinan mediante una división simple, los valores mínimos y máximos de capacidad de procesamiento de mineral. En la figura 3.6, se muestra un ejemplo de curva tonelaje-ley obtenida para el *Pit* a RF 1 de un yacimiento particular de cobre. En este gráfico, se puede notar que si la ley marginal fuera 0.4% Cu, se tendrían alrededor de 225 Mt. de mineral sobre esta ley. A partir de esto, los valores mínimos y máximos de capacidades de procesamiento utilizando las vidas mina de 10 y 30 años son 22.5 Mt/año y 7.5 Mt/año respectivamente.

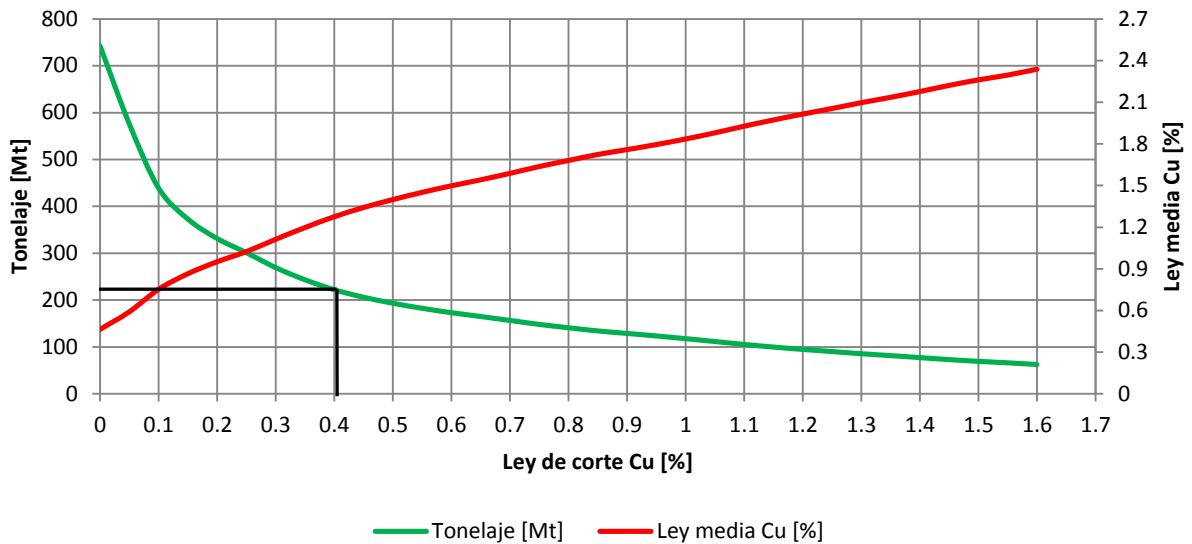


Figura 3-6. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para un yacimiento de Cu particular

Capacidad mina

En el caso de esta variable, también se recomienda utilizar la curva tonelaje-ley y los valores extremos de vida mina, pero considerando ahora el tonelaje total asociado al *pit* final obtenido con el RF 1 u algún otro de referencia. Otra manera de determinar el rango de capacidades mina a incluir en los escenarios posibles de planificación, es que dada una capacidad de procesamiento definida con anterioridad, como podría ser el caso de una compañía que quiera fijar sus niveles de inversión, se utilice esta capacidad de procesamiento, y mediante un algoritmo de secuenciamiento, como podría ser el *Milawa NPV*, se obtenga un plan minero que garantice al menos, el llenado de la planta, y a partir de este plan, se determinen los rangos en que se mueve la tasa de minado, para esa capacidad de procesamiento dada. La idea de este procedimiento es utilizar el algoritmo sin restringir la capacidad de minado a un valor específico, y luego de la generación del plan, determinar los valores en los que se mueve esta variable de planificación. En la figura 3.7, donde se muestra el plan minero resultante al utilizar el algoritmo *Milawa NPV* y para una capacidad de procesamiento de 20 Mt/año, se puede notar que el rango en que se mueve la capacidad de minado está entre las 90 Mt/año y las 20 Mt/año.

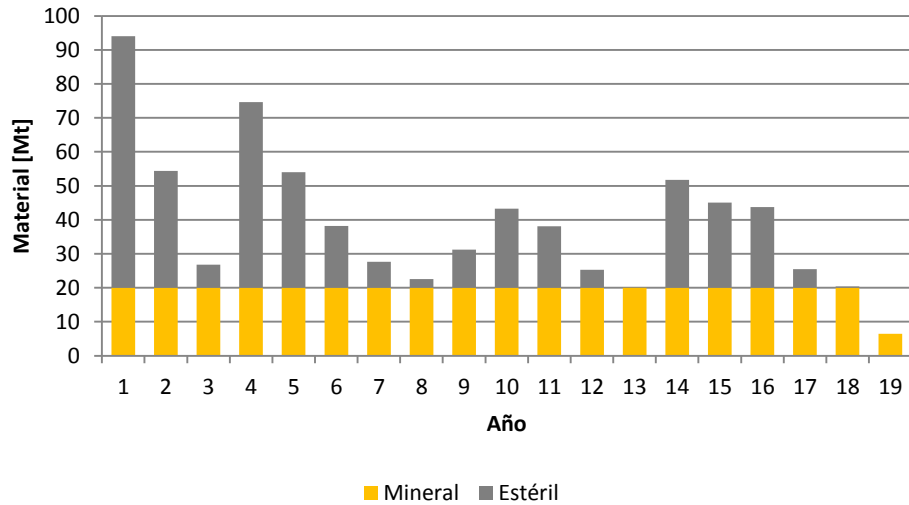


Figura 3-7. Plan minero estratégico obtenido mediante el algoritmo *Milawa NPV* y sin limitar la capacidad de minado a leyes marginales y sin considerar el uso de *stockpiles*

Por otro lado, si se diera un caso similar al plan minero de la figura 3.8, donde la máxima tasa de minado es considerablemente mayor a la capacidad de procesamiento dada (aproximadamente 9 veces mayor a la planta fijada en 7.5 Mt/año) y además, se obtienen varios períodos donde el movimiento de estéril es mínimo, como entre los años 7 y 12, se sugiere replantear la tasa de procesamiento pre-fijada, debido a probablemente esté mal dimensionada. En el caso específico de la figura mostrada, se observa que probablemente la planta fue sub-dimensionada.

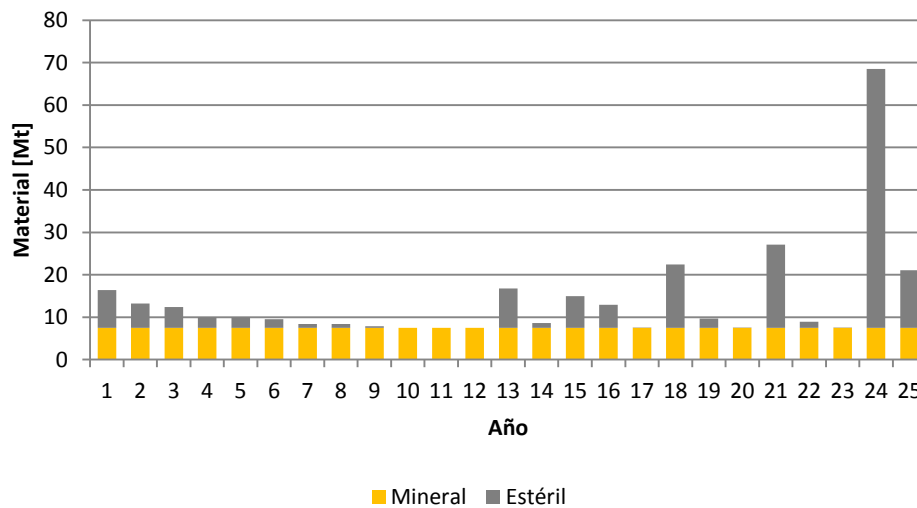


Figura 3-8. Plan minero estratégico obtenido mediante el algoritmo *Milawa NPV* y sin limitar la capacidad de minado, a leyes marginales y sin considerar el uso de *stockpiles*

Inversión estimada

Para considerar el efecto que tienen las variables de diseño en la inversión estimada de cada escenario de planificación propuesto, es que se propone, un desglose de este monto en tres componentes. Primero, la concerniente a la planta de procesamiento de mineral. Segundo, la

inversión asociada principalmente a los equipos mineros usados en la extracción, arranque, carguío y transporte del material, y finalmente en una componente asociada a la infraestructura minera utilizada y al costo de remoción de sobrecarga o *pre-stripping*. Se sugiere determinar una función mediante una regresión lineal o polinomial aplicada a datos obtenidos por un *benchmarking* o estudio comparativo de distintos proyectos con similares características al de interés. Como primera aproximación a la variación del CAPEX, de acuerdo a cada escenario planteado se recomienda utilizar la función mostrada en la ecuación 3.1:

$$Capex\ total[MMUSD] = 0.0008x^4 - 0.1401x^3 + 7.8882x^2 - 65.041x + 658.76 + 4.6y + 0.5z$$

Ecuación 3-1. Función polinómica aplicada para estimar la inversión asociada a cada punto de diseño

Dónde:

x: Capacidad de procesamiento en [Mt/año]

y: Capacidad de minado en [Mt/año]

z: Tamaño de la envolvente final en [Mt]

El comportamiento de la función de acuerdo a la capacidad de procesamiento se obtuvo mediante una regresión aplicada a datos seleccionados de información publicada por la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco, 2015) concerniente a la cartera de proyectos a materializarse en Chile entre el 2015 y el 2024. Específicamente se usaron datos de proyectos a realizarse en Chile de plantas concentradoras en la denominada gran minería (sobre 3 Mt de tratamiento de mineral anual, según la SONAMI). Para las componentes correspondientes a la capacidad de minado y el tamaño del *pit* final, se usaron factores lineales de ajuste definidos por el autor. Se destaca que la regresión polinomial obtenida es válida entre 7.2Mt y 72 Mt de tratamiento anual de planta. En la figura 3.9 se presenta un gráfico que ilustra el comportamiento de la función en el intervalo en que es válida. Los datos específicos utilizados para la confección de la regresión, se adjuntan en Anexos.

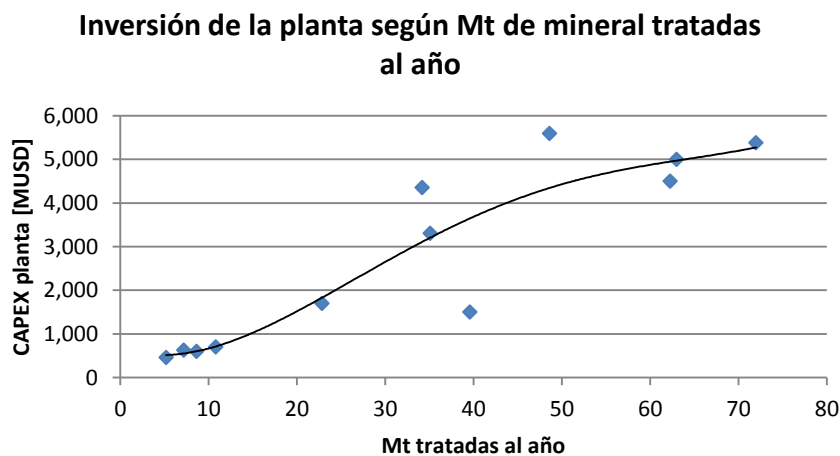


Figura 3-9. Regresión polinomial ajustada a los datos de inversión en plantas de procesamiento según informe de (COCHILCO, 2015)

En la tabla 3.3 en tanto, se muestran estimaciones de CAPEX total de distintos escenarios de capacidades de procesamiento, minado y tamaños de envoltentes finales.

Tabla 3-3. Estimación del CAPEX para distintos escenarios de capacidad de procesamiento, minado y tamaño de la envoltente final.

Cap. De procesamiento [Mt/año]	Cap. De minado [Mt/año]	Tamaño de la envoltente [Mt]	CAPEX planta [MUSD]	CAPEX mina [MUSD]	CAPEX Pre-stripping [MUSD]	CAPEX total [MUSD]
7.5	30	743	558	138	372	1,068
15	50	617	1,026	230	309	1,565
30	70	743	2,672	322	372	3,366
45	50	514	4,219	230	257	4,706

Ley de corte

El criterio de ley de corte, será expresado como una restricción de entrada de mineral a la planta de procesamiento que permanecerá fija durante el tiempo que dure la explotación. En el caso de yacimientos polimetálicos, se recomienda hacer esta restricción mediante una ley equivalente de metal con respecto al que se haya definido como el elemento principal en términos económicos. Un ejemplo práctico para determinar este elemento, se presenta en el capítulo 5.1 del presente trabajo, dónde mediante una comprobación visual del porcentaje de bloques del modelo de recursos que generan beneficio económico por separado para cada elemento de interés, se determina el metal principal en términos económicos.

La ley equivalente provee una forma fácil y rápida (si se tienen todos los parámetros involucrados) de caracterizar un yacimiento polimetálico a través de uno de los elementos de interés, en beneficio de los tiempos de procesamiento asociados al trabajo mediante múltiples leyes de metales de interés. A pesar de esta ventaja, se debe tener cuidado al hacer esta simplificación, debido a que la definición de ley equivalente tradicional sólo considera los metales que generan beneficio económico, dejando atrás posibles elementos contaminantes que podrían afectar el ingreso percibido por los metales principales, si este fuera el caso, se sugiere utilizar modelos de ley equivalente que incorporen el efecto de los contaminantes, como el utilizado por (Corral, 2010), dónde incluye el efecto del arsénico en la determinación de la ley equivalente de cobre, para un yacimiento cuprífero con presencia de plata y el contaminante nombrado.

Para estimar los escenarios a evaluar con respecto a esta variable de diseño, se recomienda considerar el valor obtenido por el cálculo de la ley de corte marginal o *breakeven*, junto a una vecindad de leyes en torno a esta. Para definir esta vecindad, se sugiere considerar un valor de ley menor al dado por la ley de marginal, para simular el efecto de no restringir el mineral de entrada por una ley de corte. Con respecto al límite máximo de ley, se recomienda utilizar nuevamente la curva tonelaje-ley asociada al *pit* a RF 1 u otro de interés del usuario, para estimar un valor donde la cantidad de mineral sobre la ley de corte máxima sea reducida o despreciable en comparación a la cantidad de mineral sobre la ley marginal. Por ejemplo, en la figura 3.10, dónde para un

yacimiento particular de cobre, se muestra la curva tonelaje-ley obtenida para el *Pit* a RF 1, se define un valor máximo de ley de corte de 1.6% Cu, por poseer sólo 50 Mt de mineral de un total de 225 Mt de mineral sobre la ley marginal de cobre, que corresponde a 0.4 % Cu, así, el rango definido de valores de leyes de corte queda entre 0.4 % Cu y 1.6% Cu. No descarte corroborar visualmente que el mineral sobre la ley de corte máxima definida para la aplicación de la metodología, no se encuentre aislado o en cúmulos distanciados entre sí, que dificulten la extracción mediante minería a cielo abierto. Por ejemplo, en la figura 3.11 se observa el mismo modelo de recursos utilizado para la confección de la curva tonelaje-ley usada como muestra en la figura 3.10. Se destaca que el mineral sobre la ley máxima fijada en 1.6 %Cu, sí es factible de extraer mediante cielo abierto, si este no fuera el caso, disminuir el valor de la ley máxima, hasta un límite en que el usuario considere que la extracción mediante este tipo de minería sí es posible.

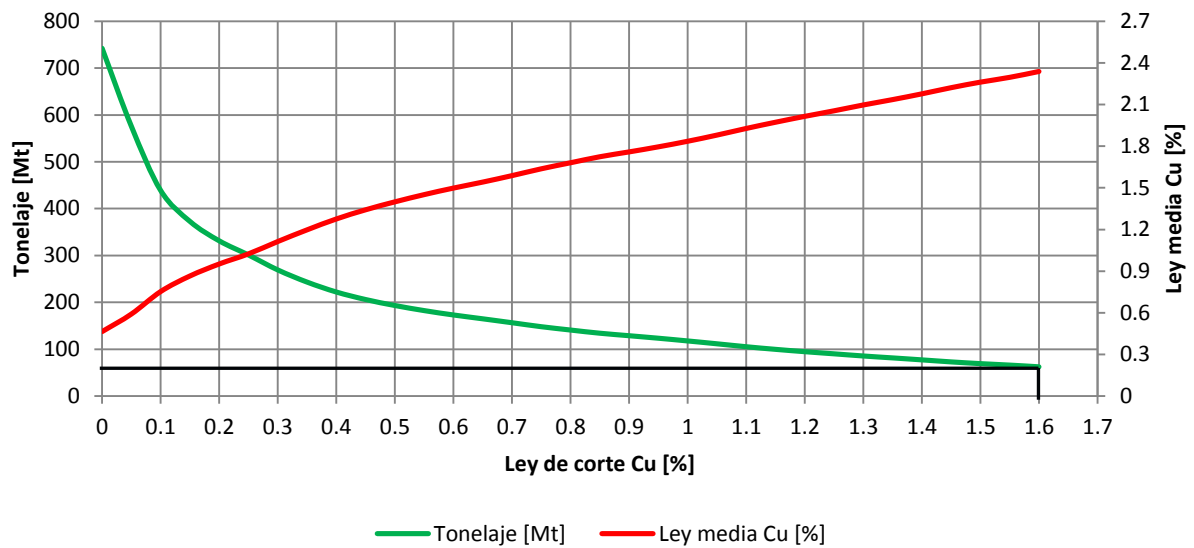


Figura 3-10. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para un yacimiento de Cu particular

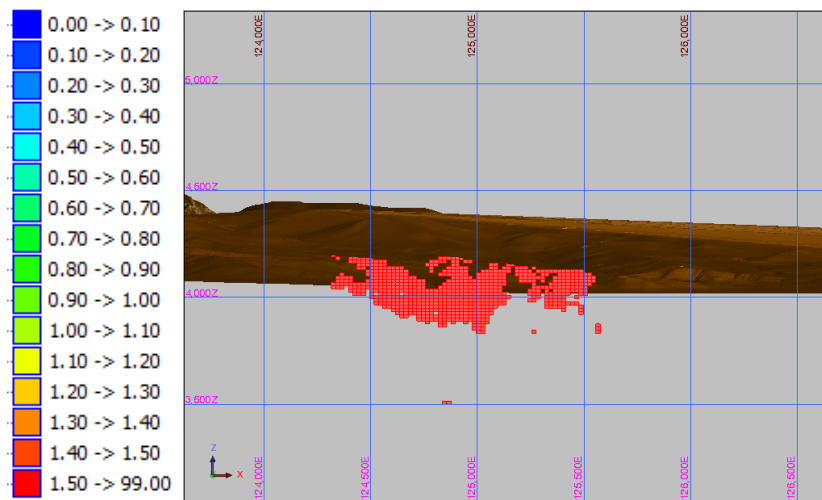


Figura 3-11. Vista de perfil Este-Elevación del modelo de recursos utilizado como ejemplo para determinar la curva tonelaje-ley de la figura 3.10, filtrado por una ley de 1.6% Cu

Finalmente se sugiere no descartar el mineral entre la ley de corte marginal definida y los distintos valores de ley de corte fija, para cada escenario de planificación, en caso de decidir procesar el mineral descartado en primera instancia o incorporar mezclas del mineral almacenado en *stockpiles*.

Consideraciones operativas y de geometría de las fases

Las consideraciones operativas y de geometría mostradas en la presente metodología tienen alcance en el proceso de selección de fases preliminares a partir de las envolventes anidadas generadas por la parametrización del algoritmo de Lerchs y Grossmann, es decir, no tienen diseño operativo, pero su geometría puede asumirse como suficientemente operativa u operativizable, entendiendo esto último como una envolvente que, luego de ser diseñada, no cambia sustancialmente su geometría y tamaño respecto al volumen original.

Se sugiere, definir restricciones que permitan tener un control de la tasa de avance vertical por periodo (*sinking rate*), y de la diferencia en bancos entre las fases (*bench lead*). También en este aspecto se recomienda considerar anchos mínimos de carguío y de fondos de las fases. Específicamente se considera razonable utilizar una tasa de avance vertical cercana a 10 bancos por año, que corresponde al límite de avance vertical que usualmente alcanzan los equipos de carguío más grandes (100 t de capacidad). Siguiendo esta referencia, también se considera aceptable el establecer un ancho mínimo de carguío de 120 m, ya que con esta distancia se garantiza el espacio necesario para que nuevamente los equipos de carguío con mayor capacidad puedan alternar la carga de equipos de transporte por ambos lados de la frente. Sin perjuicio de las sugerencias anteriores, el usuario puede fijar otros valores que le parezcan convenientes de acuerdo a su experiencia.

Otra de las consideraciones recomendadas, es con respecto a la cantidad de envolventes intermedias a definir. Esta variable depende del tamaño de la envolvente y de las distancias que se quieran establecer entre cada una de las fases preliminares o *pushbacks*. Se sugiere considerar

aspectos visuales para definir este número, debido especialmente al solapamiento que se produce en las envolventes al aumentar la cantidad de fases preliminares provocando la disminución de los espacios operativos disponibles. En la figura 3.12, se puede apreciar la sobreposición de envolventes y la consecuente disminución de las distancias entre fases que ocurre para un yacimiento dado y para un número de *pushbacks* de 6. Debido a aspectos como este, y considerando la comprobación visual que el usuario realice, se sugieren como valores razonables los dados por 4 y 5 fases.

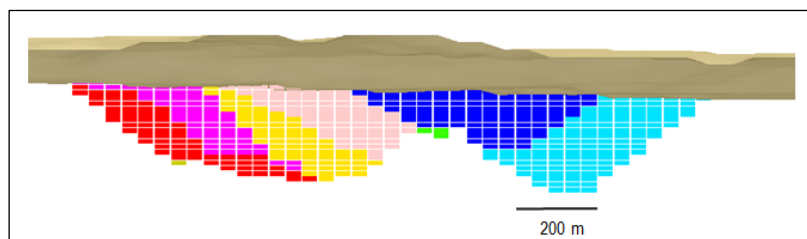


Figura 3-12. Visualización de perfil, considerando 6 envolventes anidadas como *pushbacks*

Finalmente, dada la operación o el proyecto en específico y también de la información que se tenga disponible, se pueden considerar ciertas variables de diseño como fijas, en beneficio de los tiempos de cómputo y los recursos computacionales. Se recomienda además, ir actualizando o depurando los posibles valores de las variables mencionadas a medida que se va avanzando en la ingeniería del proyecto y se va disminuyendo la incerteza de la información estimada, ya que como se dijo anteriormente, las sugerencias realizadas son adecuadas como punto de partida de la metodología.

3.3. Ejecutar los escenarios y almacenar los resultados

Antes de detallar este paso, se aclara que el concepto de ejecutar los escenarios se refiere a la generación de los planes mineros para los casos posibles de planificación definidos en el capítulo 3.1.

Una vez que se han ejecutado los escenarios definidos, se recomienda almacenar la información en tablas como la mostrada. Se destaca como información importante del plan minero generado, las variables utilizadas en su confección, como la capacidad de minado, la ley de corte fija, el tonelaje de la envolvente final, la vida mina y la inversión estimada para el escenario. También se deben guardar los indicadores estratégicos asociados al plan, que en este ejemplo, corresponden al VPN, el *payback* descontado, las envolventes anidadas intermedias seleccionadas, caracterizadas por su número y también el tonelaje de mineral sobre la ley de corte. Sin perjuicio de los indicadores nombrados en esta tabla, también se pueden almacenar, el costo caja promedio a lo largo de la vida útil de la mina, material entrante o saliente de *stockpiles*, si se hubiesen utilizado y cualquier otro indicador que el usuario estime importante.

Tabla 3-4. Ejemplo de tabla tipo, para almacenar los resultados obtenidos de cada escenario planteado

Corrida #	Capacidad mina [Mt/año]	Ley de corte [%]	Nº Fases	CAPEX [MUSD]	Tonelaje del Pit final [Mt]	Vida mina [años]	VPN [MUSD]	Payback descontado [años]	Selección de fases	Tonelaje de mineral sobre la ley de corte [Mt]
10	30	0.35	4	1,445	562	22	1,258	8	8 14 18 21	181
38	40	0.55	4	1,491	562	20	1,814	6	8 14 18 21	150
74	50	0.55	4	1,554	597	21	2,165	6	8 12 17 22	134
109	60	0.65	4	1,610	617	22	2,313	6	8 14 18 23	123
139	70	0.65	4	1,646	597	21	2,352	5	8 14 17 22	104

Otro tema importante, es corroborar que los planes mineros generados sean contrastables entre sí, por lo que se recomienda realizar un chequeo visual de algunos de ellos, como podrían ser uno por cada capacidad de mina considerada, en el caso de que la cantidad de escenarios evaluados haya sido extensa.

En la figura 3.13, se muestra un ejemplo de plan minero generado, para un escenario con un tamaño de envolvente de 687 Mt, una capacidad de minado de 50 Mt, una capacidad de proceso de 15 Mt y una ley de corte fija utilizada de 0.45% Cu.

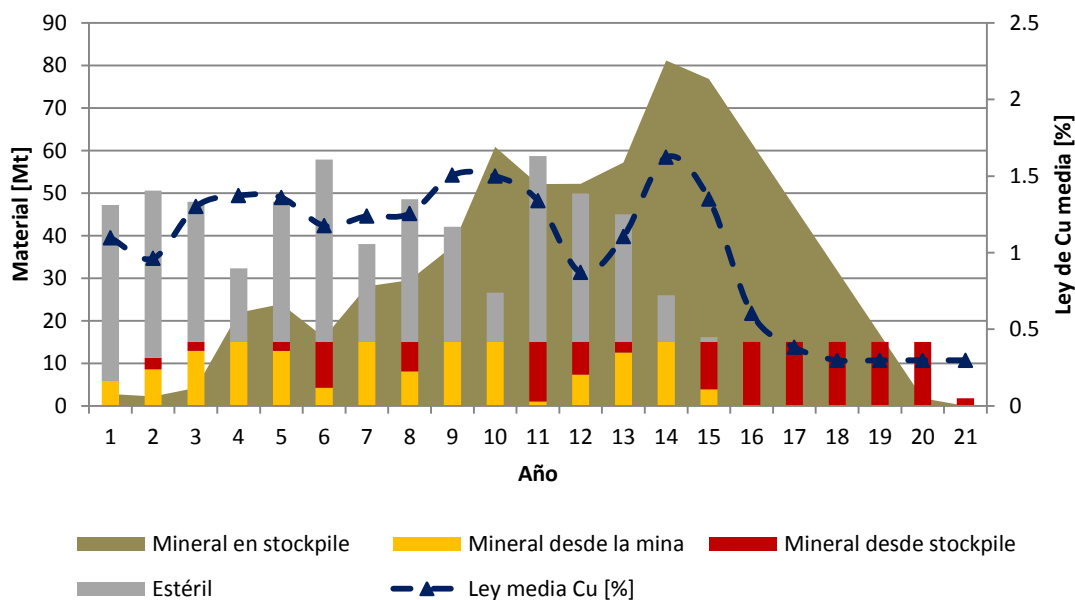


Figura 3-13. Plan minero estratégico para un pit final de 687 Mt utilizando una capacidad de minado de 50 Mt/año y una ley de corte fija de 0.45%Cu mediante el algoritmo Milawa NPV

Se destaca del gráfico el vaivén característico del movimiento total de mina que ocurre en los planes generados por el algoritmo *Milawa NPV*, observado también en la figura 2.6 (der.), del subcapítulo 2.3.6, donde se describen los algoritmos comunes de secuenciamiento en planificación estratégica.

3.4. Evaluar el rendimiento de las opciones

Para evaluar el rendimiento de las opciones, se propone utilizar gráficos en dos y tres dimensiones que muestren el comportamiento de los indicadores estratégicos definidos con anterioridad, en función de las variables de planificación. Específicamente para el análisis en tres dimensiones se sugiere usar gráficos del estilo “*Hill of Value*” o “Colina de Valor”, cuyo enfoque, propuesto por Hall (2003) fue abordado en el capítulo de antecedentes. Como ejemplos de gráficos de este tipo, se puede nombrar a la superficie de valor (VPN), de acuerdo a distintas leyes de corte y capacidades de minado utilizadas en la generación de los planes mineros, para un tamaño de *pit* final definido, como el ejemplo de la figura 3.14, o también observar el desempeño de alguno de los indicadores propuestos para distintos tamaños de envolvente y valores de ley de corte a una capacidad de procesamiento o de minado dada.

También se usó como referencia para evaluar el desempeño de los escenarios, el enfoque propuesto en el trabajo de Poblete et al. (2016): *Use of Robust Design Methodology for Production Scale Definition in Open Pit Mining*, dónde se muestra una herramienta desarrollada para hacer una selección robusta de escalas de producción y leyes de corte, a partir de simulaciones para distintas configuraciones de control y ruido exógeno.

Otra consideración para este apartado, es seguir un orden correlativo en los análisis de acuerdo a cada variable, por ejemplo, primero mostrar los resultados filtrados por capacidad de minado, y luego los filtrados por tamaño de envolvente final.

En particular para la figura 3.14 se observa que los máximos valores en VPN de la colina, son alcanzados para tasas de minado cercanas a 100 Mt/año y leyes de corte sobre los 0.5% Cu. Destaca el hecho, de que si se plantea una operación en un punto de leyes marginales (0.15% Cu por ejemplo) y a una baja tasa de minado (40 Mt/año), la manera de obtener la mejor captura de renta económica (en forma de VPN) que tendría esta operación ficticia, sería no sólo aumentando la capacidad de minado, sino que también, la ley de corte aplicada al proceso, dando cuenta del carácter multidimensional del VPN y de la importancia de generar procesos y herramientas que consideren este carácter, ya sea del VPN o de las demás variables de planificación involucradas. La metodología planteada en este trabajo, apunta en esa dirección.

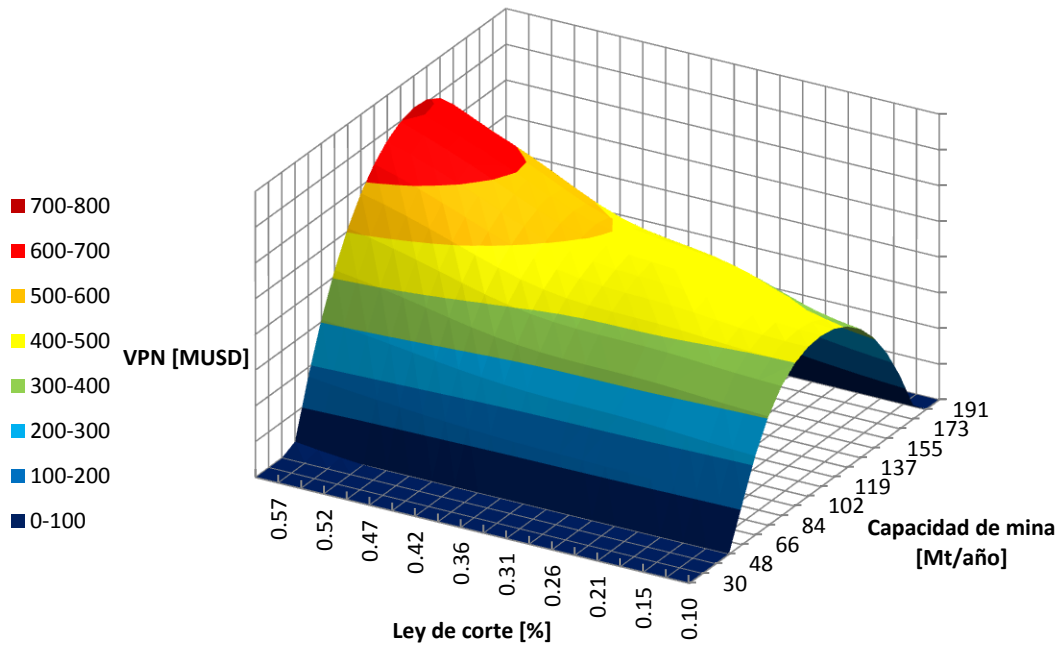


Figura 3-14. Ejemplo de gráfico de superficie: Colina de valor (VPN) para distintas capacidades de minado y distintos valores de leyes de corte para el Cu

Por otra parte, en la figura 3.15, dónde se muestra el comportamiento en VPN de distintas capacidades de minado para distintas leyes de corte, también para un tamaño definido de envolvente final, pero correspondiente a un yacimiento distinto al mostrado en la figura 3.13, se observa que las capacidades de minado que maximizan el VPN, para esa envolvente dada, se encuentran aproximadamente entre 60 y 90 Mt/año, con una leve tendencia hacia las capacidades de 60 Mt/año.

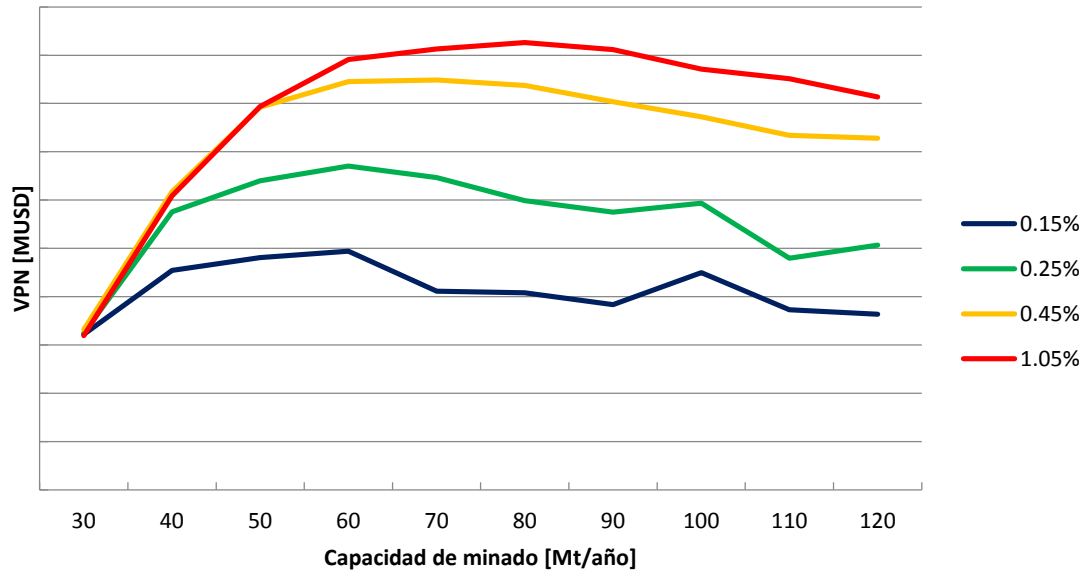


Figura 3-15. Ejemplo de gráfico tipo: Curvas de valor (VPN) en función de la capacidad de minado para distintos valores de leyes de corte de Cu

La cantidad de análisis y gráficos a utilizar dependerán del nivel de detalle que se quiera abarcar con el estudio y de los recursos destinados para ello. Por ejemplo si se quiere obtener sólo una idea del comportamiento del indicador debido a la variación de las distintas variables de diseño, la cantidad de escenarios a evaluar no necesita ser intensiva, pero sí por ejemplo se quisiera determinar el punto de diseño óptimo, si se requiere mayor trabajo en cuanto al número de opciones a utilizar como escenarios posibles de planificación.

3.5. Seleccionar el Pit final

Finalmente, de acuerdo al análisis y evaluación de los resultados e indicadores de desempeño asociados a cada escenario de planificación, se escoge la o las envolventes que mejor satisfagan los lineamientos estratégicos de la compañía minera en cuestión.

Por ejemplo, si se considerara el caso de una compañía interesada en mantener una posición de estabilidad en el mercado, mediante la minimización de los costos, se podría analizar el gráfico de la figura 3.16, donde se muestra el costo caja promedio durante la vida de la explotación, para los planes mineros de distintos tamaños de envolvente a una tasa de minado fija.

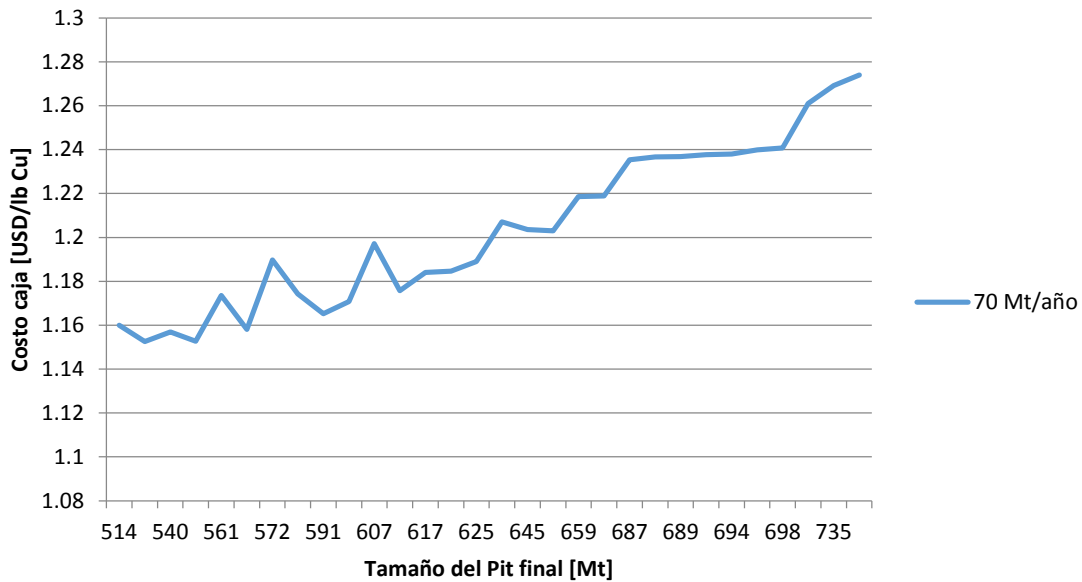


Figura 3-16. Costo caja promedio, para distintas envolventes finales, a una tasa de minado de 70 Mt/año

De la figura se puede observar, que los tamaños menores de envolvente, son los que presentan los menores costos caja promedio, para la tasa de minada de 70 Mt/año, a pesar de esto, estos resultados entre 514 Mt y 617 Mt aprox. de tonelaje del *pit* final, muestran mayor variabilidad que los resultados a tamaños de *pits* mayores, como entre los tamaños de 660 Mt y 700 Mt aprox. Sin perjuicio de lo anterior, y si la compañía está dispuesta a producir bajo el límite de costos caja de 1.25 USD/lb Cu, se recomienda para este caso, preferir las envolventes con tamaños mayores, entre 660 Mt y 700 Mt.

Desde otro punto de vista, si se consideran las toneladas de Cu fino promedio producido al año, de acuerdo a una estrategia de establecer una posición de liderazgo en el mercado y se observa la figura 3.17, también se deduce que los planes mineros asociados a los menores tamaños de envolvente, producen la mayor cantidad de Cu fino por período, en particular, las mayores leyes de corte, producen aún mayores toneladas de Cu. Este hecho se explica por las menores vidas de mina, de los planes mineros asociados a estas opciones, por lo que si bien, tamaños menores garantizan mayores producciones por período, de acuerdo a los resultados mostrados, estas producciones, no se mantienen por tantos periodos en el tiempo, lo que podría no satisfacer el lineamiento de la compañía. Las toneladas de Cu fino promedio producido al año, representan una unidad de rendimiento, por lo que es esperable, que las envolventes con tamaños menores (que poseen mayor rendimiento), presenten mejores resultados en valor económico (VPN) para los planes mineros evaluados. También se debe decir, que la variabilidad en rendimiento mostrada para los tamaños de envolvente menores, explica el comportamiento variable de los costos caja en la figura 3.16 para esos mismos tamaños, ya que los costos caja están directamente relacionados con las producciones de cobre por periodo.

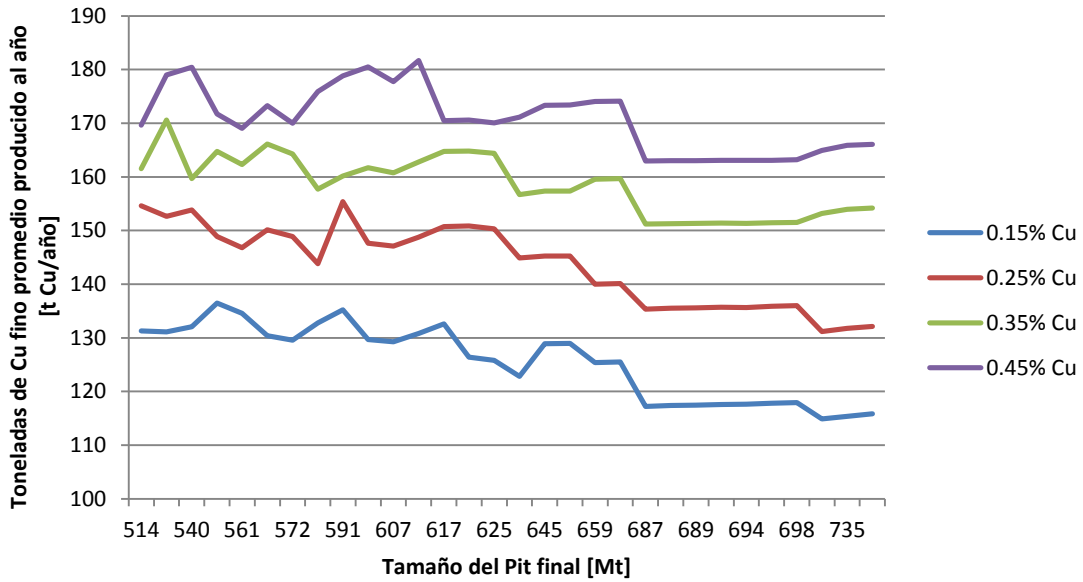


Figura 3-17. Toneladas de Cu fino promedio producido al año, para distintas envolventes finales, a distintas leyes de corte de Cu

Si se observa ahora, la figura 3.18, que muestra la suma de las toneladas de Cu fino producidas en todos los años de vida de cada uno de los planes de producción evaluados, las mayores producciones ciertamente se alcanzan a los tamaños mayores y a las leyes de corte más bajas. Las envolventes sugeridas en este caso, en concordancia con un lineamiento de maximización de reservas por ejemplo, corresponderían a los tamaños mayores.

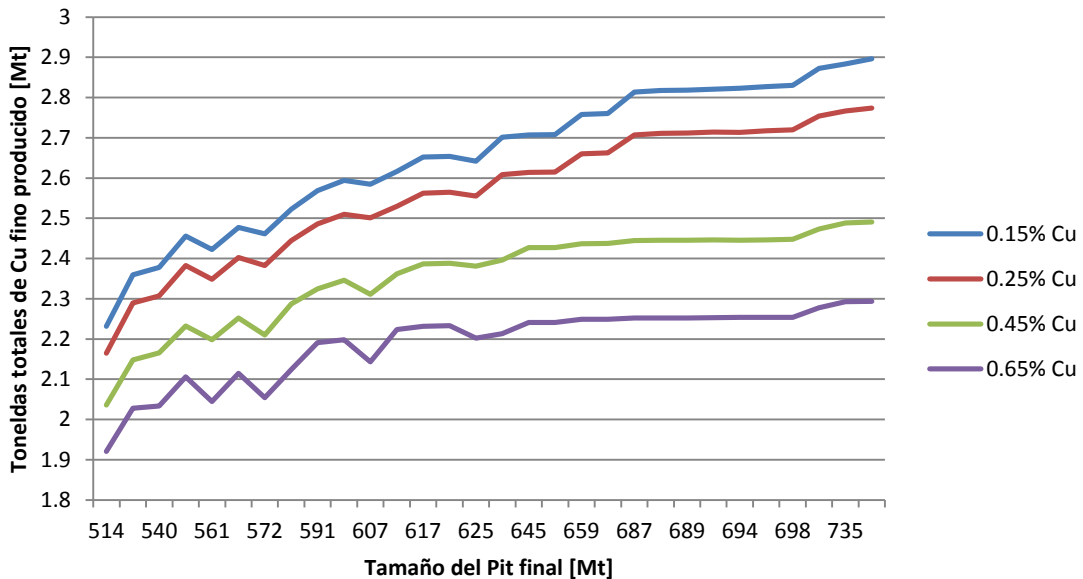


Figura 3-18. Toneladas totales de Cu fino producido a lo largo de la vida de la explotación, para distintas envolventes finales, a distintas leyes de corte de Cu

4. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este trabajo, busca entregar recomendaciones y sugerencias para abordar el problema de selección de envolvente final a cielo abierto desde una perspectiva más informada, que considere aspectos estratégicos clave de una operación de este tipo, que tradicionalmente no se incluyen en el proceso de determinación de la envolvente. Estos aspectos estratégicos van desde la inclusión de las capacidades de procesamiento y minado de la operación, hasta la incorporación de un criterio de entrada a proceso expresado como una ley de corte fija. También se abordan en esta metodología recomendaciones para guiar el proceso de selección de acuerdo a los lineamientos estratégicos definidos por la compañía explotadora.

El primer paso de la metodología planteada se relaciona con una interpretación por parte del ingeniero planificador de los lineamientos estratégicos que mueven a la compañía dueña del yacimiento, o simplemente a los dueños del proyecto, y en como esa interpretación se traduce en el cumplimiento o logro de los distintos indicadores usados en planificación estratégica (como el VPN, TIR, LOM, etc.). En resumen, este paso entrega recomendaciones de cuáles son los indicadores más adecuados o que favorecen objetivos estratégicos puntuales. Este paso, responde a la necesidad de generar un alineamiento de todas las actividades y acciones de la compañía con la cadena de valor del negocio, desde la exploración minera en etapas tempranas de proyecto hasta la comercialización y venta del producto final. (Smith, 2012) destaca esta necesidad de integración entre los objetivos estratégicos y la definición de soluciones óptimas desde el punto de vista técnico-económico. Como se vio en el capítulo de antecedentes, hay distintos objetivos estratégicos que las compañías mineras suelen buscar, y muchas veces los altos ejecutivos de estas compañías caen en la intención de intentar lograr todos o una parte de ellos en conjunto, no teniendo conciencia, de que hay algunos objetivos que se contraponen entre sí, o más bien, que actúan en sentidos opuestos, provocando finalmente que el planificador deba lidiar con estas diferencias y llevar a cabo muchas veces un complejo *trade off*, entre objetivos mientras realiza el proceso de planificación. En este sentido (Whittle, 2009) realiza una investigación en la cual denuncia que el seguimiento de sub-objetivos locales, propuestos por diferentes componentes de la organización, como la maximización de aspectos como el tamaño de los recursos a extraer, la vida mina, las recuperaciones de proceso o la minimización de los costos de minado generan pérdidas relacionadas con el objetivo corporativo global de maximizar el valor económico.

Por otra parte, algunos de los objetivos estratégicos definidos en este trabajo se complementan entre sí, pudiendo compartir indicadores, como los objetivos de mantener una posición de estabilidad en el mercado, maximizar reservas, o copar la capacidad de los activos, que perfectamente pueden utilizar los indicadores de vida mina, costos caja y relación estéril-mineral de manera conjunta. En particular, el lineamiento de copar la capacidad de los activos, toma mayor importancia en el caso de pequeñas mineras, que usualmente, al querer obtener retornos rápidos de su inversión, están dispuestas a asumir mayores riesgos, llevando al máximo la utilización de sus activos disponibles.

Con respecto a los escenarios de diseño, idealmente y en un contexto de optimalidad (Kear, 2006) plantea que para tomar la mejor decisión estratégica es necesario visualizar los resultados de todos los escenarios posibles, pero debido a que esta opción sería muy costosa de realizar en términos del tiempo y los recursos computacionales requeridos, es que se necesita establecer un conjunto de posibles diseños que involucren la mayor cantidad de escenarios operacionales con respecto al total.

Específicamente, la importancia del *pit* final subyace en que este representa el límite físico de la envolvente económica, debiendo determinar la porción del yacimiento (mineral y estéril) que llevará a obtener el mejor negocio productivo del recurso. Es en esta definición de “mejor negocio”, en que autores como (Whittle, 2009), establecen que si el valor del dinero en el tiempo es tomado en cuenta, los *pits* anidados mayores al de RF 1, reducen el valor económico, debido a la cantidad de estéril que es necesario remover para obtener una unidad más de mineral. Así también, el autor indica en su investigación, que desde un punto de vista del VPN se puede observar que el *pit* óptimo se encuentra entre los *revenue factors* 0.65 y 1. Esto, dependiendo de la estructura del depósito, las restricciones de minado, como anchos de mina mínimos, tasas máximas de profundización vertical y límites en el movimiento de mina total, como también las restricciones en las tasas de procesamiento.

Desde otra arista, también se debe decir, que como se dijo en el capítulo de antecedentes, la definición de mejor negocio productivo depende de muchos factores no controlables por el planificador y también de restricciones impuestas por los *shareholders* del proyecto que responden a sus intereses particulares y al lineamiento específico de su cartera o portafolio de proyectos. Es por esto que se recomienda que los posibles tamaños a evaluar estén en concordancia con estos lineamientos.

En relación a la aplicación de leyes de corte, el objetivo es someter a los escenarios posibles a una restricción de ley de entrada mínima a proceso con el fin de priorizar las mejores leyes en etapas tempranas de producción.

Por el lado de las consideraciones operativas y de geometría planteadas, se debe decir que el número de envoltentes intermedias usadas como *pushbacks*, es una variable que impacta a nivel operacional, ya que influye por ejemplo, en la cantidad de frentes activas que se pueden manejar. Teóricamente, mientras mayor sea este número, mayor será el valor económico del plan de extracción asociado, ya que, la explotación se estará acercando al caso ideal de secuenciamiento, dado por el *best case* o extracción *pit a pit*, la desventaja de aumentar demasiado esta cifra es que cada vez se irán teniendo distancias más reducidas entre las fases, haciendo que los *pushbacks* se parezcan más entre sí y dificultando la factibilidad de la extracción.

En cuanto al cuarto paso de la metodología propuesta, el uso de las superficies estilo *Hill of value* permite detectar zonas de puntos de diseño que tienen los mejores desempeños de acuerdo al indicador estratégico establecido, abriendo la posibilidad a ganancias potenciales de valor, que usualmente son mayores a los costos incurridos en generar los planes mineros asociados a los puntos de diseño.

Específicamente para la generación o el planteamiento de los escenarios de diseño, las recomendaciones hechas son simples y permiten generar una nube de puntos o escenarios a partir de un escenario base o de referencia. Este escenario base es el *pit* a RF 1. Las recomendaciones además, permiten definir los límites máximos y mínimos de las variables de diseño, la cantidad de escenarios o valores posibles depende de las herramientas computacionales disponibles y el recurso de tiempo dedicado a la ejecución de esos escenarios.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

5.1. Descripción del yacimiento de estudio

Con el fin de probar la metodología propuesta, se procedió a aplicar a un yacimiento polimetálico real, de cobre, oro y plata, cuya mineralización es de tipo *skarn* y no está diseminada ni se exhibe de forma regular.

Las características del depósito son del tipo sulfuro, haciendo que el modelo de recursos presente dos tipos de roca. El primero de ellos denominado como SP, que corresponde al sulfuro primario y el segundo denominado como SS, correspondiente a sulfuro secundario. Cabe destacar que la mayor proporción del mineral (99% del total) es del tipo sulfuro primario (SP). Los tonelajes de mineral del yacimiento completo, las leyes medias de Cu, Au y Ag, junto a los tonelajes de metal fino de cada elemento se adjuntan en la tabla 5.1, mientras que la curva Tonelaje-Ley del depósito completo se adjunta en la figura 5.1.

5-1. Información del yacimiento completo

Tonelaje SP [Mt]	Tonelaje SS [Mt]	Ley media Cu [%]	Ley media Au [ppm]	Ley media Ag [ppm]	Cu fino [Mt]	Au fino [t]	Ag fino [t]
23,808	41	0.054	0.041	0.197	12.967	974	4,687

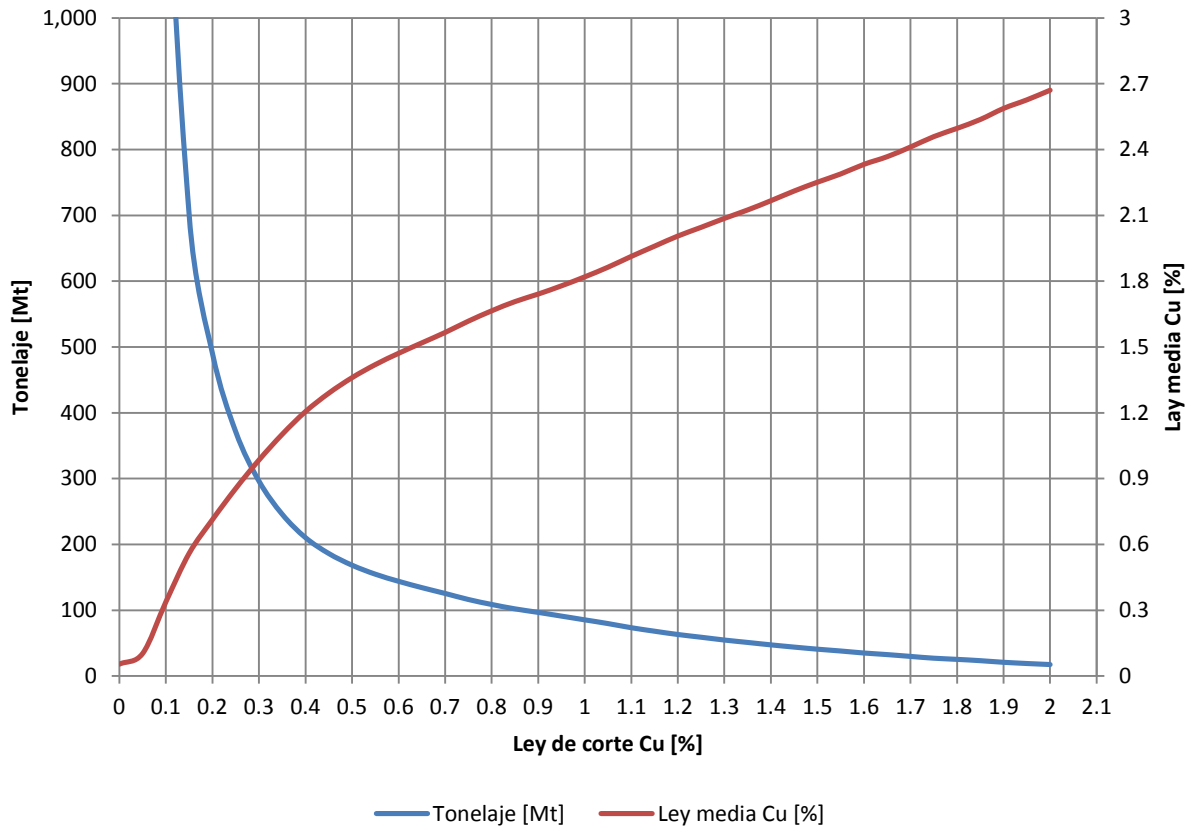


Figura 5-1. Curva Tonelaje-Ley de Cu del yacimiento completo para el mineral de sulfuro primario

La información real del modelo y los parámetros estratégicos entregados por el dueño del proyecto son confidenciales, sin perjuicio de lo anterior, se consideraron para este ejercicio parámetros técnico-económicos dentro de los rangos aceptables. Estos parámetros son los siguientes:

Tabla 5-2: Parámetros técnico-económicos

Elemento	Precio	Costo de venta	Recuperación [%]
Cu	2.56 US\$/lb	0.5 US\$/lb	90
Au	1,250 US\$/ozt	400 US\$/ozt	59
Ag	20 US\$/ozt	4.5 US\$/ozt	69

Tabla 5-3: Parámetros técnico-económicos

Parámetro	Valor
Costo de minado [US\$/ton]	2.1
Costo de procesamiento [US\$/ton]	7.4
Ángulo de talud global [°]	47
Tasa de descuento [%]	10

Con respecto al modelo de costos, se destaca que se utilizaron factores de ajuste por elevación y por tipo de roca a los costos de minado y procesamiento de cada bloque. Estos factores son los típicamente denominados MCAF y PCAF, por sus siglas en inglés, *Mining Cost Adjustment factor* y *Processing Cost Adjustment factor*. Es usual utilizar esta clase de factores para incorporar, por ejemplo, la diferencia entre el costo de minado entre los bloques cercanos a la rampa de acceso a la mina (si ya se encuentra definida) y los más alejados, también, en el caso del costo de proceso, se puede incorporar el sobre costo que generalmente se genera en algunas plantas por procesar mineral bajo una ley determinada.

El tamaño de los bloques para este modelo de recursos corresponde a 40x40x15 m, y tiene una extensión de 68 bloques en la coordenada Este, 84 bloques en la coordenada Norte y 87 bloques en la coordenada de Elevación.

Con los parámetros dados y considerando un índice de referencia en Z de 22, correspondiente aprox. al centro de gravedad de un cono invertido, si se considera como origen del modelo en Z el valor máximo en esa coordenada, es posible determinar una ley de corte marginal para el yacimiento de 0.25% con respecto al cobre, que es definido como el metal principal, debido al considerable porcentaje de bloques que están sobre esta ley marginal, en comparación a los bloques que se encuentran sobre las leyes marginales de oro y plata, cuyos valores son de 0.53ppm y 29.51ppm, respectivamente para el mismo índice de elevación de 22, este hecho se aprecia en las figuras 5.2 y 5.3.

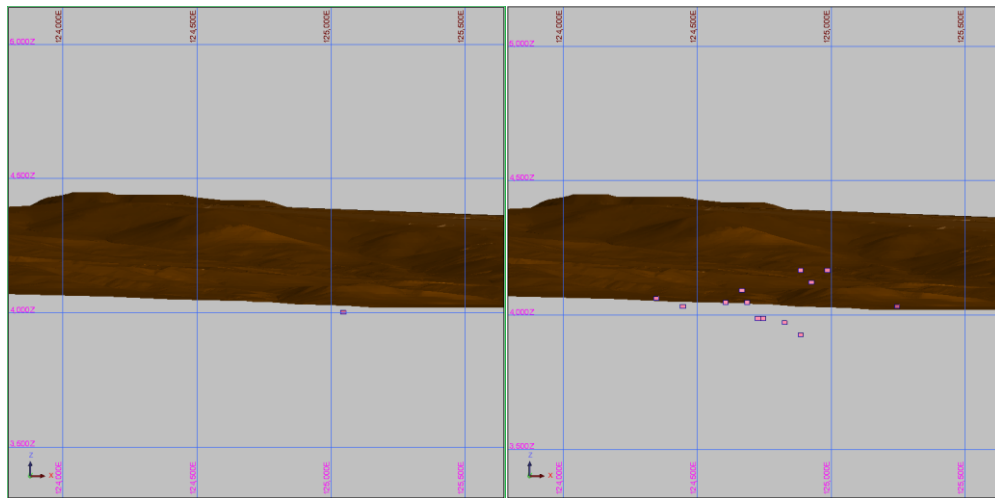


Figura 5-2. Perfiles Este-Elevación del modelo filtrado por la ley de Au marginal (izq.) y por la ley de Ag marginal (der.)

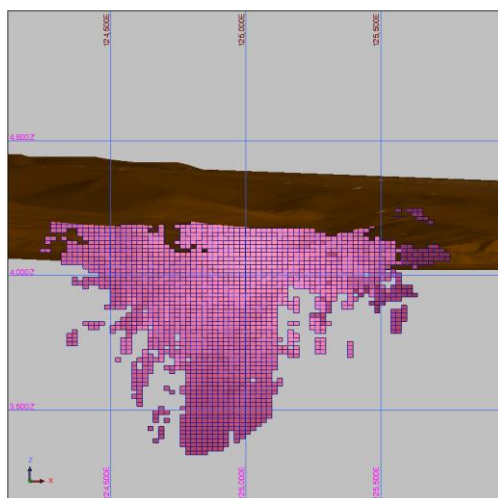


Figura 5-3. Perfil Este-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre

A partir de los parámetros técnico-económicos considerados, se calculó la ley de cobre equivalente sólo para visualizar el modelo de recursos, las demás intervenciones de ley de corte en los escenarios de planificación se refieren sólo al cobre, no al cobre equivalente. Las siguientes imágenes presentan un filtro a los bloques de 0.25% de Cu (equivalente).

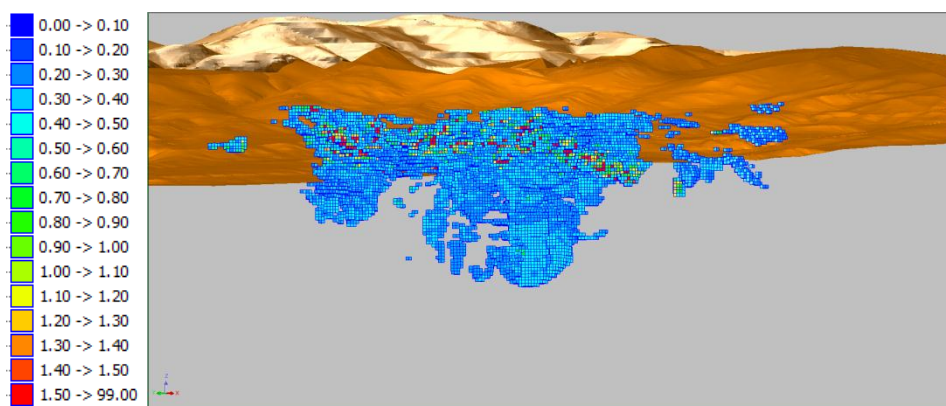


Figura 5-4. Vista isométrica desde el Nor-Este del modelo de recursos filtrado por la ley de corte marginal de cobre

Se asumirá para este ejercicio de prueba una capacidad de planta pre-fijada de 15 Mt/año, y no se considerará periodo de “*Ramp up*”.

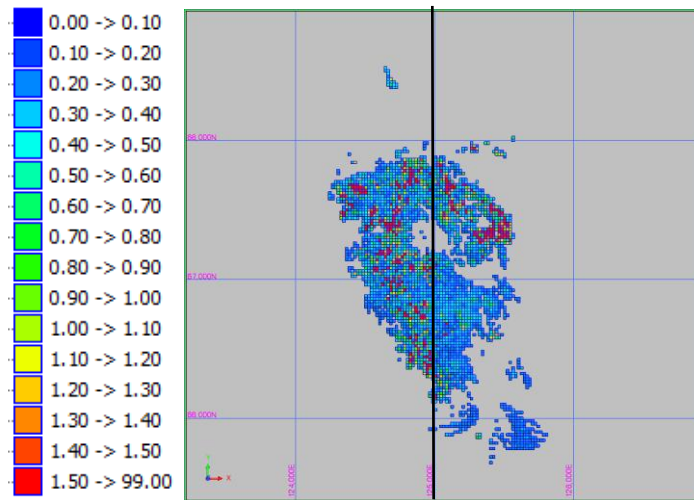


Figura 5-5. Vista en planta sin topografía mostrando un corte en la coordenada 125,000 Este

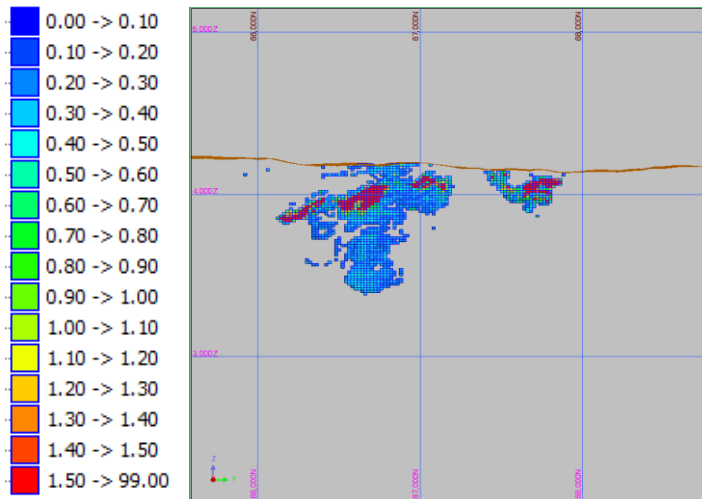


Figura 5-6. Corte sección vertical en la coordenada 125,000 Este

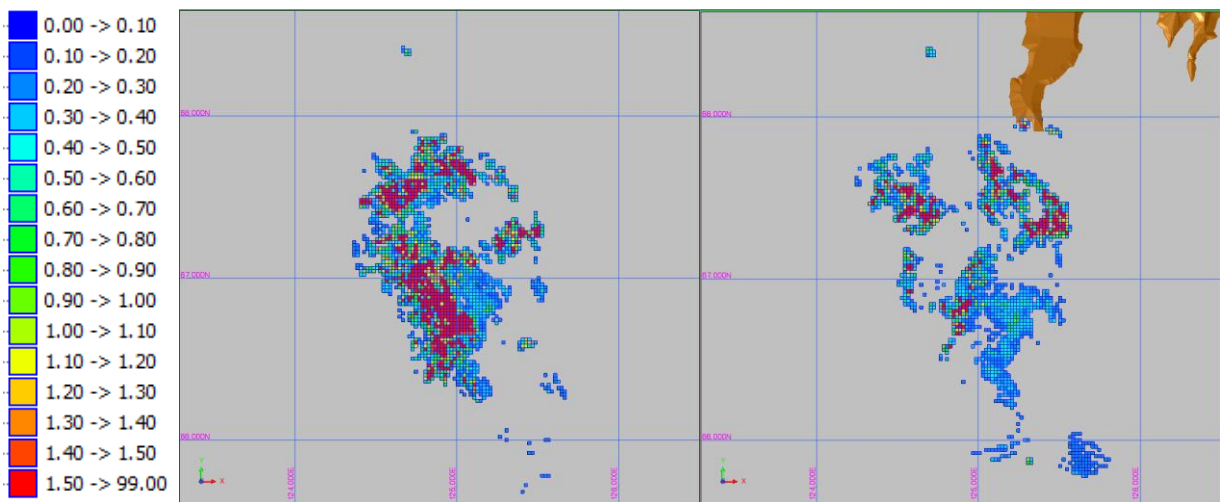


Figura 5-7. Vistas en planta para las cotas 4,000 (izq.) y 4,100 (der.)

De las imágenes anteriores, se aprecia levemente que el yacimiento posee una forma similar a una herradura, donde las leyes altas se dividen en una región superficial ubicada al norte de la mineralización y una región más profunda ubicada en el brazo sureste del cuerpo.

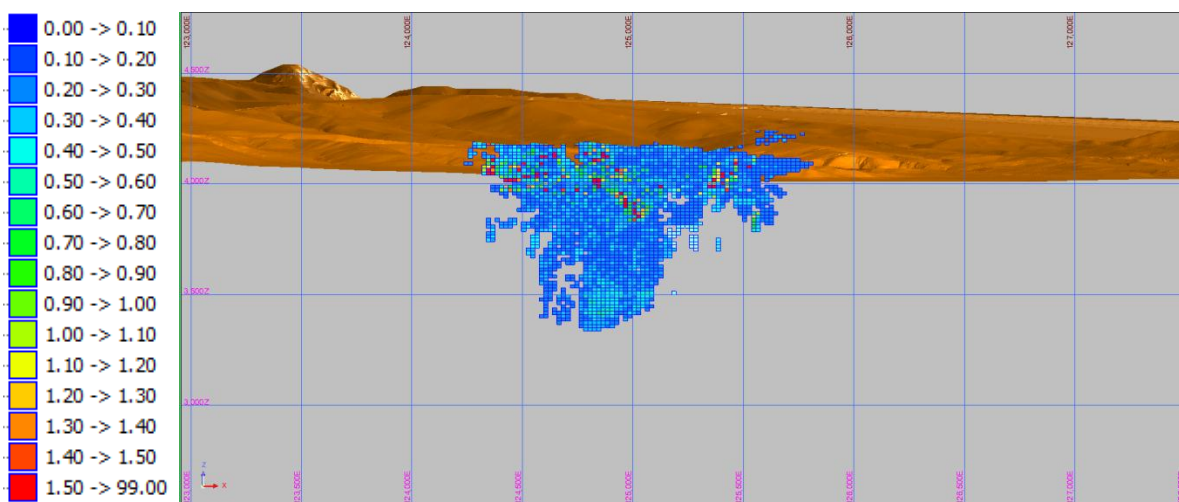


Figura 5-8. Perfil Este-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre

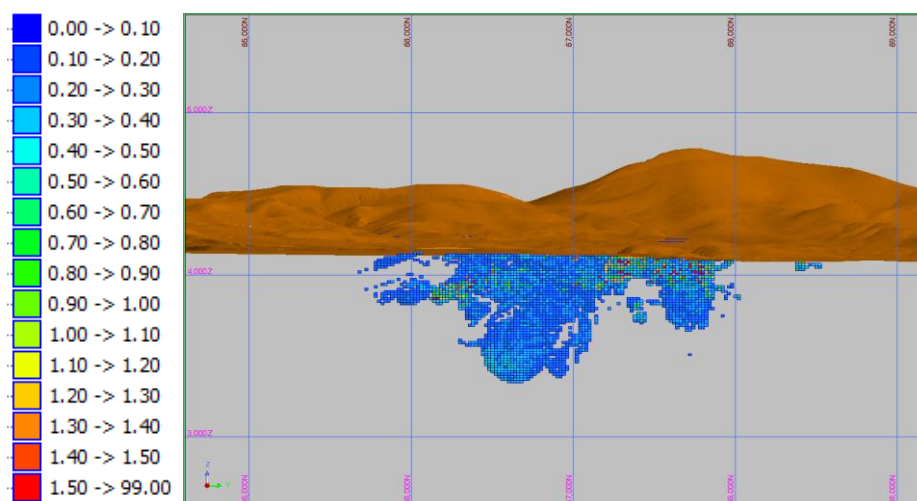


Figura 5-9. Perfil Norte-Elevación del yacimiento filtrado por la ley de corte marginal de cobre

En las siguientes sub-secciones se procede a detallar la aplicación de la metodología propuesta al yacimiento de estudio.

5.2. Interpretar objetivos estratégicos

Para efectos del caso de estudio, se define como objetivo estratégico la maximización del valor económico, por lo tanto, y según las recomendaciones realizadas en el presente trabajo, se establece como indicador principal el VPN del proyecto. Además de este indicador, se usarán también el índice del valor actual neto (iVAN), la vida de la mina y el *payback* descontado. Otros indicadores a capturar por la presente metodología, de carácter más técnico, son las toneladas de mineral sobre la ley de corte, la relación estéril/mineral de la envolvente final, las toneladas que

entran a *stockpile* y también las toneladas totales que entran a proceso. En resumen, las salidas o indicadores a considerar se detallan a continuación:

- VPN
- Toneladas de mineral entrante a proceso
- Toneladas de mineral sobre la ley de corte
- Toneladas de mineral entrantes a *stockpile*
- Vida de la mina
- iVAN
- *Payback* descontado
- Fases óptimas obtenidas haciendo consideraciones operacionales
- Relación Estéril-Mineral de la envolvente final

5.3. Plantear escenarios de planificación

Antes de continuar con la aplicación de la metodología, es necesario nombrar las consideraciones que se realizarán en este paso.

Las herramientas computacionales utilizadas para la aplicación de la metodología, corresponden a los *softwares* GEOVIA Whittle y SIMULIA Isight, ambos de propiedad de la compañía Dassault Systèmes. El primero de ellos, enfocado en el proceso de planificación minera estratégica, permite generar planes mineros y programas de producción que respeten las directrices del ingeniero planificador que está ejecutándolo. El programa, permite evaluar prácticamente cualquier escenario determinístico que el planificador desee, dados los parámetros de entrada. El segundo de ellos, es una herramienta de simulación, que mediante la edición automática de archivos de entrada y salida, permite diseñar, optimizar y analizar flujos de trabajo que involucren sistemas o aplicaciones que no necesariamente están diseñados para trabajar de forma conjunta. En este caso de estudio, SIMULIA Isight será utilizado para ejecutar intensivamente el *software* GEOVIA Whittle, con el fin de generar cientos o miles de escenarios de planificación, en tiempos computacionales razonables.(desde unas pocas horas hasta días de ejecución, dependiendo de la cantidad de escenarios a evaluar y las características del flujo de trabajo).

Otra de las consideraciones hechas para este caso de estudio, fue que la generación de *pits* anidados se llevó a cabo mediante la incorporación de un punto de inicio y una dirección de minado, características que pueden ser implementadas en el software de planificación estratégica GEOVIA Whittle. El detalle de esta metodología se puede consultar en el trabajo de Poblete et al. (2016): *Impact of the starting point and of the direction of open pit exploitation on the mining plan*.

De acuerdo a la interpretación del objetivo estratégico establecido para este caso de estudio, se definieron los siguientes escenarios factibles de planificación.

5.3.1. Rango de tamaños posibles del pit final

Se consideraron 30 tamaños posibles de *pit* final, a partir de las envolventes anidadas generadas por el método de *pits* direccionados, nombrado anteriormente. El rango de esta variable considera tamaños con tonelajes entre 514 Mt y 743 Mt. Este último tamaño corresponde al *pit* a *revenue factor* 1 mientras que el primero corresponde al *revenue factor* 0.55. Los tamaños se establecieron siguiendo la sugerencia planteada en el capítulo 3.2 de la metodología propuesta. Particularmente, se escogen los RF 0.55 y 1, como valores mínimo y máximo de la variable de planificación ligada al tamaño de la envolvente final, porque según la figura 3.5, estos factores marcan la planicie donde se obtienen los mayores flujos de caja descontados, alineando de esta manera, los tamaños considerados con el indicador principal establecido (VPN).

5.3.2. Capacidades de mina

Con respecto a las capacidades mina, se utilizaron 5 valores. Desde 30 Mt/año hasta 70 Mt/año considerando incrementos sucesivos de 10 Mt/año. El rango fue determinado con la ayuda del gráfico de la figura 5.10, donde se utilizó el algoritmo *Milawa NPV*, para obtener el plan minero asociado al *pit* a RF 1, que fue considerado como envolvente de referencia. En este gráfico se consideró fija la capacidad de procesamiento en 15 Mt/año, como se dijo al inicio del capítulo 5, de la aplicación de la metodología y se dejó libre la capacidad de mina, tal como lo sugiere el presente trabajo. Del gráfico, se puede observar que la mayor tasa de minado alcanzada corresponde a 70 Mt/año. Con respecto al valor mínimo, se establece en 30 Mt/año porque a capacidades menores, la vida mina para el *pit* a RF 1 considerado como referencia, era muy alta (sobre 25 años), siendo indicativo esto, de una tasa de minado sub-dimensionada. Además, este aspecto toma particular importancia si se considera que el indicador principal establecido para este caso de estudio (VPN), castiga demasiado los flujos futuros a percibir a partir de una alta cantidad de períodos, como los 25 años de este caso.

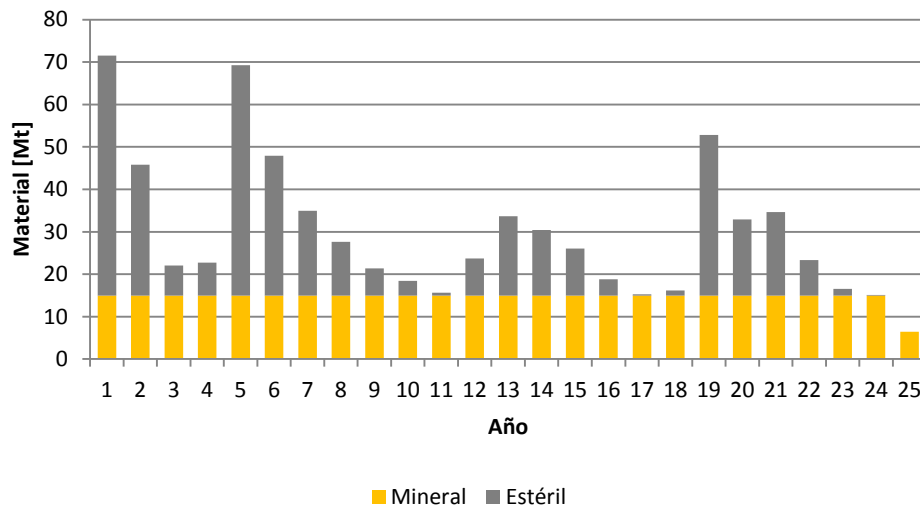


Figura 5-10. Plan minero estratégico para el Pit a RF 1 del yacimiento de estudio obtenido mediante el algoritmo *Milawa NPV* y sin limitar la capacidad de minado, a leyes marginales y sin considerar el uso de *stockpiles*

5.3.3. Leyes de corte

El criterio de leyes de corte se establece en relación al cobre, por ser el elemento principal del yacimiento.

Los valores a considerar corresponden a 6. Primero, el valor de ley de corte marginal de cobre determinado para el yacimiento de 0.25%. Una ley menor a esta, fijada en 0.15%, que servirá como caso base, y 4 valores de ley de corte desde 0.35% hasta 0.65% con incrementos sucesivos de 0.1%. Se fijó como límite superior el valor de 0.65%, porque a partir de esta ley el mineral resultante, sólo alcanzaba para abastecer la planta de proceso por 10 años, que se consideró como periodo de vida mínimo para este ejercicio. Este alcance, se aprecia en la figura 5.11, donde para la curva tonelaje-ley del *pit* a RF 1 del yacimiento de estudio, las toneladas de mineral son alrededor de 150 millones.

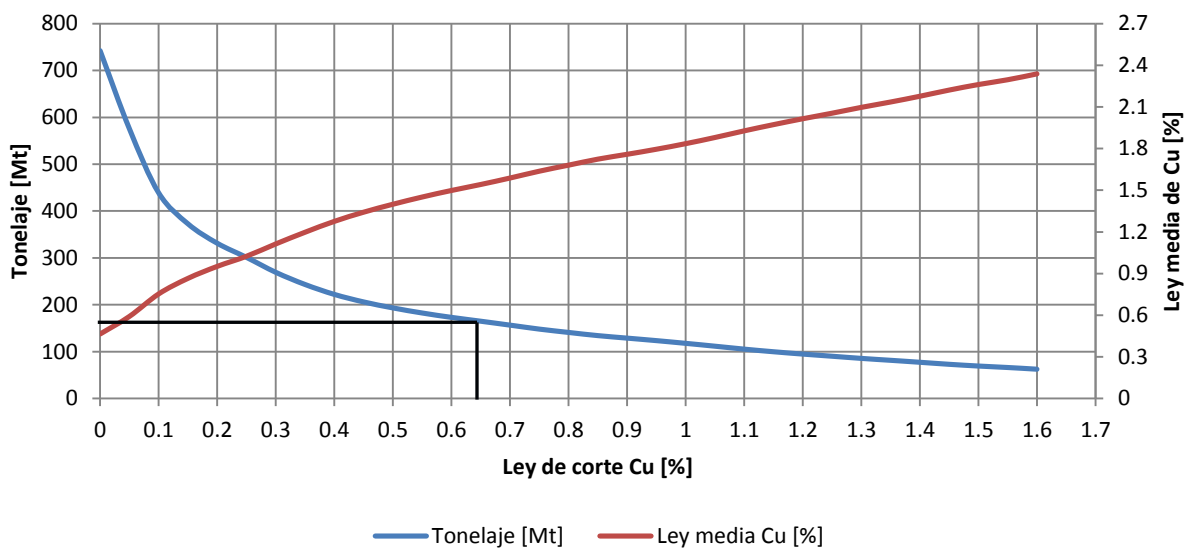


Figura 5-11. Curva tonelaje-ley del Pit a Revenue Factor 1 para el yacimiento en estudio

5.3.4. Consideraciones geométricas y de geometría de las fases

Para establecer el número de envolventes anidadas a utilizar como *pushbacks* en la aplicación de la metodología al caso de estudio, se considera el número de fases recomendado de 4, y se hace la comprobación visual sugerida para el *pit* de referencia (RF 1). En la figura 5.12, se observa que las fases son sustancialmente regulares, presentan volúmenes adecuados y muestran espacios suficientes para ser explotados, por lo que se confirma que 4 es un buen número para este yacimiento en particular.

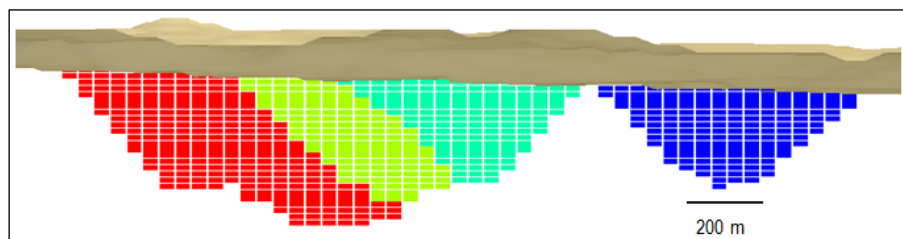


Figura 5-12. Visualización de perfil, considerando 4 envolventes anidadas como *pushbacks*, para el pit a RF 1

Debido al bajo costo computacional y de tiempo que ofrecen las herramientas utilizadas para probar esta metodología, es que también se decide por utilizar una cantidad de envolventes intermedias o *pushbacks* de 5.

Como restricciones operacionales impuestas al algoritmo secuenciador, se impone una *sinking rate* o tasa de profundización máxima de bancos por período de 8, cercana a 10 como indican las sugerencias, un ancho de minado mínimo de 120 m para garantizar de sobremano el espacio necesario por los equipos de carguío con mayor capacidad (100 t aprox.) y tener al menos tres bloques en la base del *pit* final y en la base de los *pits* intermedios para ser consecuentes con el ancho de carguío fijado en 120 m, ya que el tamaño de bloques utilizado en este caso de estudio fue de 40 m. Además, otra consideración importante, es que al algoritmo se le impuso la condición de que la primera fase, debería tener el mineral suficiente para alimentar la planta de procesos durante al menos los 3 primeros años de operación.

En la figura 5.13 se aprecia el flujo de trabajo seguido en la aplicación de la metodología propuesta. A modo de resumen, se destaca que el primer paso consistió en la definición de los indicadores a utilizar para evaluar económica y técnicamente los planes mineros generados, el segundo paso, constó, del establecimiento de los límites mínimos y máximos de las variables a considerar para la generación de los escenarios de planificación, estas variables fueron las capacidades de minado, las leyes de corte y el número de fases preliminares o *pushbacks*. Los dos pasos anteriores fueron previos al ciclo iterativo de generación de los planes mineros, que fue llevado a cabo mediante *software* comercial. Este ciclo, que se muestra en líneas segmentadas en la figura 5.13, partió con una generación de *pits* anidados restringiendo el mineral por distintas leyes de corte, con el objetivo de generar envolventes más pequeñas y más eficientes en su captura de renta económica. Luego, para cada conjunto de *pits* anidados generado se estableció una fase inicial, de acuerdo al criterio de que esta fase tuviese el mineral suficiente para alimentar a la planta de procesamiento durante al menos, los dos primeros años de operación. Hecho esto, se seleccionaron distintos candidatos a *pit* final, de diferentes tamaños, para cada conjunto de *pits* anidados, y luego, se configuraron, en la herramienta comercial utilizada, las distintas capacidades de mina a evaluar y las distintas leyes de corte, pero ahora estas últimas, con efecto en el secuenciamiento minero, no en la generación de los *pits* anidados. Después, el ciclo automático e iterativo, luego de la asignación de CAPEX para cada escenario de planificación planteado, hizo una selección automática de fases, haciendo consideraciones operativas. Esta selección buscó la combinación de fases que maximizara el VPN del plan minero generado, esto,

para todos los escenarios de planificación evaluados. El flujo de trabajo automatizado, realizado en el software comercial SIMULIA Isight, se adjunta en anexos.

Finalmente se analizan los resultados generados y se selecciona la o las mejores envolventes finales (pasos 4 y 5).

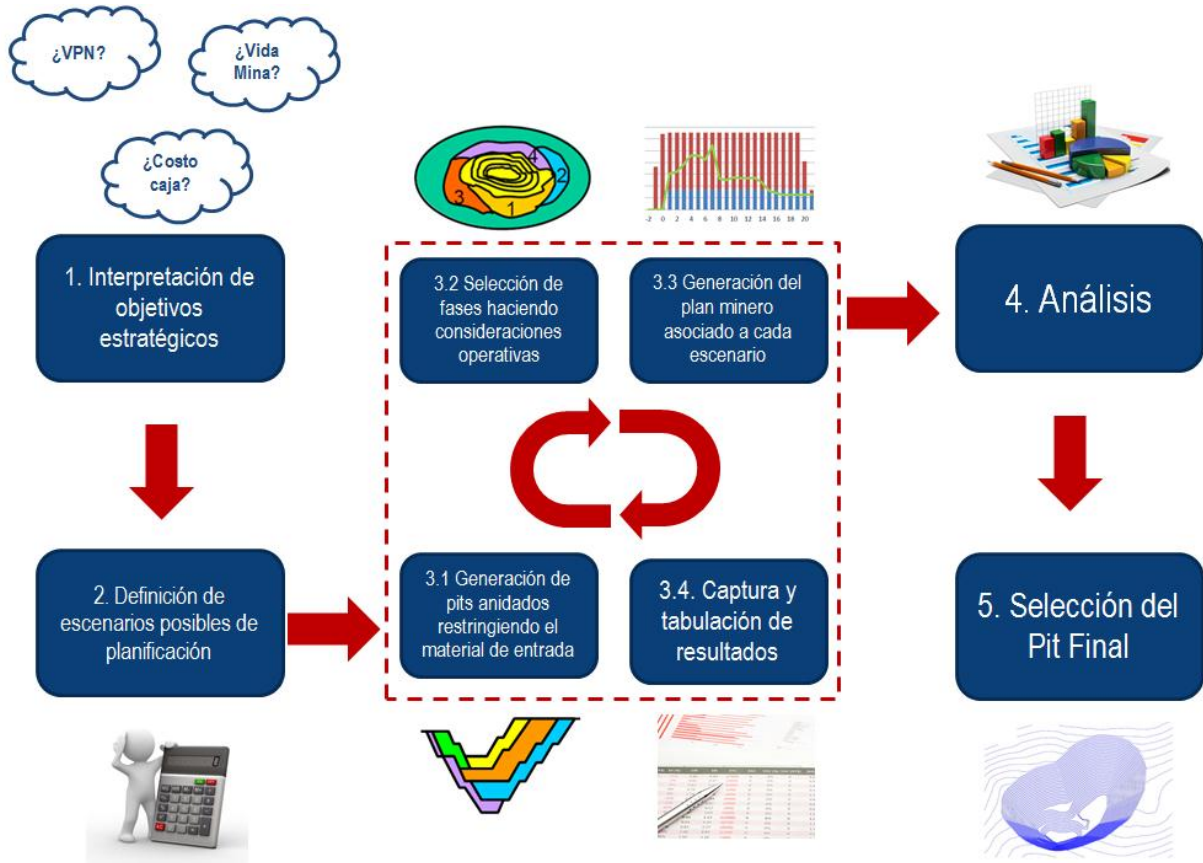


Figura 5-13. Flujo de trabajo seguido en la aplicación de la metodología propuesta mediante el software GEOVIA Whittle

5.3.5. Inversión estimada

Para estimar la inversión total, se utilizó la función polinómica propuesta en el capítulo 3.2 de este estudio, cuyas variables independientes son la capacidad de procesamiento, la capacidad de minado y el tonelaje de material del *pit* final.

En la tabla 5.4, se muestran algunos valores de inversión estimados por la función para distintos escenarios de capacidad mina, planta y tamaño de la envolvente final. Como se puede apreciar, los montos de CAPEX son razonables.

Tabla 5-4. Estimación del CAPEX para distintos escenarios de capacidad de procesamiento, minado y tamaño de la envolvente final.

Cap. De procesamiento [Mt/año]	Cap. De minado [Mt/año]	Tamaño de la envolvente [Mt]	CAPEX total [MUSD]
15	30	743	1,535
15	50	743	1,627
15	70	743	1,719
15	50	514	1,513
15	50	618	1,565
15	50	721	1,616

Finalmente, la totalidad de escenarios a evaluar correspondió a 1,800. El tiempo de ejecución fue aproximadamente 10 días. En los capítulos siguientes se muestran los resultados obtenidos y los análisis que se llevaron a cabo.

5.4. Ejecutar los escenarios y almacenar los resultados

Luego de la ejecución de los escenarios planteados, los resultados se guardaron de acuerdo a la forma mostrada en la tabla 5.5, esta tabla corresponde a un extracto de la tabla total de resultados, que se adjunta en el capítulo de anexo.

Tabla 5-5. Extracto de la tabla usada para almacenar los resultados de los 1,800 escenarios de planificación

Variables de planificación						Indicadores estratégicos					
Corrida #	Tasa mina [Mt/año]	Ley de corte [%]	N° Fases	Capex total [MUSD]	Tamaño del Pit final [Mt]	IVAN	LOM	VPN [MUSD]	Payback descontado	Fases óptimas	Mineral sobre ley de corte [Mt]
1	30	0.65	4	1,420	514	0.82	20	1,165	8	8 13 15 18	134
2	30	0.55	4	1,420	514	0.81	20	1,156	8	8 11 14 18	140
3	30	0.45	4	1,420	514	0.83	20	1,176	8	8 13 15 18	152
4	30	0.35	4	1,420	514	0.83	20	1,179	8	8 13 15 18	166
5	30	0.25	4	1,420	514	0.82	20	1,164	8	8 13 15 18	186
6	30	0.15	4	1,420	514	0.78	20	1,112	8	8 11 15 18	215
7	30	0.65	4	1,431	535	0.84	21	1,207	8	8 12 16 19	136
8	30	0.55	4	1,431	535	0.85	21	1,211	8	8 12 16 19	143
9	30	0.45	4	1,431	535	0.85	21	1,214	8	8 12 16 19	153
10	30	0.35	4	1,431	535	0.85	21	1,210	8	8 12 16 19	166

5.5. Evaluar el rendimiento de las opciones

Para seguir un orden correlativo en los análisis, los resultados se filtraron por variable de planificación. Se recuerda, que para efectos de comparar los análisis emanados por la aplicación de la metodología propuesta, se definen como casos bases, los escenarios realizados con un criterio de entrada a proceso de 0.15% en la ley de cobre. Aplicar una ley de entrada mínima a proceso menor a la ley de corte marginal del yacimiento, es equivalente a no utilizar criterio de entrada, y esto es justamente lo que se quiere mostrar con el caso base.

5.5.1. Análisis de acuerdo a la ley de corte

A continuación se presentan superficies de valor y gráficos en dos dimensiones filtrados por ley mínima de entrada a proceso.

En la figura 5.14, donde se muestra el comportamiento del VPN, para distintas tasas de minado y a la ley de corte definida para el caso base (0.15% Cu), se puede notar que para todas las tasas de minado a medida que aumenta el tamaño del *pit* final el valor económico tiende a decaer, en particular, para los tamaños menores de envolvente, la diferencia en valor entre la tasa de 30 Mt/año y las demás evaluadas es de alrededor de 400 MUSD, por lo que la capacidad de 30 Mt/año se considera poco atractiva del punto de vista económico. Para los tamaños más grades de *pit* en general no hay mayor diferencia en valor económico entre las capacidades, excluyendo la de 30 Mt/año. Si se observa el gráfico de la figura 5.15, donde se muestran las mismas variables, pero filtradas a una ley mayor (0.25% Cu), se aprecia un despegue en valor de las capacidades de mina entre 40 Mt/año y 70 Mt/año, haciendo más notorio el poco atractivo económico de la tasa de 30 Mt/año. Pero si se aumenta la ley de corte, a 0.45% Cu por ejemplo, en la figura 5.16, se puede notar un nuevo salto en valor, pero ahora sólo de las tasas entre 50 Mt/año y 70 Mt/año, haciendo también que la capacidad mina de 40 Mt/año pierda atractivo económico. Es de esperar que al aumentar la ley de corte, las capacidades de minado más altas obtengan mejores resultados económicos, ya que esto implica que además de priorizar el mineral de mejor calidad por el criterio de ley de corte, una mayor tasa de minado permite acceder más rápido a ese material, obteniendo mejores flujos de caja en los primeros años. Este hecho se ve demostrado en la figura 5.17, donde se muestra el *payback* descontado para las capacidades de minado de 30 Mt/año, 40 Mt/año y 70 Mt/año.

En la figura 5.18, donde se muestra la superficie de valor (VPN), por tamaño de *pit* final y capacidad de minado a una ley de corte de 0.55%Cu, se confirma el hecho de que los mejores resultados en valor se obtienen para las capacidades de minado más altas y además, para tamaños de evolvente final menores al tamaño máximo dado por el *pit* a RF 1, que corresponde a un tamaño total de 743 Mt.

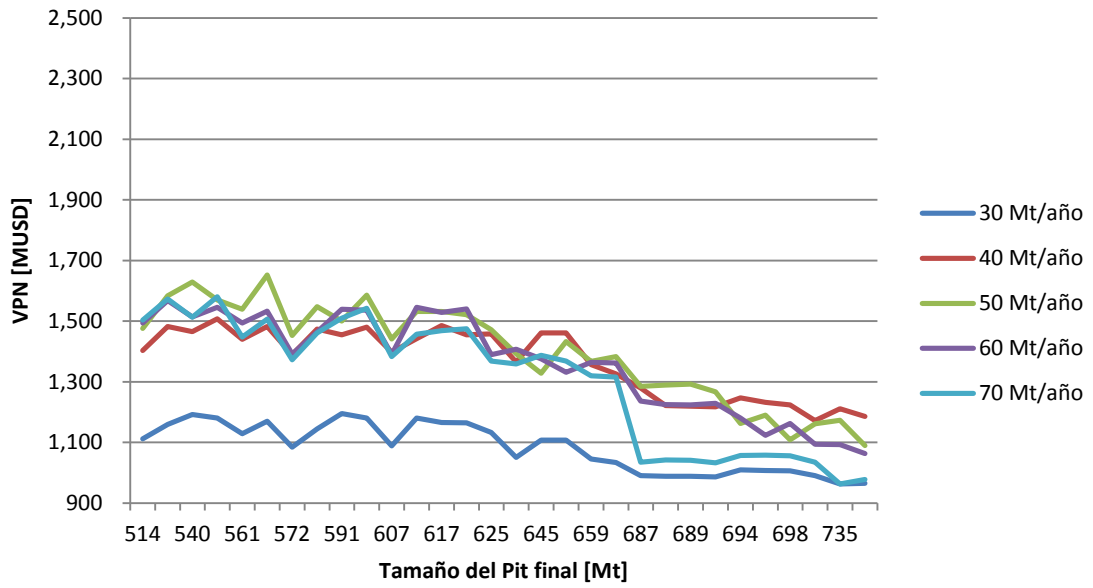


Figura 5-14. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.15% Cu

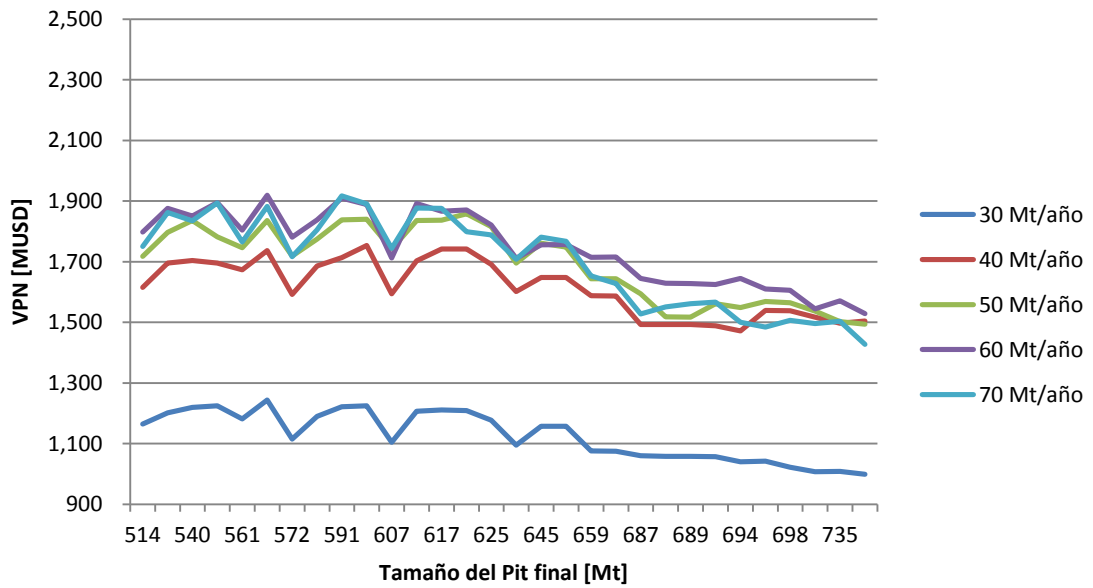


Figura 5-15. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.25% Cu

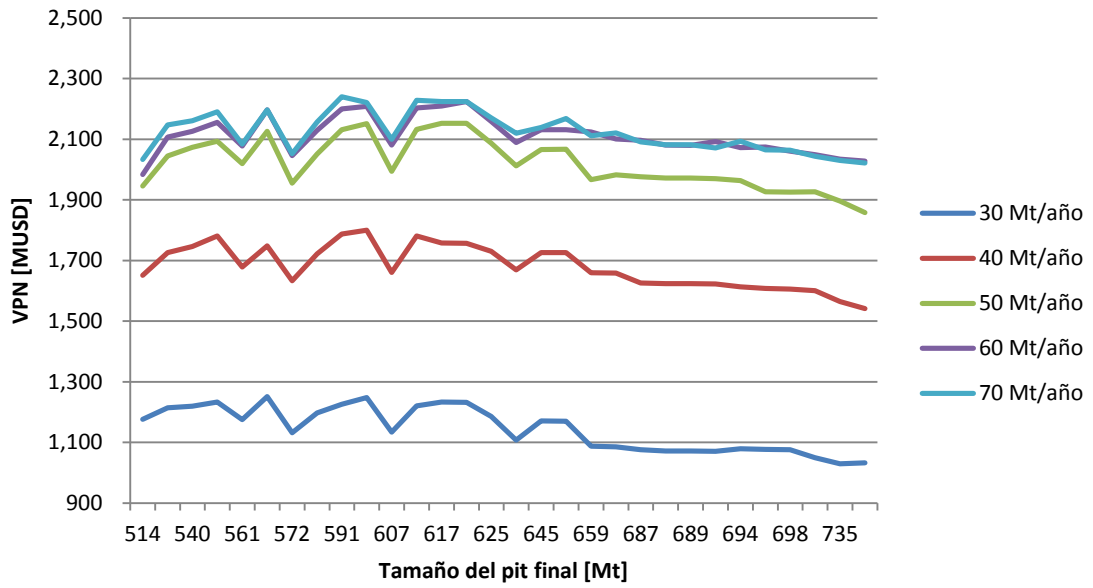


Figura 5-16. VPN para distintas tasas de minado y a una ley de 0.45% Cu

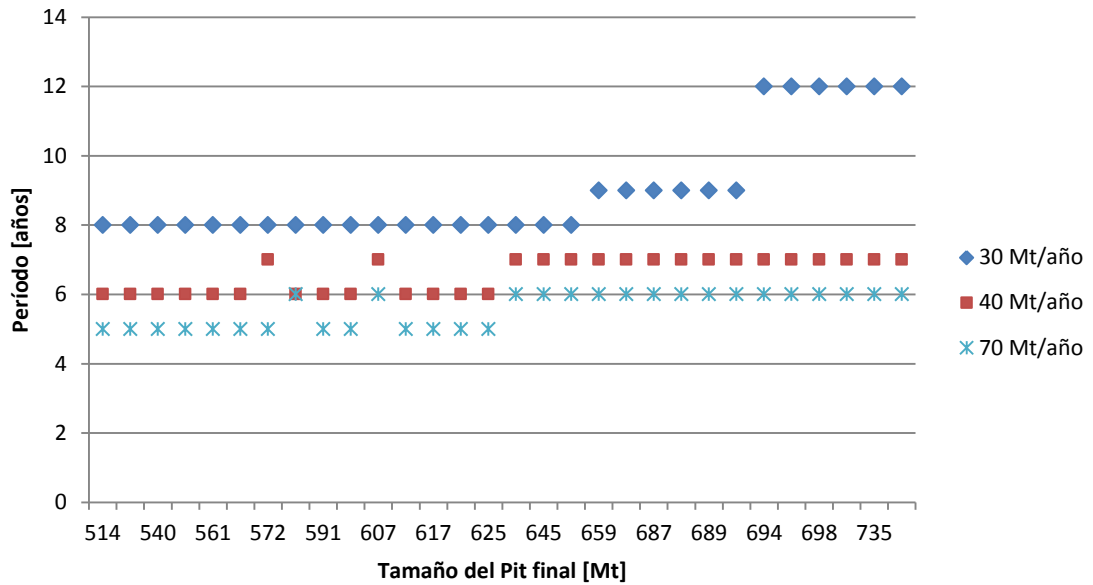


Figura 5-17. Payback descontado para distintas tasas de minado y a una ley de 0.65% Cu

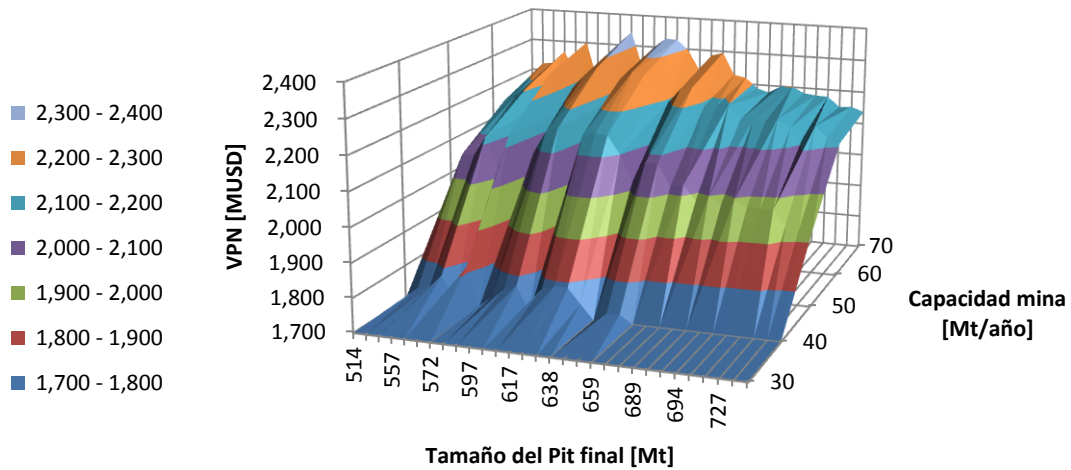


Figura 5-18. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de *pit* final y tasas de minado a una ley de 0.55% Cu

5.5.2. Análisis de acuerdo a la capacidad de minado

Si se filtra por capacidad de minado, en las figuras 5.19 y 5.20, se aprecian las superficies de valor (VPN), filtradas para las capacidades de minado de 50 Mt/año y 60 Mt/año. Se puede notar nuevamente que los mejores valores económicos se obtienen para los tamaños medios a pequeños de *pits*, en relación a la totalidad de las envolventes evaluadas. Específicamente a la capacidad de minado de 60 Mt/año, se produce un aumento en el valor económico de cerca de 200 MUSD con respecto a las 50 Mt/año de la figura 5.19, para los puntos de diseño mostrados. Este hecho hace preferible la tasa de 60 Mt/año. También se puede agregar, para esta misma capacidad, que el mejor resultado en VPN se obtiene para el tamaño de envolvente final de 617 Mt.

Por otro lado, si se observa la figura 5.21, donde se muestra el VPN por tamaño de *pit* final a distintas leyes de corte y para una capacidad de minado de 70 Mt/año, se destaca la pérdida de valor económico en el plan minero que ocurre en los escenarios a una ley de corte de 0.15% Cu, al aumentar el tamaño de la envolvente final, específicamente a partir del tamaño de 687 Mt. Si bien, se muestra una tendencia a la disminución de valor al aumentar el tamaño de la envolvente en todas las leyes de corte, al caso específico de ley 0.15% Cu, esta tendencia se acrecienta. Con respecto a la pérdida de valor económico a medida que aumenta el tamaño de *pit* final para todas las leyes, esta se puede atribuir a que a envolventes más grandes, el impacto en el VPN de la clasificación del mineral por ley de corte es mayor o es más notoria que a tamaños menores, debido a que a mayores tamaños de envolvente, en general hay mayor cantidad de tonelaje con leyes bajas, por efectos de la naturaleza y la geología (comportamiento lognormal de las leyes). En el caso específico, de la caída abrupta del valor alrededor de los mayores tamaños de *pits* en la curva a ley de corte 0.15% Cu (curva azul), esta podría atribuirse a un salto en las relaciones estéril-mineral entre las envolventes en esos tamaños, debido a la incorporación de un sector con

abundancia en leyes bajas. Este afecto, al aplicar restricciones de ley altas no se percibe en el valor económico.

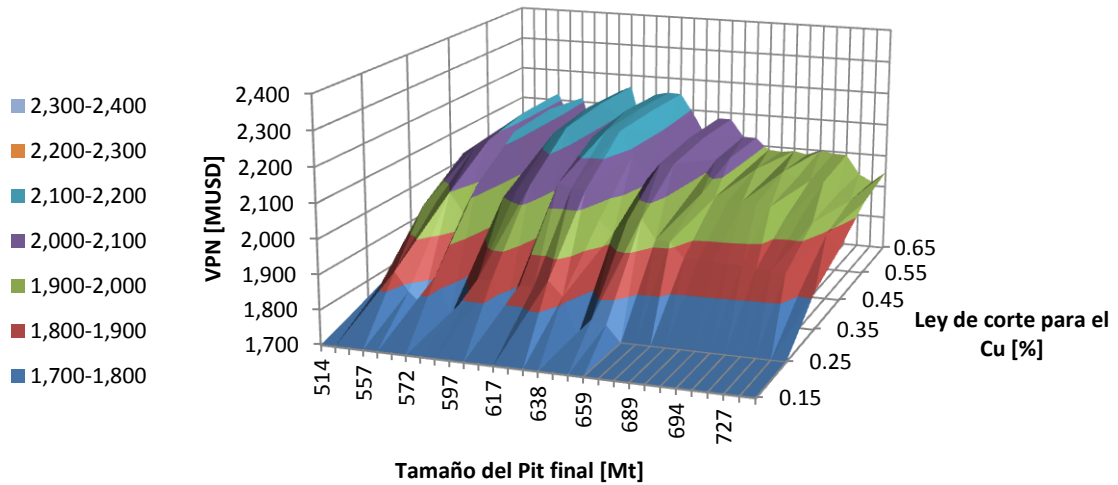


Figura 5-19. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de *pit* final y leyes de corte para el Cu, a una tasa de minado de 50 Mt/año

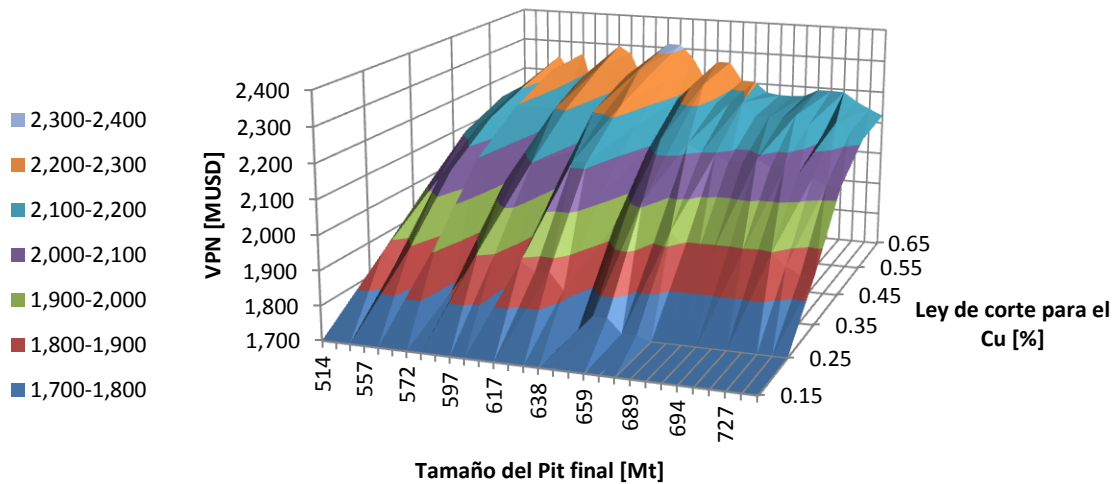


Figura 5-20. Superficie de valor (VPN) para distintos tamaños de pit final y leyes de corte para el Cu, a una tasa de minado de 60 Mt/año

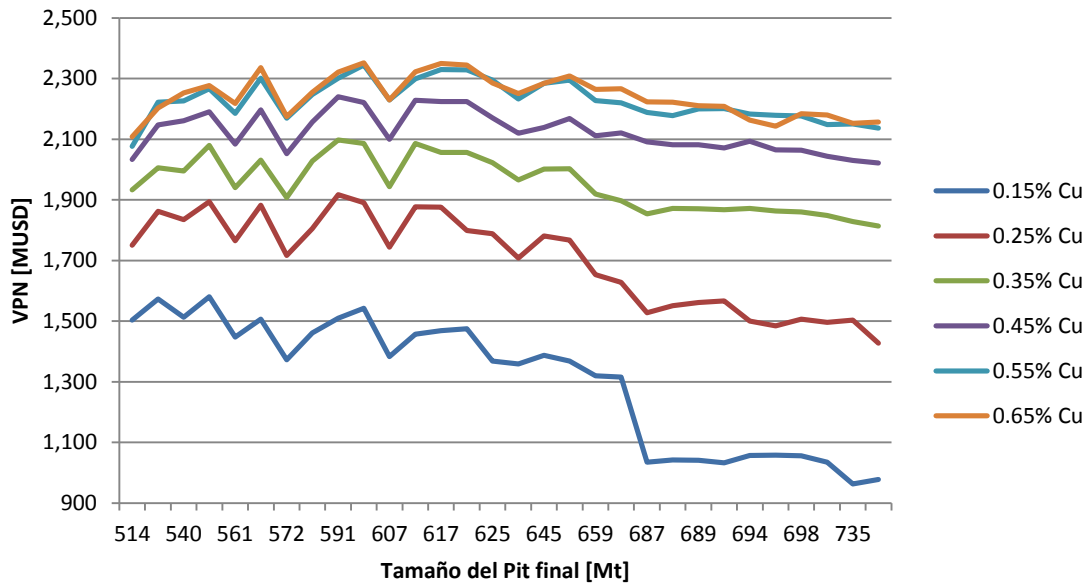


Figura 5-21. VPN por tamaño de pit final a distintas leyes de corte para el Cu, y para una capacidad de minado de 70 Mt/año

5.5.3. Análisis de acuerdo al tamaño del pit final

Si se filtran los resultados por tamaño y se toman como referencia 3 envoltentes finales con tonelajes de 743 Mt (*pit* a RF 1), 617 Mt (*pit* de tamaño intermedio) y 514 Mt (*pit* de tamaño reducido) y se grafica la superficie de valor (VPN), para las variables de capacidad de minado y ley de corte, se obtienen los siguientes resultados.

Destaca en la figuras 5.22 y 5.24, los límites de valor económico alcanzados de 2,100 MUSD y 2,150 MUSD para los puntos de diseño de las envoltentes con tamaños de 514 Mt y 743 Mt respectivamente, en comparación a la superficie de valor dada por el tamaño de envoltente de 617 Mt (figura 5.23), cuyo límite máximo de valor económico bordea los 2,350 MUSD. Esta última envoltente, además de presentar mejor desempeño económico para los puntos de diseño evaluados, exhibe una superficie de valor más robusta, caracterizada por los casi 200 MUSD de VPN en que es superior la envoltente de 617 Mt.

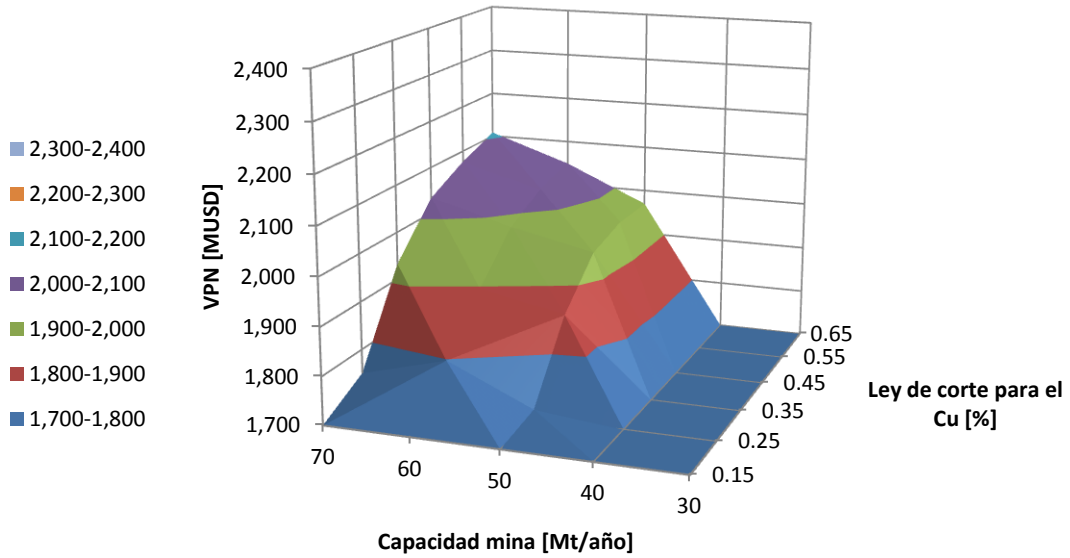


Figura 5-22. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 514 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu

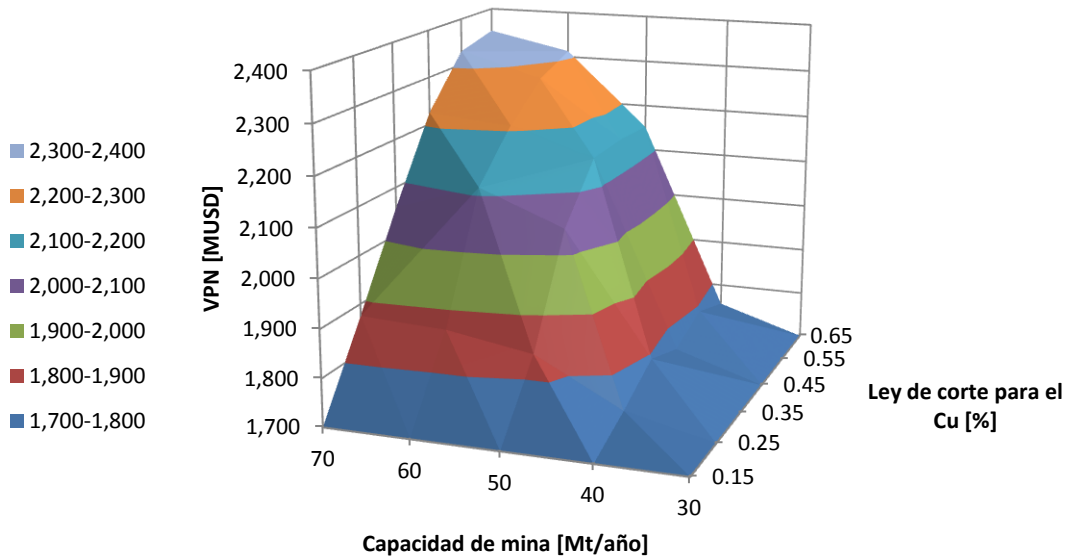


Figura 5-23. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 617 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu

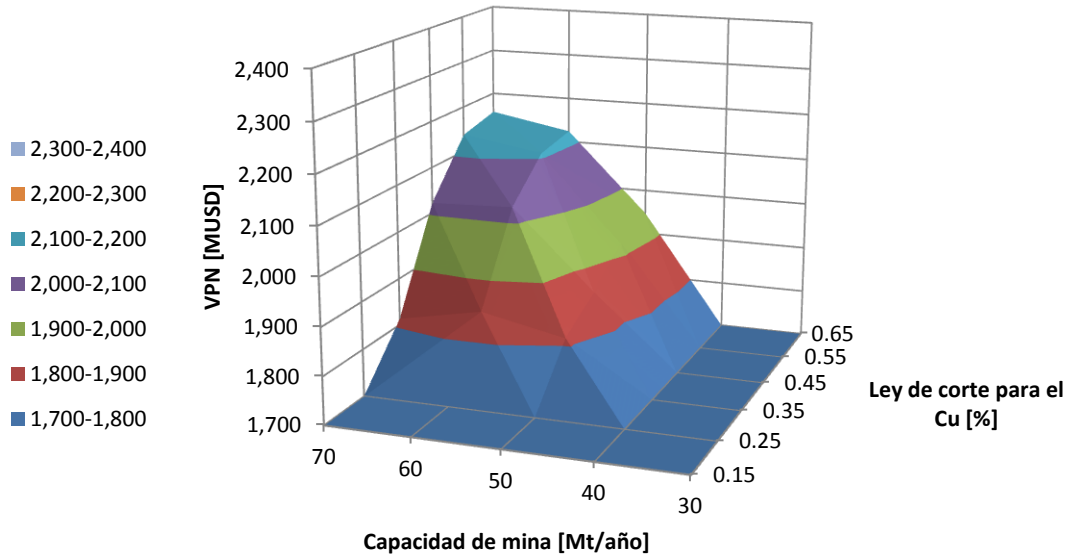


Figura 5-24. Superficie de valor (VPN) considerando una envolvente final de 743 Mt para distintas capacidades de minado y leyes de corte para el Cu

5.5.4. Análisis de acuerdo a la geometría (número de fases)

La figura 5.25, muestra el efecto que tiene el número de fases preliminares en la estrategia de consumo de reservas. Las imágenes muestran los *pushbacks* óptimos, seleccionados haciendo consideraciones operativas para el *pit* final de tamaño 617 Mt. El plan minero asociado a la opción que considera 5 fases, posee un VPN mayor en 19 MUSD por sobre la opción de 4 fases, para el mismo punto de diseño de capacidad de minado y ley de corte. Se destaca también en las imágenes la regularidad y homogeneidad de las envolventes intermedias, además de mostrar crecimientos controlados en una dirección pre-definida de minado. La diferencia de valor económico, agregando una fase, es probable que se deba al hecho de que al incorporar un *pushback* más, se está accediendo antes a zonas de interés económico, reduciendo la relación estéril-mineral, sin embargo, se disminuye la distancia entre envolventes, provocando a menudo solapamientos, como el visto en la figura 5.26 (inferior) entre las fases 2 y 3.

En el caso de la imagen a 4 fases (figura 5.25, izquierda), la fase 3 en color verde claro perfectamente podría dividirse en dos, uniéndose la porción sur a la fase 4 que está en color rojo. O también, la pequeña porción norte de la fase 2, podría unirse a la fracción superior de la fase 3. Los anteriores son aspectos que se podrían considerar a la hora de incorporar el diseño operativo al *pit* final anterior y a las envolventes anidadas seleccionadas como fases preliminares o *pushbacks*.

También en la figura 5.26 donde se muestran los perfiles Norte-Elevación de las estrategias de consumo de reservas, se destaca la expresión de las consideraciones operacionales usadas en la elección de fases, como los anchos mínimos de fondo de las fases que correspondió a 120 m y la cantidad mínima de bloques que correspondió a tres.

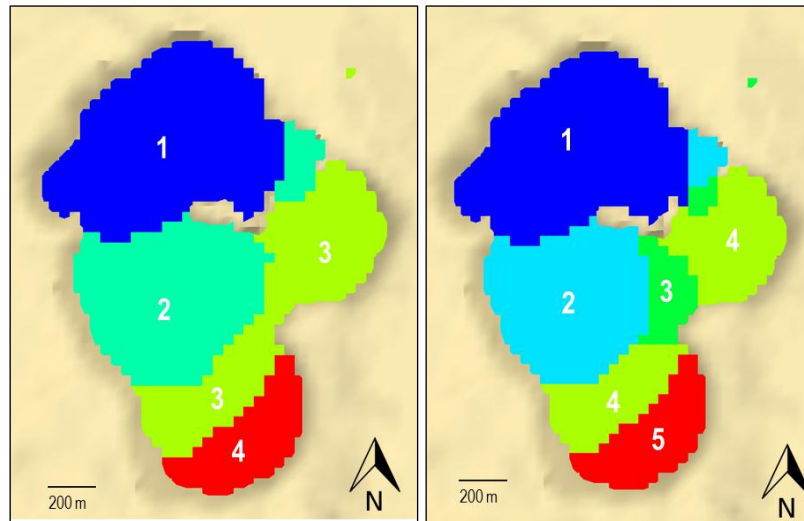


Figura 5-25. Visualización en planta de las fases preliminares óptimas obtenidas para el pit final de tamaño 617 Mt utilizando 4 fases (izq.) y 5 fases (der.)

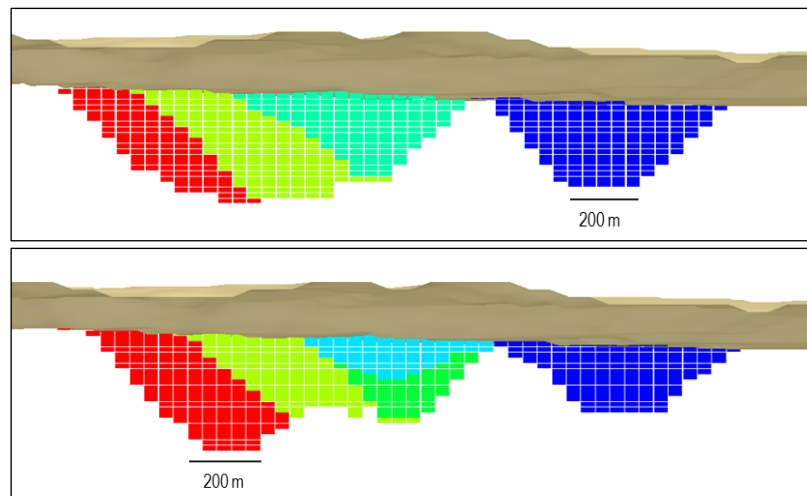


Figura 5-26. Visualización en perfil Norte-Cota de las fases preliminares óptimas obtenidas para el pit final de tamaño 617 Mt utilizando 4 fases (superior) y 5 fases (inferior)

5.5.5. Análisis de los planes mineros obtenidos para el mejor caso con el pit final de 743 Mt (RF 1) y el mejor caso con el pit final de 617 Mt

Si se analizan los planes mineros de los mejores puntos de diseño (70 Mt/año y 0.65%Cu) de los gráficos filtrados por tamaño de *pit* final (617 Mt y 743 Mt), representados en las figuras 5.27 y 5.28, se puede decir que los resultados no muestran una gran diferencia en los programas de producción anuales, pero si tienen unas particularidades. Por ejemplo, destaca el gran tamaño alcanzado por los *stockpiles*, producto de que no se limitó en tonelaje su capacidad. También esta gran cantidad de material se podría atribuir a que la planta de procesamiento fue subdimensionada. Otro punto a destacar, es que el criterio de ley de entrada mínima a *stockpile* fue de 0.25% Cu, correspondiente a la ley marginal, esto explica la baja ley media de cobre mostrada

en los últimos años de los planes, por lo que perfectamente este material puede ser considerado como pilas de ROM (*Run of Mine*, por sus siglas en inglés), pudiendo así, finalizar la operación en el año 10, en el caso de a envolvente a 617 Mt y en el año 11, para la envolvente de 743 Mt.

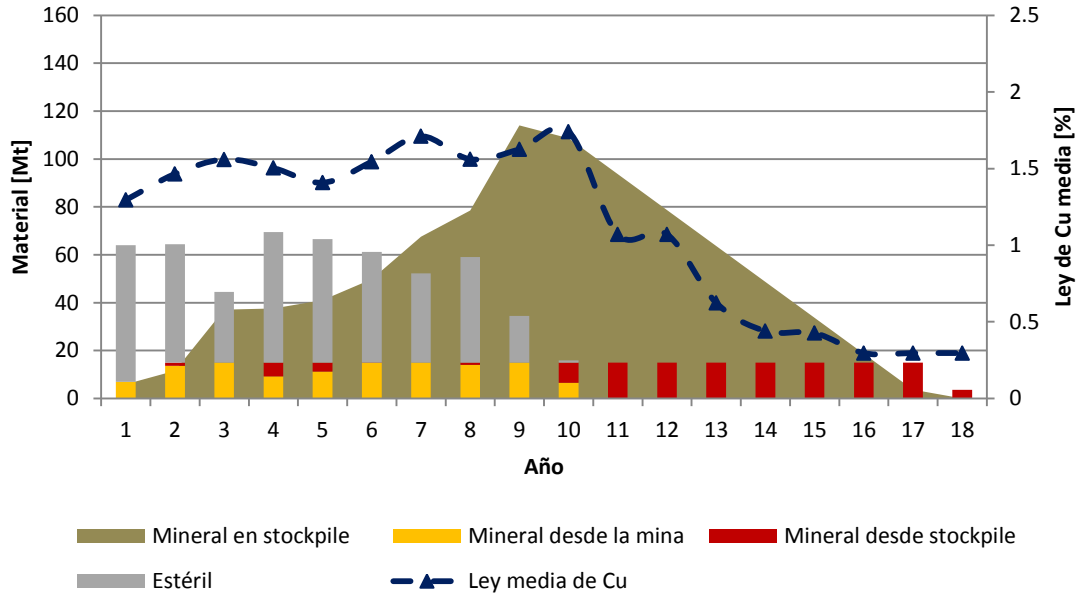


Figura 5-27. Plan minero estratégico para el pit final de 617 Mt utilizando una capacidad de minado de 70 Mt/año y una ley de corte fija de 0.65%Cu

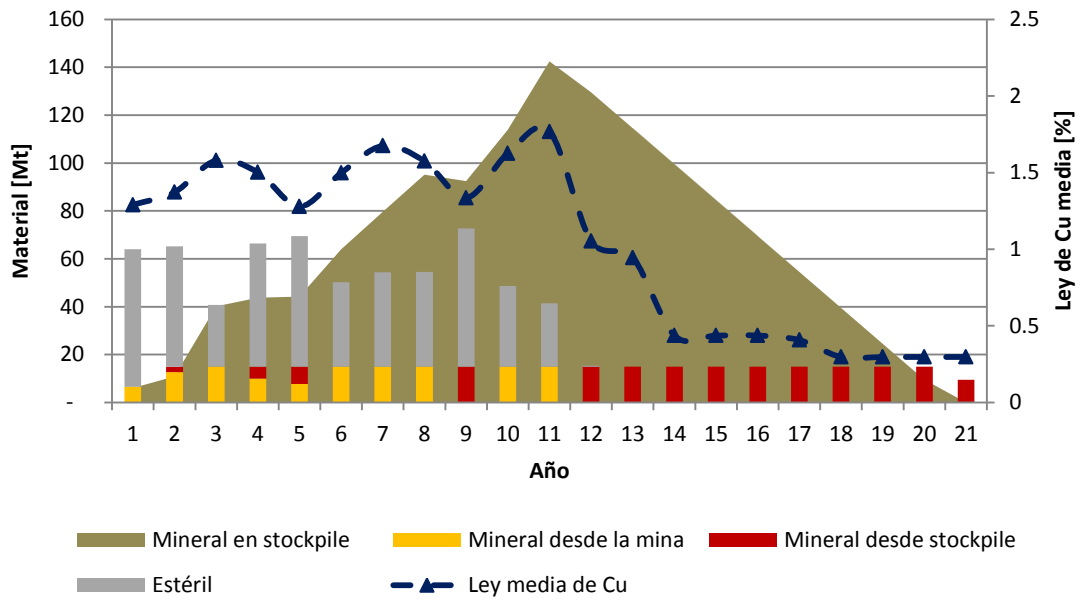


Figura 5-28. Plan minero estratégico para el pit final de 743 Mt utilizando una capacidad de minado de 70 Mt/año y una ley de corte fija de 0.65%Cu

5.6. Seleccionar el pit final

Finalmente, para el caso específico de estudio y para los resultados evaluados, se determina que la mejor envolvente de *Pit* final desde el punto de vista económico y considerando el VPN como indicador estratégico principal, corresponde a un tamaño cercano a los 617 Mt. Este tamaño, junto a las variables de capacidad de minado de 70 Mt/año, y un criterio de entrada a proceso de 0.65% Cu, son los que obtienen el mejor desempeño económico para los escenarios evaluados. Se destaca también, que esta envolvente de *pit* final encontrada, fue obtenida utilizando una ley mínima de entrada a proceso de 0.55 %Cu, distinta a la mejor ley de corte encontrada para efectos del plan minero (0.65 %Cu).

Esta envolvente además, queda caracterizada por una cantidad de mineral sobre la ley de corte nombrada de 0.65%Cu, correspondiente a 121 Mt, junto a un tonelaje entrante a *stockpile* (definidos a partir de la ley marginal de 0.25%Cu) de 129 Mt y 367 Mt de estéril.

El plan minero asociado, a este escenario de planificación (70 Mt/año de tasa mina, 15 Mt/año de cap. de proceso y 0.65% de ley de cobre fija), posee una vida de 18 años, y un período de recuperación de la inversión descontado de 5 años, para la inversión total estimada de 1,656 MUSD, destacando también, un IVAN de 1.42.

Finalmente, las dimensiones de la envolvente final son aprox. 1.6 km de largo, 1.16 km de ancho (en su parte más gruesa) y 270 m de profundidad.

6. DISCUSIÓN

En relación al capítulo 3.1 del trabajo, el primer paso de la metodología busca entregar sugerencias de los indicadores técnico-económicos más adecuados para determinados lineamientos estratégicos, estas sugerencias están basadas en la interpretación del autor y en la revisión bibliográfica llevada a cabo, incluyendo lecturas de revistas, noticias, memorias anuales de compañías mineras y entrevistas personales, por lo que es claro el carácter subjetivo de los órdenes de prioridad entregados en este primer paso.

Las recomendaciones hechas con respecto al planteamiento de escenarios posibles, documentadas en el capítulo 3.2 del presente trabajo, están basadas de acuerdo a la literatura, además de las percepciones del autor, y del uso de *software* de planificación, específicamente GEOVIA Whittle, orientado a la planificación estratégica de un yacimiento a explotar mediante cielo abierto. Estas sugerencias, utilizan como punto de partida los resultados emanados de las distintas etapas en que la metodología tradicional resuelve el problema de planificación minera a cielo abierto, desde la valorización económica del modelo de recursos, hasta la elaboración de un plan minero a escala de vida mina. Estas recomendaciones utilizan el denominado *pit a Revenue factor 1* y también incorporan el uso de herramientas estadísticas y de cuantificación de recursos, como la curva Tonelaje-Ley. En general, uno de los problemas detectados en la aplicación de la metodología tradicional de planificación, es la falta de referencias documentadas relacionadas a la toma de decisiones en cada etapa, haciendo que el proceso sea demasiado dependiente del criterio del planificador. En este sentido, el documentar y justificar las sugerencias utilizadas en este trabajo contribuye a hacer más robusto el proceso de selección de la envolvente final.

En cuanto a la etapa de ejecución de los escenarios planteados a través de la generación de los planes mineros respectivos a cada caso, detallada en el capítulo 3.3, se refuerza el hecho de comprobar que los planes efectivamente se hayan realizado siguiendo un mismo criterio o un mismo lineamiento, con el fin de no introducir sesgo al proceso y los planes generados sean contrastables bajo las mismas condiciones. Un caso de una errónea comparación de soluciones, sería por ejemplo, el contrastar resultados de planes obtenidos mediante el algoritmo *Milawa NPV* (descrito en el capítulo 2.3.6), con los planes obtenidos por el algoritmo *Milawa Balanced* (también descrito en el capítulo tanto). Ciertamente estos dos planes, se construyen siguiendo enfoques distintos, el primero de ellos orientado a la maximización del VPN, mientras que el segundo, orientado a priorizar esquemas de producción con razones estéril-mineral controlada en el tiempo, por lo que intentar concluir acerca del comportamiento de las variables de planificación para estos planes de manera conjunta, claramente conducirá a deducciones incorrectas.

El hecho de incorporar el análisis de escenarios y el estudio de casos, mediante los gráficos mostrados en el capítulo 3.4 de la metodología propuesta, se refuerza o toma más validez si el *software* de planificación utilizado brinda la posibilidad de evaluar una cantidad de escenarios considerable en tiempos computacionales reducidos, por lo que en este caso, es donde se le puede sacar el mayor provecho a la metodología. Si no se dispone de herramientas de ese tipo, se debe

ser cuidadoso de no caer en redundancias con respecto a la cantidad de puntos de diseño a evaluar que puedan desembocar en pérdidas de eficiencia computacional y de tiempo. Se debe evitar el evaluar escenarios sin una justificación lógica. Para intentar mermar esta pérdida de eficiencia, se recomienda ir actualizando los posibles valores de las variables de planificación a considerar para el planteamiento de los escenarios, a medida que se va obteniendo mayor información de la futura explotación y así, tener estimaciones más certeras que las indicadas, que son válidas como punto de partida.

Con respecto al caso de prueba de la metodología, detallada en el capítulo 5 del presente trabajo, se debe destacar que los planes mineros a partir de los cuales se compararon los desempeños de cada uno de los escenarios de planificación, fueron determinados a partir de la selección del secuenciamiento de fases preliminares que maximiza el VPN del plan (*algoritmo Milawa NPV*), usando las mismas consideraciones operativas para todos los puntos, por lo que los escenarios tienen la misma base comparativa y sí son contrastables. Como debilidades específicas del caso de estudio, se podría considerar a la regresión polinomial utilizada para la estimación de las inversiones, que al no poseer tantos datos (específicamente 12) quizás no es tan representativa, pero sí cumple con el objetivo de entregar valores que responden a 3 de las componentes principales de la inversión en un proyecto a cielo abierto, que son la planta de procesamiento, el equipamiento minero y la remoción de sobrecarga inicial o pre-stripping. Los modelos de costos utilizados tampoco son los idóneos, pero incorporan factores modificantes (PCAF y MCAF) que ayudan a que la estimación sea un poco más realista, al considerar aspectos como la elevación del bloque para calcular el costo respectivo. En este sentido, se podría incorporar en la metodología el reajuste del modelo económico a partir de los planes mineros generados, pero sólo para aquellos escenarios que resulten atractivos de acuerdo a los lineamientos estratégicos seguidos, por ejemplo, a partir de dos o tres escenarios escogidos.

La evaluación de rendimiento de los planes mineros asociados a los escenarios de planificación planteados, se llevó a cabo principalmente mediante el indicador del VPN, lo que puede haber provocado que la información desprendida de los gráficos mostrados fuera un poco redundante en ciertos capítulos del trabajo. Hubiese sido interesante observar cómo cambia la definición de envolvente de *pit* final, para este caso específico de estudio, utilizando otro criterio, como los costos caja o la producción de metal fino por período. Se hace la salvedad de que en el capítulo 3.5 de la propuesta metodológica, si se muestran ejemplos de aplicación, dónde se ocuparon estos criterios.

También se debe comentar el hecho de que por ejemplo, si sólo se hubiese querido observar el comportamiento del VPN en las vecindades de los puntos de diseño (tamaño del *pit* final, capacidades de minado y leyes de corte), no son necesarios 1,800 escenarios de planificación, pero en este caso de estudio se utilizó tal cantidad por se quería ser específico en la determinación del punto de diseño óptimo.

En cuanto a los aspectos geométricos de las fases preliminares, señalados en el capítulo 5.5.4 y mostrados en la figura 5.25 se puede decir que efectivamente representan orientaciones que podrían ayudar en una posterior etapa de diseño, provocando menos ruido al momento de operativizar las envolventes anidadas.

Otro punto a discutir, es que quizás hubiese aportado al análisis, el aplicar la metodología con herramientas distintas a las proporcionadas por Dassault Systèmes, justamente para probar el efecto que hubiese tenido el refinamiento en la selección de los escenarios a evaluar, producto de que ya no se dispondría de la ventaja de valorar grandes cantidades de puntos de diseño en tiempos computacionales reducidos. En adición a lo dicho, también hubiese resultado interesante incorporar distintos modelos de costos y precios, como factores de ruido en la prueba metodológica, para observar la robustez y fiabilidad de los puntos de diseño seleccionados.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones con respecto a la propuesta de la metodología

Bajo el contexto de la forma tradicional de resolver el problema de la planificación minera a cielo abierto, se propuso, se justificó y se probó, una metodología de planificación estratégica, que permitió tomar la mejor definición de envolvente de *pit* final, en términos de distintos indicadores utilizados comúnmente en la evaluación de un plan minero de nivel estratégico, mediante la incorporación de variables que usualmente no se consideran en este proceso de selección, pero que sí afectan la inversión de un proyecto minero. Estas variables, son las capacidades de procesamiento y minado, el tamaño de la envolvente, un criterio de entrada a proceso, expresado como una ley de corte fija y distintas consideraciones de carácter operativo a nivel estratégico, para seleccionar adecuadamente el secuenciamiento de fases preliminares o *pushbacks*.

Se identificaron los objetivos estratégicos más comunes de una compañía minera y se incorporaron al proceso de selección de envolvente final mediante la interpretación de estos objetivos y posterior recomendación de cuáles indicadores priorizar en la evaluación de un plan minero de nivel estratégico. Esto permitió resolver la elección del *pit* final de manera alineada al objetivo estratégico seguido.

Se definieron escenarios posibles de planificación, que permitieron evaluar el desempeño técnico y económico, de los planes de producción utilizados en el proceso de selección de la mejor envolvente de *pit* final, a través de sugerencias justificadas en base a la literatura, apreciaciones del autor y uso de *software* de planificación, sirviendo como punto de partida del proceso iterativo de generación y almacenamiento de resultados.

Se propusieron tablas tipo y análisis de gráficos que permitieron integrar el aspecto multidimensional de los indicadores y las variables que impactan en la definición del límite final de la explotación, favoreciendo la visualización de los resultados.

En adición a las conclusiones ya nombradas, se puede destacar que la metodología también permite estimar *a priori*, desde un espacio factible de soluciones, las configuraciones de variables de planificación que presentan los mejores desempeños de los indicadores establecidos, pudiendo ser utilizadas como puntos de partida, de procesos de optimización más rigurosos, como (Lane, 1988) u *Optimización Simultánea* (módulo de GEOVIA Whittle).

Si bien, la metodología no está exenta de interpretaciones hechas por el autor y algunos aspectos de carácter subjetivo, si se considera que aborda, entrega sugerencias y documenta temas que estaban poco documentados en la literatura con respecto al proceso de selección de la envolvente final y por lo tanto, cumple con el objetivo de ser una metodología más robusta, y menos dependiente del criterio del ingeniero planificador. Es por esto que finalmente se recomienda el uso de este trabajo, como una herramienta válida y de apoyo al proceso de determinación del *pit* final.

7.2. Conclusiones con respecto al caso de estudio

Para el caso específico de estudio y para los resultados evaluados, se concluye que la mejor envolvente de *Pit* Final, desde el punto de vista económico, se obtiene a un tamaño de 617 Mt, correspondiente a un *pit* anidado obtenido con una ley mínima de entrada a proceso de 0.55 %Cu y además el punto de diseño al cual se logra la mayor captura de renta económica en forma de VPN corresponde a una capacidad de minado de 70 Mt/año y una ley de corte de 0.65 %Cu, para la capacidad de procesamiento fijada en 15 Mt/año.

En particular, los gráficos que se utilizaron para determinar la envolvente, correspondieron a superficies de VPN, en adición a curvas que fueron separadas de acuerdo a distintos valores definidos como posibles, de las variables de planificación consideradas para la generación de los planes mineros utilizados para la evaluación.

Si bien la generación de distintos escenarios de diseño es intensiva en trabajo, este proceso permite identificar, como se dijo anteriormente, puntos de diseño que sus potenciales ganancias de valor, son mayores al sobre costo incurrido en generar estos escenarios. En particular en el caso de estudio, para el tamaño óptimo determinado y utilizando una tasa de minado de 70 Mt/año y una ley de corte de 0.65 %Cu, cuyo valor en VPN del plan minero es de alrededor de 2,350 MUSD se produjo una ganancia de valor de 881 MUSD, en comparación al mismo tamaño de envolvente y capacidad de minado, pero que no se restringió la entrada de mineral por un criterio de ley de corte.

Si se compara el mejor escenario de planificación para el tamaño óptimo de *pit* final encontrado (617 Mt) con el mejor escenario de planificación para el *pit* a RF 1 (envolvente más grande evaluada), se tiene que aunque estos planes tengan la misma capacidad de mina, y la misma ley de corte con efecto en el secuenciamiento, el VPN del tamaño óptimo es mayor en un 10% al VPN del tamaño máximo, por lo que se concluye que el tamaño de la envolvente final si afecta al valor económico en VPN de un plan minero.

Finalmente, se concluye que variables como las capacidades de minado y las leyes de corte aplicadas en un plan minero, si tienen un impacto en el VPN del plan y además, afectan directamente la selección de *pit* final y fases preliminares o *pushbacks*.

7.3. Recomendaciones

Como se dijo en el capítulo anterior, se propone incorporar distintos factores de ruido exógeno a la metodología, como variaciones de los precios, costos de minado y procesamiento con el fin de evaluar la robustez de los escenarios de planificación planteados. Idealmente, para no incrementar de sobremanera los tiempos de cómputo, se podrían someter a este análisis sólo las mejores opciones emanadas de la metodología, no la totalidad de los escenarios propuestos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bernabe, D., & Dagdelen, K. (2002). Comparative Analysis of Open Pit Mine Scheduling Techniques for Strategic Mine Planning of the Tintaya Copper Mine in Perú. En *SME Annual Meeting*.
- Caccetta, L., & Hill, S. P. (2003). An Application of Branch and Cut to Open Pit Mine Scheduling. *Journal of Global Optimization*, 27, 349–365.
- Chain, N. S., & Chain, R. S. (2004). Preparación y evaluación de proyectos. McGraw-Hill Interamericana.
- Coléou, T. (1989). Technical Parametrization of Reserves for Open Pit Design and Mine Planning. En *Applications of Computers and Operations research in the Mineral Industry* (pp. 485–495).
- Comisión Chilena del Cobre (2015). Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2015 -2024 [archivo PDF]. Recuperado de <http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2015/08/Carpeta-Inversiones-Mineras-2015-2024.pdf>
- Corral, C. (2010). Modelamiento de leyes equivalentes en yacimientos polimetálicos (Memoria de Título). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Dagdelen, K. (2001). Open Pit Optimization - Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning. *17 International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, 117–121.
- Dagdelen, K., & Johnson, T. B. (1986). Optimum Open Pit Mine Production Scheduling By Lagrangian Parameterization. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry - 19th International Symposium.*, 127–142.
- Dowd. P.A, Onur A.H., “Optimising Open Pit Design and Sequencing”, Proceedings of the 26th Symposium on the Application of Computers and Operations research in the Mineral Industry, Chapter 42, pp. 411-422, 1992.
- Gaupp. M. Methods for Improving the Tractability of the Block Sequencing Problem for an Open Pit Mine, pp. 15-22, 2008.
- Gershon. M, “Heuristic approaches for mine planning and production scheduling”, International Journal of Mining and Geological Engineering, No.5, pp. 1-13. 1987.
- Hall, B. E. (2003). How Mining Companies Improve Share Price by Destroying Shareholder Value. En *CIM Mining Conference* (pp. 1–17).
- Hanson, N, Hodson, D.,and Mullins, M. Skin analysis in the selection of final pit limits. Strategic Mine Planning Conference, Perth, Australia, 2001. pp. 129-132.
- Hekmat, A (2016). An introduction to mine planning, Apuntes del curso MI5073: Planificación Minera. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas.

- Hochbaum, D. S. (1997). A new-old algorithm for minimum-cut and maximum-flow in closure graphs. *Networks*, 37(4), 171–193. <http://doi.org/10.1002/net.1012>
- Kear, R. (2006, February). Strategic and tactical mine planning components. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, 93-96.
- Lane, K. F. (1988). *The Economic Definition of Ore: Cut-off Grades in Theory and Practice*. Mining Journal Books.
- Lemieux, M. Moving Cone Optimization Algorithm, p. 329-345, A. Weiss, 1979.
- Lerchs, H., & Grossmann, I. F. (1965). Optimum Design of Open-Pit Mines. *Transactions, Canadian Institute of Mining*, 68(1), 17–24.
- López-Jimeno, C. (1988). El ritmo de producción y la ley de corte: Dos parámetros de diseño críticos en la economía de una explotación. En *VIII Congreso Interacional de Minería y Metalurgia*.
- McCarthy, P. L. (2002). Setting Plant Capacity. En *Metallurgical Plant Design and Operating Strategies*. <http://doi.org/10.1179/037195510X12816242170979>
- Poblete, C., González, M., Romero, J., Fuentes, D and Abdrashitova, O, (2016a). ‘Use of Robust Design Methodology for Production Scale Definition in Open Pit Mining’. In *Proceedings Ninth AusIMM Open Pit Operators Conference 2016*, pp 284–291 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Poblete, C., González, M., Romero, J., & Fuentes, D. (2016b). ‘Impact of the starting point and of the direction of open pit exploitation on the mining plan’. In *MININ Conference* (Proceedings, Chapter 1).
- Ramazan, S., & Dimitrakopoulos, R. (2004). Recent applications of operations research and efficient MIP formulations in open pit mining. *Transactions, Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, 316(03), 73–78.
- Romero, J. (2016). Diseño Robusto Aplicado a Planificación Minera Estratégica (Tesis de Magíster). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Smith, G. L. (2012). Strategic long term planning in mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112(9), 761–774.
- Smith, M. L. (2001). Using Milawa/4X as a Starting Solution for Mixed Integer Programming Optimisation of Large Open Cut Production Schedules. En *Strategic Mine Planning Conference* (pp. 75–82). Perth.
- Sociedad Nacional de Minería (2014). CARACTERIZACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA MINERÍA EN CHILE. [archivo PDF]. Recuperado de <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/03/01.-Importancia-de-la-pequena-y-mediana-mineria-Chile-VP11.pdf>

- Taylor, H. K. (1986). Rates of Working Mines - A Simple Rule of Thumb. *Transactions, The Institute of Materials, Minerals and Mining*, 95(October), A203–204.
- Whittle, G. (2009). Misguided objectives that destroy value. *Proceedings of Orebody Modelling and Strategic Mine Planning Symposium*.

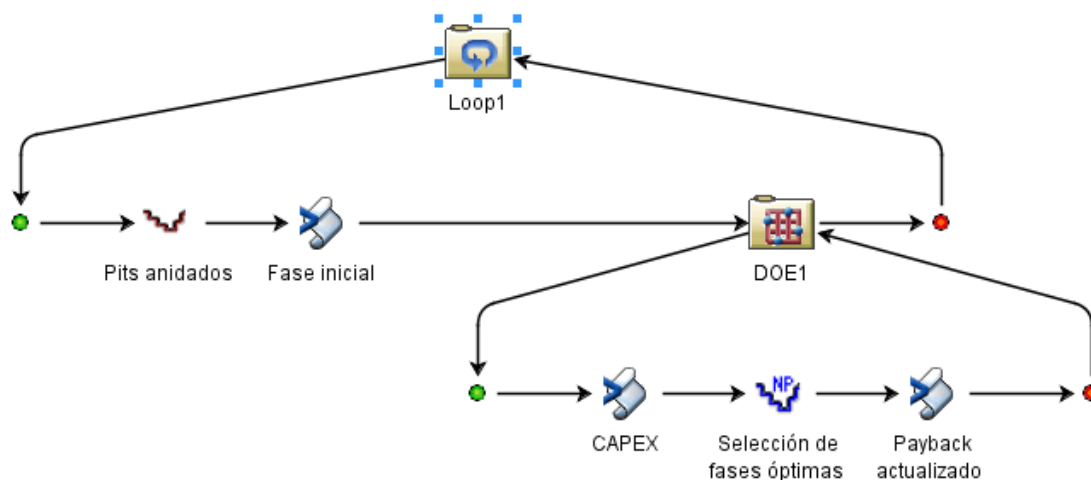
9. ANEXO

Datos usados para la confección de la regresión polinomial utilizada para estimar la inversión total.

Mt/año	Inversión [MUSD]	Proyecto	Operador
35.10	3,300	Minerales primarios Spence	Minera Spence S.A
63.00	5,000	El Abra Mill project	S.C.M El Abra
48.60	5,590	Quebrada blanca fase 2	Minera Quebrada Blanca
62.28	4,500	Relincho	Minera Relincho
8.64	597	Diego de almagro minera sierra norte	Compañía Minera Sierra Norte
10.80	700	Proyecto de Hot Chili	Soc. Minera El Águila Ltda.
7.20	624	El Espino	El Espino S.A
39.60	1,500	Sierra gorda fase 2	Sierra Gorda S.C.M
22.86	1,700	Santo Domingo	Santo Domingo S.C.M
34.20	4,350	Encuentro Sulfuros	Antofagasta Minerals S.A
5.18	460	Candelaria 2030	Cía. Contractual Minera Candelaria
72.00	5,380	Sulfuros RT Fase 2	CODELCO Div. Radomiro Tomic

Fuente: Comisión Chilena del Cobre (2015). Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2015 -2024.

Flujo de trabajo elaborado con las herramientas comerciales SIMULIA Isight y GEOVIA Whittle para general y almacenar los 1,800 escenarios de planificación utilizados en la aplicación de la metodología propuesta al caso de estudio.



Flujo de trabajo en la interfaz de SIMULIA Isight

Resultados totales de las corridas realizadas.

Corrida #	Variables de planificación					Indicadores estratégicos					
	Tasa mina [Mt/año]	Ley de corte [%]	Nº Fases	Capex total [MUSD]	Tamaño del Pit final [Mt]	IVAN	LOM	VPN [MUSD]	Payback descontado	Fases óptimas	Mineral sobre ley de corte [Mt]
1	30	0.65	4	1,511	694	0.71	27	1,069	11	7 15 19 23	159
2	30	0.55	4	1,511	694	0.71	27	1,076	11	7 15 19 23	173
3	30	0.45	4	1,511	694	0.71	27	1,079	10	7 15 19 23	189
4	30	0.35	4	1,511	694	0.71	27	1,075	10	7 15 19 23	215
5	30	0.25	4	1,511	694	0.69	27	1,040	9	7 14 18 23	244
6	30	0.15	4	1511	694	0.67	27	1,010	11	7 15 19 23	299
7	30	0.65	4	1512	697	0.71	27	1,067	11	7 15 19 24	159
8	30	0.55	4	1512	697	0.71	27	1,074	11	7 15 19 24	173
9	30	0.45	4	1512	697	0.71	27	1,077	11	7 15 19 24	189
10	30	0.35	4	1512	697	0.71	27	1,073	10	7 15 19 24	216
11	30	0.25	4	1512	697	0.69	27	1,042	9	7 14 19 24	252
12	30	0.15	4	1512	697	0.67	27	1,008	11	7 15 19 24	300
13	30	0.65	4	1513	698	0.70	28	1,066	11	7 15 19 25	159
14	30	0.55	4	1513	698	0.71	27	1,073	11	7 15 19 25	173
15	30	0.45	4	1513	698	0.71	27	1,076	11	7 15 19 25	189
16	30	0.35	4	1513	698	0.71	27	1,072	10	7 15 19 25	215
17	30	0.25	4	1513	698	0.68	27	1,022	9	7 14 16 25	251
18	30	0.15	4	1513	698	0.67	27	1,006	11	7 15 19 25	300
19	30	0.65	4	1527	727	0.68	28	1,040	12	7 15 19 26	161
20	30	0.55	4	1527	727	0.69	28	1,047	12	7 15 19 26	175
21	30	0.45	4	1527	727	0.69	28	1,050	11	7 15 19 26	192
22	30	0.35	4	1527	727	0.68	28	1,046	11	7 15 19 26	217
23	30	0.25	4	1527	727	0.66	28	1,007	9	7 14 18 26	257
24	30	0.15	4	1527	727	0.65	28	990	12	7 15 19 26	309
25	30	0.65	4	1535	743	0.67	29	1,023	12	7 15 19 27	163
26	30	0.55	4	1535	743	0.67	28	1,029	12	7 15 19 27	176
27	30	0.45	4	1535	743	0.67	28	1,033	12	7 15 19 27	193
28	30	0.35	4	1535	743	0.67	28	1,029	11	7 15 19 27	217
29	30	0.25	4	1535	743	0.65	29	999	9	7 14 19 27	265
30	30	0.15	4	1535	743	0.63	28	965	12	7 15 19 27	312
31	40	0.65	4	1557	694	1.05	26	1,637	7	7 15 19 23	147
32	40	0.55	4	1557	694	1.05	26	1,641	7	7 15 19 23	159
33	40	0.45	4	1557	694	1.04	25	1,613	7	7 14 18 23	171
34	40	0.35	4	1557	694	1.02	25	1,584	7	7 15 20 23	195
35	40	0.25	4	1557	694	0.95	25	1,472	8	7 14 19 23	227
36	40	0.15	4	1557	694	0.80	25	1,247	9	7 14 16 23	252
37	40	0.65	4	1558	697	1.05	26	1,634	7	7 15 19 24	147
38	40	0.55	4	1558	697	1.05	26	1,638	7	7 15 19 24	159
39	40	0.45	4	1558	697	1.03	26	1,608	7	7 14 18 24	170

40	40	0.35	4	1558	697	1.03	26	1,603	7	7 15 19 24	192
41	40	0.25	4	1558	697	0.99	25	1,539	8	7 14 19 24	233
42	40	0.15	4	1558	697	0.79	25	1,232	10	7 14 16 24	250
43	40	0.65	4	1559	698	1.05	26	1,633	7	7 15 19 25	147
44	40	0.55	4	1559	698	1.05	26	1,637	7	7 15 19 25	159
45	40	0.45	4	1559	698	1.03	26	1,606	7	7 14 18 25	169
46	40	0.35	4	1559	698	1.03	26	1,601	7	7 15 19 25	190
47	40	0.25	4	1559	698	0.99	26	1,538	8	7 14 19 25	233
48	40	0.15	4	1559	698	0.78	25	1,223	9	7 14 19 25	242
49	40	0.65	4	1573	727	1.02	27	1,604	7	7 15 19 26	149
50	40	0.55	4	1573	727	1.02	26	1,609	7	7 15 19 26	162
51	40	0.45	4	1573	727	1.02	26	1,601	7	7 15 19 26	176
52	40	0.35	4	1573	727	0.99	26	1,558	7	7 15 20 26	198
53	40	0.25	4	1573	727	0.96	26	1,517	8	7 14 19 26	235
54	40	0.15	4	1573	727	0.75	26	1,172	10	7 14 19 26	256
55	40	0.65	4	1581	743	1.00	27	1,581	7	7 15 19 27	147
56	40	0.55	4	1581	743	1.00	27	1,585	7	7 15 19 27	159
57	40	0.45	4	1581	743	0.97	27	1,541	7	7 14 18 27	169
58	40	0.35	4	1581	743	0.98	27	1,550	7	7 15 19 27	193
59	40	0.25	4	1581	743	0.95	27	1,505	8	7 14 19 27	236
60	40	0.15	4	1581	743	0.75	26	1,185	9	7 14 19 27	265
61	50	0.65	4	1603	694	1.25	25	2,001	6	7 15 19 23	133
62	50	0.55	4	1603	694	1.23	25	1,977	6	7 14 19 23	141
63	50	0.45	4	1603	694	1.23	25	1,964	6	7 15 19 23	151
64	50	0.35	4	1603	694	1.16	25	1,863	7	7 13 15 23	180
65	50	0.25	4	1603	694	0.97	25	1,549	8	7 11 15 23	196
66	50	0.15	4	1603	694	0.73	25	1,163	11	7 15 19 23	214
67	50	0.65	4	1604	697	1.24	25	1,993	6	7 15 19 24	133
68	50	0.55	4	1604	697	1.23	25	1,975	6	7 14 19 24	143
69	50	0.45	4	1604	697	1.20	25	1,927	6	7 12 17 24	157
70	50	0.35	4	1604	697	1.16	25	1,859	7	7 13 15 24	179
71	50	0.25	4	1604	697	0.98	25	1,569	8	7 11 15 24	204
72	50	0.15	4	1604	697	0.74	25	1,189	10	7 15 19 24	216
73	50	0.65	4	1605	698	1.24	25	1,993	6	7 15 19 25	133
74	50	0.55	4	1605	698	1.23	25	1,975	6	7 14 19 25	143
75	50	0.45	4	1605	698	1.20	25	1,925	6	7 12 17 25	157
76	50	0.35	4	1605	698	1.16	25	1,858	7	7 13 15 25	183
77	50	0.25	4	1605	698	0.97	25	1,564	8	7 11 15 25	205
78	50	0.15	4	1605	698	0.69	25	1,109	11	7 10 16 25	214
79	50	0.65	4	1619	727	1.19	26	1,934	6	7 14 17 26	140
80	50	0.55	4	1619	727	1.20	26	1,938	6	7 14 19 26	141
81	50	0.45	4	1619	727	1.19	26	1,927	6	7 15 19 26	152
82	50	0.35	4	1619	727	1.15	26	1,855	7	7 15 19 26	178
83	50	0.25	4	1619	727	0.95	26	1,537	8	7 16 19 26	198

84	50	0.15	4	1619	727	0.72	26	1,161	11	7 15 19 26	221
85	50	0.65	4	1627	743	1.20	26	1,947	6	7 15 19 27	140
86	50	0.55	4	1627	743	1.18	26	1,922	6	7 14 19 27	144
87	50	0.45	4	1627	743	1.14	26	1,858	6	7 12 17 27	162
88	50	0.35	4	1627	743	1.11	26	1,811	7	7 15 19 27	173
89	50	0.25	4	1627	743	0.92	26	1,494	8	7 16 19 27	207
90	50	0.15	4	1627	743	0.67	26	1,089	11	7 15 19 27	233
91	60	0.65	4	1649	694	1.33	25	2,192	6	7 14 18 23	126
92	60	0.55	4	1649	694	1.32	25	2,168	6	7 14 17 23	128
93	60	0.45	4	1649	694	1.26	25	2,072	6	7 14 17 23	135
94	60	0.35	4	1649	694	1.15	25	1,893	7	7 15 19 23	158
95	60	0.25	4	1649	694	1.00	25	1,645	8	7 14 16 23	174
96	60	0.15	4	1649	694	0.72	25	1,181	11	7 15 19 23	181
97	60	0.65	4	1650	697	1.33	25	2,193	6	7 14 19 24	124
98	60	0.55	4	1650	697	1.30	25	2,143	6	7 13 15 24	135
99	60	0.45	4	1650	697	1.26	25	2,074	6	7 14 19 24	137
100	60	0.35	4	1650	697	1.14	25	1,888	7	7 15 19 24	157
101	60	0.25	4	1650	697	0.98	25	1,609	8	7 16 19 24	167
102	60	0.15	4	1650	697	0.68	25	1,123	12	7 15 19 24	177
103	60	0.65	4	1651	698	1.33	25	2,192	6	7 14 19 25	123
104	60	0.55	4	1651	698	1.28	25	2,111	6	7 11 16 25	133
105	60	0.45	4	1651	698	1.25	25	2,060	6	7 14 20 25	137
106	60	0.35	4	1651	698	1.15	25	1,898	7	7 15 19 25	150
107	60	0.25	4	1651	698	0.97	25	1,605	8	7 16 19 25	167
108	60	0.15	4	1651	698	0.70	25	1,162	12	7 15 19 25	177
109	60	0.65	4	1665	727	1.30	26	2,163	6	7 14 19 26	128
110	60	0.55	4	1665	727	1.29	26	2,156	6	7 14 19 26	135
111	60	0.45	4	1665	727	1.23	26	2,049	6	7 14 19 26	151
112	60	0.35	4	1665	727	1.12	26	1,864	7	7 15 19 26	170
113	60	0.25	4	1665	727	0.93	26	1,544	8	7 16 19 26	179
114	60	0.15	4	1665	727	0.66	25	1,094	12	7 15 19 26	191
115	60	0.65	4	1673	743	1.27	26	2,124	6	7 15 20 27	134
116	60	0.55	4	1673	743	1.26	26	2,109	6	7 15 19 27	134
117	60	0.45	4	1673	743	1.21	26	2,028	6	7 14 19 27	141
118	60	0.35	4	1673	743	1.10	26	1,848	7	7 15 19 27	163
119	60	0.25	4	1673	743	0.91	26	1,529	9	7 16 19 27	182
120	60	0.15	4	1673	743	0.64	26	1,063	12	7 15 19 27	193
121	70	0.65	4	1695	694	1.28	25	2,163	6	7 9 15 23	123
122	70	0.55	4	1695	694	1.29	25	2,183	6	7 13 17 23	122
123	70	0.45	4	1695	694	1.24	25	2,094	6	7 15 19 23	129
124	70	0.35	4	1695	694	1.10	25	1,872	7	7 14 15 23	143
125	70	0.25	4	1695	694	0.89	25	1,500	9	7 15 19 23	153
126	70	0.15	4	1695	694	0.62	24	1,057	12	7 15 19 23	164
127	70	0.65	4	1696	697	1.26	25	2,143	6	7 9 15 24	113

128	70	0.55	4	1696	697	1.28	25	2,179	6	7 13 17 24	123
129	70	0.45	4	1696	697	1.22	25	2,065	6	7 11 15 24	137
130	70	0.35	4	1696	697	1.10	25	1,863	7	7 14 15 24	145
131	70	0.25	4	1696	697	0.87	25	1,484	9	7 15 19 24	155
132	70	0.15	4	1696	697	0.62	25	1,058	12	7 15 19 24	164
133	70	0.65	4	1697	698	1.29	25	2,184	6	7 11 15 25	116
134	70	0.55	4	1697	698	1.28	25	2,177	6	7 13 17 25	124
135	70	0.45	4	1697	698	1.22	25	2,063	6	7 11 15 25	140
136	70	0.35	4	1697	698	1.10	25	1,860	7	7 14 15 25	146
137	70	0.25	4	1697	698	0.89	25	1,506	9	7 15 19 25	158
138	70	0.15	4	1697	698	0.62	25	1,056	12	7 15 19 25	164
139	70	0.65	4	1711	727	1.27	26	2,179	6	7 15 19 26	127
140	70	0.55	4	1711	727	1.26	26	2,148	6	7 13 17 26	133
141	70	0.45	4	1711	727	1.19	26	2,043	6	7 15 19 26	137
142	70	0.35	4	1711	727	1.08	26	1,849	7	7 15 19 26	143
143	70	0.25	4	1711	727	0.87	25	1,496	9	7 16 19 26	160
144	70	0.15	4	1711	727	0.60	25	1,035	12	7 15 19 26	164
145	70	0.65	4	1719	743	1.25	26	2,157	6	7 15 19 27	122
146	70	0.55	4	1719	743	1.24	26	2,137	6	7 15 20 27	124
147	70	0.45	4	1719	743	1.18	26	2,022	6	7 15 20 27	130
148	70	0.35	4	1719	743	1.05	26	1,813	7	7 15 19 27	150
149	70	0.25	4	1719	743	0.83	26	1,428	9	7 16 19 27	160
150	70	0.15	4	1719	743	0.57	26	978	13	7 15 19 27	167
1	30	0.65	4	1507	687	0.71	27	1,070	9	7 14 17 23	159
2	30	0.55	4	1507	687	0.71	27	1,075	9	7 14 17 23	171
3	30	0.45	4	1507	687	0.71	27	1,075	11	7 15 19 23	186
4	30	0.35	4	1507	687	0.71	27	1,065	9	7 14 18 23	213
5	30	0.25	4	1507	687	0.70	27	1,060	9	7 14 18 23	253
6	30	0.15	4	1507	687	0.66	27	990	10	7 11 17 23	300
7	30	0.65	4	1508	689	0.71	27	1,068	9	7 14 17 24	159
8	30	0.55	4	1508	689	0.71	27	1,072	9	7 14 17 24	171
9	30	0.45	4	1508	689	0.71	27	1,071	11	7 15 19 24	186
10	30	0.35	4	1508	689	0.70	27	1,062	9	7 14 18 24	213
11	30	0.25	4	1508	689	0.70	27	1,058	9	7 14 18 24	253
12	30	0.15	4	1508	689	0.66	27	988	10	7 11 17 24	301
13	30	0.65	4	1508	689	0.71	28	1,067	9	7 14 17 25	159
14	30	0.55	4	1508	689	0.71	27	1,072	9	7 14 17 25	171
15	30	0.45	4	1508	689	0.71	27	1,071	11	7 15 19 25	186
16	30	0.35	4	1508	689	0.70	27	1,062	9	7 14 18 25	213
17	30	0.25	4	1508	689	0.70	27	1,058	9	7 14 18 25	253
18	30	0.15	4	1508	689	0.65	27	988	10	7 11 17 25	301
19	30	0.65	4	1509	691	0.71	28	1,066	9	7 14 17 26	159
20	30	0.55	4	1509	691	0.71	28	1,071	9	7 14 17 26	172
21	30	0.45	4	1509	691	0.71	27	1,070	11	7 15 19 26	186

22	30	0.35	4	1509	691	0.70	27	1,061	9	7 14 18 26	213
23	30	0.25	4	1509	691	0.70	27	1,057	9	7 14 18 26	253
24	30	0.15	4	1509	691	0.65	27	986	10	7 11 17 26	301
25	30	0.65	4	1531	735	0.66	28	1,011	12	7 14 18 27	161
26	30	0.55	4	1531	735	0.67	28	1,026	12	7 15 19 27	173
27	30	0.45	4	1531	735	0.67	28	1,029	12	7 15 19 27	188
28	30	0.35	4	1531	735	0.66	28	1,014	12	7 14 18 27	218
29	30	0.25	4	1531	735	0.66	28	1,009	9	7 14 18 27	261
30	30	0.15	4	1531	735	0.63	28	963	12	7 15 20 27	314
31	40	0.65	4	1553	687	1.05	25	1,626	7	7 14 17 23	143
32	40	0.55	4	1553	687	1.05	25	1,632	7	7 14 18 23	156
33	40	0.45	4	1553	687	1.05	25	1,626	7	7 14 18 23	166
34	40	0.35	4	1553	687	1.01	25	1,570	7	7 11 17 23	195
35	40	0.25	4	1553	687	0.96	25	1,492	8	7 14 18 23	225
36	40	0.15	4	1553	687	0.82	25	1,280	9	7 14 18 23	248
37	40	0.65	4	1554	689	1.04	25	1,624	7	7 14 17 24	143
38	40	0.55	4	1554	689	1.05	25	1,631	7	7 14 18 24	157
39	40	0.45	4	1554	689	1.04	25	1,624	7	7 14 18 24	167
40	40	0.35	4	1554	689	1.03	25	1,600	7	7 12 17 24	198
41	40	0.25	4	1554	689	0.96	25	1,493	8	7 14 18 24	225
42	40	0.15	4	1554	689	0.79	25	1,222	9	7 14 18 24	247
43	40	0.65	4	1554	689	1.04	25	1,624	7	7 14 17 25	143
44	40	0.55	4	1554	689	1.05	25	1,631	7	7 14 18 25	157
45	40	0.45	4	1554	689	1.04	25	1,624	7	7 14 18 25	167
46	40	0.35	4	1554	689	1.01	25	1,568	7	7 11 17 25	195
47	40	0.25	4	1554	689	0.96	25	1,493	8	7 14 18 25	225
48	40	0.15	4	1554	689	0.78	25	1,220	9	7 14 18 25	247
49	40	0.65	4	1555	691	1.04	25	1,622	7	7 14 17 26	144
50	40	0.55	4	1555	691	1.05	25	1,630	7	7 14 18 26	157
51	40	0.45	4	1555	691	1.04	25	1,623	7	7 14 18 26	168
52	40	0.35	4	1555	691	1.01	25	1,566	7	7 11 17 26	195
53	40	0.25	4	1555	691	0.96	25	1,488	8	7 14 18 26	226
54	40	0.15	4	1555	691	0.78	25	1,217	9	7 14 18 26	247
55	40	0.65	4	1577	735	1.00	26	1,575	7	7 15 20 27	151
56	40	0.55	4	1577	735	1.00	26	1,577	7	7 15 19 27	156
57	40	0.45	4	1577	735	0.99	26	1,564	7	7 14 18 27	168
58	40	0.35	4	1577	735	0.98	26	1,545	7	7 15 20 27	201
59	40	0.25	4	1577	735	0.95	26	1,497	8	7 14 20 27	230
60	40	0.15	4	1577	735	0.77	26	1,211	9	7 14 18 27	256
61	50	0.65	4	1599	687	1.24	25	1,989	6	7 14 17 23	127
62	50	0.55	4	1599	687	1.24	25	1,983	6	7 12 17 23	142
63	50	0.45	4	1599	687	1.24	25	1,976	6	7 12 17 23	153
64	50	0.35	4	1599	687	1.17	25	1,871	7	7 12 17 23	181
65	50	0.25	4	1599	687	1.00	25	1,594	8	7 13 15 23	188

66	50	0.15	4	1599	687	0.80	24	1,285	10	7 14 18 23	207
67	50	0.65	4	1600	689	1.24	25	1,986	6	7 14 17 24	127
68	50	0.55	4	1600	689	1.25	25	1,998	6	7 14 18 24	135
69	50	0.45	4	1600	689	1.23	25	1,972	6	7 12 17 24	153
70	50	0.35	4	1600	689	1.17	25	1,868	7	7 12 17 24	182
71	50	0.25	4	1600	689	0.95	25	1,518	8	7 16 17 24	200
72	50	0.15	4	1600	689	0.81	25	1,289	10	7 14 18 24	215
73	50	0.65	4	1600	689	1.24	25	1,992	6	7 15 19 25	129
74	50	0.55	4	1600	689	1.24	25	1,980	6	7 12 17 25	142
75	50	0.45	4	1600	689	1.23	25	1,972	6	7 12 17 25	153
76	50	0.35	4	1600	689	1.17	25	1,867	7	7 12 17 25	183
77	50	0.25	4	1600	689	0.95	25	1,517	8	7 16 17 25	200
78	50	0.15	4	1600	689	0.81	25	1,292	10	7 14 18 25	215
79	50	0.65	4	1601	691	1.24	25	1,984	6	7 14 17 26	127
80	50	0.55	4	1601	691	1.25	25	1,996	6	7 14 18 26	135
81	50	0.45	4	1601	691	1.23	25	1,969	6	7 12 17 26	153
82	50	0.35	4	1601	691	1.17	25	1,866	7	7 12 17 26	183
83	50	0.25	4	1601	691	0.98	25	1,562	8	7 13 18 26	192
84	50	0.15	4	1601	691	0.79	25	1,267	10	7 14 18 26	216
85	50	0.65	4	1623	735	1.18	26	1,912	6	7 14 17 27	130
86	50	0.55	4	1623	735	1.19	26	1,925	6	7 14 19 27	142
87	50	0.45	4	1623	735	1.17	26	1,896	6	7 12 17 27	158
88	50	0.35	4	1623	735	1.11	26	1,809	7	7 12 17 27	186
89	50	0.25	4	1623	735	0.93	26	1,503	8	7 16 20 27	214
90	50	0.15	4	1623	735	0.72	26	1,173	10	7 14 18 27	223
91	60	0.65	4	1645	687	1.32	25	2,173	6	7 14 20 23	124
92	60	0.55	4	1645	687	1.34	25	2,199	6	7 14 18 23	131
93	60	0.45	4	1645	687	1.27	25	2,096	6	7 14 18 23	138
94	60	0.35	4	1645	687	1.15	25	1,888	7	7 11 15 23	160
95	60	0.25	4	1645	687	1.00	24	1,644	8	7 15 20 23	161
96	60	0.15	4	1645	687	0.75	24	1,237	10	7 14 17 23	178
97	60	0.65	4	1646	689	1.32	25	2,167	6	7 14 20 24	122
98	60	0.55	4	1646	689	1.31	25	2,157	6	7 11 17 24	129
99	60	0.45	4	1646	689	1.26	25	2,080	6	7 14 17 24	137
100	60	0.35	4	1646	689	1.15	25	1,888	7	7 11 15 24	157
101	60	0.25	4	1646	689	0.99	25	1,629	8	7 15 20 24	162
102	60	0.15	4	1646	689	0.74	24	1,225	10	7 14 17 24	179
103	60	0.65	4	1646	689	1.32	25	2,167	6	7 14 20 25	122
104	60	0.55	4	1646	689	1.31	25	2,157	6	7 11 17 25	129
105	60	0.45	4	1646	689	1.26	25	2,080	6	7 14 17 25	137
106	60	0.35	4	1646	689	1.15	25	1,887	7	7 11 15 25	157
107	60	0.25	4	1646	689	0.99	25	1,628	8	7 15 20 25	162
108	60	0.15	4	1646	689	0.74	24	1,224	10	7 14 17 25	179
109	60	0.65	4	1647	691	1.32	25	2,171	6	7 12 17 26	126

110	60	0.55	4	1647	691	1.31	25	2,156	6	7 11 17 26	129
111	60	0.45	4	1647	691	1.27	25	2,092	6	7 14 18 26	138
112	60	0.35	4	1647	691	1.15	25	1,887	7	7 11 15 26	157
113	60	0.25	4	1647	691	0.99	25	1,625	8	7 15 20 26	162
114	60	0.15	4	1647	691	0.75	24	1,229	10	7 14 17 26	177
115	60	0.65	4	1669	735	1.28	26	2,143	6	7 14 18 27	132
116	60	0.55	4	1669	735	1.27	26	2,122	6	7 14 20 27	134
117	60	0.45	4	1669	735	1.22	26	2,034	6	7 14 18 27	145
118	60	0.35	4	1669	735	1.10	26	1,842	7	7 13 18 27	164
119	60	0.25	4	1669	735	0.94	26	1,571	8	7 15 20 27	179
120	60	0.15	4	1669	735	0.65	25	1,093	12	7 15 20 27	195
121	70	0.65	4	1691	687	1.31	25	2,223	6	7 14 20 23	115
122	70	0.55	4	1691	687	1.29	25	2,189	6	7 14 20 23	125
123	70	0.45	4	1691	687	1.24	25	2,092	6	7 11 17 23	130
124	70	0.35	4	1691	687	1.10	24	1,854	7	7 15 20 23	140
125	70	0.25	4	1691	687	0.90	24	1,527	9	7 14 16 23	151
126	70	0.15	4	1691	687	0.61	24	1,035	12	7 15 20 23	155
127	70	0.65	4	1692	689	1.31	25	2,223	6	7 14 20 24	116
128	70	0.55	4	1692	689	1.29	25	2,177	6	7 12 16 24	125
129	70	0.45	4	1692	689	1.23	25	2,082	6	7 11 17 24	128
130	70	0.35	4	1692	689	1.11	25	1,872	7	7 14 18 24	131
131	70	0.25	4	1692	689	0.92	24	1,551	9	7 14 18 24	160
132	70	0.15	4	1692	689	0.62	24	1,042	12	7 15 20 24	164
133	70	0.65	4	1692	689	1.31	25	2,211	6	7 14 20 25	117
134	70	0.55	4	1692	689	1.30	25	2,200	6	7 13 17 25	119
135	70	0.45	4	1692	689	1.23	25	2,082	6	7 11 17 25	128
136	70	0.35	4	1692	689	1.11	25	1,871	7	7 14 18 25	131
137	70	0.25	4	1692	689	0.92	24	1,562	9	7 14 18 25	160
138	70	0.15	4	1692	689	0.62	24	1,042	12	7 15 20 25	164
139	70	0.65	4	1693	691	1.30	25	2,209	6	7 14 20 26	117
140	70	0.55	4	1693	691	1.30	25	2,201	6	7 14 18 26	115
141	70	0.45	4	1693	691	1.22	25	2,071	6	7 11 15 26	135
142	70	0.35	4	1693	691	1.10	25	1,867	7	7 14 18 26	131
143	70	0.25	4	1693	691	0.93	24	1,566	9	7 14 18 26	153
144	70	0.15	4	1693	691	0.61	24	1,032	12	7 15 20 26	164
145	70	0.65	4	1715	735	1.25	26	2,152	6	7 12 17 27	115
146	70	0.55	4	1715	735	1.25	26	2,150	6	7 14 20 27	126
147	70	0.45	4	1715	735	1.18	26	2,029	6	7 15 19 27	132
148	70	0.35	4	1715	735	1.07	26	1,828	7	7 15 19 27	135
149	70	0.25	4	1715	735	0.88	25	1,503	8	7 15 20 27	159
150	70	0.15	4	1715	735	0.56	25	963	13	7 10 17 27	168
1	30	0.65	4	1450	572	0.77	23	1,118	8	8 14 16 20	146
2	30	0.55	4	1450	572	0.78	23	1,126	8	8 13 16 20	156
3	30	0.45	4	1450	572	0.78	23	1,132	8	8 13 16 20	169

4	30	0.35	4	1450	572	0.78	23	1,130	8	8 13 16 20	183
5	30	0.25	4	1450	572	0.77	23	1,115	9	8 14 16 20	204
6	30	0.15	4	1450	572	0.75	23	1,085	9	8 13 16 20	237
7	30	0.65	4	1467	607	0.76	24	1,119	8	8 14 16 21	149
8	30	0.55	4	1467	607	0.77	24	1,128	8	8 13 16 21	161
9	30	0.45	4	1467	607	0.77	24	1,134	8	8 13 16 21	175
10	30	0.35	4	1467	607	0.77	24	1,133	8	8 13 16 21	192
11	30	0.25	4	1467	607	0.75	24	1,105	10	8 12 17 21	213
12	30	0.15	4	1467	607	0.74	24	1,088	10	8 13 16 21	251
13	30	0.65	4	1483	638	0.74	25	1,099	8	8 14 16 22	153
14	30	0.55	4	1483	638	0.74	25	1,101	11	8 13 17 22	162
15	30	0.45	4	1483	638	0.75	25	1,108	11	8 12 17 22	179
16	30	0.35	4	1483	638	0.75	25	1,113	9	8 13 16 22	199
17	30	0.25	4	1483	638	0.74	25	1,095	11	8 12 17 22	227
18	30	0.15	4	1483	638	0.71	25	1,051	9	8 14 17 22	261
19	30	0.65	4	1493	659	0.73	26	1,094	8	8 14 17 23	159
20	30	0.55	4	1493	659	0.72	26	1,081	11	8 12 17 23	169
21	30	0.45	4	1493	659	0.73	26	1,087	11	8 12 17 23	184
22	30	0.35	4	1493	659	0.73	26	1,085	9	8 16 19 23	203
23	30	0.25	4	1493	659	0.72	26	1,076	11	8 12 17 23	234
24	30	0.15	4	1493	659	0.70	26	1,045	10	8 14 16 23	275
25	30	0.65	4	1494	661	0.73	26	1,093	8	8 14 17 24	159
26	30	0.55	4	1494	661	0.72	26	1,081	11	8 12 17 24	169
27	30	0.45	4	1494	661	0.73	26	1,086	11	8 13 17 24	183
28	30	0.35	4	1494	661	0.73	26	1,091	9	8 14 17 24	205
29	30	0.25	4	1494	661	0.72	26	1,075	11	8 12 17 24	235
30	30	0.15	4	1494	661	0.69	26	1,034	9	8 14 17 24	279
31	40	0.65	4	1496	572	1.10	21	1,648	7	8 14 16 20	130
32	40	0.55	4	1496	572	1.10	21	1,649	7	8 14 16 20	142
33	40	0.45	4	1496	572	1.09	21	1,634	7	8 14 17 20	150
34	40	0.35	4	1496	572	1.10	21	1,641	7	8 13 16 20	165
35	40	0.25	4	1496	572	1.06	21	1,592	7	8 14 16 20	187
36	40	0.15	4	1496	572	0.93	20	1,389	8	8 14 16 20	205
37	40	0.65	4	1513	607	1.10	22	1,663	7	8 14 16 21	137
38	40	0.55	4	1513	607	1.10	22	1,662	7	8 14 16 21	145
39	40	0.45	4	1513	607	1.10	22	1,660	7	8 14 17 21	155
40	40	0.35	4	1513	607	1.08	22	1,638	7	8 12 16 21	174
41	40	0.25	4	1513	607	1.05	22	1,594	7	8 12 15 21	208
42	40	0.15	4	1513	607	0.92	22	1,398	8	8 14 16 21	216
43	40	0.65	4	1529	638	1.10	23	1,678	7	8 14 17 22	144
44	40	0.55	4	1529	638	1.10	23	1,677	7	8 14 17 22	153
45	40	0.45	4	1529	638	1.09	23	1,669	7	8 14 17 22	165
46	40	0.35	4	1529	638	1.08	23	1,649	7	8 12 17 22	188
47	40	0.25	4	1529	638	1.05	23	1,601	7	8 14 16 22	219

48	40	0.15	4	1529	638	0.89	23	1,365	9	8 14 17 22	228
49	40	0.65	4	1539	659	1.08	24	1,662	7	8 14 17 23	143
50	40	0.55	4	1539	659	1.08	24	1,662	7	8 14 17 23	151
51	40	0.45	4	1539	659	1.08	24	1,659	7	8 14 17 23	164
52	40	0.35	4	1539	659	1.07	24	1,640	7	8 12 17 23	191
53	40	0.25	4	1539	659	1.03	24	1,588	8	8 14 16 23	204
54	40	0.15	4	1539	659	0.88	24	1,357	9	8 14 17 23	231
55	40	0.65	4	1540	661	1.08	24	1,661	7	8 14 17 24	143
56	40	0.55	4	1540	661	1.08	24	1,662	7	8 14 17 24	151
57	40	0.45	4	1540	661	1.08	24	1,658	7	8 14 17 24	164
58	40	0.35	4	1540	661	1.06	24	1,639	7	8 12 17 24	191
59	40	0.25	4	1540	661	1.03	24	1,587	8	8 14 16 24	205
60	40	0.15	4	1540	661	0.86	24	1,326	8	8 14 17 24	233
61	50	0.65	4	1542	572	1.29	20	1,983	6	8 14 16 20	122
62	50	0.55	4	1542	572	1.28	20	1,973	6	8 14 17 20	127
63	50	0.45	4	1542	572	1.27	20	1,956	6	8 13 16 20	138
64	50	0.35	4	1542	572	1.21	20	1,865	6	8 14 15 20	156
65	50	0.25	4	1542	572	1.12	20	1,719	7	8 13 16 20	159
66	50	0.15	4	1542	572	0.94	20	1,453	9	8 13 16 20	173
67	50	0.65	4	1559	607	1.29	22	2,012	6	8 13 16 21	133
68	50	0.55	4	1559	607	1.29	21	2,009	6	8 14 16 21	136
69	50	0.45	4	1559	607	1.28	21	1,994	6	8 12 17 21	150
70	50	0.35	4	1559	607	1.22	21	1,907	6	8 14 16 21	169
71	50	0.25	4	1559	607	1.12	21	1,741	7	8 13 16 21	172
72	50	0.15	4	1559	607	0.92	21	1,441	9	8 13 16 21	185
73	50	0.65	4	1575	638	1.28	23	2,019	6	8 14 16 22	127
74	50	0.55	4	1575	638	1.28	23	2,022	6	8 12 17 22	139
75	50	0.45	4	1575	638	1.28	23	2,012	6	8 12 17 22	159
76	50	0.35	4	1575	638	1.22	23	1,924	6	8 14 16 22	176
77	50	0.25	4	1575	638	1.08	23	1,696	7	8 13 17 22	175
78	50	0.15	4	1575	638	0.88	22	1,392	9	8 13 16 22	200
79	50	0.65	4	1585	659	1.28	24	2,025	6	8 14 17 23	135
80	50	0.55	4	1585	659	1.27	24	2,018	6	8 14 17 23	140
81	50	0.45	4	1585	659	1.24	24	1,966	6	8 11 17 23	154
82	50	0.35	4	1585	659	1.21	23	1,917	6	8 14 16 23	181
83	50	0.25	4	1585	659	1.04	23	1,644	8	8 13 17 23	179
84	50	0.15	4	1585	659	0.86	23	1,367	10	8 13 16 23	196
85	50	0.65	4	1586	661	1.28	24	2,024	6	8 14 17 24	135
86	50	0.55	4	1586	661	1.28	24	2,025	6	8 14 18 24	139
87	50	0.45	4	1586	661	1.25	24	1,983	6	8 13 16 24	157
88	50	0.35	4	1586	661	1.21	23	1,914	6	8 14 16 24	181
89	50	0.25	4	1586	661	1.04	23	1,644	7	8 13 17 24	178
90	50	0.15	4	1586	661	0.87	23	1,383	9	8 13 16 24	203
91	60	0.65	4	1588	572	1.33	20	2,118	6	8 11 16 20	114

92	60	0.55	4	1588	572	1.35	20	2,136	6	8 14 16 20	108
93	60	0.45	4	1588	572	1.29	20	2,046	6	8 14 16 20	111
94	60	0.35	4	1588	572	1.22	20	1,938	6	8 13 16 20	131
95	60	0.25	4	1588	572	1.12	20	1,781	7	8 13 16 20	138
96	60	0.15	4	1588	572	0.88	20	1,391	10	8 14 16 20	147
97	60	0.65	4	1605	607	1.36	21	2,180	6	8 12 17 21	128
98	60	0.55	4	1605	607	1.36	21	2,178	6	8 14 16 21	125
99	60	0.45	4	1605	607	1.30	21	2,080	6	8 14 16 21	123
100	60	0.35	4	1605	607	1.18	21	1,896	7	8 11 16 21	152
101	60	0.25	4	1605	607	1.07	21	1,712	8	8 11 16 21	158
102	60	0.15	4	1605	607	0.87	21	1,391	9	8 14 16 21	158
103	60	0.65	4	1621	638	1.36	23	2,206	6	8 12 17 22	122
104	60	0.55	4	1621	638	1.35	23	2,192	6	8 13 18 22	116
105	60	0.45	4	1621	638	1.29	23	2,090	6	8 13 19 22	133
106	60	0.35	4	1621	638	1.19	23	1,933	6	8 11 16 22	152
107	60	0.25	4	1621	638	1.06	22	1,712	8	8 11 16 22	159
108	60	0.15	4	1621	638	0.87	22	1,407	9	8 13 17 22	164
109	60	0.65	4	1631	659	1.35	23	2,207	6	8 12 17 23	134
110	60	0.55	4	1631	659	1.34	23	2,190	6	8 13 17 23	129
111	60	0.45	4	1631	659	1.30	23	2,124	6	8 14 17 23	139
112	60	0.35	4	1631	659	1.17	23	1,916	7	8 15 19 23	155
113	60	0.25	4	1631	659	1.05	23	1,715	8	8 16 19 23	166
114	60	0.15	4	1631	659	0.84	23	1,364	9	8 13 17 23	175
115	60	0.65	4	1632	661	1.35	24	2,206	6	8 12 17 24	134
116	60	0.55	4	1632	661	1.34	23	2,192	6	8 13 18 24	130
117	60	0.45	4	1632	661	1.29	23	2,101	6	8 14 16 24	149
118	60	0.35	4	1632	661	1.18	23	1,933	6	8 13 16 24	157
119	60	0.25	4	1632	661	1.05	23	1,716	8	8 16 19 24	166
120	60	0.15	4	1632	661	0.83	23	1,362	9	8 13 17 24	175
121	70	0.65	4	1634	572	1.33	20	2,175	5	8 14 16 20	102
122	70	0.55	4	1634	572	1.33	20	2,170	5	8 13 16 20	104
123	70	0.45	4	1634	572	1.26	20	2,052	6	8 12 17 20	117
124	70	0.35	4	1634	572	1.17	20	1,907	7	8 14 16 20	121
125	70	0.25	4	1634	572	1.05	20	1,717	8	8 12 16 20	123
126	70	0.15	4	1634	572	0.84	20	1,372	10	8 13 16 20	135
127	70	0.65	4	1651	607	1.35	21	2,229	6	8 14 17 21	101
128	70	0.55	4	1651	607	1.35	21	2,229	5	8 13 16 21	115
129	70	0.45	4	1651	607	1.27	21	2,100	6	8 12 17 21	117
130	70	0.35	4	1651	607	1.18	21	1,944	7	8 14 16 21	122
131	70	0.25	4	1651	607	1.06	21	1,744	8	8 12 16 21	129
132	70	0.15	4	1651	607	0.84	21	1,383	10	8 13 16 21	134
133	70	0.65	4	1667	638	1.35	23	2,250	6	8 14 18 22	119
134	70	0.55	4	1667	638	1.34	23	2,232	6	8 11 17 22	114
135	70	0.45	4	1667	638	1.27	23	2,119	6	8 12 16 22	129

136	70	0.35	4	1667	638	1.18	22	1,965	7	8 13 16 22	143
137	70	0.25	4	1667	638	1.02	22	1,708	8	8 13 17 22	141
138	70	0.15	4	1667	638	0.82	22	1,359	11	8 13 16 22	150
139	70	0.65	4	1677	659	1.35	23	2,264	6	8 14 20 23	118
140	70	0.55	4	1677	659	1.33	23	2,227	6	8 11 17 23	112
141	70	0.45	4	1677	659	1.26	23	2,112	6	8 11 16 23	129
142	70	0.35	4	1677	659	1.14	23	1,920	7	8 14 16 23	138
143	70	0.25	4	1677	659	0.99	23	1,653	9	8 16 19 23	137
144	70	0.15	4	1677	659	0.79	23	1,320	11	8 13 16 23	147
145	70	0.65	4	1678	661	1.35	23	2,266	6	8 14 20 24	120
146	70	0.55	4	1678	661	1.32	23	2,220	6	8 16 19 24	119
147	70	0.45	4	1678	661	1.26	23	2,121	6	8 12 17 24	120
148	70	0.35	4	1678	661	1.13	23	1,897	7	8 16 20 24	134
149	70	0.25	4	1678	661	0.97	23	1,628	9	8 16 19 24	139
150	70	0.15	4	1678	661	0.78	23	1,315	11	8 13 16 24	147
1	30	0.65	4	1444	561	0.81	22	1,166	8	8 14 17 20	138
2	30	0.55	4	1444	561	0.81	22	1,170	8	8 14 17 20	147
3	30	0.45	4	1444	561	0.81	22	1,175	8	8 12 17 20	163
4	30	0.35	4	1444	561	0.81	22	1,174	8	8 12 17 20	179
5	30	0.25	4	1444	561	0.82	22	1,182	8	8 14 16 20	197
6	30	0.15	4	1444	561	0.78	21	1,129	9	8 14 16 20	232
7	30	0.65	4	1457	587	0.81	23	1,187	8	8 14 17 21	139
8	30	0.55	4	1457	587	0.82	23	1,191	8	8 14 17 21	148
9	30	0.45	4	1457	587	0.82	23	1,197	8	8 12 17 21	166
10	30	0.35	4	1457	587	0.82	23	1,198	8	8 12 17 21	182
11	30	0.25	4	1457	587	0.82	22	1,190	8	8 12 17 21	207
12	30	0.15	4	1457	587	0.79	23	1,145	9	8 14 16 21	234
13	30	0.65	4	1476	625	0.80	24	1,178	8	8 14 17 22	144
14	30	0.55	4	1476	625	0.80	24	1,182	8	8 14 17 22	154
15	30	0.45	4	1476	625	0.80	24	1,186	8	8 12 17 22	173
16	30	0.35	4	1476	625	0.80	24	1,186	8	8 12 17 22	191
17	30	0.25	4	1476	625	0.80	24	1,177	8	8 12 17 22	221
18	30	0.15	4	1476	625	0.77	24	1,133	9	8 14 16 22	257
19	30	0.65	4	1486	645	0.78	25	1,158	8	8 14 17 23	147
20	30	0.55	4	1486	645	0.78	25	1,163	8	8 14 17 23	157
21	30	0.45	4	1486	645	0.79	25	1,170	8	8 15 19 23	176
22	30	0.35	4	1486	645	0.79	25	1,168	8	8 12 17 23	198
23	30	0.25	4	1486	645	0.78	25	1,157	8	8 12 17 23	228
24	30	0.15	4	1486	645	0.74	25	1,107	9	8 14 16 23	268
25	30	0.65	4	1487	647	0.78	25	1,159	8	8 14 17 24	147
26	30	0.55	4	1487	647	0.78	25	1,163	8	8 14 17 24	157
27	30	0.45	4	1487	647	0.79	25	1,170	8	8 15 19 24	175
28	30	0.35	4	1487	647	0.79	25	1,168	8	8 12 17 24	197
29	30	0.25	4	1487	647	0.78	25	1,157	8	8 12 17 24	228

30	30	0.15	4	1487	647	0.74	25	1,107	9	8 14 16 24	268
31	40	0.65	4	1490	561	1.14	20	1,698	6	8 14 17 20	135
32	40	0.55	4	1490	561	1.14	20	1,698	6	8 14 17 20	142
33	40	0.45	4	1490	561	1.13	20	1,679	7	8 14 17 20	149
34	40	0.35	4	1490	561	1.13	20	1,687	7	8 14 16 20	165
35	40	0.25	4	1490	561	1.12	20	1,673	7	8 12 15 20	187
36	40	0.15	4	1490	561	0.97	20	1,440	8	8 12 15 20	202
37	40	0.65	4	1503	587	1.16	21	1,743	6	8 12 17 21	134
38	40	0.55	4	1503	587	1.15	21	1,735	6	8 14 17 21	139
39	40	0.45	4	1503	587	1.15	21	1,722	7	8 14 17 21	148
40	40	0.35	4	1503	587	1.13	21	1,694	7	8 14 17 21	156
41	40	0.25	4	1503	587	1.12	21	1,686	7	8 14 16 21	180
42	40	0.15	4	1503	587	0.98	21	1,473	8	8 12 15 21	196
43	40	0.65	4	1522	625	1.15	22	1,744	6	8 12 17 22	139
44	40	0.55	4	1522	625	1.15	22	1,743	7	8 14 17 22	146
45	40	0.45	4	1522	625	1.14	22	1,731	7	8 14 17 22	159
46	40	0.35	4	1522	625	1.14	22	1,738	7	8 12 17 22	181
47	40	0.25	4	1522	625	1.11	22	1,691	7	8 14 16 22	193
48	40	0.15	4	1522	625	0.96	22	1,458	8	8 14 16 22	212
49	40	0.65	4	1532	645	1.13	23	1,728	7	8 12 17 23	148
50	40	0.55	4	1532	645	1.13	23	1,726	7	8 14 17 23	155
51	40	0.45	4	1532	645	1.13	23	1,726	7	8 15 19 23	164
52	40	0.35	4	1532	645	1.12	23	1,715	7	8 12 17 23	189
53	40	0.25	4	1532	645	1.08	23	1,648	7	8 14 17 23	196
54	40	0.15	4	1532	645	0.95	23	1,461	8	8 12 17 23	222
55	40	0.65	4	1533	647	1.13	23	1,729	7	8 12 17 24	148
56	40	0.55	4	1533	647	1.13	23	1,726	7	8 14 17 24	155
57	40	0.45	4	1533	647	1.13	23	1,726	7	8 15 19 24	165
58	40	0.35	4	1533	647	1.12	23	1,715	7	8 12 17 24	189
59	40	0.25	4	1533	647	1.07	23	1,648	7	8 14 17 24	199
60	40	0.15	4	1533	647	0.95	23	1,461	8	8 12 17 24	222
61	50	0.65	4	1536	561	1.32	20	2,030	6	8 14 16 20	129
62	50	0.55	4	1536	561	1.32	20	2,027	6	8 14 16 20	133
63	50	0.45	4	1536	561	1.31	20	2,019	6	8 12 15 20	144
64	50	0.35	4	1536	561	1.26	19	1,942	6	8 14 16 20	155
65	50	0.25	4	1536	561	1.14	19	1,746	7	8 13 16 20	157
66	50	0.15	4	1536	561	1.00	19	1,539	7	8 12 15 20	170
67	50	0.65	4	1549	587	1.34	20	2,078	6	8 12 17 21	119
68	50	0.55	4	1549	587	1.35	20	2,085	6	8 12 15 21	135
69	50	0.45	4	1549	587	1.32	20	2,051	6	8 12 16 21	145
70	50	0.35	4	1549	587	1.29	20	2,000	6	8 12 15 21	149
71	50	0.25	4	1549	587	1.15	20	1,774	7	8 11 16 21	163
72	50	0.15	4	1549	587	1.00	20	1,547	8	8 12 15 21	167
73	50	0.65	4	1568	625	1.33	22	2,090	6	8 14 17 22	125

74	50	0.55	4	1568	625	1.34	22	2,101	6	8 12 17 22	134
75	50	0.45	4	1568	625	1.33	22	2,087	6	8 12 17 22	146
76	50	0.35	4	1568	625	1.25	22	1,961	6	8 12 18 22	154
77	50	0.25	4	1568	625	1.16	21	1,816	7	8 14 16 22	173
78	50	0.15	4	1568	625	0.94	21	1,472	9	8 15 17 22	189
79	50	0.65	4	1578	645	1.32	23	2,079	6	8 12 17 23	133
80	50	0.55	4	1578	645	1.32	23	2,082	6	8 12 17 23	141
81	50	0.45	4	1578	645	1.31	23	2,066	6	8 12 17 23	153
82	50	0.35	4	1578	645	1.24	23	1,965	6	8 12 17 23	164
83	50	0.25	4	1578	645	1.12	22	1,761	7	8 14 16 23	192
84	50	0.15	4	1578	645	0.84	22	1,328	10	8 11 16 23	203
85	50	0.65	4	1579	647	1.32	23	2,079	6	8 12 17 24	132
86	50	0.55	4	1579	647	1.32	23	2,082	6	8 12 17 24	141
87	50	0.45	4	1579	647	1.31	23	2,067	6	8 12 17 24	152
88	50	0.35	4	1579	647	1.25	22	1,975	6	8 12 16 24	174
89	50	0.25	4	1579	647	1.11	22	1,748	7	8 14 16 24	184
90	50	0.15	4	1579	647	0.91	22	1,432	9	8 15 19 24	204
91	60	0.65	4	1582	561	1.38	20	2,188	5	8 14 16 20	116
92	60	0.55	4	1582	561	1.36	19	2,151	6	8 12 15 20	124
93	60	0.45	4	1582	561	1.31	19	2,078	6	8 14 17 20	120
94	60	0.35	4	1582	561	1.25	19	1,972	6	8 11 14 20	130
95	60	0.25	4	1582	561	1.14	19	1,804	7	8 11 15 20	143
96	60	0.15	4	1582	561	0.94	19	1,494	9	8 12 15 20	143
97	60	0.65	4	1595	587	1.41	20	2,243	5	8 14 16 21	105
98	60	0.55	4	1595	587	1.39	20	2,219	6	8 12 17 21	133
99	60	0.45	4	1595	587	1.33	20	2,129	6	8 14 17 21	116
100	60	0.35	4	1595	587	1.28	20	2,037	6	8 12 15 21	140
101	60	0.25	4	1595	587	1.15	20	1,838	7	8 11 15 21	144
102	60	0.15	4	1595	587	0.92	20	1,465	9	8 15 17 21	151
103	60	0.65	4	1614	625	1.41	22	2,274	6	8 12 17 22	131
104	60	0.55	4	1614	625	1.39	22	2,242	6	8 15 17 22	124
105	60	0.45	4	1614	625	1.34	22	2,159	6	8 14 17 22	130
106	60	0.35	4	1614	625	1.25	21	2,020	6	8 15 19 22	139
107	60	0.25	4	1614	625	1.13	21	1,821	7	8 11 15 22	159
108	60	0.15	4	1614	625	0.86	21	1,390	10	8 15 18 22	163
109	60	0.65	4	1624	645	1.39	22	2,263	6	8 12 17 23	128
110	60	0.55	4	1624	645	1.38	22	2,235	6	8 12 17 23	124
111	60	0.45	4	1624	645	1.31	22	2,131	6	8 15 17 23	133
112	60	0.35	4	1624	645	1.23	22	1,991	6	8 15 21 23	153
113	60	0.25	4	1624	645	1.08	22	1,756	7	8 16 20 23	163
114	60	0.15	4	1624	645	0.85	22	1,376	10	8 15 19 23	172
115	60	0.65	4	1625	647	1.39	23	2,264	6	8 12 17 24	127
116	60	0.55	4	1625	647	1.38	22	2,246	6	8 14 16 24	128
117	60	0.45	4	1625	647	1.31	22	2,131	6	8 15 17 24	133

118	60	0.35	4	1625	647	1.24	22	2,014	6	8 15 18 24	148
119	60	0.25	4	1625	647	1.08	22	1,756	7	8 16 20 24	163
120	60	0.15	4	1625	647	0.82	22	1,331	11	8 16 19 24	172
121	70	0.65	4	1628	561	1.36	19	2,218	5	8 14 16 20	95
122	70	0.55	4	1628	561	1.34	19	2,185	6	8 13 17 20	101
123	70	0.45	4	1628	561	1.28	19	2,084	6	8 11 15 20	115
124	70	0.35	4	1628	561	1.19	19	1,941	6	8 15 17 20	125
125	70	0.25	4	1628	561	1.08	19	1,765	7	8 11 15 20	124
126	70	0.15	4	1628	561	0.89	19	1,447	9	8 13 16 20	132
127	70	0.65	4	1641	587	1.37	20	2,255	6	8 14 17 21	98
128	70	0.55	4	1641	587	1.37	20	2,247	6	8 13 17 21	102
129	70	0.45	4	1641	587	1.31	20	2,157	6	8 11 17 21	116
130	70	0.35	4	1641	587	1.24	20	2,028	6	8 14 17 21	128
131	70	0.25	4	1641	587	1.10	20	1,805	7	8 11 15 21	130
132	70	0.15	4	1641	587	0.89	20	1,462	9	8 13 17 21	132
133	70	0.65	4	1660	625	1.38	22	2,286	5	8 12 17 22	106
134	70	0.55	4	1660	625	1.38	21	2,295	5	8 13 16 22	110
135	70	0.45	4	1660	625	1.31	21	2,170	6	8 11 17 22	122
136	70	0.35	4	1660	625	1.22	21	2,023	6	8 14 17 22	118
137	70	0.25	4	1660	625	1.08	21	1,789	8	8 11 16 22	135
138	70	0.15	4	1660	625	0.82	21	1,369	10	8 13 17 22	142
139	70	0.65	4	1670	645	1.37	22	2,284	6	8 14 19 23	115
140	70	0.55	4	1670	645	1.37	22	2,284	6	8 16 19 23	113
141	70	0.45	4	1670	645	1.28	22	2,139	6	8 12 19 23	118
142	70	0.35	4	1670	645	1.20	22	2,001	7	8 14 17 23	139
143	70	0.25	4	1670	645	1.07	22	1,781	8	8 13 19 23	144
144	70	0.15	4	1670	645	0.83	22	1,387	10	8 16 19 23	141
145	70	0.65	4	1671	647	1.38	22	2,308	6	8 14 18 24	112
146	70	0.55	4	1671	647	1.37	22	2,295	6	8 13 17 24	121
147	70	0.45	4	1671	647	1.30	22	2,168	6	8 11 15 24	136
148	70	0.35	4	1671	647	1.20	22	2,002	7	8 14 17 24	139
149	70	0.25	4	1671	647	1.06	22	1,767	8	8 13 19 24	143
150	70	0.15	4	1671	647	0.82	22	1,368	10	8 15 19 24	144
1	30	0.65	4	1434	540	0.85	21	1,218	8	8 13 16 20	134
2	30	0.55	4	1434	540	0.85	21	1,220	8	8 13 16 20	144
3	30	0.45	4	1434	540	0.85	21	1,219	8	8 13 16 20	153
4	30	0.35	4	1434	540	0.85	21	1,216	8	8 13 16 20	166
5	30	0.25	4	1434	540	0.85	21	1,219	8	8 12 15 20	195
6	30	0.15	4	1434	540	0.83	21	1,192	8	8 12 15 20	225
7	30	0.65	4	1445	562	0.86	22	1,248	8	8 14 17 21	139
8	30	0.55	4	1445	562	0.87	22	1,251	8	8 14 17 21	150
9	30	0.45	4	1445	562	0.87	22	1,251	8	8 14 17 21	159
10	30	0.35	4	1445	562	0.87	22	1,258	8	8 14 18 21	181
11	30	0.25	4	1445	562	0.86	22	1,244	8	8 14 18 21	201

12	30	0.15	4	1445	562	0.81	22	1,170	8	8 11 16 21	241
13	30	0.65	4	1462	597	0.85	23	1,246	8	8 14 17 22	146
14	30	0.55	4	1462	597	0.85	23	1,249	8	8 14 17 22	158
15	30	0.45	4	1462	597	0.85	23	1,248	8	8 14 17 22	168
16	30	0.35	4	1462	597	0.84	23	1,232	8	8 12 17 22	190
17	30	0.25	4	1462	597	0.84	23	1,224	8	8 12 17 22	209
18	30	0.15	4	1462	597	0.81	23	1,180	9	8 14 17 22	251
19	30	0.65	4	1472	617	0.83	24	1,229	8	8 14 18 23	149
20	30	0.55	4	1472	617	0.84	24	1,233	8	8 14 18 23	161
21	30	0.45	4	1472	617	0.84	24	1,233	8	8 14 18 23	173
22	30	0.35	4	1472	617	0.83	24	1,216	8	8 12 17 23	191
23	30	0.25	4	1472	617	0.82	24	1,211	8	8 12 17 23	223
24	30	0.15	4	1472	617	0.79	24	1,166	9	8 14 18 23	266
25	30	0.65	4	1473	619	0.83	24	1,228	8	8 14 18 24	150
26	30	0.55	4	1473	619	0.84	24	1,231	8	8 14 18 24	162
27	30	0.45	4	1473	619	0.84	24	1,232	8	8 14 18 24	173
28	30	0.35	4	1473	619	0.82	24	1,214	8	8 12 17 24	192
29	30	0.25	4	1473	619	0.82	24	1,209	8	8 12 17 24	223
30	30	0.15	4	1473	619	0.79	24	1,165	9	8 14 18 24	260
31	40	0.65	4	1480	540	1.19	19	1,758	6	8 12 15 20	127
32	40	0.55	4	1480	540	1.18	19	1,746	6	8 12 17 20	129
33	40	0.45	4	1480	540	1.18	19	1,746	6	8 12 16 20	144
34	40	0.35	4	1480	540	1.17	19	1,725	6	8 12 16 20	155
35	40	0.25	4	1480	540	1.15	19	1,704	7	8 12 15 20	163
36	40	0.15	4	1480	540	0.99	19	1,465	8	8 11 15 20	193
37	40	0.65	4	1491	562	1.20	20	1,785	6	8 12 15 21	131
38	40	0.55	4	1491	562	1.22	20	1,814	6	8 14 18 21	150
39	40	0.45	4	1491	562	1.17	20	1,748	6	8 11 16 21	151
40	40	0.35	4	1491	562	1.16	20	1,735	6	8 11 16 21	164
41	40	0.25	4	1491	562	1.16	20	1,736	7	8 12 15 21	180
42	40	0.15	4	1491	562	0.99	20	1,482	8	8 11 16 21	208
43	40	0.65	4	1508	597	1.18	21	1,774	6	8 12 15 22	134
44	40	0.55	4	1508	597	1.18	21	1,777	6	8 11 17 22	145
45	40	0.45	4	1508	597	1.19	21	1,800	6	8 12 17 22	158
46	40	0.35	4	1508	597	1.19	21	1,792	6	8 12 17 22	173
47	40	0.25	4	1508	597	1.16	21	1,753	7	8 12 17 22	186
48	40	0.15	4	1508	597	0.98	21	1,480	8	8 11 17 22	222
49	40	0.65	4	1518	617	1.16	22	1,756	6	8 12 15 23	133
50	40	0.55	4	1518	617	1.18	22	1,789	6	8 12 17 23	143
51	40	0.45	4	1518	617	1.16	22	1,757	6	8 11 17 23	152
52	40	0.35	4	1518	617	1.18	22	1,792	7	8 15 19 23	172
53	40	0.25	4	1518	617	1.15	22	1,742	7	8 12 17 23	189
54	40	0.15	4	1518	617	0.98	22	1,486	7	8 11 16 23	224
55	40	0.65	4	1519	619	1.15	22	1,754	6	8 12 15 24	133

56	40	0.55	4	1519	619	1.18	22	1,787	6	8 12 17 24	142
57	40	0.45	4	1519	619	1.16	22	1,756	6	8 11 17 24	152
58	40	0.35	4	1519	619	1.15	22	1,743	6	8 11 17 24	167
59	40	0.25	4	1519	619	1.15	22	1,741	7	8 12 17 24	189
60	40	0.15	4	1519	619	0.96	22	1,454	7	8 11 16 24	213
61	50	0.65	4	1526	540	1.35	19	2,058	6	8 11 15 20	109
62	50	0.55	4	1526	540	1.35	19	2,060	6	8 11 15 20	115
63	50	0.45	4	1526	540	1.36	19	2,074	6	8 12 15 20	126
64	50	0.35	4	1526	540	1.29	19	1,968	6	8 12 17 20	130
65	50	0.25	4	1526	540	1.20	19	1,836	6	8 15 18 20	143
66	50	0.15	4	1526	540	1.07	18	1,629	7	8 12 15 20	161
67	50	0.65	4	1537	562	1.38	20	2,113	6	8 11 15 21	119
68	50	0.55	4	1537	562	1.39	20	2,135	6	8 12 15 21	129
69	50	0.45	4	1537	562	1.38	20	2,126	6	8 12 15 21	136
70	50	0.35	4	1537	562	1.32	20	2,026	6	8 13 17 21	143
71	50	0.25	4	1537	562	1.19	19	1,836	7	8 14 17 21	159
72	50	0.15	4	1537	562	1.07	19	1,652	7	8 12 15 21	174
73	50	0.65	4	1554	597	1.39	21	2,162	6	8 12 17 22	125
74	50	0.55	4	1554	597	1.39	21	2,165	6	8 12 17 22	134
75	50	0.45	4	1554	597	1.38	21	2,151	6	8 12 17 22	143
76	50	0.35	4	1554	597	1.32	21	2,045	6	8 12 17 22	152
77	50	0.25	4	1554	597	1.18	21	1,840	7	8 14 19 22	172
78	50	0.15	4	1554	597	1.02	20	1,586	8	8 14 17 22	187
79	50	0.65	4	1564	617	1.38	22	2,152	6	8 12 17 23	123
80	50	0.55	4	1564	617	1.38	22	2,157	6	8 12 17 23	131
81	50	0.45	4	1564	617	1.38	22	2,153	6	8 14 19 23	138
82	50	0.35	4	1564	617	1.31	22	2,045	6	8 12 17 23	150
83	50	0.25	4	1564	617	1.17	21	1,837	7	8 15 19 23	169
84	50	0.15	4	1564	617	0.98	21	1,531	9	8 15 19 23	189
85	50	0.65	4	1565	619	1.37	22	2,150	6	8 12 17 24	123
86	50	0.55	4	1565	619	1.38	22	2,155	6	8 12 17 24	131
87	50	0.45	4	1565	619	1.38	22	2,153	6	8 12 17 24	140
88	50	0.35	4	1565	619	1.31	22	2,044	6	8 12 17 24	149
89	50	0.25	4	1565	619	1.19	21	1,858	7	8 15 19 24	176
90	50	0.15	4	1565	619	0.97	21	1,522	9	8 15 19 24	189
91	60	0.65	4	1572	540	1.39	19	2,191	5	8 12 15 20	117
92	60	0.55	4	1572	540	1.39	19	2,178	5	8 14 16 20	112
93	60	0.45	4	1572	540	1.35	19	2,126	6	8 11 15 20	131
94	60	0.35	4	1572	540	1.29	19	2,028	6	8 14 16 20	131
95	60	0.25	4	1572	540	1.18	18	1,850	7	8 11 15 20	142
96	60	0.15	4	1572	540	0.96	18	1,514	9	8 14 17 20	144
97	60	0.65	4	1583	562	1.43	20	2,263	6	8 12 17 21	117
98	60	0.55	4	1583	562	1.43	20	2,256	5	8 12 15 21	127
99	60	0.45	4	1583	562	1.39	19	2,197	6	8 11 15 21	135

100	60	0.35	4	1583	562	1.33	19	2,099	6	8 14 18 21	135
101	60	0.25	4	1583	562	1.21	19	1,919	6	8 11 15 21	138
102	60	0.15	4	1583	562	0.97	19	1,532	9	8 14 17 21	145
103	60	0.65	4	1600	597	1.42	21	2,272	6	8 13 18 22	113
104	60	0.55	4	1600	597	1.43	21	2,283	6	8 13 18 22	133
105	60	0.45	4	1600	597	1.38	21	2,209	6	8 15 17 22	136
106	60	0.35	4	1600	597	1.31	21	2,100	6	8 14 19 22	144
107	60	0.25	4	1600	597	1.18	20	1,888	7	8 11 15 22	156
108	60	0.15	4	1600	597	0.96	20	1,536	9	8 14 17 22	158
109	60	0.65	4	1610	617	1.44	22	2,313	6	8 14 18 23	123
110	60	0.55	4	1610	617	1.42	22	2,279	6	8 12 17 23	128
111	60	0.45	4	1610	617	1.37	21	2,209	6	8 17 19 23	136
112	60	0.35	4	1610	617	1.31	21	2,115	6	8 15 19 23	148
113	60	0.25	4	1610	617	1.16	21	1,867	7	8 11 15 23	156
114	60	0.15	4	1610	617	0.95	21	1,529	9	8 13 17 23	158
115	60	0.65	4	1611	619	1.44	22	2,312	6	8 14 18 24	121
116	60	0.55	4	1611	619	1.41	22	2,272	6	8 17 20 24	115
117	60	0.45	4	1611	619	1.38	21	2,224	6	8 14 18 24	131
118	60	0.35	4	1611	619	1.31	21	2,114	6	8 15 19 24	148
119	60	0.25	4	1611	619	1.16	21	1,871	7	8 13 18 24	151
120	60	0.15	4	1611	619	0.96	21	1,540	9	8 15 19 24	159
121	70	0.65	4	1618	540	1.39	19	2,252	5	8 14 16 20	97
122	70	0.55	4	1618	540	1.38	19	2,226	5	8 14 17 20	92
123	70	0.45	4	1618	540	1.34	19	2,160	6	8 12 15 20	104
124	70	0.35	4	1618	540	1.23	18	1,995	6	8 10 16 20	114
125	70	0.25	4	1618	540	1.13	18	1,835	7	8 13 16 20	114
126	70	0.15	4	1618	540	0.94	18	1,513	9	8 14 16 20	121
127	70	0.65	4	1629	562	1.43	20	2,336	5	8 14 16 21	115
128	70	0.55	4	1629	562	1.41	19	2,301	5	8 14 18 21	113
129	70	0.45	4	1629	562	1.35	19	2,197	6	8 13 18 21	112
130	70	0.35	4	1629	562	1.25	19	2,031	6	8 10 16 21	125
131	70	0.25	4	1629	562	1.16	19	1,883	7	8 13 16 21	129
132	70	0.15	4	1629	562	0.93	19	1,507	9	8 14 18 21	135
133	70	0.65	4	1646	597	1.43	21	2,352	5	8 14 17 22	104
134	70	0.55	4	1646	597	1.42	21	2,344	5	8 14 18 22	109
135	70	0.45	4	1646	597	1.35	21	2,221	6	8 13 19 22	113
136	70	0.35	4	1646	597	1.27	20	2,086	6	8 16 19 22	128
137	70	0.25	4	1646	597	1.15	20	1,890	7	8 14 17 22	130
138	70	0.15	4	1646	597	0.94	20	1,542	9	8 14 17 22	131
139	70	0.65	4	1656	617	1.42	21	2,350	5	8 15 19 23	113
140	70	0.55	4	1656	617	1.41	21	2,329	5	8 14 18 23	106
141	70	0.45	4	1656	617	1.34	21	2,225	6	8 13 18 23	110
142	70	0.35	4	1656	617	1.24	21	2,057	7	8 17 19 23	135
143	70	0.25	4	1656	617	1.13	21	1,876	7	8 15 19 23	144

144	70	0.15	4	1656	617	0.89	21	1,469	10	8 14 19 23	150
145	70	0.65	4	1657	619	1.41	22	2,345	5	8 17 20 24	117
146	70	0.55	4	1657	619	1.41	21	2,328	5	8 14 18 24	107
147	70	0.45	4	1657	619	1.34	21	2,224	6	8 13 18 24	112
148	70	0.35	4	1657	619	1.24	21	2,056	7	8 17 19 24	135
149	70	0.25	4	1657	619	1.09	21	1,799	7	8 15 19 24	146
150	70	0.15	4	1657	619	0.89	21	1,475	10	8 14 19 24	150
1	30	0.65	4	1420	514	0.82	20	1,165	8	8 13 15 18	134
2	30	0.55	4	1420	514	0.81	20	1,156	8	8 11 14 18	140
3	30	0.45	4	1420	514	0.83	20	1,176	8	8 13 15 18	152
4	30	0.35	4	1420	514	0.83	20	1,179	8	8 13 15 18	166
5	30	0.25	4	1420	514	0.82	20	1,164	8	8 13 15 18	186
6	30	0.15	4	1420	514	0.78	20	1,112	8	8 11 15 18	215
7	30	0.65	4	1431	535	0.84	21	1,207	8	8 12 16 19	136
8	30	0.55	4	1431	535	0.85	21	1,211	8	8 12 16 19	143
9	30	0.45	4	1431	535	0.85	21	1,214	8	8 12 16 19	153
10	30	0.35	4	1431	535	0.85	21	1,210	8	8 12 16 19	166
11	30	0.25	4	1431	535	0.84	21	1,201	8	8 11 16 19	194
12	30	0.15	4	1431	535	0.81	20	1,159	9	8 11 15 19	223
13	30	0.65	4	1442	557	0.85	22	1,226	8	8 12 16 20	136
14	30	0.55	4	1442	557	0.85	22	1,231	8	8 12 16 20	145
15	30	0.45	4	1442	557	0.86	22	1,233	8	8 12 16 20	155
16	30	0.35	4	1442	557	0.85	22	1,230	8	8 12 16 20	168
17	30	0.25	4	1442	557	0.85	22	1,225	8	8 11 16 20	198
18	30	0.15	4	1442	557	0.82	21	1,180	9	8 11 15 20	230
19	30	0.65	4	1459	591	0.84	23	1,220	8	8 16 18 21	141
20	30	0.55	4	1459	591	0.84	23	1,224	8	8 11 16 21	151
21	30	0.45	4	1459	591	0.84	23	1,225	8	8 12 16 21	162
22	30	0.35	4	1459	591	0.84	23	1,222	8	8 12 16 21	183
23	30	0.25	4	1459	591	0.84	23	1,221	8	8 11 16 21	212
24	30	0.15	4	1459	591	0.82	22	1,195	9	8 11 16 21	247
25	30	0.65	4	1469	610	0.82	23	1,209	8	8 14 18 22	145
26	30	0.55	4	1469	610	0.83	23	1,217	8	8 16 19 22	148
27	30	0.45	4	1469	610	0.83	23	1,221	8	8 16 19 22	159
28	30	0.35	4	1469	610	0.82	23	1,211	8	8 15 18 22	180
29	30	0.25	4	1469	610	0.82	23	1,206	8	8 11 16 22	216
30	30	0.15	4	1469	610	0.80	23	1,180	10	8 11 16 22	253
31	40	0.65	4	1466	514	1.12	18	1,644	6	8 11 15 18	124
32	40	0.55	4	1466	514	1.13	18	1,651	6	8 12 15 18	130
33	40	0.45	4	1466	514	1.13	18	1,651	6	8 11 14 18	131
34	40	0.35	4	1466	514	1.12	18	1,648	6	8 11 14 18	142
35	40	0.25	4	1466	514	1.10	18	1,615	7	8 11 14 18	152
36	40	0.15	4	1466	514	0.96	18	1,403	8	8 11 15 18	183
37	40	0.65	4	1477	535	1.17	19	1,733	6	8 12 16 19	125

38	40	0.55	4	1477	535	1.18	19	1,737	6	8 12 16 19	132
39	40	0.45	4	1477	535	1.17	19	1,726	6	8 11 15 19	148
40	40	0.35	4	1477	535	1.16	19	1,713	7	8 11 15 19	156
41	40	0.25	4	1477	535	1.15	19	1,696	7	8 11 14 19	170
42	40	0.15	4	1477	535	1.00	18	1,483	8	8 13 15 19	186
43	40	0.65	4	1488	557	1.20	20	1,780	6	8 12 16 20	129
44	40	0.55	4	1488	557	1.20	20	1,783	6	8 12 16 20	137
45	40	0.45	4	1488	557	1.20	20	1,781	6	8 12 16 20	145
46	40	0.35	4	1488	557	1.18	20	1,755	7	8 11 14 20	156
47	40	0.25	4	1488	557	1.14	20	1,695	7	8 11 15 20	174
48	40	0.15	4	1488	557	1.01	20	1,507	8	8 12 15 20	188
49	40	0.65	4	1505	591	1.19	21	1,785	6	8 11 16 21	129
50	40	0.55	4	1505	591	1.17	21	1,765	6	8 15 18 21	138
51	40	0.45	4	1505	591	1.19	21	1,787	7	8 12 16 21	148
52	40	0.35	4	1505	591	1.18	21	1,779	7	8 11 16 21	161
53	40	0.25	4	1505	591	1.14	21	1,714	7	8 11 15 21	182
54	40	0.15	4	1505	591	0.97	21	1,455	8	8 14 16 21	211
55	40	0.65	4	1515	610	1.18	22	1,786	6	8 14 18 22	136
56	40	0.55	4	1515	610	1.17	22	1,777	6	8 15 18 22	150
57	40	0.45	4	1515	610	1.18	22	1,781	7	8 14 18 22	151
58	40	0.35	4	1515	610	1.17	21	1,772	7	8 14 18 22	176
59	40	0.25	4	1515	610	1.12	21	1,703	7	8 11 15 22	193
60	40	0.15	4	1515	610	0.95	21	1,443	8	8 15 18 22	211
61	50	0.65	4	1512	514	1.30	18	1,969	6	8 12 15 18	124
62	50	0.55	4	1512	514	1.30	18	1,969	6	8 11 14 18	123
63	50	0.45	4	1512	514	1.29	18	1,946	6	8 12 15 18	134
64	50	0.35	4	1512	514	1.23	18	1,860	6	8 11 14 18	127
65	50	0.25	4	1512	514	1.14	18	1,718	7	8 12 15 18	141
66	50	0.15	4	1512	514	0.98	17	1,476	7	8 11 15 18	157
67	50	0.65	4	1523	535	1.35	19	2,054	6	8 12 16 19	109
68	50	0.55	4	1523	535	1.35	19	2,060	6	8 11 15 19	125
69	50	0.45	4	1523	535	1.34	19	2,045	6	8 11 14 19	124
70	50	0.35	4	1523	535	1.28	19	1,954	6	8 11 15 19	141
71	50	0.25	4	1523	535	1.18	19	1,797	7	8 12 14 19	142
72	50	0.15	4	1523	535	1.04	18	1,584	8	8 13 15 19	154
73	50	0.65	4	1534	557	1.38	20	2,122	6	8 12 16 20	124
74	50	0.55	4	1534	557	1.38	19	2,120	6	8 11 16 20	132
75	50	0.45	4	1534	557	1.36	19	2,093	6	8 12 16 20	135
76	50	0.35	4	1534	557	1.30	19	2,000	6	8 11 15 20	155
77	50	0.25	4	1534	557	1.16	19	1,781	7	8 15 18 20	156
78	50	0.15	4	1534	557	1.02	19	1,570	8	8 11 15 20	171
79	50	0.65	4	1551	591	1.38	21	2,143	6	8 12 16 21	118
80	50	0.55	4	1551	591	1.39	21	2,150	6	8 11 16 21	128
81	50	0.45	4	1551	591	1.37	21	2,131	6	8 11 16 21	137

82	50	0.35	4	1551	591	1.31	20	2,027	6	8 15 18 21	154
83	50	0.25	4	1551	591	1.19	20	1,838	7	8 16 18 21	171
84	50	0.15	4	1551	591	0.97	20	1,500	9	8 14 16 21	178
85	50	0.65	4	1561	610	1.37	21	2,143	6	8 14 18 22	119
86	50	0.55	4	1561	610	1.38	21	2,150	6	8 11 16 22	137
87	50	0.45	4	1561	610	1.37	21	2,132	6	8 11 16 22	145
88	50	0.35	4	1561	610	1.32	21	2,054	6	8 14 18 22	154
89	50	0.25	4	1561	610	1.18	21	1,836	7	8 16 19 22	165
90	50	0.15	4	1561	610	0.98	21	1,532	9	8 16 18 22	185
91	60	0.65	4	1558	514	1.31	18	2,049	6	8 11 14 18	103
92	60	0.55	4	1558	514	1.30	18	2,027	6	8 15 16 18	102
93	60	0.45	4	1558	514	1.27	18	1,984	6	8 11 15 18	121
94	60	0.35	4	1558	514	1.22	17	1,896	6	8 12 15 18	114
95	60	0.25	4	1558	514	1.15	17	1,798	6	8 11 14 18	119
96	60	0.15	4	1558	514	0.96	17	1,494	8	8 12 15 18	129
97	60	0.65	4	1569	535	1.37	19	2,150	6	8 11 15 19	101
98	60	0.55	4	1569	535	1.38	19	2,161	5	8 13 15 19	106
99	60	0.45	4	1569	535	1.34	18	2,107	6	8 13 15 19	118
100	60	0.35	4	1569	535	1.27	18	1,994	6	8 14 17 19	124
101	60	0.25	4	1569	535	1.20	18	1,876	6	8 11 14 19	126
102	60	0.15	4	1569	535	1.00	18	1,568	8	8 12 15 19	137
103	60	0.65	4	1580	557	1.42	19	2,249	6	8 13 15 20	117
104	60	0.55	4	1580	557	1.40	19	2,208	6	8 15 17 20	113
105	60	0.45	4	1580	557	1.36	19	2,155	6	8 14 16 20	120
106	60	0.35	4	1580	557	1.30	19	2,059	6	8 13 15 20	130
107	60	0.25	4	1580	557	1.20	19	1,895	7	8 12 16 20	139
108	60	0.15	4	1580	557	0.98	19	1,546	9	8 13 15 20	148
109	60	0.65	4	1597	591	1.44	20	2,296	6	8 12 16 21	125
110	60	0.55	4	1597	591	1.42	20	2,261	6	8 14 18 21	132
111	60	0.45	4	1597	591	1.38	20	2,199	6	8 13 16 21	128
112	60	0.35	4	1597	591	1.30	20	2,072	6	8 14 17 21	127
113	60	0.25	4	1597	591	1.20	20	1,910	7	8 15 18 21	149
114	60	0.15	4	1597	591	0.96	20	1,540	10	8 15 18 21	156
115	60	0.65	4	1607	610	1.41	21	2,270	6	8 15 18 22	127
116	60	0.55	4	1607	610	1.40	21	2,257	6	8 11 16 22	142
117	60	0.45	4	1607	610	1.37	21	2,204	6	8 14 18 22	128
118	60	0.35	4	1607	610	1.28	21	2,055	6	8 14 18 22	136
119	60	0.25	4	1607	610	1.18	21	1,892	7	8 12 16 22	154
120	60	0.15	4	1607	610	0.96	21	1,545	9	8 14 18 22	159
121	70	0.65	4	1604	514	1.31	18	2,108	5	8 12 15 18	93
122	70	0.55	4	1604	514	1.29	18	2,077	5	8 11 15 18	94
123	70	0.45	4	1604	514	1.27	17	2,033	5	8 11 14 18	107
124	70	0.35	4	1604	514	1.20	17	1,933	6	8 11 15 18	111
125	70	0.25	4	1604	514	1.09	17	1,750	7	8 12 15 18	116

126	70	0.15	4	1604	514	0.94	17	1,503	8	8 12 15 18	120
127	70	0.65	4	1615	535	1.36	18	2,203	5	8 14 16 19	84
128	70	0.55	4	1615	535	1.38	18	2,222	5	8 13 15 19	104
129	70	0.45	4	1615	535	1.33	18	2,147	6	8 11 14 19	102
130	70	0.35	4	1615	535	1.24	18	2,005	6	8 10 16 19	112
131	70	0.25	4	1615	535	1.15	18	1,862	7	8 13 16 19	114
132	70	0.15	4	1615	535	0.97	18	1,573	9	8 12 15 19	121
133	70	0.65	4	1626	557	1.40	19	2,277	5	8 11 15 20	95
134	70	0.55	4	1626	557	1.39	19	2,266	5	8 15 16 20	94
135	70	0.45	4	1626	557	1.35	19	2,190	6	8 12 16 20	109
136	70	0.35	4	1626	557	1.28	19	2,079	6	8 13 15 20	119
137	70	0.25	4	1626	557	1.16	19	1,894	7	8 13 16 20	121
138	70	0.15	4	1626	557	0.97	19	1,580	9	8 12 15 20	129
139	70	0.65	4	1643	591	1.41	20	2,321	5	8 14 16 21	99
140	70	0.55	4	1643	591	1.40	20	2,301	6	8 15 17 21	101
141	70	0.45	4	1643	591	1.36	20	2,240	6	8 11 14 21	118
142	70	0.35	4	1643	591	1.28	20	2,097	6	8 14 18 21	118
143	70	0.25	4	1643	591	1.17	20	1,918	7	8 13 16 21	130
144	70	0.15	4	1643	591	0.92	20	1,509	9	8 14 17 21	127
145	70	0.65	4	1653	610	1.41	21	2,322	5	8 14 16 22	97
146	70	0.55	4	1653	610	1.39	21	2,299	6	8 15 19 22	108
147	70	0.45	4	1653	610	1.35	21	2,228	6	8 15 19 22	123
148	70	0.35	4	1653	610	1.26	21	2,086	6	8 14 18 22	130
149	70	0.25	4	1653	610	1.14	21	1,877	7	8 13 16 22	130
150	70	0.15	4	1653	610	0.88	20	1,457	10	8 14 18 22	150
1	30	0.65	5	1511	694	0.73	27	1,106	9	7 14 15 19 23	161
2	30	0.55	5	1511	694	0.74	27	1,111	9	7 14 15 19 23	174
3	30	0.45	5	1511	694	0.74	27	1,117	10	7 13 15 19 23	193
4	30	0.35	5	1511	694	0.73	27	1,104	11	7 12 15 19 23	216
5	30	0.25	5	1511	694	0.73	27	1,104	9	7 14 15 19 23	260
6	30	0.15	5	1511	694	0.67	27	1,016	10	7 11 14 19 23	285
7	30	0.65	5	1512	697	0.73	28	1,104	9	7 14 15 19 24	161
8	30	0.55	5	1512	697	0.73	27	1,109	9	7 14 15 19 24	174
9	30	0.45	5	1512	697	0.74	27	1,114	10	7 13 15 19 24	193
10	30	0.35	5	1512	697	0.73	27	1,102	11	7 12 15 19 24	214
11	30	0.25	5	1512	697	0.72	27	1,090	9	7 14 16 18 24	254
12	30	0.15	5	1512	697	0.67	27	1,009	10	7 11 14 19 24	287
13	30	0.65	5	1513	698	0.73	28	1,103	9	7 14 15 19 25	161
14	30	0.55	5	1513	698	0.73	28	1,108	9	7 14 15 19 25	175
15	30	0.45	5	1513	698	0.74	27	1,113	10	7 13 15 19 25	193
16	30	0.35	5	1513	698	0.73	27	1,101	11	7 12 15 19 25	213
17	30	0.25	5	1513	698	0.73	27	1,099	9	7 14 15 19 25	260
18	30	0.15	5	1513	698	0.67	28	1,008	10	7 11 14 19 25	287

19	30	0.65	5	1527	727	0.70	28	1,076	9	7 14 16 19 26	164
20	30	0.55	5	1527	727	0.71	28	1,082	9	7 14 15 19 26	177
21	30	0.45	5	1527	727	0.71	28	1,088	11	7 13 15 19 26	196
22	30	0.35	5	1527	727	0.71	28	1,087	11	7 13 15 19 26	222
23	30	0.25	5	1527	727	0.70	28	1,075	9	7 14 16 19 26	264
24	30	0.15	5	1527	727	0.67	28	1,025	11	7 12 15 19 26	307
25	30	0.65	5	1535	743	0.69	29	1,060	10	7 14 15 19 27	164
26	30	0.55	5	1535	743	0.69	29	1,066	10	7 14 15 19 27	179
27	30	0.45	5	1535	743	0.70	29	1,071	11	7 13 15 19 27	198
28	30	0.35	5	1535	743	0.70	28	1,069	11	7 13 15 19 27	224
29	30	0.25	5	1535	743	0.69	28	1,059	9	7 14 15 19 27	269
30	30	0.15	5	1535	743	0.66	28	1,012	12	7 13 15 19 27	313
31	40	0.65	5	1557	694	1.07	26	1,668	7	7 14 16 19 23	147
32	40	0.55	5	1557	694	1.07	26	1,670	7	7 14 16 19 23	156
33	40	0.45	5	1557	694	1.07	26	1,672	7	7 13 15 19 23	178
34	40	0.35	5	1557	694	1.05	25	1,642	7	7 12 15 18 23	197
35	40	0.25	5	1557	694	1.01	25	1,572	8	7 14 16 19 23	217
36	40	0.15	5	1557	694	0.83	25	1,291	9	7 11 14 19 23	241
37	40	0.65	5	1558	697	1.07	26	1,664	7	7 14 16 19 24	147
38	40	0.55	5	1558	697	1.08	26	1,680	7	7 14 15 19 24	157
39	40	0.45	5	1558	697	1.07	26	1,669	7	7 13 15 19 24	177
40	40	0.35	5	1558	697	1.07	26	1,662	7	7 12 15 19 24	204
41	40	0.25	5	1558	697	1.01	25	1,572	8	7 14 16 19 24	222
42	40	0.15	5	1558	697	0.82	25	1,277	9	7 11 14 19 24	249
43	40	0.65	5	1559	698	1.07	26	1,663	7	7 14 16 19 25	147
44	40	0.55	5	1559	698	1.08	26	1,678	7	7 14 15 19 25	156
45	40	0.45	5	1559	698	1.07	26	1,663	7	7 12 15 19 25	174
46	40	0.35	5	1559	698	1.07	26	1,660	7	7 12 15 19 25	203
47	40	0.25	5	1559	698	1.01	26	1,569	8	7 14 16 19 25	216
48	40	0.15	5	1559	698	0.81	25	1,259	9	7 11 14 19 25	249
49	40	0.65	5	1573	727	1.04	26	1,639	7	7 14 16 19 26	149
50	40	0.55	5	1573	727	1.04	26	1,642	7	7 14 15 19 26	160
51	40	0.45	5	1573	727	1.04	26	1,636	8	7 12 15 19 26	181
52	40	0.35	5	1573	727	1.02	26	1,609	8	7 12 16 19 26	207
53	40	0.25	5	1573	727	0.99	26	1,554	8	7 14 15 19 26	226
54	40	0.15	5	1573	727	0.78	26	1,221	9	7 11 14 19 26	261
55	40	0.65	5	1581	743	1.02	27	1,615	7	7 14 15 19 27	147
56	40	0.55	5	1581	743	1.02	27	1,618	7	7 14 15 19 27	157
57	40	0.45	5	1581	743	1.02	27	1,607	7	7 14 15 19 27	170
58	40	0.35	5	1581	743	1.02	27	1,607	8	7 12 15 19 27	205
59	40	0.25	5	1581	743	0.97	27	1,528	8	7 14 16 19 27	234

60	40	0.15	5	1581	743	0.76	26	1,200	9	7 11 14 19 27	271
61	50	0.65	5	1603	694	1.26	25	2,019	6	7 13 15 19 23	140
62	50	0.55	5	1603	694	1.27	25	2,028	6	7 13 15 19 23	145
63	50	0.45	5	1603	694	1.26	25	2,022	6	7 12 15 19 23	156
64	50	0.35	5	1603	694	1.18	25	1,891	7	7 13 15 18 23	177
65	50	0.25	5	1603	694	1.01	25	1,624	8	7 12 15 19 23	198
66	50	0.15	5	1603	694	0.77	25	1,231	10	7 13 15 19 23	218
67	50	0.65	5	1604	697	1.26	25	2,023	6	7 14 16 19 24	132
68	50	0.55	5	1604	697	1.26	25	2,026	6	7 14 16 19 24	142
69	50	0.45	5	1604	697	1.26	25	2,019	6	7 12 15 19 24	157
70	50	0.35	5	1604	697	1.17	25	1,879	7	7 13 15 18 24	180
71	50	0.25	5	1604	697	0.99	25	1,582	8	7 13 16 19 24	198
72	50	0.15	5	1604	697	0.78	25	1,247	10	7 13 15 19 24	218
73	50	0.65	5	1605	698	1.26	25	2,022	6	7 14 16 19 25	133
74	50	0.55	5	1605	698	1.26	25	2,017	6	7 13 15 19 25	145
75	50	0.45	5	1605	698	1.25	25	2,003	6	7 13 15 19 25	161
76	50	0.35	5	1605	698	1.18	25	1,887	7	7 13 15 19 25	177
77	50	0.25	5	1605	698	0.98	25	1,571	8	7 13 16 19 25	200
78	50	0.15	5	1605	698	0.78	25	1,245	10	7 13 15 19 25	216
79	50	0.65	5	1619	727	1.23	26	1,989	6	7 13 15 19 26	141
80	50	0.55	5	1619	727	1.23	26	1,994	6	7 14 15 19 26	143
81	50	0.45	5	1619	727	1.22	26	1,981	6	7 12 15 19 26	157
82	50	0.35	5	1619	727	1.15	26	1,860	7	7 13 15 20 26	184
83	50	0.25	5	1619	727	0.97	26	1,574	8	7 11 15 20 26	195
84	50	0.15	5	1619	727	0.77	26	1,254	10	7 14 16 19 26	219
85	50	0.65	5	1627	743	1.22	26	1,978	6	7 14 16 19 27	140
86	50	0.55	5	1627	743	1.21	26	1,970	6	7 13 15 19 27	151
87	50	0.45	5	1627	743	1.20	26	1,948	6	7 13 15 19 27	172
88	50	0.35	5	1627	743	1.13	26	1,840	7	7 13 15 20 27	188
89	50	0.25	5	1627	743	0.94	26	1,536	8	7 11 15 19 27	214
90	50	0.15	5	1627	743	0.74	26	1,202	10	7 14 16 19 27	234
1	30	0.65	5	1507	687	0.74	27	1,109	9	7 14 16 19 23	160
2	30	0.55	5	1507	687	0.72	27	1,092	11	7 12 14 17 23	171
3	30	0.45	5	1507	687	0.72	27	1,092	11	7 12 15 18 23	191
4	30	0.35	5	1507	687	0.72	27	1,091	11	7 12 14 17 23	217
5	30	0.25	5	1507	687	0.73	27	1,107	9	7 14 16 19 23	253
6	30	0.15	5	1507	687	0.68	27	1,025	10	7 11 14 18 23	298
7	30	0.65	5	1508	689	0.73	27	1,103	9	7 14 16 18 24	160
8	30	0.55	5	1508	689	0.73	28	1,097	9	7 14 17 20 24	175
9	30	0.45	5	1508	689	0.72	27	1,090	11	7 12 15 18 24	191
10	30	0.35	5	1508	689	0.72	27	1,088	11	7 12 14 17 24	218

11	30	0.25	5	1508	689	0.73	27	1,098	9	7 14 16 18 24	259
12	30	0.15	5	1508	689	0.68	27	1,024	10	7 11 14 18 24	298
13	30	0.65	5	1508	689	0.73	27	1,103	9	7 14 16 18 25	160
14	30	0.55	5	1508	689	0.72	27	1,089	11	7 12 14 17 25	172
15	30	0.45	5	1508	689	0.72	27	1,090	11	7 12 15 18 25	191
16	30	0.35	5	1508	689	0.74	27	1,110	9	7 14 16 19 25	222
17	30	0.25	5	1508	689	0.73	27	1,103	9	7 14 16 19 25	253
18	30	0.15	5	1508	689	0.68	27	1,024	10	7 11 14 18 25	298
19	30	0.65	5	1509	691	0.73	27	1,102	9	7 14 16 18 26	161
20	30	0.55	5	1509	691	0.72	27	1,094	9	7 14 17 18 26	169
21	30	0.45	5	1509	691	0.72	27	1,089	11	7 12 15 18 26	191
22	30	0.35	5	1509	691	0.72	27	1,086	11	7 12 14 17 26	218
23	30	0.25	5	1509	691	0.73	27	1,106	9	7 14 16 19 26	254
24	30	0.15	5	1509	691	0.68	27	1,023	10	7 11 14 18 26	298
25	30	0.65	5	1531	735	0.70	28	1,065	10	7 14 16 19 27	165
26	30	0.55	5	1531	735	0.68	28	1,043	9	7 14 17 25 27	175
27	30	0.45	5	1531	735	0.69	28	1,063	11	7 12 15 19 27	191
28	30	0.35	5	1531	735	0.69	28	1,051	11	7 12 17 20 27	219
29	30	0.25	5	1531	735	0.69	28	1,063	9	7 14 16 19 27	260
30	30	0.15	5	1531	735	0.64	28	983	10	7 11 14 18 27	318
31	40	0.65	5	1553	687	1.07	25	1,667	7	7 14 16 19 23	150
32	40	0.55	5	1553	687	1.07	25	1,656	7	7 14 15 18 23	155
33	40	0.45	5	1553	687	1.07	25	1,657	7	7 12 16 19 23	177
34	40	0.35	5	1553	687	1.03	25	1,605	7	7 11 14 19 23	188
35	40	0.25	5	1553	687	1.00	25	1,558	8	7 11 14 17 23	233
36	40	0.15	5	1553	687	0.84	25	1,308	9	7 11 14 17 23	242
37	40	0.65	5	1554	689	1.07	25	1,664	7	7 14 16 19 24	147
38	40	0.55	5	1554	689	1.06	25	1,654	7	7 14 15 18 24	156
39	40	0.45	5	1554	689	1.06	25	1,652	7	7 12 16 19 24	176
40	40	0.35	5	1554	689	1.03	25	1,605	7	7 11 14 19 24	188
41	40	0.25	5	1554	689	1.01	25	1,577	8	7 11 14 17 24	235
42	40	0.15	5	1554	689	0.84	25	1,302	9	7 11 14 17 24	244
43	40	0.65	5	1554	689	1.07	25	1,664	7	7 14 16 19 25	147
44	40	0.55	5	1554	689	1.06	25	1,654	7	7 14 15 18 25	156
45	40	0.45	5	1554	689	1.06	25	1,652	7	7 12 16 19 25	176
46	40	0.35	5	1554	689	1.03	25	1,605	7	7 11 14 19 25	188
47	40	0.25	5	1554	689	1.01	25	1,572	8	7 11 14 17 25	237
48	40	0.15	5	1554	689	0.84	25	1,304	9	7 11 14 17 25	244
49	40	0.65	5	1555	691	1.07	26	1,662	7	7 14 16 19 26	147
50	40	0.55	5	1555	691	1.06	25	1,654	7	7 14 15 18 26	157
51	40	0.45	5	1555	691	1.06	26	1,650	7	7 12 16 19 26	175

52	40	0.35	5	1555	691	1.04	25	1,620	7	7 11 14 17 26	190
53	40	0.25	5	1555	691	1.01	25	1,565	8	7 14 16 18 26	226
54	40	0.15	5	1555	691	0.84	25	1,300	9	7 11 14 17 26	245
55	40	0.65	5	1577	735	1.03	26	1,620	7	7 14 17 20 27	154
56	40	0.55	5	1577	735	1.03	26	1,618	7	7 14 16 19 27	156
57	40	0.45	5	1577	735	1.02	26	1,609	8	7 12 16 19 27	177
58	40	0.35	5	1577	735	1.00	26	1,570	7	7 11 14 18 27	196
59	40	0.25	5	1577	735	0.97	26	1,537	8	7 14 16 19 27	228
60	40	0.15	5	1577	735	0.78	26	1,237	9	7 11 14 18 27	263
61	50	0.65	5	1599	687	1.27	25	2,026	6	7 14 17 20 23	132
62	50	0.55	5	1599	687	1.26	25	2,015	6	7 12 16 19 23	137
63	50	0.45	5	1599	687	1.26	25	2,020	6	7 12 15 19 23	152
64	50	0.35	5	1599	687	1.20	25	1,916	7	7 11 14 17 23	185
65	50	0.25	5	1599	687	1.02	25	1,629	8	7 13 16 18 23	190
66	50	0.15	5	1599	687	0.84	24	1,341	9	7 14 16 18 23	211
67	50	0.65	5	1600	689	1.26	25	2,023	6	7 14 17 20 24	127
68	50	0.55	5	1600	689	1.25	25	2,008	6	7 12 16 19 24	140
69	50	0.45	5	1600	689	1.25	25	1,999	6	7 11 14 17 24	156
70	50	0.35	5	1600	689	1.20	25	1,919	7	7 13 14 17 24	186
71	50	0.25	5	1600	689	1.01	25	1,623	8	7 13 16 18 24	192
72	50	0.15	5	1600	689	0.82	24	1,318	9	7 14 16 18 24	213
73	50	0.65	5	1600	689	1.27	25	2,025	6	7 14 17 20 25	129
74	50	0.55	5	1600	689	1.25	25	2,008	6	7 12 16 19 25	140
75	50	0.45	5	1600	689	1.26	25	2,017	6	7 12 15 19 25	153
76	50	0.35	5	1600	689	1.20	25	1,919	7	7 13 14 17 25	186
77	50	0.25	5	1600	689	1.01	25	1,623	8	7 13 16 18 25	192
78	50	0.15	5	1600	689	0.82	25	1,317	9	7 14 16 18 25	213
79	50	0.65	5	1601	691	1.26	25	2,020	6	7 14 17 20 26	131
80	50	0.55	5	1601	691	1.26	25	2,012	6	7 12 16 19 26	139
81	50	0.45	5	1601	691	1.25	25	1,996	6	7 11 14 17 26	156
82	50	0.35	5	1601	691	1.19	25	1,904	6	7 12 14 17 26	179
83	50	0.25	5	1601	691	1.01	25	1,623	8	7 13 16 18 26	196
84	50	0.15	5	1601	691	0.80	25	1,275	10	7 14 16 18 26	213
85	50	0.65	5	1623	735	1.22	26	1,977	6	7 14 16 19 27	136
86	50	0.55	5	1623	735	1.22	26	1,978	6	7 14 16 19 27	145
87	50	0.45	5	1623	735	1.21	26	1,963	6	7 12 15 19 27	156
88	50	0.35	5	1623	735	1.14	26	1,849	7	7 11 16 20 27	186
89	50	0.25	5	1623	735	0.98	26	1,585	8	7 13 17 20 27	207
90	50	0.15	5	1623	735	0.74	26	1,206	10	7 14 16 18 27	229
1	30	0.65	5	1450	572	0.78	23	1,129	8	8 11 14 16 20	147
2	30	0.55	5	1450	572	0.78	23	1,129	8	8 12 13 16 20	157

3	30	0.45	5	1450	572	0.78	23	1,136	8	8 12 13 16 20	170
4	30	0.35	5	1450	572	0.78	23	1,136	8	8 11 13 16 20	184
5	30	0.25	5	1450	572	0.78	22	1,131	9	8 11 14 16 20	209
6	30	0.15	5	1450	572	0.76	23	1,103	9	8 11 14 16 20	246
7	30	0.65	5	1467	607	0.78	24	1,150	8	8 14 16 17 21	150
8	30	0.55	5	1467	607	0.78	24	1,146	8	8 13 16 17 21	157
9	30	0.45	5	1467	607	0.79	24	1,153	8	8 13 16 17 21	172
10	30	0.35	5	1467	607	0.78	24	1,152	9	8 14 16 17 21	192
11	30	0.25	5	1467	607	0.77	24	1,129	9	8 11 14 16 21	217
12	30	0.15	5	1467	607	0.75	23	1,099	9	8 11 14 16 21	252
13	30	0.65	5	1483	638	0.77	25	1,145	8	8 14 16 19 22	150
14	30	0.55	5	1483	638	0.78	25	1,156	9	8 13 16 19 22	162
15	30	0.45	5	1483	638	0.78	25	1,162	8	8 13 16 19 22	176
16	30	0.35	5	1483	638	0.78	25	1,160	9	8 13 16 19 22	196
17	30	0.25	5	1483	638	0.75	25	1,112	9	8 11 14 16 22	231
18	30	0.15	5	1483	638	0.73	25	1,087	9	8 11 14 16 22	271
19	30	0.65	5	1493	659	0.76	26	1,138	8	8 14 16 19 23	158
20	30	0.55	5	1493	659	0.77	26	1,148	9	8 13 16 19 23	170
21	30	0.45	5	1493	659	0.77	26	1,155	8	8 13 16 19 23	185
22	30	0.35	5	1493	659	0.77	26	1,152	9	8 13 16 19 23	204
23	30	0.25	5	1493	659	0.75	26	1,113	9	8 12 14 17 23	239
24	30	0.15	5	1493	659	0.73	26	1,097	10	8 14 16 19 23	278
25	30	0.65	5	1494	661	0.76	26	1,135	8	8 14 16 19 24	157
26	30	0.55	5	1494	661	0.77	26	1,145	9	8 13 16 19 24	169
27	30	0.45	5	1494	661	0.77	26	1,152	8	8 13 16 19 24	184
28	30	0.35	5	1494	661	0.77	26	1,150	9	8 13 16 19 24	204
29	30	0.25	5	1494	661	0.74	26	1,112	9	8 12 14 17 24	239
30	30	0.15	5	1494	661	0.73	26	1,095	10	8 14 16 19 24	269
31	40	0.65	5	1496	572	1.11	21	1,659	7	8 11 14 16 20	132
32	40	0.55	5	1496	572	1.10	21	1,652	7	8 12 14 16 20	139
33	40	0.45	5	1496	572	1.10	21	1,641	7	8 11 14 17 20	150
34	40	0.35	5	1496	572	1.11	21	1,656	7	8 11 13 16 20	169
35	40	0.25	5	1496	572	1.07	21	1,596	7	8 12 14 16 20	192
36	40	0.15	5	1496	572	0.95	20	1,422	8	8 11 14 16 20	204
37	40	0.65	5	1513	607	1.12	22	1,688	7	8 12 14 17 21	139
38	40	0.55	5	1513	607	1.12	22	1,697	7	8 13 16 17 21	146
39	40	0.45	5	1513	607	1.11	22	1,676	7	8 11 14 17 21	156
40	40	0.35	5	1513	607	1.10	22	1,671	7	8 11 13 16 21	178
41	40	0.25	5	1513	607	1.07	22	1,622	7	8 12 14 17 21	194
42	40	0.15	5	1513	607	0.95	22	1,442	8	8 11 14 16 21	215
43	40	0.65	5	1529	638	1.10	23	1,677	7	8 12 14 17 22	144

44	40	0.55	5	1529	638	1.10	23	1,680	7	8 12 14 17 22	154
45	40	0.45	5	1529	638	1.11	23	1,702	7	8 12 16 19 22	168
46	40	0.35	5	1529	638	1.09	23	1,665	7	8 11 14 18 22	196
47	40	0.25	5	1529	638	1.07	23	1,631	7	8 12 14 17 22	210
48	40	0.15	5	1529	638	0.93	23	1,419	8	8 11 14 16 22	228
49	40	0.65	5	1539	659	1.11	24	1,708	7	8 14 16 19 23	137
50	40	0.55	5	1539	659	1.11	24	1,709	7	8 14 16 19 23	146
51	40	0.45	5	1539	659	1.10	24	1,698	7	8 12 16 19 23	168
52	40	0.35	5	1539	659	1.09	24	1,679	7	8 12 16 20 23	193
53	40	0.25	5	1539	659	1.05	24	1,610	7	8 12 14 17 23	217
54	40	0.15	5	1539	659	0.91	24	1,404	8	8 11 14 16 23	237
55	40	0.65	5	1540	661	1.09	24	1,686	7	8 14 16 18 24	139
56	40	0.55	5	1540	661	1.11	24	1,706	7	8 14 16 19 24	146
57	40	0.45	5	1540	661	1.10	24	1,695	7	8 12 16 19 24	169
58	40	0.35	5	1540	661	1.09	24	1,675	7	8 12 16 20 24	193
59	40	0.25	5	1540	661	1.04	24	1,609	8	8 12 14 17 24	218
60	40	0.15	5	1540	661	0.89	24	1,368	8	8 11 14 16 24	237
61	50	0.65	5	1542	572	1.28	20	1,980	6	8 11 14 17 20	121
62	50	0.55	5	1542	572	1.29	20	1,985	6	8 11 14 17 20	132
63	50	0.45	5	1542	572	1.29	20	1,986	6	8 11 14 16 20	142
64	50	0.35	5	1542	572	1.21	20	1,868	6	8 14 16 18 20	153
65	50	0.25	5	1542	572	1.13	20	1,737	7	8 11 14 16 20	165
66	50	0.15	5	1542	572	0.95	20	1,467	8	8 11 13 16 20	168
67	50	0.65	5	1559	607	1.30	22	2,027	6	8 11 14 17 21	132
68	50	0.55	5	1559	607	1.31	21	2,039	6	8 11 14 17 21	145
69	50	0.45	5	1559	607	1.29	21	2,009	6	8 11 13 16 21	155
70	50	0.35	5	1559	607	1.23	21	1,913	6	8 14 16 19 21	172
71	50	0.25	5	1559	607	1.12	21	1,743	7	8 13 15 16 21	171
72	50	0.15	5	1559	607	0.94	21	1,460	8	8 13 16 17 21	186
73	50	0.65	5	1575	638	1.31	23	2,064	6	8 12 15 18 22	137
74	50	0.55	5	1575	638	1.30	23	2,055	6	8 12 16 19 22	138
75	50	0.45	5	1575	638	1.29	23	2,030	6	8 11 13 17 22	155
76	50	0.35	5	1575	638	1.22	23	1,918	6	8 14 16 18 22	177
77	50	0.25	5	1575	638	1.09	23	1,720	7	8 11 16 19 22	186
78	50	0.15	5	1575	638	0.91	22	1,434	9	8 11 14 18 22	194
79	50	0.65	5	1585	659	1.28	24	2,036	6	8 14 15 19 23	135
80	50	0.55	5	1585	659	1.30	24	2,057	6	8 12 16 19 23	139
81	50	0.45	5	1585	659	1.26	24	1,998	6	8 11 16 20 23	144
82	50	0.35	5	1585	659	1.22	23	1,939	6	8 14 16 19 23	173
83	50	0.25	5	1585	659	1.07	23	1,703	7	8 13 16 19 23	190
84	50	0.15	5	1585	659	0.90	23	1,434	9	8 13 16 19 23	199

85	50	0.65	5	1586	661	1.29	24	2,052	6	8 12 16 19 24	131
86	50	0.55	5	1586	661	1.29	24	2,054	6	8 12 16 19 24	138
87	50	0.45	5	1586	661	1.27	24	2,013	6	8 11 15 20 24	153
88	50	0.35	5	1586	661	1.22	23	1,937	6	8 14 16 20 24	181
89	50	0.25	5	1586	661	1.08	23	1,717	7	8 13 16 19 24	190
90	50	0.15	5	1586	661	0.93	23	1,468	8	8 11 14 18 24	201
1	30	0.65	5	1444	561	0.82	22	1,190	8	8 12 14 17 20	141
2	30	0.55	5	1444	561	0.83	22	1,196	8	8 12 14 17 20	151
3	30	0.45	5	1444	561	0.82	22	1,185	8	8 12 13 17 20	161
4	30	0.35	5	1444	561	0.82	22	1,185	8	8 12 13 17 20	177
5	30	0.25	5	1444	561	0.83	22	1,195	8	8 12 14 17 20	203
6	30	0.15	5	1444	561	0.79	22	1,139	8	8 11 14 16 20	231
7	30	0.65	5	1457	587	0.84	23	1,217	8	8 14 16 18 21	146
8	30	0.55	5	1457	587	0.84	23	1,219	8	8 13 16 17 21	153
9	30	0.45	5	1457	587	0.84	23	1,226	8	8 14 16 18 21	170
10	30	0.35	5	1457	587	0.83	23	1,206	8	8 12 13 17 21	179
11	30	0.25	5	1457	587	0.84	22	1,220	8	8 12 14 17 21	209
12	30	0.15	5	1457	587	0.81	22	1,177	9	8 12 14 17 21	236
13	30	0.65	5	1476	625	0.82	24	1,218	8	8 14 16 18 22	151
14	30	0.55	5	1476	625	0.83	24	1,223	8	8 14 16 18 22	163
15	30	0.45	5	1476	625	0.83	24	1,228	8	8 13 16 18 22	178
16	30	0.35	5	1476	625	0.82	24	1,204	8	8 12 15 18 22	191
17	30	0.25	5	1476	625	0.82	24	1,207	8	8 12 14 17 22	222
18	30	0.15	5	1476	625	0.79	24	1,165	9	8 14 16 19 22	262
19	30	0.65	5	1486	645	0.81	25	1,210	8	8 14 16 19 23	154
20	30	0.55	5	1486	645	0.82	25	1,216	8	8 14 16 19 23	166
21	30	0.45	5	1486	645	0.81	25	1,201	8	8 12 15 19 23	180
22	30	0.35	5	1486	645	0.81	25	1,199	8	8 12 15 19 23	196
23	30	0.25	5	1486	645	0.81	25	1,210	8	8 14 16 19 23	238
24	30	0.15	5	1486	645	0.78	25	1,163	9	8 14 16 19 23	274
25	30	0.65	5	1487	647	0.81	25	1,210	8	8 14 16 19 24	154
26	30	0.55	5	1487	647	0.82	25	1,216	8	8 14 16 19 24	166
27	30	0.45	5	1487	647	0.81	25	1,201	8	8 12 15 19 24	179
28	30	0.35	5	1487	647	0.81	25	1,199	8	8 12 15 19 24	196
29	30	0.25	5	1487	647	0.81	25	1,209	8	8 14 16 19 24	232
30	30	0.15	5	1487	647	0.78	25	1,161	9	8 14 16 19 24	269
31	40	0.65	5	1490	561	1.15	20	1,711	6	8 12 14 16 20	131
32	40	0.55	5	1490	561	1.15	20	1,716	6	8 11 13 17 20	147
33	40	0.45	5	1490	561	1.15	20	1,720	7	8 12 14 17 20	156
34	40	0.35	5	1490	561	1.12	20	1,670	7	8 11 12 16 20	161
35	40	0.25	5	1490	561	1.11	20	1,660	7	8 12 14 17 20	185

36	40	0.15	5	1490	561	1.00	20	1,486	8	8 12 14 16 20	198
37	40	0.65	5	1503	587	1.16	21	1,739	6	8 12 14 16 21	130
38	40	0.55	5	1503	587	1.17	21	1,763	6	8 14 16 17 21	143
39	40	0.45	5	1503	587	1.17	21	1,755	7	8 12 14 17 21	153
40	40	0.35	5	1503	587	1.15	21	1,722	7	8 11 12 17 21	167
41	40	0.25	5	1503	587	1.13	21	1,703	7	8 12 14 17 21	180
42	40	0.15	5	1503	587	0.98	21	1,467	8	8 13 16 17 21	203
43	40	0.65	5	1522	625	1.16	22	1,772	6	8 14 16 19 22	137
44	40	0.55	5	1522	625	1.16	22	1,768	7	8 14 16 17 22	146
45	40	0.45	5	1522	625	1.15	22	1,755	7	8 14 16 17 22	152
46	40	0.35	5	1522	625	1.15	22	1,750	7	8 14 16 19 22	170
47	40	0.25	5	1522	625	1.12	22	1,712	7	8 12 14 17 22	190
48	40	0.15	5	1522	625	0.99	22	1,499	8	8 14 16 18 22	221
49	40	0.65	5	1532	645	1.16	23	1,771	6	8 14 16 18 23	150
50	40	0.55	5	1532	645	1.16	23	1,783	7	8 13 16 18 23	162
51	40	0.45	5	1532	645	1.15	23	1,758	7	8 12 16 19 23	163
52	40	0.35	5	1532	645	1.13	23	1,729	7	8 12 15 17 23	189
53	40	0.25	5	1532	645	1.11	23	1,704	7	8 14 16 19 23	200
54	40	0.15	5	1532	645	0.93	23	1,420	8	8 14 16 19 23	223
55	40	0.65	5	1533	647	1.16	23	1,774	6	8 14 16 19 24	145
56	40	0.55	5	1533	647	1.16	23	1,784	7	8 13 16 18 24	162
57	40	0.45	5	1533	647	1.15	23	1,758	7	8 12 16 19 24	164
58	40	0.35	5	1533	647	1.13	23	1,730	7	8 12 15 17 24	190
59	40	0.25	5	1533	647	1.11	23	1,709	7	8 14 16 19 24	211
60	40	0.15	5	1533	647	0.93	23	1,429	8	8 14 16 19 24	223
61	50	0.65	5	1536	561	1.32	20	2,021	6	8 14 17 18 20	123
62	50	0.55	5	1536	561	1.32	20	2,027	6	8 11 14 17 20	131
63	50	0.45	5	1536	561	1.31	19	2,010	6	8 11 14 16 20	140
64	50	0.35	5	1536	561	1.26	19	1,936	6	8 11 13 16 20	155
65	50	0.25	5	1536	561	1.16	19	1,778	7	8 11 14 17 20	161
66	50	0.15	5	1536	561	1.01	19	1,555	8	8 11 14 16 20	170
67	50	0.65	5	1549	587	1.36	20	2,100	6	8 12 15 18 21	125
68	50	0.55	5	1549	587	1.35	20	2,092	6	8 13 16 18 21	127
69	50	0.45	5	1549	587	1.33	20	2,053	6	8 11 14 17 21	133
70	50	0.35	5	1549	587	1.28	20	1,980	6	8 12 13 15 21	151
71	50	0.25	5	1549	587	1.17	20	1,809	7	8 11 14 17 21	157
72	50	0.15	5	1549	587	1.01	20	1,571	8	8 11 15 17 21	174
73	50	0.65	5	1568	625	1.33	22	2,080	6	8 11 16 19 22	127
74	50	0.55	5	1568	625	1.34	22	2,093	6	8 12 17 18 22	135
75	50	0.45	5	1568	625	1.32	22	2,076	6	8 12 13 18 22	149
76	50	0.35	5	1568	625	1.29	22	2,022	6	8 12 15 19 22	159

77	50	0.25	5	1568	625	1.16	21	1,815	7	8 11 16 19 22	164
78	50	0.15	5	1568	625	0.94	21	1,478	8	8 13 16 17 22	188
79	50	0.65	5	1578	645	1.35	23	2,135	6	8 12 15 18 23	145
80	50	0.55	5	1578	645	1.34	23	2,118	6	8 12 17 20 23	148
81	50	0.45	5	1578	645	1.31	23	2,075	6	8 12 17 18 23	161
82	50	0.35	5	1578	645	1.27	22	2,009	6	8 12 13 18 23	177
83	50	0.25	5	1578	645	1.15	22	1,816	7	8 14 16 19 23	190
84	50	0.15	5	1578	645	0.97	22	1,534	8	8 13 16 18 23	199
85	50	0.65	5	1579	647	1.35	23	2,135	6	8 12 15 18 24	144
86	50	0.55	5	1579	647	1.34	23	2,118	6	8 12 17 20 24	148
87	50	0.45	5	1579	647	1.32	22	2,082	6	8 12 14 17 24	147
88	50	0.35	5	1579	647	1.27	22	2,010	6	8 12 15 20 24	171
89	50	0.25	5	1579	647	1.14	22	1,803	7	8 14 16 19 24	188
90	50	0.15	5	1579	647	0.96	22	1,522	8	8 13 16 18 24	202
1	30	0.65	5	1434	540	0.87	21	1,242	8	8 12 14 17 20	136
2	30	0.55	5	1434	540	0.87	21	1,246	8	8 12 14 17 20	148
3	30	0.45	5	1434	540	0.87	21	1,247	8	8 12 14 17 20	158
4	30	0.35	5	1434	540	0.86	21	1,228	8	8 12 14 16 20	172
5	30	0.25	5	1434	540	0.86	21	1,227	8	8 12 15 17 20	191
6	30	0.15	5	1434	540	0.83	21	1,183	9	8 14 16 18 20	227
7	30	0.65	5	1445	562	0.88	22	1,266	8	8 12 14 17 21	141
8	30	0.55	5	1445	562	0.88	22	1,270	8	8 12 14 17 21	152
9	30	0.45	5	1445	562	0.88	22	1,270	8	8 12 14 17 21	161
10	30	0.35	5	1445	562	0.88	22	1,267	8	8 12 14 17 21	175
11	30	0.25	5	1445	562	0.87	22	1,260	8	8 13 16 18 21	200
12	30	0.15	5	1445	562	0.84	22	1,209	9	8 14 16 18 21	238
13	30	0.65	5	1462	597	0.86	23	1,262	8	8 12 14 17 22	148
14	30	0.55	5	1462	597	0.87	23	1,266	8	8 12 14 17 22	160
15	30	0.45	5	1462	597	0.87	23	1,268	8	8 13 16 18 22	173
16	30	0.35	5	1462	597	0.86	23	1,261	8	8 12 14 17 22	184
17	30	0.25	5	1462	597	0.86	23	1,252	8	8 13 16 18 22	217
18	30	0.15	5	1462	597	0.82	23	1,203	9	8 14 16 19 22	244
19	30	0.65	5	1472	617	0.86	24	1,260	8	8 14 17 19 23	150
20	30	0.55	5	1472	617	0.85	24	1,248	8	8 12 14 18 23	163
21	30	0.45	5	1472	617	0.86	24	1,259	8	8 12 15 19 23	185
22	30	0.35	5	1472	617	0.85	24	1,246	8	8 12 14 18 23	192
23	30	0.25	5	1472	617	0.84	24	1,243	8	8 13 16 19 23	216
24	30	0.15	5	1472	617	0.82	24	1,206	9	8 14 16 19 23	255
25	30	0.65	5	1473	619	0.85	24	1,259	8	8 14 17 19 24	150
26	30	0.55	5	1473	619	0.86	24	1,263	8	8 14 17 19 24	164
27	30	0.45	5	1473	619	0.85	24	1,258	8	8 12 15 19 24	185

28	30	0.35	5	1473	619	0.84	24	1,245	8	8 12 14 18 24	192
29	30	0.25	5	1473	619	0.84	24	1,242	8	8 13 16 19 24	217
30	30	0.15	5	1473	619	0.82	24	1,206	9	8 14 16 19 24	261
31	40	0.65	5	1480	540	1.20	19	1,773	6	8 12 14 17 20	129
32	40	0.55	5	1480	540	1.17	19	1,738	6	8 9 13 16 20	135
33	40	0.45	5	1480	540	1.19	19	1,763	6	8 11 13 16 20	143
34	40	0.35	5	1480	540	1.19	19	1,758	6	8 11 13 16 20	158
35	40	0.25	5	1480	540	1.15	19	1,704	7	8 11 12 15 20	163
36	40	0.15	5	1480	540	1.03	19	1,522	7	8 11 14 16 20	194
37	40	0.65	5	1491	562	1.20	20	1,790	6	8 11 13 16 21	137
38	40	0.55	5	1491	562	1.23	20	1,841	6	8 12 14 17 21	152
39	40	0.45	5	1491	562	1.22	20	1,816	6	8 12 15 18 21	161
40	40	0.35	5	1491	562	1.20	20	1,784	6	8 11 13 16 21	164
41	40	0.25	5	1491	562	1.17	20	1,742	7	8 12 16 18 21	183
42	40	0.15	5	1491	562	1.04	20	1,551	7	8 11 14 18 21	211
43	40	0.65	5	1508	597	1.22	21	1,836	6	8 12 14 17 22	144
44	40	0.55	5	1508	597	1.19	21	1,791	6	8 11 16 19 22	143
45	40	0.45	5	1508	597	1.21	21	1,818	6	8 11 14 17 22	160
46	40	0.35	5	1508	597	1.18	21	1,776	6	8 11 13 16 22	171
47	40	0.25	5	1508	597	1.18	21	1,781	7	8 12 14 18 22	187
48	40	0.15	5	1508	597	1.02	21	1,539	7	8 11 14 17 22	213
49	40	0.65	5	1518	617	1.20	22	1,829	6	8 12 15 19 23	135
50	40	0.55	5	1518	617	1.18	22	1,793	6	8 11 16 19 23	145
51	40	0.45	5	1518	617	1.18	22	1,795	6	8 11 16 19 23	156
52	40	0.35	5	1518	617	1.20	22	1,822	6	8 12 15 19 23	172
53	40	0.25	5	1518	617	1.16	22	1,757	7	8 12 17 20 23	187
54	40	0.15	5	1518	617	1.02	22	1,546	7	8 11 15 19 23	225
55	40	0.65	5	1519	619	1.20	22	1,828	6	8 12 15 19 24	135
56	40	0.55	5	1519	619	1.18	22	1,792	6	8 11 16 19 24	145
57	40	0.45	5	1519	619	1.20	22	1,824	6	8 12 16 19 24	159
58	40	0.35	5	1519	619	1.19	22	1,812	6	8 12 16 19 24	173
59	40	0.25	5	1519	619	1.16	22	1,769	7	8 12 17 19 24	199
60	40	0.15	5	1519	619	1.02	22	1,545	7	8 11 15 19 24	224
61	50	0.65	5	1526	540	1.36	19	2,082	6	8 11 12 15 20	113
62	50	0.55	5	1526	540	1.37	19	2,084	6	8 11 12 15 20	119
63	50	0.45	5	1526	540	1.36	19	2,070	6	8 12 14 16 20	131
64	50	0.35	5	1526	540	1.31	19	1,994	6	8 12 14 15 20	142
65	50	0.25	5	1526	540	1.18	19	1,807	7	8 10 13 16 20	147
66	50	0.15	5	1526	540	1.08	18	1,655	7	8 12 15 17 20	158
67	50	0.65	5	1537	562	1.40	20	2,146	6	8 11 14 18 21	118
68	50	0.55	5	1537	562	1.41	20	2,161	6	8 12 14 18 21	126

69	50	0.45	5	1537	562	1.39	20	2,141	6	8 12 14 18 21	132
70	50	0.35	5	1537	562	1.33	20	2,048	6	8 12 14 16 21	148
71	50	0.25	5	1537	562	1.20	19	1,840	7	8 14 16 18 21	155
72	50	0.15	5	1537	562	1.05	19	1,618	7	8 12 15 17 21	170
73	50	0.65	5	1554	597	1.39	21	2,163	6	8 11 14 18 22	127
74	50	0.55	5	1554	597	1.41	21	2,197	6	8 12 14 18 22	136
75	50	0.45	5	1554	597	1.37	21	2,134	6	8 11 15 17 22	148
76	50	0.35	5	1554	597	1.32	21	2,050	6	8 12 13 17 22	149
77	50	0.25	5	1554	597	1.20	21	1,869	7	8 14 16 18 22	172
78	50	0.15	5	1554	597	1.03	20	1,599	8	8 12 15 18 22	178
79	50	0.65	5	1564	617	1.38	22	2,166	6	8 11 15 19 23	119
80	50	0.55	5	1564	617	1.40	22	2,182	6	8 12 14 18 23	133
81	50	0.45	5	1564	617	1.38	22	2,165	6	8 12 14 19 23	142
82	50	0.35	5	1564	617	1.31	22	2,052	6	8 12 13 17 23	147
83	50	0.25	5	1564	617	1.17	21	1,829	6	8 11 16 19 23	181
84	50	0.15	5	1564	617	1.04	21	1,630	7	8 12 15 19 23	185
85	50	0.65	5	1565	619	1.38	22	2,166	6	8 11 15 19 24	118
86	50	0.55	5	1565	619	1.40	22	2,186	6	8 12 15 19 24	130
87	50	0.45	5	1565	619	1.38	22	2,167	6	8 12 16 19 24	144
88	50	0.35	5	1565	619	1.31	22	2,051	6	8 12 13 17 24	147
89	50	0.25	5	1565	619	1.19	21	1,870	7	8 14 16 18 24	175
90	50	0.15	5	1565	619	1.03	21	1,609	8	8 12 15 19 24	178
1	30	0.65	5	1420	514	0.82	20	1,172	8	8 11 13 15 18	134
2	30	0.55	5	1420	514	0.83	20	1,177	8	8 11 13 15 18	143
3	30	0.45	5	1420	514	0.82	20	1,171	8	8 13 15 17 18	143
4	30	0.35	5	1420	514	0.83	20	1,175	8	8 13 15 17 18	158
5	30	0.25	5	1420	514	0.83	20	1,174	8	8 10 13 15 18	187
6	30	0.15	5	1420	514	0.80	20	1,143	8	8 10 13 15 18	213
7	30	0.65	5	1431	535	0.84	21	1,209	8	8 13 15 17 19	140
8	30	0.55	5	1431	535	0.85	21	1,220	8	8 11 14 16 19	145
9	30	0.45	5	1431	535	0.85	21	1,215	8	8 13 14 16 19	156
10	30	0.35	5	1431	535	0.86	21	1,226	8	8 13 15 17 19	173
11	30	0.25	5	1431	535	0.85	21	1,219	8	8 11 14 16 19	195
12	30	0.15	5	1431	535	0.83	21	1,187	8	8 10 13 15 19	220
13	30	0.65	5	1442	557	0.86	22	1,239	8	8 13 15 17 20	142
14	30	0.55	5	1442	557	0.86	22	1,245	8	8 13 15 17 20	151
15	30	0.45	5	1442	557	0.86	22	1,237	8	8 13 14 16 20	158
16	30	0.35	5	1442	557	0.87	22	1,254	8	8 13 15 17 20	176
17	30	0.25	5	1442	557	0.85	22	1,229	8	8 10 13 15 20	197
18	30	0.15	5	1442	557	0.84	21	1,213	9	8 11 14 16 20	227
19	30	0.65	5	1459	591	0.85	23	1,241	8	8 13 15 18 21	144

20	30	0.55	5	1459	591	0.86	23	1,252	8	8 11 16 18 21	152
21	30	0.45	5	1459	591	0.86	23	1,256	8	8 11 16 18 21	163
22	30	0.35	5	1459	591	0.86	23	1,254	8	8 13 15 18 21	181
23	30	0.25	5	1459	591	0.86	23	1,250	8	8 11 16 18 21	218
24	30	0.15	5	1459	591	0.82	23	1,201	9	8 11 15 18 21	246
25	30	0.65	5	1469	610	0.84	24	1,239	8	8 13 15 18 22	147
26	30	0.55	5	1469	610	0.85	23	1,253	8	8 11 16 18 22	159
27	30	0.45	5	1469	610	0.86	23	1,256	8	8 11 16 18 22	170
28	30	0.35	5	1469	610	0.85	23	1,254	8	8 13 15 18 22	182
29	30	0.25	5	1469	610	0.85	23	1,244	8	8 11 16 19 22	212
30	30	0.15	5	1469	610	0.81	23	1,194	10	8 11 15 18 22	255
31	40	0.65	5	1466	514	1.12	18	1,648	6	8 10 11 14 18	116
32	40	0.55	5	1466	514	1.13	18	1,650	6	8 10 11 14 18	123
33	40	0.45	5	1466	514	1.13	18	1,663	6	8 11 14 15 18	132
34	40	0.35	5	1466	514	1.14	18	1,676	6	8 11 13 15 18	153
35	40	0.25	5	1466	514	1.10	18	1,615	7	8 11 14 15 18	153
36	40	0.15	5	1466	514	0.98	18	1,433	7	8 10 13 15 18	180
37	40	0.65	5	1477	535	1.17	19	1,732	6	8 10 12 16 19	124
38	40	0.55	5	1477	535	1.18	19	1,736	6	8 10 12 16 19	132
39	40	0.45	5	1477	535	1.19	19	1,753	6	8 11 14 16 19	144
40	40	0.35	5	1477	535	1.18	19	1,750	6	8 11 13 15 19	161
41	40	0.25	5	1477	535	1.16	19	1,711	7	8 11 13 15 19	169
42	40	0.15	5	1477	535	1.01	19	1,493	7	8 10 13 15 19	192
43	40	0.65	5	1488	557	1.19	20	1,764	6	8 10 14 17 20	133
44	40	0.55	5	1488	557	1.21	20	1,808	6	8 13 15 17 20	149
45	40	0.45	5	1488	557	1.21	20	1,800	6	8 11 14 17 20	156
46	40	0.35	5	1488	557	1.19	20	1,776	7	8 11 14 16 20	157
47	40	0.25	5	1488	557	1.17	20	1,734	7	8 11 14 16 20	178
48	40	0.15	5	1488	557	1.02	20	1,525	7	8 10 13 15 20	199
49	40	0.65	5	1505	591	1.18	21	1,778	6	8 12 14 16 21	125
50	40	0.55	5	1505	591	1.21	21	1,815	6	8 13 15 18 21	140
51	40	0.45	5	1505	591	1.20	21	1,802	7	8 11 15 18 21	152
52	40	0.35	5	1505	591	1.19	21	1,791	7	8 11 14 18 21	158
53	40	0.25	5	1505	591	1.16	21	1,748	7	8 11 14 16 21	173
54	40	0.15	5	1505	591	1.00	21	1,498	8	8 10 14 16 21	214
55	40	0.65	5	1515	610	1.20	22	1,818	6	8 12 16 19 22	135
56	40	0.55	5	1515	610	1.20	22	1,822	6	8 12 16 19 22	144
57	40	0.45	5	1515	610	1.20	22	1,814	7	8 11 15 18 22	165
58	40	0.35	5	1515	610	1.19	22	1,801	7	8 11 15 18 22	174
59	40	0.25	5	1515	610	1.15	21	1,744	7	8 11 15 18 22	190
60	40	0.15	5	1515	610	0.96	21	1,447	8	8 10 14 18 22	225

61	50	0.65	5	1512	514	1.31	18	1,987	6	8 11 13 15 18	122
62	50	0.55	5	1512	514	1.29	18	1,959	6	8 11 14 16 18	128
63	50	0.45	5	1512	514	1.29	18	1,952	6	8 11 13 15 18	128
64	50	0.35	5	1512	514	1.24	18	1,878	6	8 11 14 16 18	139
65	50	0.25	5	1512	514	1.14	18	1,723	6	8 10 13 15 18	148
66	50	0.15	5	1512	514	1.01	17	1,525	7	8 11 15 16 18	157
67	50	0.65	5	1523	535	1.36	19	2,072	6	8 11 13 15 19	112
68	50	0.55	5	1523	535	1.35	19	2,057	6	8 11 13 16 19	118
69	50	0.45	5	1523	535	1.34	19	2,040	6	8 11 13 16 19	125
70	50	0.35	5	1523	535	1.30	19	1,985	6	8 11 13 16 19	130
71	50	0.25	5	1523	535	1.20	18	1,834	7	8 12 14 16 19	142
72	50	0.15	5	1523	535	1.02	18	1,554	7	8 11 15 16 19	157
73	50	0.65	5	1534	557	1.38	20	2,120	6	8 11 13 16 20	127
74	50	0.55	5	1534	557	1.38	19	2,119	6	8 10 12 16 20	130
75	50	0.45	5	1534	557	1.37	19	2,104	6	8 12 15 17 20	147
76	50	0.35	5	1534	557	1.32	19	2,033	6	8 11 13 16 20	145
77	50	0.25	5	1534	557	1.17	19	1,793	7	8 10 13 15 20	167
78	50	0.15	5	1534	557	1.03	19	1,584	8	8 11 15 16 20	174
79	50	0.65	5	1551	591	1.40	21	2,169	6	8 12 16 18 21	123
80	50	0.55	5	1551	591	1.39	21	2,149	6	8 10 12 16 21	126
81	50	0.45	5	1551	591	1.38	20	2,138	6	8 11 13 16 21	137
82	50	0.35	5	1551	591	1.31	20	2,039	6	8 11 12 16 21	150
83	50	0.25	5	1551	591	1.19	20	1,851	7	8 10 12 15 21	164
84	50	0.15	5	1551	591	1.03	20	1,604	8	8 14 16 18 21	183
85	50	0.65	5	1561	610	1.39	21	2,173	6	8 12 16 18 22	124
86	50	0.55	5	1561	610	1.36	21	2,129	6	8 10 15 19 22	137
87	50	0.45	5	1561	610	1.37	21	2,138	6	8 12 16 19 22	142
88	50	0.35	5	1561	610	1.32	21	2,060	6	8 11 13 16 22	159
89	50	0.25	5	1561	610	1.20	21	1,871	7	8 12 15 18 22	171
90	50	0.15	5	1561	610	1.02	21	1,586	8	8 11 15 18 22	172
1	60	0.65	5	1649	694	1.33	25	2,196	6	7 11 14 17 23	124
2	60	0.55	5	1649	694	1.33	25	2,191	6	7 13 15 18 23	139
3	60	0.45	5	1649	694	1.27	25	2,090	6	7 14 15 18 23	144
4	60	0.35	5	1649	694	1.15	25	1,895	7	7 11 15 20 23	162
5	60	0.25	5	1649	694	0.99	25	1,626	8	7 14 16 19 23	176
6	60	0.15	5	1649	694	0.77	25	1,274	10	7 12 15 19 23	181
7	60	0.65	5	1650	697	1.33	25	2,197	6	7 12 15 19 24	131
8	60	0.55	5	1650	697	1.32	25	2,183	6	7 11 14 18 24	136
9	60	0.45	5	1650	697	1.27	25	2,097	6	7 14 16 18 24	147
10	60	0.35	5	1650	697	1.15	25	1,902	7	7 11 15 19 24	158
11	60	0.25	5	1650	697	0.98	25	1,612	8	7 14 15 19 24	175

12	60	0.15	5	1650	697	0.77	25	1,267	10	7 12 15 19 24	175
13	60	0.65	5	1651	698	1.33	25	2,190	6	7 11 14 17 25	123
14	60	0.55	5	1651	698	1.32	25	2,185	6	7 13 15 18 25	138
15	60	0.45	5	1651	698	1.27	25	2,100	6	7 14 15 19 25	153
16	60	0.35	5	1651	698	1.15	25	1,900	7	7 11 15 19 25	164
17	60	0.25	5	1651	698	1.00	25	1,651	8	7 14 15 19 25	171
18	60	0.15	5	1651	698	0.77	25	1,268	10	7 12 15 19 25	176
19	60	0.65	5	1665	727	1.28	26	2,131	6	7 11 16 20 26	133
20	60	0.55	5	1665	727	1.29	26	2,153	6	7 13 15 20 26	140
21	60	0.45	5	1665	727	1.24	26	2,068	6	7 14 15 19 26	151
22	60	0.35	5	1665	727	1.12	26	1,872	7	7 12 15 19 26	178
23	60	0.25	5	1665	727	0.93	26	1,541	8	7 14 15 19 26	181
24	60	0.15	5	1665	727	0.68	25	1,124	12	7 12 15 19 26	191
25	60	0.65	5	1673	743	1.29	26	2,153	6	7 14 15 20 27	131
26	60	0.55	5	1673	743	1.28	26	2,141	6	7 13 15 19 27	139
27	60	0.45	5	1673	743	1.22	26	2,044	6	7 14 16 20 27	153
28	60	0.35	5	1673	743	1.11	26	1,864	7	7 12 14 19 27	172
29	60	0.25	5	1673	743	0.92	26	1,540	8	7 14 15 19 27	182
30	60	0.15	5	1673	743	0.68	26	1,131	12	7 14 15 19 27	194
31	70	0.65	5	1695	694	1.31	25	2,213	6	7 12 14 19 23	113
32	70	0.55	5	1695	694	1.30	25	2,199	6	7 12 14 17 23	121
33	70	0.45	5	1695	694	1.23	25	2,078	6	7 11 15 19 23	134
34	70	0.35	5	1695	694	1.11	25	1,881	7	7 14 15 19 23	144
35	70	0.25	5	1695	694	0.90	25	1,530	9	7 14 16 19 23	160
36	70	0.15	5	1695	694	0.69	24	1,170	12	7 14 15 19 23	165
37	70	0.65	5	1696	697	1.30	25	2,206	6	7 12 14 19 24	114
38	70	0.55	5	1696	697	1.30	25	2,198	6	7 13 15 19 24	119
39	70	0.45	5	1696	697	1.22	25	2,069	6	7 11 15 20 24	146
40	70	0.35	5	1696	697	1.12	25	1,896	7	7 14 15 19 24	145
41	70	0.25	5	1696	697	0.94	25	1,598	8	7 14 16 19 24	155
42	70	0.15	5	1696	697	0.64	25	1,092	12	7 14 15 19 24	165
43	70	0.65	5	1697	698	1.30	25	2,198	6	7 11 15 24 25	118
44	70	0.55	5	1697	698	1.29	25	2,181	6	7 12 14 17 25	122
45	70	0.45	5	1697	698	1.22	25	2,070	6	7 13 16 20 25	138
46	70	0.35	5	1697	698	1.12	25	1,900	7	7 14 15 19 25	144
47	70	0.25	5	1697	698	0.93	25	1,583	8	7 14 16 19 25	158
48	70	0.15	5	1697	698	0.64	25	1,088	12	7 14 15 19 25	165
49	70	0.65	5	1711	727	1.28	26	2,185	6	7 12 14 17 26	129
50	70	0.55	5	1711	727	1.26	26	2,156	6	7 12 14 17 26	130
51	70	0.45	5	1711	727	1.19	26	2,044	6	7 14 16 19 26	146
52	70	0.35	5	1711	727	1.07	26	1,830	7	7 14 15 19 26	153

53	70	0.25	5	1711	727	0.90	25	1,536	8	7 14 16 19 26	161
54	70	0.15	5	1711	727	0.62	25	1,062	12	7 14 15 19 26	168
55	70	0.65	5	1719	743	1.27	26	2,180	6	7 12 15 19 27	127
56	70	0.55	5	1719	743	1.24	26	2,136	6	7 11 15 19 27	129
57	70	0.45	5	1719	743	1.17	26	2,013	6	7 12 16 19 27	139
58	70	0.35	5	1719	743	1.07	26	1,839	7	7 14 15 19 27	148
59	70	0.25	5	1719	743	0.87	26	1,497	8	7 14 16 19 27	163
60	70	0.15	5	1719	743	0.59	26	1,016	12	7 13 15 19 27	171
1	60	0.65	5	1645	687	1.35	25	2,212	6	7 11 14 18 23	126
2	60	0.55	5	1645	687	1.33	25	2,194	6	7 12 14 17 23	131
3	60	0.45	5	1645	687	1.26	25	2,068	6	7 14 15 18 23	140
4	60	0.35	5	1645	687	1.19	25	1,959	7	7 13 14 17 23	161
5	60	0.25	5	1645	687	1.01	24	1,667	8	7 11 14 18 23	176
6	60	0.15	5	1645	687	0.74	24	1,224	11	7 14 15 18 23	180
7	60	0.65	5	1646	689	1.34	25	2,210	6	7 11 14 18 24	126
8	60	0.55	5	1646	689	1.33	25	2,192	6	7 12 14 17 24	131
9	60	0.45	5	1646	689	1.26	25	2,067	6	7 14 15 18 24	145
10	60	0.35	5	1646	689	1.16	25	1,912	7	7 13 14 18 24	166
11	60	0.25	5	1646	689	0.99	25	1,624	8	7 15 18 19 24	167
12	60	0.15	5	1646	689	0.72	24	1,192	11	7 14 15 18 24	179
13	60	0.65	5	1646	689	1.34	25	2,210	6	7 11 14 18 25	127
14	60	0.55	5	1646	689	1.32	25	2,169	6	7 11 12 17 25	130
15	60	0.45	5	1646	689	1.26	25	2,068	6	7 14 15 18 25	145
16	60	0.35	5	1646	689	1.17	25	1,923	7	7 11 14 18 25	166
17	60	0.25	5	1646	689	0.99	25	1,623	8	7 15 18 19 25	167
18	60	0.15	5	1646	689	0.72	24	1,191	11	7 14 15 18 25	179
19	60	0.65	5	1647	691	1.34	25	2,209	6	7 11 14 18 26	126
20	60	0.55	5	1647	691	1.32	25	2,169	6	7 11 12 17 26	130
21	60	0.45	5	1647	691	1.25	25	2,066	6	7 14 15 18 26	145
22	60	0.35	5	1647	691	1.17	25	1,927	7	7 13 14 18 26	163
23	60	0.25	5	1647	691	0.98	25	1,620	8	7 15 18 19 26	167
24	60	0.15	5	1647	691	0.79	24	1,293	10	7 14 15 18 26	177
25	60	0.65	5	1669	735	1.29	26	2,148	6	7 11 14 18 27	133
26	60	0.55	5	1669	735	1.27	26	2,118	6	7 11 16 20 27	140
27	60	0.45	5	1669	735	1.22	26	2,041	6	7 14 18 24 27	147
28	60	0.35	5	1669	735	1.13	26	1,888	7	7 13 14 18 27	162
29	60	0.25	5	1669	735	0.92	26	1,533	8	7 15 20 23 27	182
30	60	0.15	5	1669	735	0.67	25	1,117	12	7 14 16 20 27	195
31	70	0.65	5	1691	687	1.32	25	2,237	6	7 11 14 17 23	112
32	70	0.55	5	1691	687	1.31	25	2,222	6	7 12 14 17 23	119
33	70	0.45	5	1691	687	1.22	25	2,071	6	7 11 12 17 23	127

34	70	0.35	5	1691	687	1.14	24	1,936	7	7 14 16 18 23	141
35	70	0.25	5	1691	687	0.94	24	1,591	8	7 14 16 18 23	152
36	70	0.15	5	1691	687	0.59	24	1,001	12	7 10 16 19 23	158
37	70	0.65	5	1692	689	1.31	25	2,223	6	7 14 20 23 24	116
38	70	0.55	5	1692	689	1.31	25	2,218	6	7 12 14 17 24	119
39	70	0.45	5	1692	689	1.23	25	2,077	6	7 12 15 20 24	139
40	70	0.35	5	1692	689	1.11	25	1,880	7	7 14 16 18 24	140
41	70	0.25	5	1692	689	0.96	24	1,619	8	7 14 16 18 24	152
42	70	0.15	5	1692	689	0.66	24	1,124	12	7 14 16 18 24	160
43	70	0.65	5	1692	689	1.31	25	2,217	6	7 13 16 20 25	120
44	70	0.55	5	1692	689	1.31	25	2,217	6	7 12 14 17 25	119
45	70	0.45	5	1692	689	1.23	25	2,077	6	7 12 15 20 25	139
46	70	0.35	5	1692	689	1.11	25	1,880	7	7 14 16 18 25	140
47	70	0.25	5	1692	689	0.96	24	1,617	8	7 14 16 18 25	153
48	70	0.15	5	1692	689	0.67	24	1,128	12	7 14 16 18 25	160
49	70	0.65	5	1693	691	1.31	25	2,214	6	7 13 16 20 26	120
50	70	0.55	5	1693	691	1.31	25	2,215	6	7 12 14 17 26	117
51	70	0.45	5	1693	691	1.22	25	2,072	6	7 11 15 19 26	134
52	70	0.35	5	1693	691	1.11	25	1,878	7	7 14 16 18 26	141
53	70	0.25	5	1693	691	0.92	24	1,563	8	7 14 16 18 26	152
54	70	0.15	5	1693	691	0.66	24	1,118	12	7 14 16 18 26	161
55	70	0.65	5	1715	735	1.27	26	2,181	6	7 11 15 20 27	120
56	70	0.55	5	1715	735	1.26	26	2,157	6	7 13 17 20 27	136
57	70	0.45	5	1715	735	1.19	26	2,036	6	7 12 17 20 27	135
58	70	0.35	5	1715	735	1.09	26	1,870	7	7 14 17 20 27	149
59	70	0.25	5	1715	735	0.87	25	1,491	9	7 14 16 20 27	162
60	70	0.15	5	1715	735	0.59	25	1,012	12	7 10 16 20 27	167
1	60	0.65	5	1588	572	1.34	20	2,133	6	8 12 15 17 20	108
2	60	0.55	5	1588	572	1.35	20	2,136	6	8 11 14 16 20	108
3	60	0.45	5	1588	572	1.29	20	2,051	6	8 14 16 17 20	115
4	60	0.35	5	1588	572	1.21	20	1,926	6	8 11 14 16 20	138
5	60	0.25	5	1588	572	1.12	20	1,772	7	8 13 15 16 20	138
6	60	0.15	5	1588	572	0.92	20	1,460	9	8 11 14 16 20	147
7	60	0.65	5	1605	607	1.37	21	2,195	6	8 12 14 18 21	118
8	60	0.55	5	1605	607	1.36	21	2,188	6	8 14 16 18 21	124
9	60	0.45	5	1605	607	1.31	21	2,100	6	8 14 16 17 21	125
10	60	0.35	5	1605	607	1.22	21	1,960	6	8 11 14 16 21	150
11	60	0.25	5	1605	607	1.14	21	1,823	7	8 11 13 16 21	156
12	60	0.15	5	1605	607	0.87	21	1,392	10	8 13 16 17 21	163
13	60	0.65	5	1621	638	1.38	23	2,244	6	8 13 16 19 22	125
14	60	0.55	5	1621	638	1.38	23	2,234	6	8 14 16 19 22	128

15	60	0.45	5	1621	638	1.31	23	2,128	6	8 14 16 18 22	136
16	60	0.35	5	1621	638	1.22	23	1,978	7	8 11 14 16 22	155
17	60	0.25	5	1621	638	1.11	22	1,800	7	8 11 13 16 22	160
18	60	0.15	5	1621	638	0.83	22	1,344	9	8 13 16 17 22	162
19	60	0.65	5	1631	659	1.37	23	2,241	6	8 12 14 18 23	129
20	60	0.55	5	1631	659	1.36	23	2,224	6	8 14 16 20 23	130
21	60	0.45	5	1631	659	1.30	23	2,118	6	8 12 16 19 23	150
22	60	0.35	5	1631	659	1.20	23	1,959	7	8 11 14 16 23	166
23	60	0.25	5	1631	659	1.08	23	1,761	7	8 12 16 18 23	170
24	60	0.15	5	1631	659	0.81	23	1,321	10	8 14 16 17 23	178
25	60	0.65	5	1632	661	1.37	24	2,235	6	8 12 15 18 24	134
26	60	0.55	5	1632	661	1.34	23	2,191	6	8 13 17 22 24	127
27	60	0.45	5	1632	661	1.32	23	2,147	6	8 14 17 19 24	142
28	60	0.35	5	1632	661	1.20	23	1,958	7	8 11 14 16 24	166
29	60	0.25	5	1632	661	1.09	23	1,774	7	8 11 13 16 24	173
30	60	0.15	5	1632	661	0.83	23	1,347	9	8 14 16 17 24	176
31	70	0.65	5	1634	572	1.33	20	2,174	6	8 14 16 17 20	102
32	70	0.55	5	1634	572	1.33	20	2,169	5	8 13 16 17 20	104
33	70	0.45	5	1634	572	1.28	20	2,094	6	8 12 13 16 20	122
34	70	0.35	5	1634	572	1.17	20	1,916	6	8 10 12 16 20	128
35	70	0.25	5	1634	572	1.08	20	1,758	7	8 12 13 16 20	129
36	70	0.15	5	1634	572	0.86	20	1,406	9	8 10 13 16 20	133
37	70	0.65	5	1651	607	1.35	21	2,237	6	8 14 16 17 21	102
38	70	0.55	5	1651	607	1.33	21	2,197	6	8 12 15 18 21	102
39	70	0.45	5	1651	607	1.29	21	2,127	6	8 12 13 16 21	121
40	70	0.35	5	1651	607	1.19	21	1,958	7	8 13 16 17 21	125
41	70	0.25	5	1651	607	1.04	21	1,720	8	8 12 13 16 21	127
42	70	0.15	5	1651	607	0.84	21	1,379	10	8 13 16 18 21	134
43	70	0.65	5	1667	638	1.38	23	2,295	6	8 14 16 17 22	122
44	70	0.55	5	1667	638	1.35	23	2,253	6	8 12 14 17 22	120
45	70	0.45	5	1667	638	1.28	23	2,142	6	8 11 13 16 22	134
46	70	0.35	5	1667	638	1.17	22	1,956	7	8 14 16 18 22	139
47	70	0.25	5	1667	638	1.04	22	1,742	8	8 12 13 16 22	137
48	70	0.15	5	1667	638	0.85	22	1,412	10	8 13 16 18 22	146
49	70	0.65	5	1677	659	1.38	24	2,322	6	8 14 16 20 23	126
50	70	0.55	5	1677	659	1.34	23	2,256	6	8 12 14 17 23	121
51	70	0.45	5	1677	659	1.27	23	2,135	6	8 12 16 17 23	134
52	70	0.35	5	1677	659	1.17	23	1,958	7	8 14 16 20 23	138
53	70	0.25	5	1677	659	1.03	23	1,729	8	8 12 13 16 23	145
54	70	0.15	5	1677	659	0.81	23	1,361	10	8 13 16 18 23	148
55	70	0.65	5	1678	661	1.34	23	2,257	6	8 14 16 20 24	115

56	70	0.55	5	1678	661	1.34	23	2,255	6	8 12 14 17 24	121
57	70	0.45	5	1678	661	1.27	23	2,127	6	8 12 16 20 24	132
58	70	0.35	5	1678	661	1.17	23	1,962	7	8 14 16 20 24	138
59	70	0.25	5	1678	661	1.02	23	1,713	8	8 12 13 16 24	137
60	70	0.15	5	1678	661	0.81	23	1,360	10	8 13 16 18 24	149
1	60	0.65	5	1582	561	1.38	20	2,187	5	8 12 14 17 20	112
2	60	0.55	5	1582	561	1.37	19	2,166	5	8 11 14 16 20	118
3	60	0.45	5	1582	561	1.33	19	2,102	6	8 14 16 17 20	125
4	60	0.35	5	1582	561	1.26	19	1,986	6	8 12 14 17 20	137
5	60	0.25	5	1582	561	1.13	19	1,792	7	8 11 12 15 20	142
6	60	0.15	5	1582	561	0.93	19	1,476	9	8 13 16 17 20	147
7	60	0.65	5	1595	587	1.41	20	2,247	6	8 12 14 17 21	110
8	60	0.55	5	1595	587	1.39	20	2,222	5	8 11 14 16 21	116
9	60	0.45	5	1595	587	1.36	20	2,161	6	8 14 16 18 21	126
10	60	0.35	5	1595	587	1.26	20	2,016	6	8 12 14 17 21	129
11	60	0.25	5	1595	587	1.17	20	1,866	7	8 11 13 17 21	144
12	60	0.15	5	1595	587	0.90	20	1,443	9	8 13 16 17 21	150
13	60	0.65	5	1614	625	1.40	22	2,264	6	8 12 16 19 22	126
14	60	0.55	5	1614	625	1.40	22	2,257	6	8 13 14 17 22	124
15	60	0.45	5	1614	625	1.35	22	2,176	6	8 14 16 17 22	127
16	60	0.35	5	1614	625	1.27	21	2,044	6	8 12 14 17 22	144
17	60	0.25	5	1614	625	1.12	21	1,815	8	8 11 15 18 22	159
18	60	0.15	5	1614	625	0.89	21	1,429	9	8 13 16 17 22	163
19	60	0.65	5	1624	645	1.41	23	2,292	6	8 12 17 21 23	138
20	60	0.55	5	1624	645	1.39	22	2,264	6	8 14 16 18 23	129
21	60	0.45	5	1624	645	1.33	22	2,166	6	8 14 16 17 23	137
22	60	0.35	5	1624	645	1.25	22	2,030	6	8 12 14 17 23	151
23	60	0.25	5	1624	645	1.11	22	1,804	7	8 11 16 20 23	166
24	60	0.15	5	1624	645	0.86	22	1,392	9	8 13 16 17 23	169
25	60	0.65	5	1625	647	1.41	23	2,284	6	8 12 17 21 24	137
26	60	0.55	5	1625	647	1.39	22	2,263	6	8 14 16 18 24	128
27	60	0.45	5	1625	647	1.32	22	2,147	6	8 15 17 19 24	131
28	60	0.35	5	1625	647	1.23	22	2,001	7	8 11 17 19 24	152
29	60	0.25	5	1625	647	1.11	22	1,803	7	8 11 16 20 24	166
30	60	0.15	5	1625	647	0.86	22	1,393	9	8 13 16 17 24	168
31	70	0.65	5	1628	561	1.36	19	2,217	5	8 14 16 17 20	97
32	70	0.55	5	1628	561	1.36	19	2,215	5	8 13 16 18 20	115
33	70	0.45	5	1628	561	1.29	19	2,107	6	8 11 14 17 20	123
34	70	0.35	5	1628	561	1.23	19	1,997	6	8 11 13 16 20	123
35	70	0.25	5	1628	561	1.08	19	1,762	7	8 11 14 16 20	128
36	70	0.15	5	1628	561	0.88	19	1,438	9	8 13 16 17 20	135

37	70	0.65	5	1641	587	1.40	20	2,290	5	8 14 16 17 21	100
38	70	0.55	5	1641	587	1.38	20	2,272	5	8 14 17 18 21	105
39	70	0.45	5	1641	587	1.31	20	2,158	6	8 11 14 17 21	118
40	70	0.35	5	1641	587	1.23	20	2,012	6	8 14 16 17 21	127
41	70	0.25	5	1641	587	1.11	20	1,827	7	8 12 14 17 21	132
42	70	0.15	5	1641	587	0.88	20	1,443	10	8 13 16 17 21	135
43	70	0.65	5	1660	625	1.39	22	2,302	6	8 14 17 20 22	108
44	70	0.55	5	1660	625	1.39	21	2,300	5	8 13 16 18 22	123
45	70	0.45	5	1660	625	1.30	21	2,165	6	8 11 14 17 22	123
46	70	0.35	5	1660	625	1.22	21	2,019	7	8 11 16 19 22	126
47	70	0.25	5	1660	625	1.09	21	1,811	7	8 12 14 17 22	129
48	70	0.15	5	1660	625	0.89	21	1,473	9	8 13 16 18 22	130
49	70	0.65	5	1670	645	1.39	22	2,316	6	8 14 16 19 23	111
50	70	0.55	5	1670	645	1.38	22	2,309	5	8 13 16 18 23	122
51	70	0.45	5	1670	645	1.31	22	2,191	6	8 12 13 18 23	127
52	70	0.35	5	1670	645	1.21	22	2,021	7	8 11 16 19 23	130
53	70	0.25	5	1670	645	1.07	22	1,785	8	8 11 16 20 23	143
54	70	0.15	5	1670	645	0.85	22	1,426	10	8 13 16 18 23	150
55	70	0.65	5	1671	647	1.39	22	2,315	6	8 12 17 20 24	126
56	70	0.55	5	1671	647	1.36	22	2,271	6	8 11 16 18 24	114
57	70	0.45	5	1671	647	1.31	22	2,185	6	8 12 13 18 24	126
58	70	0.35	5	1671	647	1.22	22	2,036	6	8 13 16 18 24	129
59	70	0.25	5	1671	647	1.07	22	1,790	8	8 11 16 20 24	142
60	70	0.15	5	1671	647	0.85	22	1,421	10	8 13 16 18 24	150
1	60	0.65	5	1572	540	1.40	19	2,200	5	8 11 13 16 20	104
2	60	0.55	5	1572	540	1.39	19	2,179	5	8 12 16 18 20	118
3	60	0.45	5	1572	540	1.34	19	2,099	6	8 11 13 17 20	122
4	60	0.35	5	1572	540	1.29	19	2,028	6	8 14 16 17 20	132
5	60	0.25	5	1572	540	1.18	18	1,861	7	8 11 14 16 20	142
6	60	0.15	5	1572	540	1.00	18	1,572	8	8 10 13 16 20	142
7	60	0.65	5	1583	562	1.44	20	2,281	5	8 12 14 18 21	116
8	60	0.55	5	1583	562	1.42	20	2,253	5	8 12 16 18 21	130
9	60	0.45	5	1583	562	1.38	19	2,186	6	8 11 13 16 21	128
10	60	0.35	5	1583	562	1.33	19	2,105	6	8 14 16 18 21	139
11	60	0.25	5	1583	562	1.22	19	1,925	7	8 11 14 16 21	143
12	60	0.15	5	1583	562	0.99	19	1,567	9	8 14 16 18 21	148
13	60	0.65	5	1600	597	1.46	21	2,337	5	8 12 14 18 22	128
14	60	0.55	5	1600	597	1.43	21	2,294	6	8 13 16 19 22	139
15	60	0.45	5	1600	597	1.40	21	2,241	6	8 14 16 18 22	142
16	60	0.35	5	1600	597	1.32	21	2,115	6	8 14 18 19 22	144
17	60	0.25	5	1600	597	1.23	20	1,963	6	8 12 15 18 22	157

18	60	0.15	5	1600	597	0.98	20	1,572	9	8 14 16 18 22	158
19	60	0.65	5	1610	617	1.43	22	2,301	6	8 13 17 21 23	128
20	60	0.55	5	1610	617	1.43	22	2,303	6	8 13 16 19 23	130
21	60	0.45	5	1610	617	1.39	21	2,241	6	8 11 15 19 23	151
22	60	0.35	5	1610	617	1.31	21	2,106	6	8 14 16 20 23	141
23	60	0.25	5	1610	617	1.16	21	1,875	7	8 11 16 19 23	158
24	60	0.15	5	1610	617	0.98	21	1,572	8	8 14 16 19 23	159
25	60	0.65	5	1611	619	1.44	22	2,313	6	8 12 14 18 24	121
26	60	0.55	5	1611	619	1.43	22	2,301	6	8 13 16 19 24	130
27	60	0.45	5	1611	619	1.37	21	2,200	6	8 11 13 17 24	132
28	60	0.35	5	1611	619	1.30	21	2,101	6	8 14 16 20 24	135
29	60	0.25	5	1611	619	1.19	21	1,910	7	8 12 15 18 24	154
30	60	0.15	5	1611	619	0.97	21	1,567	8	8 14 16 19 24	159
31	70	0.65	5	1618	540	1.39	19	2,243	5	8 11 14 18 20	92
32	70	0.55	5	1618	540	1.38	19	2,240	5	8 14 16 19 20	105
33	70	0.45	5	1618	540	1.33	19	2,156	6	8 12 14 17 20	94
34	70	0.35	5	1618	540	1.27	18	2,059	6	8 11 13 16 20	108
35	70	0.25	5	1618	540	1.13	18	1,822	7	8 14 16 19 20	117
36	70	0.15	5	1618	540	0.97	18	1,573	9	8 10 13 16 20	122
37	70	0.65	5	1629	562	1.44	20	2,343	5	8 14 16 18 21	115
38	70	0.55	5	1629	562	1.42	19	2,314	5	8 14 16 18 21	116
39	70	0.45	5	1629	562	1.36	19	2,223	6	8 12 14 18 21	117
40	70	0.35	5	1629	562	1.29	19	2,096	6	8 11 14 16 21	127
41	70	0.25	5	1629	562	1.16	19	1,895	7	8 14 16 18 21	130
42	70	0.15	5	1629	562	0.97	19	1,574	9	8 14 16 18 21	135
43	70	0.65	5	1646	597	1.44	21	2,366	5	8 14 16 19 22	102
44	70	0.55	5	1646	597	1.43	21	2,355	5	8 14 16 18 22	115
45	70	0.45	5	1646	597	1.36	21	2,243	6	8 12 14 18 22	116
46	70	0.35	5	1646	597	1.28	20	2,107	6	8 11 14 17 22	120
47	70	0.25	5	1646	597	1.16	20	1,917	7	8 14 16 18 22	131
48	70	0.15	5	1646	597	0.92	20	1,511	10	8 14 16 18 22	138
49	70	0.65	5	1656	617	1.43	22	2,372	5	8 14 16 19 23	109
50	70	0.55	5	1656	617	1.41	21	2,339	5	8 14 18 20 23	112
51	70	0.45	5	1656	617	1.34	21	2,218	6	8 12 14 18 23	121
52	70	0.35	5	1656	617	1.25	21	2,068	6	8 11 14 18 23	131
53	70	0.25	5	1656	617	1.13	21	1,864	7	8 11 16 19 23	143
54	70	0.15	5	1656	617	0.90	21	1,491	10	8 14 16 19 23	150
55	70	0.65	5	1657	619	1.43	22	2,372	5	8 14 16 19 24	109
56	70	0.55	5	1657	619	1.41	21	2,338	5	8 14 18 20 24	113
57	70	0.45	5	1657	619	1.34	21	2,217	6	8 12 14 18 24	122
58	70	0.35	5	1657	619	1.23	21	2,045	7	8 10 16 20 24	133

59	70	0.25	5	1657	619	1.12	21	1,863	7	8 11 16 19 24	143
60	70	0.15	5	1657	619	0.91	21	1,501	10	8 14 16 19 24	150
1	60	0.65	5	1558	514	1.34	18	2,081	5	8 11 13 15 18	115
2	60	0.55	5	1558	514	1.30	18	2,029	5	8 11 13 16 18	94
3	60	0.45	5	1558	514	1.28	18	1,998	6	8 12 13 15 18	111
4	60	0.35	5	1558	514	1.24	17	1,934	6	8 13 15 17 18	118
5	60	0.25	5	1558	514	1.16	17	1,811	6	8 11 13 15 18	128
6	60	0.15	5	1558	514	0.99	17	1,550	8	8 10 13 15 18	134
7	60	0.65	5	1569	535	1.37	19	2,152	6	8 11 15 17 19	104
8	60	0.55	5	1569	535	1.37	19	2,150	6	8 11 15 17 19	110
9	60	0.45	5	1569	535	1.34	18	2,097	6	8 10 11 16 19	123
10	60	0.35	5	1569	535	1.30	18	2,040	6	8 13 15 17 19	124
11	60	0.25	5	1569	535	1.23	18	1,924	6	8 11 13 15 19	133
12	60	0.15	5	1569	535	1.00	18	1,563	9	8 12 15 16 19	133
13	60	0.65	5	1580	557	1.40	19	2,216	6	8 11 15 18 20	107
14	60	0.55	5	1580	557	1.41	19	2,221	6	8 11 13 16 20	115
15	60	0.45	5	1580	557	1.37	19	2,160	6	8 11 14 16 20	132
16	60	0.35	5	1580	557	1.32	19	2,088	6	8 13 15 19 20	131
17	60	0.25	5	1580	557	1.23	19	1,943	6	8 11 13 15 20	139
18	60	0.15	5	1580	557	1.04	19	1,644	8	8 13 15 17 20	145
19	60	0.65	5	1597	591	1.42	20	2,275	6	8 11 15 18 21	125
20	60	0.55	5	1597	591	1.41	20	2,257	6	8 11 13 16 21	117
21	60	0.45	5	1597	591	1.37	20	2,183	6	8 15 16 18 21	126
22	60	0.35	5	1597	591	1.33	20	2,117	6	8 13 15 18 21	138
23	60	0.25	5	1597	591	1.19	20	1,908	7	8 11 14 18 21	146
24	60	0.15	5	1597	591	1.02	20	1,622	8	8 12 15 18 21	158
25	60	0.65	5	1607	610	1.41	21	2,266	6	8 11 15 19 22	120
26	60	0.55	5	1607	610	1.40	21	2,257	6	8 15 17 19 22	123
27	60	0.45	5	1607	610	1.37	21	2,199	6	8 11 15 19 22	141
28	60	0.35	5	1607	610	1.32	21	2,116	6	8 13 15 19 22	138
29	60	0.25	5	1607	610	1.18	21	1,891	7	8 11 14 18 22	155
30	60	0.15	5	1607	610	0.99	20	1,595	8	8 13 15 18 22	160
31	70	0.65	5	1604	514	1.31	18	2,105	5	8 11 13 16 18	95
32	70	0.55	5	1604	514	1.29	18	2,070	5	8 10 12 16 18	94
33	70	0.45	5	1604	514	1.28	17	2,051	5	8 11 13 15 18	106
34	70	0.35	5	1604	514	1.20	17	1,926	6	8 10 13 15 18	111
35	70	0.25	5	1604	514	1.10	17	1,763	7	8 12 14 15 18	115
36	70	0.15	5	1604	514	0.93	17	1,490	8	8 12 15 16 18	120
37	70	0.65	5	1615	535	1.38	18	2,237	5	8 12 13 15 19	98
38	70	0.55	5	1615	535	1.39	18	2,239	5	8 13 15 17 19	106
39	70	0.45	5	1615	535	1.33	18	2,145	6	8 11 13 16 19	94

40	70	0.35	5	1615	535	1.26	18	2,039	6	8 11 15 17 19	114
41	70	0.25	5	1615	535	1.14	18	1,845	7	8 12 14 16 19	110
42	70	0.15	5	1615	535	0.99	18	1,598	8	8 13 15 17 19	130
43	70	0.65	5	1626	557	1.41	19	2,296	5	8 14 16 17 20	101
44	70	0.55	5	1626	557	1.40	19	2,269	5	8 11 15 16 20	94
45	70	0.45	5	1626	557	1.36	19	2,217	6	8 11 13 16 20	99
46	70	0.35	5	1626	557	1.28	19	2,083	6	8 11 15 18 20	119
47	70	0.25	5	1626	557	1.17	19	1,898	7	8 12 14 16 20	121
48	70	0.15	5	1626	557	1.01	19	1,643	9	8 13 15 17 20	135
49	70	0.65	5	1643	591	1.43	20	2,353	5	8 14 16 18 21	109
50	70	0.55	5	1643	591	1.42	20	2,336	5	8 13 15 17 21	120
51	70	0.45	5	1643	591	1.37	20	2,251	6	8 11 13 16 21	108
52	70	0.35	5	1643	591	1.27	20	2,086	6	8 10 14 16 21	114
53	70	0.25	5	1643	591	1.15	20	1,894	7	8 11 15 18 21	122
54	70	0.15	5	1643	591	0.97	20	1,592	9	8 12 15 18 21	145
55	70	0.65	5	1653	610	1.43	21	2,356	5	8 14 16 19 22	118
56	70	0.55	5	1653	610	1.41	21	2,329	6	8 13 16 19 22	119
57	70	0.45	5	1653	610	1.35	21	2,225	6	8 12 16 19 22	121
58	70	0.35	5	1653	610	1.28	21	2,109	6	8 11 15 18 22	129
59	70	0.25	5	1653	610	1.14	21	1,887	7	8 13 16 19 22	143
60	70	0.15	5	1653	610	0.94	20	1,552	9	8 12 15 18 22	146