

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ECONÓMICA Y CIENCIAS SOCIALES



**ANÁLISIS DE RIESGO Y TOMA DE DECISIONES
ESTRATEGICAS EN PROYECTOS MINEROS**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO ECONOMISTA

POR LA MODALIDAD DE TESIS

ELABORADO POR:

DANIEL ARTURO ESPINOZA SOTO

LIMA – PERU

2006

A mi padre, Ing. Economista Abdías Espinoza Huertas, de quien aprendí los fundamentos de las finanzas e inversiones.

A mi madre Elvira y mi hermana Rocío Grace.

A mi *alma mater*, la UNI.

A mi asesor, Ph.D. José Salinas Ortiz, impulsor del Análisis de Decisiones en el Perú. Gracias a su generoso apoyo y guía.

A mi revisor, M.Sc. Alipio Ordóñez Mercado, por sus valiosos comentarios para la mejora de la versión final de la Tesis.

Al Ing. de Minas Jorge Luis Vargas Olarte, por haberme motivado a realizar una investigación aplicada en el campo de la minería.

SUMARIO

Introducción.- La Unidad Pucarrajo de Minera Huallanca S.A.C., enfrentó una difícil situación por el agotamiento de los recursos minerales, lo que puso en riesgo la continuidad de las operaciones mineras a largo plazo. Ante este problema, se estudió la factibilidad de profundizar la mina, incorporando entendimientos de orden técnico y económico, que coadyuvaran a una mejor toma de decisiones estratégicas, explicitando los riesgos asociados.

Materiales y Métodos.- Se utilizó la metodología del Análisis de Decisiones en sus cuatro fases: estructuración, análisis determinístico, análisis probabilístico e interpretación de resultados. Se identificaron cinco áreas de decisión: exploración y desarrollo, mejora en la recuperación metalúrgica, método de explotación, servicio de terceros y financiamiento. Se plantearon y evaluaron tres estrategias alternativas con el software *Sensitivity*® y *Supertree*®.

Resultados.- Los factores de riesgo relevantes que afectaban el VAN de las estrategias, estaban vinculados al precio inicial del zinc, el número de años de crecimiento del precio del zinc, la ley de cabeza del zinc y la ley de zinc en el concentrado de zinc. La estrategia empresarial óptima involucró las siguientes decisiones estratégicas: un nivel intensivo de exploración y desarrollo; uso del método Minado por Subniveles; optimización del circuito de flotación, mejora en el grado de liberación de partículas e investigación metalúrgica; uso de contratistas y nuevo equipamiento para apoyar las labores de preparación y explotación de mina; así como, una estructura de financiamiento del 50% proveniente de terceros y 50% de fuentes propias.

Conclusiones.- El VAN esperado de la estrategia óptima resultó 6.75 millones de dólares. Además, la recolección de información adicional respecto a la ley de zinc en el concentrado de zinc, podría añadir valor en US\$ 28,539.25 y de fijarse la ley de cabeza del zinc y el precio inicial del zinc en sus valores óptimos, se incrementaría el VAN en US\$ 3'320,712 y US\$ 1'814,159 respectivamente

INDICE

	PAG.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES	6
1.1.- ANTECEDENTES	6
1.2.- PROPÓSITO DEL ESFUERZO	17
1.3.- METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE DECISIONES	18
CAPITULO 2: ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO PUCARRAJO	23
2.1.- ASPECTOS GENERALES DE MINERA HUALLANCA Y DE LA UNIDAD PUCARRAJO	24
2.2.- EL PROCESO MINERO	25
PRIMERA ETAPA “EXPLORACIÓN Y DESARROLLO”	25
SEGUNDA ETAPA “PREPARACIÓN”	29
TERCERA ETAPA “EXPLOTACIÓN”	30
CUARTA ETAPA “CONCENTRACIÓN”	39
QUINTA ETAPA “COMERCIALIZACION”	45

CAPITULO 3: FASE DE ESTRUCTURACION	50
3.1.- PROBLEMÁTICA DETECTADA EN LA UNIDAD PUCARRAJO	51
3.2.- LISTADO DE CUESTIONES DEL PROYECTO PUCARRAJO	51
3.3.- ALCANCE DEL ESTUDIO	57
3.4.- DEFINICIÓN DE LAS ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS	58
3.5.- DIAGRAMA DE INFLUENCIAS: MAPA DE CONOCIMIENTO	63
3.6.- MEDIDA DE VALOR	67
CAPITULO 4: ANÁLISIS DETERMINÍSTICO	68
4.1.- MODELO ESTRUCTURAL	69
4.2.- RANGOS DE INCERTIDUMBRE DEL PROYECTO	72
4.3.- FLUJOS DE CAJA ASOCIADOS AL CASO BASE	73
4.4.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DETERMINÍSTICO DE LAS ESTRATEGICAS ALTERNATIVAS E IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES CRITICAS	78
4.5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DETERMINISTICO	82
CAPITULO 5: ANALISIS PROBABILÍSTICO	84
5.1.- VALORACION DE PROBABILIDADES EN LAS INCERTIDUMBRES CLAVES	86
5.2.- SOLUCION DEL ARBOL DE DECISIONES DEL PROYECTO PUCARRAJO	93
5.3.- PERFILES DE RIESGO / RENTABILIDAD POR CADA ESTRATEGIA	94

5.4.- ANALISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILISTICO PARA CADA VARIABLE CRITICA	96
5.5.- PERFILES DE RIESGO CONDICIONALES A CADA VARIABLE CRITICA PARA LA ESTRATEGIA OPTIMA	104
5.6.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANALISIS PROBABILISTICO	108
CAPITULO 6: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	110
6.1.- VALOR DE LA INFORMACIÓN PERFECTA	110
6.2.- VALOR DEL CONTROL PERFECTO	116
6.3.- RESUMEN DEL VALOR DE LA INFORMACION Y DEL CONTROL PERFECTO	121
6.4.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DECISIONAL	122
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	

INTRODUCCION

Minera Huallanca S.A.C. es una empresa polimetálica de la mediana minería que produce concentrados de plomo y zinc. Desarrolla sus actividades en la Unidad Pucarrajo, ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash en el Perú.

La Unidad Pucarrajo, enfrentó una difícil situación por el agotamiento de los recursos minerales en sus actuales áreas de producción, lo que puso en riesgo la continuidad de las operaciones mineras a largo plazo. Ante este problema, se requirió estudiar la factibilidad de profundizar la mina, con el fin de encontrar más recurso de mineral económico, según lo indicaban las exploraciones geológicas realizadas a través de diversos sondajes diamantinos.

De esta manera, se esperaba reemplazar las áreas de producción en agotamiento con otras nuevas por explotar, dentro de un esquema de integración de las nuevas labores con la infraestructura existente, utilizando un método de explotación conveniente y seguro, que permita el retorno de la inversión.

Para enfrentar esta situación, Minera Huallanca, debió generar alternativas creativas y viables en un entorno con altos niveles de incertidumbre, por los siguientes motivos:

- Inestabilidad de precios de los metales en los mercados de *commodities*.
- Incertidumbre en la calidad (leyes de mineral) y cantidad del recurso mineral en el yacimiento a explotarse, por información geológica incompleta.
- Dificultad de encontrar nuevas reservas de mineral económico que reemplacen zonas en agotamiento del recurso mineral y garanticen la futura producción.
- Variabilidad en los grados de recuperación metalúrgica en la planta concentradora.
- Inversión cuantiosa en activos fijos que implica un retorno a largo plazo.
- Variabilidad en los costos de operación.
- Variabilidad en los precios de los insumos.
- Inestabilidad del marco legal y tributario.
- Mantenimiento de altos estándares de operación, compatibles con la protección del medio ambiente.

Por lo tanto, la presente Tesis titulada “Análisis de Riesgo y Toma de Decisiones Estratégicas en Proyectos Mineros” ha tratado los aspectos vinculados al Proyecto de Profundización de Mina de la Unidad Pucarrajo en Minera Huallanca S.A.C. (en adelante Proyecto Pucarrajo) y ha utilizado la metodología del Análisis de Decisiones como marco analítico apropiado, para la estructuración de este complejo problema de decisión.

De esta manera, se han generado y evaluado diversas estrategias alternativas, así como se han incorporado los riesgos asociados; de modo que los resultados alcanzados, coadyuven a una adecuada toma de decisiones estratégicas por parte de Minera Huallanca, identificando

aquella estrategia óptima que permita maximizar la probabilidad de generar excedentes económicos, que le den viabilidad en el largo plazo.

A fin de presentar de manera ordenada los resultados alcanzados, se ha dividido la presente Tesis por capítulos que comprenden lo siguiente:

En el Capítulo 1 “Aspectos Generales”, se reseñan los principales trabajos que tratan el análisis de riesgo en las inversiones de capital, enfatizando los aportes de otros autores, limitaciones y su relación con la presente Tesis. También se ha considerado el uso de dicho análisis en los Proyectos Mineros, así como los estudios específicos, referidos a la evaluación del Proyecto Pucarrajo. Además, se establece el *propósito del esfuerzo* a realizar, a través de la Visión que enmarca la presente Tesis, así como una introducción a la metodología del Análisis de Decisiones, que será tratada en detalle en los siguientes capítulos.

En vista de que el Proyecto Pucarrajo, utiliza una terminología especializada, propia de la actividad minera, se ha reseñado en el Capítulo 2 “Aspectos Técnicos del Proyecto Pucarrajo”, aquella vinculada a los propósitos de la presente Tesis. Dicha terminología se presenta en función de las etapas del proceso minero, a saber: exploración y desarrollo, preparación, explotación, concentración y comercialización. Se espera así, una mayor comprensión de los resultados alcanzados por el uso de la metodología del Análisis de Decisiones.

La estructura básica que configura el problema de decisión que enfrentó Minera Huallanca, es tratada en el Capítulo 3 “Fase de Estructuración”. Para ello se hizo un listado de las principales cuestiones que involucraron tanto, variables de decisión como de incertidumbre; las cuales establecieron una perspectiva global en el análisis, así como una clara definición de los alcances de la presente Tesis mediante la *jerarquía decisional*. Asimismo, se señalaron las opciones estratégicas disponibles, que permitieron configurar diferentes estrategias alternativas, así como el *mapa de conocimiento*, que reflejó la experiencia de los expertos acerca de este problema de decisión.

En el Capítulo 4 “Análisis Determinístico”, se presenta el modelo estructural, el cual relacionó las diversas variables de decisión e incertidumbre, según el mapa de conocimiento elaborado en la Estructuración. Se establecieron los rangos de incertidumbre que permitieron identificar los factores de riesgo del Proyecto Pucarrajo, para cada una de las estrategias alternativas y se determinó el VAN de cada estrategia en el caso base.

La incorporación de la incertidumbre de manera explícita, proveniente de los factores de riesgo identificados, se explica en el Capítulo 5 “Análisis Probabilístico” y fueron considerados para la elaboración del modelo probabilístico. Ello permitió determinar el VAN esperado de cada estrategia, así como los perfiles de riesgo / rentabilidad para identificar la estrategia óptima, utilizando el software apropiado.

En el Capítulo 6 “Interpretación de Resultados”, se presentan dos conceptos adicionales, que proporcionaron mayores luces acerca de las incertidumbres relativas a la estrategia óptima: el *valor de la información perfecta*, referido a cuánto valor adicional se genera de resolverse la incertidumbre antes de tomar la decisión y el *control de la información*, que muestra el valor añadido, de ser factible el control del resultado de cada variable crítica. Además se realizó la evaluación global del proceso de Análisis de Decisiones a través de la *Calidad Decisional*.

Finalmente, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

Este capítulo, se divide en tres partes: la primera, *Antecedentes*, donde se reseñan otras investigaciones relacionadas al tema tratado en la presente Tesis, es decir, al problema de decisión que surge de incorporar la incertidumbre en las inversiones de capital, y en particular a los proyectos mineros; la segunda parte, *Propósito del Esfuerzo*, el cual asegura que se está trabajando en el problema correcto y ha permitido formular la Visión del Estudio enmarcando el esfuerzo a realizar y la tercera, *Metodología del Análisis de Decisiones*, en el que se presenta de manera esquemática la metodología para analizar el riesgo en la toma de decisiones estratégicas y que será detallada desde el capítulo tres en adelante.

1.1.- ANTECEDENTES

En esta sección se presentan los principales trabajos acerca del análisis de riesgo en las inversiones de capital, mencionando los aportes, limitaciones y su relación con la presente Tesis. También se ha considerado la aplicación de este tipo de análisis, particularmente a los

proyectos mineros, así como los estudios específicos, referidos a la evaluación del Proyecto Pucarrajo.

Un primer enfoque para incorporar el riesgo en las decisiones de inversión y de negocios fue propuesto por Hertz en “Análisis de Riesgo en la Inversión de Capital”¹, quien señaló que la tasa de rendimiento, depende de una combinación específica de los valores de muchas variables diferentes y que mediante elecciones aleatorias -a través de la simulación de Monte Carlo- se podrían encontrar distribuciones de probabilidad para los indicadores de rentabilidad. De este modo, se lograría estimar el riesgo de la inversión (medido a través de la desviación estándar).

En efecto, para Hertz la elección de oportunidades alternativas para la inversión de capital constituye un problema desafiante, no tanto por la dificultad de proyectar el rendimiento sobre la inversión, sino por las suposiciones y el impacto que ellas tienen. Es decir, falta conocer la naturaleza de la información -en cuya base se ha calculado la tasa de rendimiento- y la forma de cómo se procesa la información.

Para ello, señaló que el método de simulación desarrollado en *McKinsey & Company, Inc.* es la clave para extraer la máxima información de los pronósticos disponibles, porque combina las variabilidades inherentes a todos los factores pertinentes. Esta variabilidad puede tomarse de información histórica o registros de la industria.

¹ David HERTZ, “Análisis de Riesgo en la Inversión de Capital”. En: Harvard Business Review, 1964, The President & Fellows of Harvard. Vol XLII No.1 Enero Febrero, pp. 95-106.

El método consiste en:

- a.- Estimar la escala de valores para cada uno de los *factores de insumo claves* y sus probabilidades de ocurrencia en una distribución de probabilidades continua y de manera subjetiva, a través de reuniones con los expertos².
- b.- Seleccionar al azar un determinado valor de la distribución que representa a cada factor, combinar los valores de todos los factores involucrados y calcular la tasa de rendimiento o valor presente.
- c.- Repetir este proceso una y otra vez, a fin de obtener la distribución de probabilidades de la tasa de rendimiento.

Luego, para realizar la comparación entre inversiones alternativas, Hertz señaló que presumiblemente, la gerencia preferirá una menor variabilidad para el mismo rendimiento si se pudiera escoger, según el criterio utilizado en las carteras de inversión de Markowitz.

Es importante el aporte de Hertz, en cuanto a volver la mirada a la naturaleza de la información³, con el fin de lograr una evaluación correcta de la inversión de capital. Además de la necesidad de consultar a los expertos para obtener estimados de valores acerca de las variables relevantes en la decisión, así como de sus probabilidades de ocurrencia. Asimismo,

² Para ilustrar esta metodología, Hertz propuso el caso de una empresa de productos químicos industriales y que la gerencia había decidido utilizar los siguientes factores de insumo claves: tamaño de mercado, precios de venta, índice de crecimiento del mercado, participación del mercado, inversión requerida, valor residual de la inversión, costos de operación, costos fijos y vida útil de las instalaciones.

³ la cual es analizada en la presente Tesis pero bajo la perspectiva del Análisis de Decisiones

la aplicación del enfoque de simulación, que en sus propias palabras “tiene la ventaja inherente de la simplicidad”.

Sin embargo hay que hacer las siguientes observaciones:

a.- No se explica en qué nivel de la organización se está tomando la decisión de inversión: en el ámbito estratégico o en el operativo, para una delimitación más correcta de los alcances del estudio.

b.- No se mencionan las alternativas disponibles para el decisor y solamente se indica que será deseable la alternativa con menor variabilidad.

c.- No se explicitan las preferencias del decisor, para poder discernir entre alternativas.

d.- Hertz utiliza la tasa interna de retorno como medida de valor; sin embargo, este indicador presenta inconsistencias cuando se trata de comparar alternativas con diferentes escalas de inversión, diferentes horizontes temporales o por la existencia de flujos de caja no convencionales.

e.- No se explicitan las variables bajo el control del decisor y las determinadas por el entorno, ni la relación entre ellas, corriendo el riesgo de estructurar un modelo que no refleje la incertidumbre involucrada en la decisión a tomar.

f.- La construcción de las distribuciones de probabilidades subjetivas reflejan el grado de conocimiento que tienen los expertos acerca de la variable de incertidumbre y no proviene de extrapolaciones de registros históricos.

g.- Por otro lado, si se están combinando *factores de insumo claves* (como Hertz los llama) a través de distribuciones de probabilidad continuas, al utilizar la simulación de Monte Carlo, podríamos enfrentar millones de combinaciones posibles, lo que hace necesario un

tratamiento más riguroso del tamaño de muestra escogido y de los métodos de muestreo, a fin de que las distribuciones muestrales obtenidas por la simulación, sean estadísticamente consistentes con las distribuciones de probabilidad inicialmente consideradas.

Estas dificultades, fueron ampliamente superadas con la metodología del Análisis de Decisiones⁴, cuyo fundamento es el enfoque bayesiano y el uso de los árboles de decisión. Su propulsor es Ronald A. Howard (1966) del Departamento de Ingeniería de Sistemas Económicos de la Universidad de Stanford.

A través de la metodología del Análisis de Decisiones, se logra dar más consistencia al tratamiento de la incertidumbre y a la identificación apropiada de las variables críticas involucradas en la decisión. De esta manera, se amplía el análisis financiero tradicional, para tomar en cuenta la incertidumbre de forma explícita.

En efecto, el análisis financiero es ampliamente utilizado para evaluar situaciones de negocios y es común generar nuevos escenarios modificando en cierto porcentaje las variables involucradas (por ejemplo +/- 10%), para conocer la sensibilidad de los resultados. Sin embargo, al variar con un mismo porcentaje los valores de las variables, para identificar las más cruciales, se estaría sesgando los resultados obtenidos, porque dichas variables están expresadas en diferentes unidades (toneladas, dólares, tasas, años, etc.). Por lo tanto, el

⁴ Los aspectos generales de esta metodología, son tratadas en el acápite 1.3 del presente capítulo y con mayor detalle en los capítulos 3, 4, 5 y 6.

porcentaje aplicado podría no ser apropiado para ninguna de las variables consideradas; además, sería muy raro que todas las variables tengan el nivel de incertidumbre elegido.

Pero, debido a que el Análisis de Decisiones suele tratar con decisiones estratégicamente importantes para una organización, muy pocas veces son publicadas en su forma original⁵, por ello, es muy difícil encontrar –en detalle– cómo se ha aplicado dicha perspectiva a diversos sectores de la economía y en particular a la minería. Sin embargo, Salinas (1992), refiere el caso de estudio de la Corporación Gulp, para ilustrar el uso de dicha metodología⁶.

En cuanto a las aplicaciones específicas del análisis de riesgo en los proyectos mineros, éstas han seguido principalmente el enfoque de Hertz. Así, se puede mencionar el estudio de Viera titulado “Uso de Escenarios Probabilísticos para Simular Proyectos de Inversión en Minería”⁷, presentado en la 40ª Convención de Ingenieros de Minas en Antofagasta (Chile). En dicho estudio, se aplicaron herramientas de simulación y muestreo estratificado en el análisis de un yacimiento de cobre porfídico. Se generaron espacios y superficies factibles que apoyaron la decisión de inversión bajo riesgo e incertidumbre.

Viera señaló que la decisión de inversión es un dilema probabilístico, que debe enfrentarse bajo un futuro incierto y que pone en juego miles de dólares. Para resolver este dilema, utilizó el modelaje matemático y simulación de sistemas bajo escenarios probabilísticos y en

⁵ Esta metodología se ha aplicado en los sectores eléctrico, farmacéutico, telecomunicaciones, industria petroquímica, petróleo, gas entre otros.

⁶ Más detalles en SALINAS, José: Análisis de decisiones en entornos inciertos, cambiantes y complejos, Lima: Universidad del Pacífico. 1992, Capítulo IX

⁷ Manuel VIERA “Uso de Escenarios Probabilísticos para Simular Proyectos de Inversión en Minería”. RTZ Consultores. En: Revista Minerales, 1989, Nov-Dic, Vol 44 No. 188

entornos no controlables para analizar el caso de un yacimiento de cobre porfídico ubicado en la Cordillera de los Andes. Se planteó la explotación a tajo abierto con sucesivas expansiones en tres etapas para un horizonte de nueve años. El valor actual del yacimiento sería ofrecido como eventual garantía a un organismo financiero.

Luego de hacer una descripción de la elaboración de los flujos de caja de un proyecto minero, se realizó el filtrado estadístico de datos, determinándose que las principales variables consideradas tienen un comportamiento aleatorio. Además, Viera realizó una clasificación de las variables más importantes considerando al VAN como variable de decisión y los precios de Cu y Mo, Leyes de Cu y Mo, recuperaciones y la tasa de beneficio como variables de estado.

Se consideró que las variables: leyes de mineral de la reserva explotable del cobre y molibdeno, siguen una distribución lognormal; la explotación se planificó en niveles de 504,000 TPA⁸ en el año 1 y 2, 840,000 TPA del año 3 al 6 y 987,000 TPA en el año 7 y 8, para luego declinar a 408,000 TPA en el año 9. Las recuperaciones de cobre y molibdeno, se comportaron como una distribución triangular. Los parámetros de maquila por fusión y refinación, deducciones metalúrgicas y humedad fueron fijados de acuerdo a las tarifas del ENAMI⁹. Los precios de cobre y molibdeno se representaron como una distribución triangular. El costo de mina se consideró como una variable aleatoria que se distribuye

⁸ Toneladas por año.

⁹ Empresa Nacional de Minería de Chile.

uniformemente y el costo de planta, normalmente. El nivel de inversiones siguió una distribución triangular.

A continuación, se realizó la simulación con el software *@Risk*, utilizándose la técnica de muestreo del *hipercubo latino*, que consistió en estratificar la curva de distribución acumulativa de probabilidades de cada variable crítica, en un número igual de intervalos con un rango entre cero y uno. Luego se tomaron muestras aleatorias en cada uno de estos estratos, de modo que los valores elegidos representaran de manera más ajustada, la distribución de probabilidades de la variable de incertidumbre. De esta manera, se logró una convergencia más rápida entre la distribución muestral y la distribución predefinida con un número menor de iteraciones.

El resultado de dicha simulación, arrojó un valor esperado de US\$ 4'185,557 y según Viera, con una probabilidad de ocurrencia cercana al 50%.

El aporte del estudio de Viera, es la presentación de cómo se construye el flujo de caja de un proyecto minero, señalando las principales variables que influyen específicamente en dicha actividad. Esto ha servido como referencia, para la Fase de Estructuración que se presenta en el capítulo 3 de la presente Tesis¹⁰. De otro lado, es importante la innovación en el método de muestreo con la técnica del *hipercubo latino* para la realización de la simulación.

¹⁰ Hay que indicar que Viera estudió el caso de un proyecto de cobre a tajo abierto y en la presente Tesis se realizó el análisis de un proyecto minero polimetálico (plomo, plata y zinc) en la modalidad de minería subterránea.

Sin embargo, hay que hacer las siguientes observaciones a dicho estudio:

a.- Si bien se presenta la elaboración de un flujo de caja, sería recomendable la utilización del *Diagrama de Influencias* para interrelacionar las variables de decisión e incertidumbre (o estado), de manera que se refleje de modo más explícito el grado de conocimiento que tienen los expertos acerca del problema de decisión;

b.- No hay un tratamiento consistente entre las variables de decisión y de incertidumbre, no siendo correcto indicar que el valor actual neto sea una variable de decisión, porque esta denominación corresponde a aquella bajo el control del decisor, mientras que el VAN es una medida de valor de la estrategia a tomar;

c.- No se menciona a qué tasa se están descontando los flujos de caja futuros, lo que impide conocer las preferencias del decisor con respecto al tiempo;

d.- No se presentan las alternativas estratégicas disponibles para el decisor, por lo tanto no se está estructurando adecuadamente el problema de decisión: sin alternativas no hay decisión a tomar;

e.- Tampoco se indican las preferencias del decisor frente al riesgo;

f.- Se ajustan distribuciones de probabilidad continuas a los datos históricos de las variables de incertidumbre, lo que no permite recoger el valor de las variables en un sentido prospectivo;

g.- No se menciona cómo se capta la experiencia de los expertos y su grado de conocimiento de las variables de incertidumbre involucradas. Si bien, se ha obtenido una distribución de probabilidad continua del valor actual neto;

h.- No es correcto afirmar que el valor esperado tiene una probabilidad de ocurrencia, porque la probabilidad de valores puntuales en una distribución continua es cero. Estas observaciones

han sido tomadas en cuenta en la realización de la presente Tesis, con el fin de salvar estas inconsistencias metodológicas con el apoyo del Análisis de Decisiones.

De otro lado, el antecedente más próximo a la presente Tesis, es el “Proyecto de Profundización Mina” de Minera Huallanca S.A.C.¹¹, realizado por *J.L. Vargas O. Ingenieros*, que también siguió el enfoque de análisis de riesgo de Hertz. Este estudio se elaboró para enfrentar el problema de agotamiento de los recursos minerales en la Unidad Pucarrajo en sus actuales áreas de producción y que debían reemplazarse por otras nuevas, profundizando la mina, bajo una nueva mecánica de explotación y diseño de mina.

En dicho estudio, se hizo la revisión de la información técnica y conocimiento geológico del yacimiento y se proyectaron las nuevas labores en profundidad, así como el método de explotación más apropiado, integrándolas a las labores existentes de los niveles superiores. Luego del análisis financiero, se realizó el análisis de riesgo con el software *@Risk*, para evaluar el impacto de las variables de incertidumbre, resultando que las variables que podrían destruir valor eran el precio del zinc y la ley de cabeza del zinc.

Se concluyó en la necesidad de un programa más agresivo de exploraciones para confirmar reservas, además de un diseño de mina, con orientación de los cruceros principales multiuso en cada nivel, para que sirvan inicialmente como labores de exploración y reconocimiento de los cuerpos mineralizados, luego como labores de desarrollo para el acceso a los tajeos y

¹¹ J.L.VARGAS O. INGENIEROS: Investigación, Consultoría y Operación, Proyecto de Profundización Mina Minera Huallanca S.A.C. Unidad Pucarrajo. Lima, 2004.

finalmente como nivel principal de acarreo del mineral explotado. A este diseño propuesto, se adecuaba el método de explotación denominado: *Almacenamiento Provisional Semi Mecanizado con Ventanas de Extracción*, lo cual permitirá una producción anual de 180,000 TPA en los 2 primeros años y de 216,000 TPA en los 2 años subsiguientes, estimándose una vida útil de la mina de cuatro años.

Sin embargo, hay que hacer las siguientes anotaciones al estudio señalado:

- a.- Es necesario un listado de las cuestiones (variables de decisión e incertidumbre) involucradas en el problema de decisión, para establecer una perspectiva global en el análisis, así como los alcances del estudio mediante la *jerarquía decisional*;
- b.- Sería importante recoger la experiencia de los expertos en un mapa de conocimiento, que sirva de base para la elaboración del modelo estructural;
- c.- Es recomendable hacer explícitas las opciones estratégicas disponibles y las estrategias alternativas para Minera Huallanca¹²;
- d.- Sería un aporte significativo, el uso de la Metodología del Análisis de Decisiones como marco analítico, para enfrentar de manera lógica este problema de decisión, especificando las estrategias alternativas, la información relevante y las preferencias de Minera Huallanca, de modo que se logren mayores entendimientos acerca de la complejidad de la toma de decisiones en entornos inciertos.

¹² Las variables de decisión identificadas -con ayuda de los expertos- para el Proyecto Pucarrajo y consideradas en la presente Tesis son: programa de exploración y desarrollo, método de explotación, mejora en la recuperación metalúrgica, servicio de terceros y financiamiento. Estas han permitido establecer tres estrategias alternativas: (1) Sin cambios, (2) Mejorado y (3) Agresivo. Más detalles en el Capítulo 3.

En este sentido, la presente Tesis ha tomado como antecedente inmediato, este estudio señalado y ha utilizado otro enfoque para el análisis de riesgo en los proyectos mineros, que no siga el paradigma de la simulación de Monte Carlo propuesta por Hertz, sino mas bien, ha utilizado la metodología del Análisis de Decisiones como fundamento cuantitativo para el desarrollo de estrategias y como marco analítico para evaluar las estrategias alternativas, incorporando la incertidumbre, con miras a una mejor toma de decisiones por parte de Minera Huallanca.

1.2.- PROPÓSITO DEL ESFUERZO

El propósito del esfuerzo define lo que la compañía espera alcanzar con el desarrollo estratégico a realizar. Para ello, se utilizó la herramienta del Análisis de Decisiones denominada *Visión del Estudio*, la cual surge de responder adecuadamente las siguientes preguntas: ¿qué vamos a hacer?, ¿por qué lo vamos a hacer? y ¿qué significa lograr el éxito? De esta manera, se asegura que el esfuerzo a realizar está respondiendo la pregunta correcta y evita incurrir en el error de Tipo III, es decir, resolver el problema equivocado óptimamente. Estas consideraciones han permitido establecer la *Visión del Estudio* como sigue:

VISION DEL ESTUDIO

¿Qué vamos a hacer? Generar estrategias alternativas para el Proyecto de Profundización de Mina en la Unidad Pucarrajo y evaluarlas utilizando el ciclo del Análisis de Decisiones, con el fin de identificar la estrategia óptima.

¿Por qué lo vamos a hacer? Debido a que las exploraciones geológicas realizadas, indican la existencia de recurso mineral en profundidad, lo que representa una oportunidad de inversión, que puede brindar viabilidad a la empresa en el largo plazo. Sin embargo, se requiere lograr entendimientos de orden técnico y económico acerca de la estrategia empresarial óptima, explicitando los riesgos involucrados.

¿Qué significa lograr el éxito? Haber evaluado las estrategias alternativas e identificado la estrategia óptima que maximice la probabilidad de generación de valor para los accionistas de Minera Huallanca.

1.3.- METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE DECISIONES

El soporte metodológico que sustenta la presente Tesis para el proceso de desarrollo de estrategias y la identificación de aquella estrategia que genere mayor valor para Minera Huallanca, es el Análisis de Decisiones, la cual es explicada ampliamente por Salinas¹³, señalando que “es un término usado para describir el conjunto de conocimientos y práctica profesional que ayudan al decisor a elegir inteligentemente en un entorno de incertidumbre, complejidad y dinamismo”¹⁴.

¹³ Una presentación más completa se puede encontrar en: José SALINAS, Análisis de Decisiones en Entornos Inciertos, Cambiantes y Complejos, Lima: 1992, Universidad del Pacifico.

¹⁴ SALINAS, ob. cit., p 22.

Esta disciplina fue desarrollada en el Departamento de Ingeniería de Sistemas Económicos de la Universidad de Stanford en 1966 y su impulsor es el Dr. Ronald A. Howard¹⁵ quien es Profesor de Análisis de Decisiones, Análisis Social y Modelamiento Probabilístico.

El Análisis de Decisiones, es el resultado de la fusión del Análisis de Sistemas, que brinda la metodología para tratar las interacciones y comportamiento dinámico en situaciones complejas y la Teoría de Decisiones, que analiza el resultado de una decisión individual que depende de la acción de otro agente (en este caso la naturaleza) sobre la cual no se tiene control, analizando esta situación incierta de manera lógica¹⁶. Por ello, el Análisis de Decisiones utiliza procedimientos lógicos, matemáticos y científicos a cualquier problema de asignación de recursos, de la misma forma en que la medicina es aplicable a cualquier problema de salud.

Además, el Análisis de Decisiones, atendió la necesidad de la alta dirección, de contar con una metodología y herramientas cuantitativas, que sirvan de soporte a la toma de decisiones estratégicas, en vista de que las diversas aplicaciones de la investigación de operaciones, se centraron en la resolución de problemas de decisión, básicamente en el ámbito operativo de la empresa¹⁷.

¹⁵ El Dr. Ronald A. Howard es uno de los fundadores de la disciplina del Análisis de Decisiones. Sus libros sobre modelamiento probabilístico, análisis de decisiones, programación dinámica y procesos de Markov, sirven como fuentes de referencia para cursos e investigación en estos campos. El es co-editor de "*Readings on the Principles and Applications of Decision Analysis*", una de las más prestigiosas publicaciones en su campo. El Dr. Howard recibió la medalla *Frank P. Ramsey* de la *Operations Research Society of America* por sus distinguidas contribuciones al análisis de decisiones.

¹⁶ A la naturaleza no le importa que resultado se alcance. Esta es la diferencia con la Teoría de los Juegos, donde ambos jugadores tienen un interés económico en el resultado. (Eppen: 2000, p. 443)

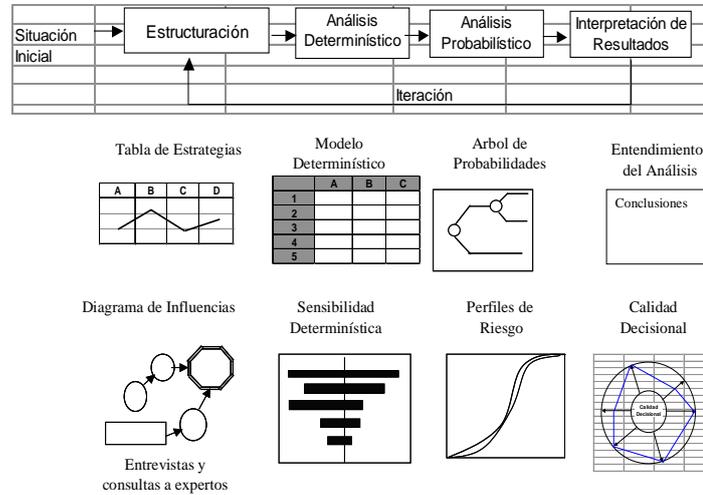
¹⁷ Son conocidas las aplicaciones de la investigación de operaciones en: teoría de las colas, modelos de transporte, programación de redes, mezclas, inventarios, entre otras.

Pero, ¿cuáles son las características de las decisiones estratégicas?, éstas se caracterizan por ser:

- Únicas: porque son únicas en su clase y no son idénticas a otras.
- Importantes: implican grandes recursos de la organización.
- Inciertas: los factores que influyen en los resultados se conocen imperfectamente
- Implicaciones de largo plazo: la organización convivirá con los resultados obtenidos por muchos años.
- Preferencias complejas: incorporan las preferencias del decisor acerca del tiempo, riesgo y ante resultados conflictivos.

Debido a la gran dificultad que implica la toma de decisiones estratégicas en entornos complejos, dinámicos e inciertos, la metodología del Análisis de Decisiones sigue un proceso cíclico, a través del cual se va logrando una aproximación cada vez más cercana al problema de decisión y consta de lo siguiente: Fase de Estructuración, Análisis Determinístico, Análisis Probabilístico e Interpretación de Resultados (véase la Fig. 1, página 21). Nótese la variedad de herramientas de análisis para estructurar y evaluar las estrategias alternativas.

Figura 1: Ciclo del Análisis de Decisiones



Fuente: Salinas (1992)

La primera parte de este ciclo, esta constituida por la Fase de Estructuración, donde se establece el marco apropiado que asegura que se está trabajando en el problema correcto: fijando el propósito del esfuerzo con la *visión*, la perspectiva global mediante el *listado de cuestiones* y el alcance a través de la *jerarquía decisional*. Con el apoyo de los expertos, se elabora la *tabla de generación de estrategias*, para identificar las opciones estratégicas disponibles para el decisor y con la *tabla de estrategias*, se definen las estrategias alternativas a evaluar. Además, las relaciones entre las variables (decisión e incertidumbre) son explicitadas con el *mapa de conocimiento* (diagrama de influencias). En esta parte, también se definen los rangos de las variables inciertas y la medida de valor para evaluar las estrategias.

A continuación se realiza el Análisis Determinístico, donde se elabora el *modelo estructural*, que refleja las interrelaciones cuantitativas de las variables de decisión e incertidumbre

involucradas en la toma de decisiones. Además se determina en esta parte del ciclo, qué variables generan la mayor variabilidad en el valor generado.

Luego, mediante el Análisis Probabilístico, se hace explícita la situación de incertidumbre generada por las variables críticas a través del modelo probabilístico. Ello permitirá identificar la mejor alternativa que genere el mayor valor esperado para los accionistas.

Finalmente, se completa el ciclo del Análisis de Decisiones con la Interpretación de Resultados, determinándose el valor de la información y el valor del control perfecto y cuantificándose el valor añadido a la estrategia óptima. Además, se realiza la evaluación global de la calidad decisional del proceso seguido.

Por lo general, se recomienda realizar dos o tres iteraciones adicionales, para refinar los resultados alcanzados. Por otra parte, esta metodología está abierta a un aprendizaje continuo por parte de la organización, permitiendo incorporar nueva información y nuevo conocimiento acerca del problema de decisión a enfrentar.

Los resultados de cada una de estas fases, serán tratados respectivamente en los capítulos tres, cuatro, cinco y seis, a lo largo de la presente Tesis.

CAPITULO 2

ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO PUCARRAJO

El objetivo de este capítulo es presentar los principales aspectos técnicos del Proyecto Pucarrajo que servirán de insumo en los capítulos posteriores, en que se utilizará la metodología del Análisis de Decisiones.

Se espera de esta forma, clarificar la terminología especializada de la actividad minera, de modo que se logre una valoración adecuada de los resultados alcanzados en la presente Tesis. Para ello, se hará una descripción de los aspectos generales de Minera Huallanca y del proceso minero que realiza una empresa perteneciente a la mediana minería en el Perú en la modalidad de minería subterránea. Dicho proceso minero comprende las siguientes etapas: exploración y desarrollo, preparación, explotación, concentración y comercialización, las cuales han sido tomadas en cuenta para enriquecer las opciones estratégicas disponibles del Proyecto Pucarrajo y que serán tratadas en la Fase de Estructuración (véase el capítulo 3).

2.1.- ASPECTOS GENERALES DE MINERA HUALLANCA Y DE LA UNIDAD PUCARRAJO

Minera Huallanca S.A.C. desarrolla sus actividades en la Unidad de Producción Pucarrajo, ubicada en el distrito de Huallanca, Provincia de Bolognesi, departamento de Ancash (Perú), en las coordenadas UTM 8'915,150 N y 269,320 E, tal como se aprecia en la Figura 2. Produce concentrados de plomo y zinc e inició sus operaciones en 1996. También pertenece a esta empresa, el Proyecto Contonga; que actualmente está en ejecución y está ubicado en el distrito de San Marcos, Provincia de Huari – Ancash, a 5 Km al NO de Antamina y producirá concentrados de plomo, zinc y cobre. La presente Tesis, ha centrado su análisis en los aspectos vinculados al Proyecto de Profundización de Mina de la Unidad Pucarrajo.

Figura 2: Ubicación de la Unidad Pucarrajo



Fuente: Minera Huallanca S.A.C.

2.2.- EL PROCESO MINERO

La actividad minera se realiza a través de una serie de etapas productivas que están interrelacionadas de modo que permitan la explotación ordenada del yacimiento minero. Estas etapas son: exploración y desarrollo, preparación, explotación, concentración y comercialización. A continuación, se explican cada una de ellas.

PRIMERA ETAPA “EXPLORACIÓN Y DESARROLLO”

La *Exploración* es una actividad tendente a demostrar la posición, forma geométrica, características mineralógicas, cantidad de reservas¹⁸ y leyes de los yacimientos minerales¹⁹ a través de sondajes diamantinos. Esta etapa también incluye la *prospección*, que permite reconocer zonas de mineralización en superficie (anomalías) a través de fotos satelitales; de otro lado, esta etapa, también involucra el *cálculo de recursos y reservas* de acuerdo a un sistema de clasificación. Hay que mencionar, que el volumen de recursos y reservas estimados tiene una influencia importante en la vida útil de la mina: A mayor cantidad de reservas, la vida útil de la mina será mayor y viceversa. De otro lado, el *Desarrollo* de la mina, comprende las labores que permiten la aproximación y acceso a las estructuras mineralizadas, a través de obras civiles denominadas: galerías²⁰, cruceros²¹, chimeneas²² y rampas²³.

¹⁸ Reserva: material geológico sólido, líquido o gaseoso que puede ser explotado económicamente, es decir, rentablemente con la tecnología y condiciones económicas vigentes.

¹⁹ Yacimiento mineral: Masa geológica que puede ser explotada, para extraer de ellas uno o mas minerales o metales.

²⁰ Galería: túnel horizontal, paralelo a la estructura mineralizada.

²¹ Crucero: Similar a galería pero en zona no mineralizada, es decir atraviesa material estéril.

²² Chimenea: Labor vertical o inclinada efectuada en roca o mineral

²³ Rampas: Túnel recto o en espiral con cierta gradiente, que conecta dos niveles diferentes de la mina.

Las longitudes de avance de estas labores (medidas en metros), implican una serie de desembolsos, que han sido considerados dentro del rubro de costos de inversión en exploración y desarrollo, para efectos de la elaboración de los flujos de caja en el *modelo estructural* (véase el capítulo 3).

Para efectos de la cuantificación de la cantidad y calidad del recurso mineral, en la presente Tesis, se han tomado las estimaciones de Minera Huallanca, consignadas en el estudio de J.L Vargas Ingenieros (ya reseñado en el capítulo 1); además de incorporar otras opiniones de expertos, que recomendaron métodos de explotación masivos, siempre y cuando se realicen mayores trabajos en exploración y desarrollo. Estas consideraciones se resumen en la Tabla I:

Tabla I: Clasificación de Recursos y Reservas

	TM
Reservas Probado-Probables	47,500
Recurso de Mineral Indicado	274,300
Recurso de Mineral Potencial	1,000,000

Fuente: J.L.Vargas Ingenieros y consultas realizadas.

La *reserva probado-probable* asciende a 47,500 TM y corresponde a la parte del recurso mineral, que puede ser explotado rentablemente con la tecnología y las condiciones económicas vigentes y de acuerdo a la evidencia geológica no existe mayor riesgo de discontinuidad de la estructura mineralizada. Incluye materiales que se diluyen y pérdidas que puedan ocurrir cuando se extrae el mineral.

El *recurso de mineral indicado* es de 274,300 TM y es la parte del yacimiento mineral, para el cual se puede estimar el tonelaje, peso específico, forma, características físicas y contenido metálico, aunque se requieren mayores estudios técnicos y económicos que justifiquen su explotación.

El *recurso de mineral potencial*, se estima en 1'000,000 TM y comprende mineralizaciones interpretadas por los geólogos sobre la base de su experiencia, continuidades esperadas a partir de cuerpos minerales conocidos, litología favorable y su relación con otras minas cercanas. Pero el conjunto de datos es insuficiente para definir su continuidad, así como su explotación económica.

Sin embargo, hay que señalar que esta clasificación de recursos y reservas no es estática sino que es un concepto dinámico, que va cambiando en el tiempo y su determinación es bastante compleja porque toma en cuenta diversos factores minero - metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, tributarios y ambientales. Por lo tanto, una modificación en estos factores, puede alterar el nivel de reservas y por consiguiente la vida útil de la mina.

Así, una disminución de los precios de los metales, reduce el valor económico de las reservas y al no cubrir los costos de extracción y tratamiento se convierten en recursos. De otro lado, un aumento de la tributación sobre las empresas mineras o mayores exigencias ambientales incrementan los costos de producción lo que podría reducir las reservas, convirtiéndolas en recursos.

Es posible que los recursos puedan convertirse en reservas, a medida que se haga más exploración y desarrollo, que permitan conocer mejor las características del cuerpo mineralizado. De otro lado, si la empresa reduce sus costos de producción a través de una nueva mecánica de explotación sea por diseño, tecnología o por economías de escala, podría aumentar también el volumen de reservas²⁴.

Para el caso del Proyecto Pucarrajo se está considerando que el nivel de reserva probado-probable, tiene un grado de certeza igual a uno, y se ha tratado como un parámetro fijo. Además, las incertidumbres asociadas a los recursos de mineral indicado y potencial, se pueden describir a través de la siguiente distribución acumulada:

	TM	prob. acumulada
	233,155	0.10
Recurso indicado	274,300	0.50
	288,015	0.90
	TM	prob. acumulada
	850,000	0.10
Recurso potencial	1,000,000	0.50
	1,050,000	0.90

La distribución acumulada para el recurso indicado, significa que la probabilidad de que la cantidad de que dicho recurso sea menor a 233,155 TM es de 0.10. Asimismo, la probabilidad de que el recurso indicado sea menor a 274,300 TM es de 0.50 y de la misma forma, la probabilidad de que el recurso indicado sea menor a 288,015 TM es de 0.90. Nótese que el rango que va de 233,155 TM a 288,015 ha capturado el 80% de la incertidumbre acerca del

²⁴ Técnicamente se estaría reduciendo el *cut off* el cual es un nivel de referencia que permite clasificar el recurso económico (reserva) del no económico por un periodo determinado. Puede expresarse de dos maneras: (1) como el “valor mínimo explotable” en \$/TM que cubre los costos incurridos desde la extracción del mineral hasta su colocación en el mercado o (2) como la “ley mínima explotable” en oz. Metal/T.M. o % en peso de metal/TM que permite cubrir los costos de producción hasta la venta del concentrado.

recurso indicado. De la misma manera se interpretan las cantidades referidas al recurso potencial.

Esta presentación, ha permitido modelar el recurso de mineral (indicado y potencial) como una variable de incertidumbre en la Fase de Estructuración (véase el capítulo 3).

SEGUNDA ETAPA “PREPARACIÓN”

Son labores adicionales que siguen una cierta forma geométrica y una determinada secuencia de operaciones unitarias, para extraer el mineral en función del método de explotación seleccionado. Comprende labores como: subniveles, chimeneas (para ventilación o como echaderos de mineral), ventanas de extracción²⁵, así como la colocación de tolvas o rampas para el carguío de mineral. A través de esta etapa del proceso minero, se adoptan las medidas con el objeto de hacer que la explotación, se realice con la mayor fluidez posible, en un ambiente cómodo y seguro, evitando los ciclos de trabajo prolongados.

Las labores de preparación deben considerar una orientación del avance de preparación en sentido ascendente, es decir desde el nivel inferior hacia los niveles superiores, con el objeto de aprovechar la gravedad para la evacuación de mineral y llenar los espacios vacíos a medida que se realiza la explotación.

²⁵ ventanas de extracción: denominada también *estocada*, permiten una mayor aproximación al cuerpo mineralizado.

TERCERA ETAPA “EXPLORACIÓN”

Es la actividad que se realiza propiamente para la extracción del mineral. La explotación se realiza en los tajeos²⁶ y comprende las siguientes operaciones unitarias, que conforman un ciclo de trabajo:

- Perforación y Voladura: Se realizan los taladros en la roca, para cargarlos con dinamita o anfo para su posterior rotura por explosión.
- Acarreo de Mineral: implica el transporte de mineral hacia los echaderos o hacia los volquetes, mediante carros mineros o volquetes de bajo perfil (*dumpers*).
- Relleno y Sostenimiento: Consiste en rellenar la cavidad que deja la voladura para efectos de sostener las paredes del tajo²⁷.
- Carguío y Transporte de Mineral: En esta operación, los volquetes reciben el mineral de las tolvas metálicas colocadas en el interior de la mina, para su traslado a la planta concentradora.

Para una operación normal, es fundamental que todos los servicios anexos como: ventilación, fortificación, drenaje, suministro de energía, aire y agua funcionen en óptimo estado, para garantizar una operación segura.

²⁶ Tajeo: lugares subterráneos en donde se realizan los arranques (extracción) de mineral.

²⁷ Los métodos: Almacenamiento Provisional y Minado por Subniveles no utilizan relleno ni sostenimiento, lo que reduce el costo de explotación. Por el contrario, sucede con el método Corte y Relleno.

Los principales criterios que en general, deben ser tomados en cuenta antes de la elección de un adecuado método de explotación son:

Criterios Geográficos:

- Profundidad
- Cercanía a un lugar poblado
- Clima.

Criterios Geológicos y Físicas del yacimiento.

- La forma o geometría del yacimiento o cuerpo mineralizado.
- Potencia²⁸ si se trata de una veta o manto.
- Diseminación de las leyes si se trata de un yacimiento masivo.
- Profundidad respecto de la superficie.
- Dimensiones del yacimiento (cubicación).
- Naturaleza mineralógica de los componentes de la mena.
- Sus leyes o repartición de la mineralización en el interior del cuerpo mineralizado.
- Características mecánicas de la roca que constituye el cuerpo mineralizado y de la roca encajonante (resistencia a la tracción y la compresión)

²⁸ Se refiere al ancho de la veta o manto

Criterios Económicos.

La explotación de un yacimiento debe realizarse al menor costo posible, porque las inversiones para acceder al cuerpo mineralizado son significativas y son realizadas en material estéril. Esto implica que se debe hacer un adecuado diseño de mina, conjuntamente con el método que proporcione el menor costo de explotación. Asimismo, hay que considerar el sistema de extracción, el tratamiento del mineral en la planta concentradora, las inversiones en equipos, materiales entre otros.

En la actualidad, hay una tendencia general encaminada a explotar yacimientos de leyes cada vez más bajas, debido al agotamiento de los yacimientos de leyes altas, la necesidad de un abastecimiento constante del mercado, un desarrollo tecnológico en el beneficio metalúrgico de yacimientos de baja ley y la reducción de los costos unitarios por economías de escala, mediante el uso de métodos altamente mecanizados.

Debido a que la presente Tesis ha considerado el *método de explotación* como una variable de decisión, es conveniente hacer una breve descripción de los métodos de explotación empleados en la minería subterránea y que de modo específico, podrían aplicarse al Proyecto Pucarrajo.

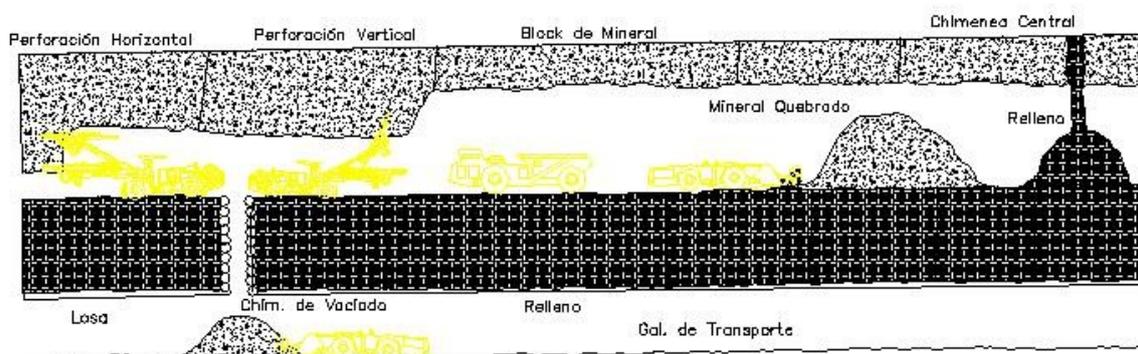
A) Corte y Relleno (*Cut and Fill*): Es un método ascendente y pertenece a los métodos de minado con sostenimiento artificial. El mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando verticalmente. Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril,

proveniente de las labores de desarrollo de la mina o relleno hidráulico, cuyo material procede de los relaves de la planta concentradora y que en algunos casos son mezclados con cemento.

Presenta las siguientes características:

- La recuperación del mineral es cercana al 100%.
- Es altamente selectivo, lo que significa que se pueden trabajar secciones de alta ley y dejar aquellas zonas de baja ley sin explotar.
- Es un método seguro.
- Puede alcanzar un alto grado de mecanización .
- Se adecúa a yacimientos con propiedades físico – mecánicas competentes (roca firme).
- Mayor control de la dilución del mineral.
- Costo de explotación elevado, a consecuencia del uso del relleno.
- Consumo elevado de materiales de fortificación .

Figura 3: Esquema Técnico del Método Corte y Relleno



Fuente: INTRODUCCION A LOS METODOS DE EXPLOTACION,
<http://plata.uda.cl/minas/academicos/hmery/CUT%20AND%20FILL.html>

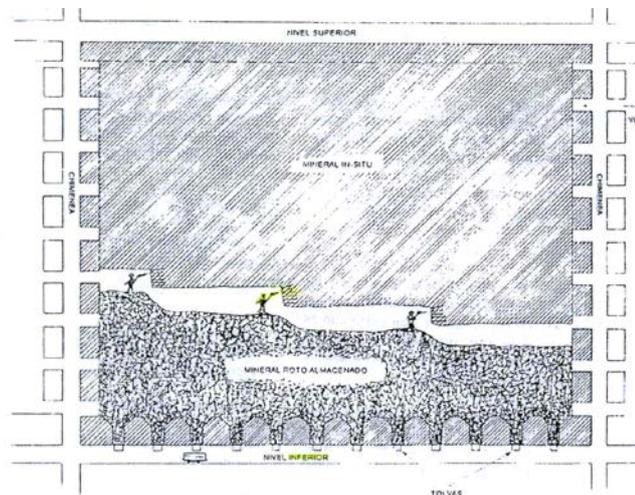
En la Figura 3 (véase la página 33), se aprecia el ciclo de minado del método Corte y Relleno, que consta de las cuatro operaciones unitarias señaladas anteriormente. Este se inicia con la perforación y posterior voladura del mineral, el cual será acarreado y llevado a los echaderos de mineral (chimenea de vaciado) a un nivel inferior (galería de transporte). Nótese la utilización de material de relleno, como elemento de sostenimiento, lo que permitirá la extracción del mineral de los niveles superiores. Es común la utilización de relleno hidráulico o material mezclado con cemento, lo que mejora las características de soporte. Hay que señalar que este método es utilizado por el 80% de las minas subterráneas en el Perú.

B) Almacenamiento Provisional (*Shrinkage*): Pertenece a los métodos de minado con sostenimiento artificial. El mineral se arranca por franjas horizontales, empezando desde la parte inferior del cuerpo mineralizado y se avanza hacia arriba. Se retira 1/3 del mineral roto quedando 2/3 del mismo, lo que sirve de plataforma de trabajo para la explotación del mineral de la parte superior y para sostener las paredes del tajeo. Este método tiene las siguientes características:

- Apropriado en los yacimientos de mineral firme que permita un laboreo seguro al personal, equipo e instalaciones aún sin fortificar el tajeo.
- Aplicado en estructuras de roca encajonante firme, que no se desprenda durante el arranque del mineral.
- Buzamiento del yacimiento mayor a 60°, para que el mineral resbale por si solo.
- Potencia del yacimiento mayor a 80 cm.

- Aplicable en yacimientos extensos; sin embargo, para hacer una extracción regular y continua es necesario almacenar suficiente mineral roto, manteniendo en activo suficiente número de labores de preparación y explotación.
- Presencia de dilución del mineral
- Limites del yacimiento deben estar bien definidos
- No aplicable a mineral roto con inclusiones arcillosas o pizarrosas, porque es propenso a aglomerarse (apelmazarse)
- Inapropiado en minerales que se oxidan fácilmente y que pueden complicar el tratamiento metalúrgico.

Figura 4: Esquema Técnico del Método Almacenamiento Provisional



Fuente: Oscar LLANQUE y Otros (1997, p.148)

En la Figura 4, se puede apreciar el ciclo de minado del método Almacenamiento Provisional. Nótese que las labores de explotación se realizan encima del mineral que ha sido roto previamente, efectuándose los taladros a través de máquinas perforadoras livianas, para luego

realizar nuevamente la voladura con dinamita o anfo. Obsérvese que no se utiliza material de relleno, lo cual reduce el ciclo de explotación y disminuye a su vez los costos asociados. La extracción del mineral se realiza en la parte inferior a través de tolvas (*draw points*), para su posterior acarreo a los echaderos de mineral.

Este método tiene dos variantes: el método de explotación *Almacenamiento Provisional Semi-Mecanizado*, a través del cual se realiza la perforación con máquinas perforadoras livianas y el acarreo utiliza carros mineros sobre rieles. Dicho método presenta limitantes en cuanto al radio de acción y al menor peso transportado por parte de dichos carros mineros, situación que puede ser enfrentada con un adecuado diseño de mina. Además, hay que señalar que este método ha formado parte de la Estrategia 1 “Sin Cambios” que será tratado en la Fase de Estructuración (véase el capítulo 3).

La otra variante es el método de explotación *Almacenamiento Provisional Mecanizado*, donde el acarreo se realiza mediante volquetes de bajo perfil (*scooptrams*), permitiendo retirar el mineral más rápidamente elevando la productividad de la explotación. Este método ha formado parte de la Estrategia 2 “Mejorado” en la Fase de Estructuración.

C) Minado por Subniveles ó Taladros Largos (*Sub Level Stopping*): Pertenece a los métodos de minado con sostenimiento natural. Consiste en dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo, para luego, arrancar el mineral a partir de subniveles de explotación mediante disparos efectuados en planos verticales, con tiros paralelos o radiales,

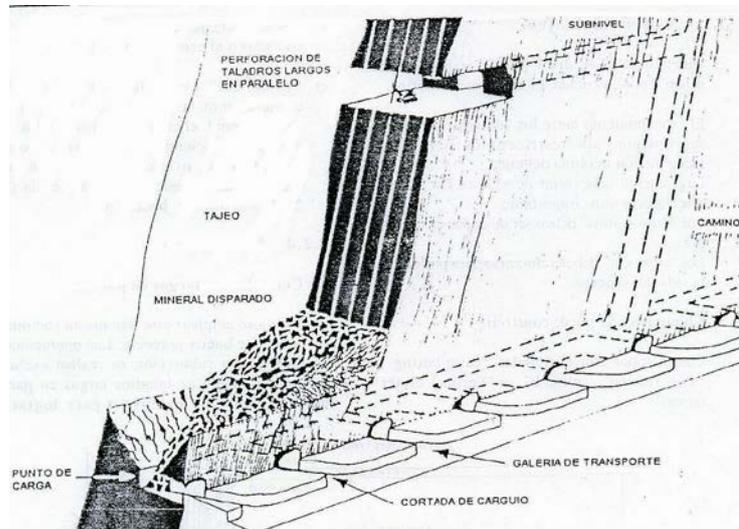
posteriormente quedan las cámaras vacías después de la explotación. El mineral arrancado cae por gravedad y se extrae por la parte inferior a través de volquetes de bajo perfil.

Este método permite una alta mecanización, que se traduce en un minado masivo, es decir, se pueden lograr altos niveles de producción y con menores costos de explotación. Presenta las siguientes características:

- Menores costo unitarios.
- Alta productividad.
- Escaso uso de elementos de fortificación.
- Buena ventilación.
- Gran seguridad durante el trabajo.
- Requiere mucha preparación.
- Mayor presencia de dilución del mineral.
- No es selectivo (requiere vetas con gran potencia).
- Grandes tajos permanentemente abiertos.

Se presenta a continuación el esquema técnico del método de Minado por Subniveles (véase la Figura 5, página 38).

Figura 5: Esquema Técnico del Método Minado por Subniveles



Fuente: Oscar LLANQUE y Otros (1997, p. 86)

La Figura 5, muestra el ciclo de minado del método Minado por Subniveles. Nótese que los taladros son efectuados desde subniveles, utilizándose equipos que permitan taladros largos (también pueden ser radiales), denominados *Jumbo*. Una vez efectuada la voladura del mineral con dinamita o anfo, se puede obtener un gran volumen de mineral, que será izado por los equipos LHD²⁹ (*scooptrams*) en los puntos de carga, para su acarreo a los echaderos de mineral. Este método no utiliza material de relleno, lo que reduce el ciclo de explotación, logrando así una disminución significativa de los costos de explotación.

Este método de explotación ha formado parte de la Estrategia 3 “Agresivo” que será tratado en la Fase de Estructuración (véase el capítulo 3)

²⁹ LHD: load, haul and dump.

CUARTA ETAPA “CONCENTRACIÓN”

En esta sección se realizará una explicación de los procedimientos de concentración o beneficio del mineral en la planta concentradora de la Unidad Pucarrajo, con el fin transformar el mineral extraído de la mina en concentrados de mineral para su posterior comercialización. Esta es una operación importante porque de ello depende la calidad y cantidad del concentrado de plomo y zinc obtenido, lo que influirá en el nivel de ingresos del proyecto.

La concentración es el conjunto de procesos físicos y/o químicos que se realizan para extraer las partes valiosas de un agregado de minerales. Dicho agregado de minerales o mineral bruto llega a la planta concentradora, conducida desde el interior de la mina a través de volquetes, en un cierto tonelaje y está caracterizada por la *ley de mineral de cabeza*.

La ley de mineral de cabeza, mide la calidad del mineral y depende de las características naturales del yacimiento que se está explotando. Se expresa en oz. Metal/T.M. o % en peso de metal/T.M. y debe ser tal que permita cubrir los costos incurridos desde la extracción del mineral hasta su colocación en el mercado. El mineral bruto pasa por las siguientes operaciones: Chancado, Molienda, Flotación y Secado.

La unidad Pucarrajo produce dos tipos de concentrados: concentrado de plomo y concentrado de zinc. Hay que indicar que cada uno de estos concentrados contienen los metales plomo, zinc y plata respectivamente.

En la Figura 6, se presenta el esquema técnico de la planta concentradora de la Unidad Pucarrajo, donde en la parte superior izquierda ingresa el mineral bruto (con sus respectivas leyes de mineral de cabeza de plomo, zinc y plata); en la parte inferior, se aprecia la salida de los concentrados de plomo y zinc obtenidos (con sus respectivas leyes de mineral en el concentrado) y en la parte derecha salen los relaves o material de desecho (también con sus respectivas leyes de mineral en el relave) que se descartan porque es muy costosa la recuperación de los minerales contenidos, en vista de que las leyes son muy bajas.

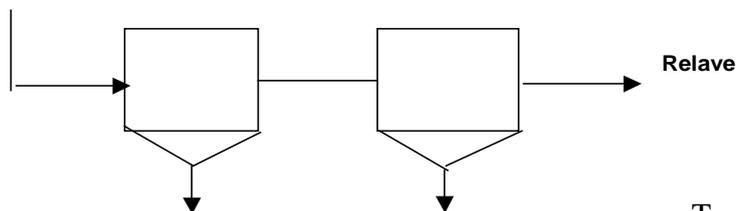
Figura 6: Esquema Técnico de la Planta Concentradora en Pucarrajo

F

Pb Zn Ag

$p_1 \ z_1 \ a_1$

Mineral en Bruto



Concentrado de Plomo

Concentrado de Zinc

Relave

T
Pb Zn Ag
 $p_4 \ z_4 \ a_4$

P
Pb Zn Ag
 $p_2 \ z_2 \ a_2$

Z
Pb Zn Ag
 $p_3 \ z_3 \ a_3$

Nomenclatura:

- Peso del mineral bruto que ingresa a la planta concentradora: F
- Peso del concentrado de plomo: P
- Peso del concentrado de zinc: Z
- Peso del relave: T

Ley de mineral de cabeza de plomo:	p ₁
Ley de mineral de cabeza de zinc:	z ₁
Ley de mineral de cabeza de plata:	a ₁
Ley de plomo en el concentrado de plomo:	p ₂
Ley de zinc en el concentrado de plomo:	z ₂
Ley de plata en el concentrado de plomo:	a ₂
Ley de plomo en el concentrado de zinc:	p ₃
Ley de zinc en el concentrado de zinc:	z ₃
Ley de plata en el concentrado de zinc:	a ₃
Ley de plomo en el relave:	p ₄
Ley de zinc en el relave:	z ₄
Ley de plata en el relave:	a ₄

Para calcular el peso de los concentrados de plomo y zinc obtenidos, se utiliza el criterio de equivalencia de masas, planteándose las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 F &= P + Z + T && \dots (a) \\
 F \cdot p_1 &= P \cdot p_2 + Z \cdot p_3 + T \cdot p_4 && \dots (b) \\
 F \cdot z_1 &= P \cdot z_2 + Z \cdot z_3 + T \cdot z_4 && \dots (c)
 \end{aligned}$$

Se tienen tres ecuaciones con tres incógnitas: P, Z, T que representan el peso del concentrado de plomo, zinc y relaves respectivamente. Los datos disponibles son F, p₁, p₂, p₃, p₄, z₁, z₂, z₃ y z₄. Se procede a resolver el sistema, obteniéndose las siguientes fórmulas metalúrgicas para calcular el peso de los concentrados de plomo (P) y de zinc (Z) producidos por la Unidad Pucarrajo:

$$\begin{aligned}
 P &= F \cdot \frac{(z_1 - z_4)(p_3 - p_4) - (z_3 - z_4)(p_1 - p_4)}{(z_2 - z_4)(p_3 - p_4) - (z_3 - z_4)(p_2 - p_4)} && \dots (d) \\
 Z &= F \cdot \frac{(z_1 - z_4)(p_2 - p_4) - (z_2 - z_4)(p_1 - p_4)}{(z_3 - z_4)(p_2 - p_4) - (z_2 - z_4)(p_3 - p_4)} && \dots (e)
 \end{aligned}$$

Estas expresiones (d) y (e) son las fórmulas predeterminadas para el cálculo del peso de concentrados de plomo y zinc obtenidos en la planta concentradora y han sido utilizadas en la

elaboración del modelo estructural en la Fase de Estructuración (véase el capítulo 3). Esto permite cuantificar el nivel de producción de concentrados, lo que incidirá en el nivel de ingresos del Proyecto Pucarrajo.

A continuación se procede a hacer una ilustración numérica de las expresiones (d) y (e) halladas anteriormente. Sean los siguientes datos técnicos del Proyecto Pucarrajo correspondientes a la Estrategia 3 “Agresivo” y para el primer año de operación:

Producción Anual Procesada en la Planta Concentradora	216,250 TM	F	
Ley de Cabeza de Plomo	Pb %	0.90	p ₁
Ley de Cabeza de Zinc	Zn %	7.89	z ₁
Ley de Cabeza de Plata	Ag Oz/TM	3.03	a ₁
Ley de Pb en el Concentrado Pb	Pb %	52.77	p ₂
Ley de Zn en el Concentrado Pb	Zn %	3.53	z ₂
Ley de Ag en el Concentrado Pb	Oz/T.M.	138.00	a ₂
Ley de Pb en el Concentrado Zn	Pb %	0.54	p ₃
Ley de Zn en el Concentrado Zn	Zn %	53.99	z ₃
Ley de Ag en el Concentrado Zn	Oz/T.M.	2.05	a ₃
Ley de Pb en el Relave	Pb %	0.16	p ₄
Ley de Zn en el Relave	Zn %	0.65	z ₄
Ley de Ag en el Relave	Ag Oz	1.11	a ₄

Con estos valores se procederá a determinar el peso de los concentrados de Plomo y Zinc obtenidos en la planta concentradora:

$$\text{Peso del Concentrado de Plomo} = 216,250 * (((7.89-0.65)*(0.54-0.16)-(53.99-0.65)*(0.90-0.16))/((3.53-0.65)*(0.54-0.16)-(53.99-0.65)*(52.77-0.16))) = 2,830.82 \text{ TM.}$$

Peso del Concentrado de Zinc = $216,250 * (((7.89-0.65)*(52.77-0.16)-(3.53-0.65)*(0.90-0.16))/((53.99-0.65)*(52.77-0.16)-(3.53-0.65)*(0.54-0.16))) = 29,199.42 \text{ TM.}$

Luego, se determina el peso de los relaves, despejando T de la expresión (a):

$$T = F - P - Z = 216,250 - 2,830.82 - 29,199.42 = 184,219.76 \text{ TM.}$$

Una vez obtenidos los concentrados de plomo y zinc, se procede a transportarlos desde la Unidad Pucarrajo en Huallanca (Ancash) hasta los almacenes del vendedor en el Callao (Lima), por lo tanto se incurren en gasto de fletes, los que forman parte de los gastos de comercialización.

Por otro lado, hay que señalar, que se pueden introducir mejoras en la recuperación metalúrgica³⁰ obtenida en la planta concentradora de Pucarrajo, con el fin de incrementar las leyes de mineral en el concentrado, lo cual incidirá en una mayor valorización de los concentrados y por lo tanto, en mayores ingresos generados. Estas mejoras se pueden lograr a través de las siguientes acciones:

Optimización del circuito de flotación: se lleva a cabo a través de una evaluación de la operación actual, con el objetivo de introducir mejoras, por ejemplo a través de la calidad y cantidad de los reactivos utilizados, dimensionando adecuadamente el tamaño de las celdas de flotación, colocando muestreadores en puntos clave del circuito, para corregir la calidad del mineral suministrado y reduciendo los costos de operación de la planta concentradora.

³⁰ Esta será una variable de decisión considerada en la Fase de Estructuración del Proyecto Pucarrajo.

Mejora en el grado de liberación de partículas: Existe una reducción de tamaño óptima (dadas las limitaciones impuestas por el mineral alimentado a la planta), de tal manera que se maximiza el grado de liberación de partículas (conteniendo mineral valioso) que permitirá un incremento de las leyes del mineral en los concentrados o una reducción de las leyes del mineral en el relave. Al respecto, Kerry señala que “la reducción de tamaño es de vital importancia en el procesamiento de minerales. Un mineral tiene que reducirse de tamaño hasta que los minerales valiosos que contiene sean liberados de la roca que los aloja o queden expuestos para tratarse químicamente”³¹. Sin embargo, no es posible liberar completamente un mineral valioso, ni extraerlo en su totalidad.

Investigación metalúrgica: involucra la implementación de un laboratorio metalúrgico, con el fin de analizar la presencia de metales valiosos a través de distintos procedimientos como por ejemplo la absorción atómica. Además se podría estudiar la mezcla óptima de mineral (*blending*) que debe ingresar a la planta concentradora para asegurar una mayor calidad del concentrado obtenido.

Automatización de procesos: implica la aplicación de sistemas de control computarizados, para hacer un seguimiento del proceso en tiempo real.

Las acciones señaladas anteriormente, constituyen opciones estratégicas que pueden mejorar la recuperación metalúrgica en la planta concentradora y han servido para enriquecer las

³¹ Errol G. KERRY, Procesamiento de Minerales. México, 1990, Editorial LIMUSA, p. 139.

opciones de esta área de decisión (más detalles, véase el capítulo 3: Fase de Estructuración). En el Proyecto Pucarrajo se ha considerado para la Estrategia 1 “Sin Cambios” la optimización del circuito de flotación; para la Estrategia 2 “Mejorado” la optimización del circuito de flotación y adicionalmente, una mejora en el grado de liberación de partículas. Por otro lado, la Estrategia 3 “Agresivo”, ha combinado las siguientes opciones: optimización del circuito de flotación, mejora en el grado de liberación de partículas, así como la realización de investigación metalúrgica.

QUINTA ETAPA “COMERCIALIZACION”

En esta etapa, se procede a valorizar los concentrados obtenidos en la planta concentradora, de manera que se pueda estimar los ingresos generados por el Proyecto Pucarrajo. Como se mencionó, los productos vendibles son los concentrados de plomo y zinc.

El valor de los concentrados está en función del contrato de comercialización, el cual contempla aspectos como: definiciones generales, rango de cantidades de concentrado a venderse, análisis típicos de los concentrados, cronogramas de entrega, valor de los concentrados, periodos de cotizaciones, pagos, pesajes y muestreos, cláusulas de fuerza mayor, arbitraje entre otros.

El valor de los concentrados se determina a partir de la suma de los pagos por contenidos metálicos menos las deducciones por costos de maquila³² y menos las penalidades por

³² Maquila: Cargos de tratamiento para convertir el mineral en metal (99% de pureza). En otras palabras, son los gastos totales de tratamiento metalúrgico para llegar al metal refinado.

presencia de contaminantes³³. A manera de ilustración, se ha procedido a valorizar el concentrado de plomo, correspondiente a la Estrategia 3 “Agresivo” en el primer año de operación del Proyecto Pucarrajo, cuyas variables y parámetros se muestran en la Tabla II. Esto ha servido para la elaboración del modelo estructural en el capítulo 3.

Tabla II: Variables y parámetros que intervienen en la valorización del Concentrado de Plomo

Descripción de la Variable	unidad	Valor	Nomenclatura
Ley de plomo en el Concentrado de Plomo	%	52.77%	p_2
Deducción Mínima a la Ley de Plomo en el Concentrado de Plomo	%	3%	DedMinLeyPlomoCCPb
Porcentaje de Pago de Plomo	%	95%	PorcPagoPlomo
Peso del Concentrado de Plomo Neto de Humedad	US\$/TM	2,822.32	PesoCCPbNetHum
Precio del Plomo	US\$/TM	900	PrecioPlomo
Ley de Plata en el Concentrado Plomo	Oz/T.M.	138	a_2
Porcentaje de Pago de Plata	%	95%	PorcPagoPlataCCPlomo
Precio de la Plata	US\$/Oz	7.00	PrecioPlata
Costo de Maquila del Concentrado de Plomo	US\$/TM	175	MaqCCPb
Base del Escalador en el Concentrado de Plomo	US\$/TM	500	BaseEscCCPb
Razón de incremento en Maquila en el Concentrado de Plomo	US\$	0.15	IncMaqCCPb
Penalidad por presencia de Bismuto	%	0.96%	ContBi
Contenido de Bismuto libre de penalidad	%	0.30%	ContlibrepenBi
Unidades Penalizables por Contenido de Bismuto en Exceso	%	0.10%	UnidPenBi
Pago de Penalidad por Contenido de Bismuto en Exceso	US\$	1.50	PagoPenBi

Elaboración Propia

En primer lugar, se calcula el valor bruto del concentrado de plomo, para lo cual hay que valorizar el contenido metálico de plomo y plata utilizando las siguientes fórmulas predeterminadas:

³³ En el Concentrado de Plomo: As, Sb, Bi, Zn y en el Concentrado de Zinc: Fe.

Valor del Plomo en el Concentrado de Plomo = $((p_2 - \text{MAX}(\text{DedMinLeyPlomoCCPb}; p_2 * (1 - \text{PorcPagoPlomo}))) * \text{PesoCCPbNetHum} * \text{PrecioPlomo}) = ((52.77\% - \text{MAX}(3\%; 52.77\% * (1 - 95\%))) * 2,822.32 * 900) = \text{US\$ } 1'264,202.$

Valor de la Plata en el Concentrado de Plomo =
 $a_2 * \text{PorcPagoPlataCCPlomo} * \text{PesoCCPbNetHum} * \text{PrecioPlata} =$
 $138 * 95\% * 2,822.32 * 7 = \text{US\$ } 2'590,043.$

Luego se determinan las deducciones en el valor bruto, por concepto de maquila:

Costo de Maquila del Concentrado de Plomo = $\text{PesoCCPbNetHum} * \text{MaqCCPb} =$
 $2,822.32 * 178 = \text{US\$ } 493,906.$

Incremento de Maquila según Escalador Base = $(\text{PrecioPlomo} -$
 $\text{BaseEscCCPb}) * \text{IncMaqCCPb} * \text{PesoCCPbNetHum} = (900 - 500) * 0.15 * 2,822.32 = \text{US\$}$
 $169,339.$

A continuación se calculan las penalidades por presencia de contaminantes:

Penalidad por Presencia de Bismuto = $\text{SI}(\text{ContBi} > \text{ContlibrepenBi}; (\text{ContBi} -$
 $\text{ContlibrepenBi}) / (\text{UnidPenBi}) * \text{PagoPenBi} * \text{PesoCCPbNetHum}; 0) = \text{SI}(0.96\% > 0.30\%; (0.96\% -$
 $0.30\%) / 0.10\% * 1.5 * 2,822.32; 0) = \text{US\$ } 27,941.$

En resumen, el valor del concentrado de plomo es:

<u>Valorización del Concentrado de Plomo</u>	<u>US\$</u>
Valor del Plomo en el Concentrado de Plomo	1'264,202
Valor de la Plata en el Concentrado de Plomo	2'590,043
Valor Bruto del Concentrado de Plomo	3'854,245
<u>(-) Deducciones</u>	
Costo de Maquila del CC de Plomo	493,906
Incremento de Maquila según Escalador Base	169,339
<u>(-) Penalidades por Presencia de Contaminantes</u>	
Penalidad por Presencia de Bismuto	27,941
Valor Neto del Concentrado de Plomo	3'163,059 ... (f)

De forma análoga se determina el valor del concentrado de Zinc, cuyo resumen se muestra seguidamente:

<u>Valorización del Concentrado de Zinc</u>	<u>US\$</u>
Valor del Zinc en el Concentrado de Zinc	15'733,005
Valor Bruto del Concentrado de Zinc	15'733,005
<u>(-) Deducciones</u>	
Costo de Maquila del CC de Zinc	5'084,350
Incremento de Maquila según Escalador Base	836,739

(-) Penalidades por Presencia de Contaminantes

Penalidad por Presencia de Hierro	94,133	
Valor Neto del Concentrado de Zinc	9'717,783	... (g)

Finalmente, los ingresos del proyecto se determinan sumando (f) + (g), dando como resultado US\$ 12'880,842 y corresponde a los ingresos del primer año del proyecto para la Estrategia 3.

Con las consideraciones vistas en este capítulo, respecto a la terminología de la actividad minera y a las etapas del proceso minero, se procede a iniciar el ciclo del Análisis de Decisiones, lo que será materia de estudio en los capítulos tres, cuatro, cinco y seis.

CAPITULO 3

FASE DE ESTRUCTURACION

En este capítulo, se ha definido la estructura básica que configura la toma de decisiones por parte de Minera Huallanca, para efectos de enfrentar la problemática detectada en la Unidad Pucarrajo. Esto implica la necesidad de establecer el marco de análisis con la finalidad de que el trabajo a realizar, responda a la pregunta correcta y no se esté resolviendo el problema incorrecto de manera óptima. Para ello se han utilizado las herramientas del Análisis de Decisiones tales como, la *Visión del Estudio*, la cual estableció el propósito del esfuerzo a realizar y ya fue presentado en el Capítulo 1. Luego, con ayuda de los expertos conocedores del problema, se hizo el *Listado de Cuestiones*, que permitió mantener una perspectiva global en el análisis, señalando las variables de decisión e incertidumbre involucradas. Seguidamente, el alcance del estudio, se concentró en las Decisiones Estratégicas por tomar, asumiendo como dadas las Decisiones de Política y dejando para más adelante las Decisiones Operativas, con apoyo de la herramienta *Jerarquía Decisional*.

Las opciones estratégicas disponibles para el decisor, fueron resumidas en la *Tabla de Estrategias Alternativas*. Con estas consideraciones, se elaboró el *Diagrama de Influencias*, el cual se constituyó en un *mapa de conocimiento*, que registró la información disponible y el

grado de conocimiento que tienen los decisores y/o expertos acerca del problema a analizar. Este capítulo finaliza estableciendo la *medida de valor* que servirá en los capítulos posteriores para cuantificar el valor generado por cada estrategia alternativa.

3.1.- PROBLEMÁTICA DETECTADA EN LA UNIDAD PUCARRAJO

La Unidad Pucarrajo, enfrentó una situación de agotamiento de los recursos minerales en sus actuales áreas de producción. Sin embargo, las exploraciones geológicas realizadas y las recomendaciones de los expertos, indicaron que existen indicios favorables de continuidad geológica en profundidad, lo que representa una interesante oportunidad de inversión que de viabilidad a la empresa en el largo plazo, situación que debe evaluarse en un entorno no controlable y bajo condiciones de incertidumbre.

Con la profundización de las operaciones de la mina, a fin de encontrar más recurso mineral, se espera reemplazar las áreas de producción en agotamiento con otras nuevas por explotar, integrando las nuevas labores con la infraestructura existente y utilizando un método de explotación adecuado y seguro que permita el retorno de la inversión.

3.2.- LISTADO DE CUESTIONES DEL PROYECTO PUCARRAJO

El listado de cuestiones del Proyecto Pucarrajo, ha permitido mantener una perspectiva global en la presente Tesis, lo que ha conducido a un entendimiento integral e insesgado acerca de la diversidad de aspectos asociados a la decisión a tomar. Dicho listado de cuestiones ha

involucrado *variables de decisión*, que están bajo el control del decisor y *variables de incertidumbre*, que están determinadas por el entorno y están fuera del control del decisor. Luego de haber realizado las consultas a los expertos, se consideró las siguientes variables en el análisis:

VARIABLES DE DECISION

1. Respeto por el Medio Ambiente: La empresa tiene como compromiso, cumplir estrictamente la normatividad vigente en el Perú, que regula el medio ambiente.
2. Desarrollo de Nuevos Prospectos Mineros: Son los nuevos proyectos mineros en otras zonas del país, a ser evaluados por parte de Minera Huallanca.
3. Acceso al Mercado de Capitales de Canadá (TSX): La *Toronto Stock Exchange*, es la bolsa más grande del mundo especializada en el sector minería y provee un mayor volumen de fondos para el financiamiento de los proyectos mineros.
4. Asociación Estratégica con Comercializadora: Con el fin de que la producción de concentrados de plomo y zinc se coloque oportunamente en el mercado, bajo condiciones de comercialización atractivas para Minera Huallanca.
5. Mayor Contacto con el Mercado Chino: Es la decisión vinculada a establecer mayores contactos con uno de los países de mayor crecimiento económico y gran comprador de concentrados de minerales, con el fin de identificar oportunidades de negocio.
6. Programa de Exploración y Desarrollo: define la longitud de las labores de exploración y desarrollo para acceder a la estructura mineralizada, así como los sondeos diamantinos para la confirmación de reservas de mineral.

7. Método de Explotación: Se refiere a la forma geométrica utilizada para dividir el cuerpo mineralizado, en sectores aptos para el laboreo, así como la secuencia de minado para la extracción del mineral.
8. Mejora en la Recuperación Metalúrgica: Son las acciones tomadas en el ámbito de la planta concentradora y pueden involucrar: la optimización del circuito de flotación, mejora en el grado de liberación de partículas, mayor investigación metalúrgica, automatización de los procesos, entre otras.
9. Servicio de Terceros: Define la participación de los contratistas mineros en la exploración y desarrollo, preparación y/o explotación de la mina.
10. Financiamiento: Es la decisión sobre la estructura de financiamiento proveniente de terceros y de recursos propios para llevar a cabo las inversiones del proyecto.
11. Modelamiento Geológico y Económico: Esta referido a la realización de actividades conducentes a un conocimiento más completo del yacimiento a explotar, mejorando la interpretación geológica y económica, a fin de optimizar el planeamiento de minado.
12. Condiciones Laborales: Involucra la mejora de las condiciones laborales del personal en planilla, así como de los contratistas, para lograr un ambiente de trabajo más idóneo.
13. Seguridad y Medio Ambiente: Es el logro de un entorno de trabajo que cumpla las disposiciones vigentes de seguridad minera, además de las acciones para controlar los impactos negativos al medio ambiente.
14. Capacitación de Personal: Es el incremento de las competencias del personal con el fin de aumentar la eficiencia en el desarrollo de sus funciones.

15. Planeamiento Logístico: Son las decisiones inherentes a la provisión oportuna y continua de insumos para la operación en mina.
16. Sistema de Información: Se refiere al manejo de la información operativa, contable y financiera entre las oficinas de mina y Lima, con soporte de software y hardware para la toma de decisiones gerenciales.
17. Control de Gestión y Costos: Es la implantación de mecanismos de control de costos, a través de indicadores de gestión, a fin de tomar las acciones correctivas en el ámbito operativo.

VARIABLES DE INCERTIDUMBRE

La presente Tesis ha considerado las siguientes variables de incertidumbre vinculadas a la realización del Proyecto Pucarrajo:

1. Recurso de Mineral Potencial: Son las mineralizaciones interpretadas por los geólogos, pero el conjunto de datos es insuficiente para definir su continuidad, así como su explotación económica por lo que se requiere de mayor exploración y desarrollo.
2. Radio de Cubicación Inicial: es un variable que expresa el volumen de recurso de mineral que se puede cubicar por cada metro de avance de labores de exploración y desarrollo
3. Número de Años de Crecimiento de Exploraciones: es el número de años que se va a incrementar la longitud de las labores de exploración y desarrollo.

4. Tasa de Crecimiento de Exploraciones: es el incremento porcentual en los metros de avance de las labores de exploración y desarrollo.
5. Costo Unitario de Labor de Exploración y Desarrollo: es el costo de las labores de exploraciones y desarrollos expresado en US\$ por metro de avance.
6. Ley de Cabeza de Plomo: es la calidad de mineral del plomo en el mineral extraído de la mina y antes de que ingrese a la planta concentradora. Está expresado en %.
7. Ley de Cabeza de Zinc: es la calidad de mineral del zinc en el mineral obtenido por las operaciones de minado y antes de su tratamiento en la planta concentradora. Está expresado en %.
8. Número de Años de Variación de la Ley de Mineral: es el número de años que se espera que varíe la ley de mineral y se establece según opinión de los geólogos.
9. Tasa de Variación de la Ley de Cabeza de Plomo: es el porcentaje que se estima que varíe la calidad de mineral del plomo.
10. Ley de Ag en el Concentrado de Plomo: es la ley de la plata estimada en el concentrado de plomo obtenido en la planta concentradora.
11. Ley de Zn en el Concentrado de Zinc: es la ley de zinc estimada en el concentrado de zinc.
12. Precio Inicial de la Plata: es el precio esperado de la plata en el primer año del Proyecto Pucarrajo.
13. Número de Años de Crecimiento del Precio de la Plata: es el número de años que se espera que el precio de la plata se incremente, en el mercado de metales.
14. Precio Inicial del Zinc: es el precio esperado del zinc en el primer año del proyecto.

15. Número de Años de Crecimiento del Precio del Zinc: es el número de años que se espera que el precio del zinc se incremente en el mercado de metales.
16. Número de Años de Decrecimiento del Precio del Zinc: es el número de años que se espera que el precio del zinc descienda.
17. Precio del Zinc de Equilibrio: es el precio de equilibrio que se espera que alcance el zinc en el mercado de metales a largo plazo.
18. Costo Unitario de Preparación: son los costos asociados a la realización de labores tales como: chimeneas, subniveles, ventanas de extracción, tolvas o rampas, a fin de que permitan la extracción del mineral a un ritmo continuo de producción y está expresado en US\$/TM.
19. Costo Unitario de Transporte: representa los costos incurridos para transportar el mineral bruto desde la mina hasta la planta concentradora a través de camiones volquetes de 20 TM de capacidad. Está expresado en US\$/TM.
20. Costo Unitario de Planta Concentradora: son los costos asociados a los procesos físicos (chancado y molienda) y físico-químicos (concentración metalúrgica) para la obtención de los concentrados de plomo y zinc. Está expresado en US\$/TM.
21. Costo Unitario de Energía Eléctrica: Son los costos de suministro de energía eléctrica a la sección mina y a la planta concentradora y está expresado en US\$/TM.
22. Gasto Unitario de Comercialización y Ventas: Son los gastos inherentes al transporte de los concentrados de plomo y zinc desde la Unidad Pucarrajo hasta el depósito de la comercializadora de mineral en el Callao. Así como los gastos incurridos para la venta de los concentrados. Esta expresado en US\$/TM.

3.3.- ALCANCE DEL ESTUDIO

Para establecer los alcances de la presente Tesis, se procedió a clasificar con la ayuda de la herramienta *Jerarquía Decisional* aquellas variables de decisión consideradas en el *Listado de Cuestiones* y que están bajo el control de Minera Huallanca. Dicha clasificación se hizo en tres niveles: Decisiones Estratégicas tomadas (Decisiones de Política), Decisiones Estratégicas por tomar y Decisiones Operativas, tal como se observa en la Figura 7.

Figura 7: Jerarquía Decisional



Esta jerarquía decisional, ha permitido definir con claridad los alcances de la presente Tesis, enfocándose en la parte central de dicha jerarquía, es decir en la *Decisiones Estratégicas por tomar*, asumiendo como dadas las *Decisiones Estratégicas tomadas* (Decisiones de Política) y dejando para más adelante las *Decisiones Operativas*, las que serán asumidas en la puesta en marcha del proyecto.

Las áreas de decisión definidas para el Proyecto Pucarrajo han sido las siguientes: (1) Programa de Exploración y Desarrollo, (2) Método de Explotación, (3) Mejora en la Recuperación Metalúrgica, (4) Servicio de Terceros y (5) Financiamiento. Luego, se identificaron para cada una de estas áreas, las diversas opciones estratégicas disponibles con ayuda de los expertos y permitieron definir de manera creativa, las estrategias alternativas a ser evaluadas.

3.4.- DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS

Luego de realizar consultas a los expertos en diversas especialidades, tales como geólogos, ingenieros de minas, ingenieros metalurgistas, comercializadores de concentrados de mineral, analistas de proyectos, analistas financieros entre otros y con ayuda de la *Tabla de Generación de Estrategias*, se plantearon diversas opciones estratégicas para cada una de las áreas de decisión definidas. Esto permitió establecer las siguientes estrategias alternativas para el Proyecto Pucarrajo y que han sido evaluadas en la presente Tesis. (Véase la Tabla III)

TABLA III: Tabla de Estrategias Alternativas

Estrategia	Programa de Exploración y Desarrollo	Método de Explotación	Mejora en la Recuperación Metalúrgica	Servicios de Terceros	Financiamiento
1: "Sin Cambios"	Nivel Actual	Almacenamiento Provisional Semimecanizado (Shrinkage Semimecanizado)	Optimización del Circuito de Flotación	Con tercerización en Preparación + Explotación (Perforación + Voladura + Carguío + Acarreo + Transporte)	Terceros 20% y Propio 80%
2: "Mejorado"	Nivel Intermedio	Almacenamiento Provisional Mecanizado (Shrinkage Mecanizado)	Optimización del Circuito de Flotación + Mejora en grado de liberación de Partículas	Con tercerización en Preparación + Explotación (Perforación + Voladura + Carguío + Acarreo + Transporte)	Terceros 30% y Propio 70%
3: "Agresivo"	Nivel Intensivo	Minado por Subniveles (Sub Level Stoping)	Optimización del Circuito de Flotación + Mejora en grado de liberación de Partículas + Investigación Metalúrgica	Con Equipos Propios en Preparación y Explotación	Terceros 50% y Propio 50%

Elaboración Propia

ESTRATEGIA 1: “SIN CAMBIOS”

Esta estrategia considera la proyección de la situación actual de la Unidad Pucarrajo, tal como se había venido trabajando sin introducir mayores cambios. Hay que indicar que esta estrategia está considerando la realización de: (1) un Programa de Exploración y Desarrollo, denominado como *Nivel Actual*, que contempla la ejecución de labores para acceder al recurso mineral, sea por rampas, cruceros, chimeneas o galerías, en las longitudes necesarias (metros por año), así como un programa de sondajes diamantinos (metros por año) para la confirmación del recurso mineral y elevarlo a la categoría de reserva para su preparación y explotación, de modo que permita un nivel de producción sostenido. Estas consideraciones se resumen en la Tabla IV:

Tabla IV: Programa de Exploración y Desarrollo para la Estrategia 1: “Sin Cambios”

Nivel Actual	0	1	2	3	4	5	6
Longitudes de Exploración y Desarrollo (m)	2,500	2,657	2,823	3,000	3,000	3,000	3,000
Sondaje diamantino con Perf. Diamec (m)	7,150	5,506	4,239	3,264	2,513	1,935	1,490
Sondaje diamantino con Perf. Explorer (m)	4,150	3,196	2,461	1,895	1,459	1,123	865

Elaboración Propia

Nótese que el Programa de Exploración y Desarrollo se inicia con 2,500 m/año de labores de acceso a la estructura mineralizada, incrementando estas longitudes hasta llegar a los 3,000 m en el año 3 en adelante. Asimismo, se recomienda la realización de sondajes diamantinos, en dos diámetros distintos a través de los equipos *Diamec* y *Explorer*, inicialmente en las longitudes 7,150 y 4,150 m/año, para luego disminuir paulatinamente, conforme se reconozca mejor el yacimiento.

De otro lado, esta estrategia, también considera la elección del (2) Método de Explotación denominado “Almacenamiento Provisional Semimecanizado”, cuyas características técnicas

se señalaron en el Capítulo 2. Asimismo, para la (3) Mejora en la Recuperación Metalúrgica, se va a realizar a través de la optimización del circuito de flotación. En cuanto a (4) Servicio de Terceros se introduce la tercerización (uso de contratistas) en las labores de preparación y explotación de la mina. Finalmente, con respecto a (5) Financiamiento, se establece una estructura de financiamiento de las inversiones: 20% proveniente de terceros y 80% de aportes propios, sin considerar el rubro exploración y desarrollo que debe ser financiado íntegramente por los accionistas.

ESTRATEGIA 2: “MEJORADO”:

En esta estrategia se contempla incrementar las longitudes del (1) Programa de Exploración y Desarrollo, denominado *Nivel Intermedio* desde 2,500 m/año de labores de acceso en el año 0, hasta 5,097 m/año en el año 3 en adelante. Asimismo, se inicia el Programa de Sondajes Diamantinos, con 8,938 m/año con el equipo *Diamec* y 5,188 m/año con el equipo *Explorer* para luego disminuir hasta el año 5, conforme se reconozca mejor el yacimiento, tal como se muestra en la Tabla V:

TABLA V: Programa de Exploración y Desarrollo para la Estrategia 2: “Mejorado”

Nivel Intermedio	0	1	2	3	4	5
Longitudes de Exploración y Desarrollo (m)	2,500	3,170	4,020	5,097	5,097	5,097
Sondaje diamantino con Perf. Diamec (m)	8,938	6,882	5,299	4,080	3,142	2,419
Sondaje diamantino con Perf. Explorer (m)	5,188	3,994	3,076	2,368	1,824	1,404

Elaboración Propia

Este incremento de las labores de exploración y desarrollo, es necesario por los mayores niveles de producción que se espera lograr con la elección del (2) Método de Explotación denominado “Almacenamiento Provisional Mecanizado”, cuyas características se explicaron

en el Capítulo 2. Además, esta estrategia involucra en (3) Mejora en la Recuperación Metalúrgica, la optimización del circuito de flotación, así como un incremento del grado de liberación de partículas, que se espera redunde en una mayor recuperación del zinc (medido por la ley del zinc en el concentrado de zinc) en la planta concentradora. De otro lado, en cuanto al uso de (4) Servicio de Terceros, se incorporará a contratistas para la realización de las labores de preparación y explotación de la mina. Finalmente, la decisión de (5) Financiamiento, considera una estructura de financiamiento de 30% proveniente de terceros y 70% de capital propio. Dicha estructura no incluye las inversiones en exploración y desarrollo, los cuales deben financiarse vía aporte propio.

ESTRATEGIA 3: “AGRESIVO”:

Con esta estrategia, se considera un mayor incremento del (1) Programa de Exploración y Desarrollo, denominado *Nivel Intensivo* desde 2,500 m/año de labores de desarrollo de mina en el año 0, hasta 6,002 m/año en el año 3 en adelante. Asimismo, se inicia los trabajos de sondajes diamantinos, con 10,725 m/año con el uso del equipo *Diamec* y 6,225 m/año con el equipo *Explorer* para luego disminuir paulatinamente hasta el año 4, conforme se tiene un mayor conocimiento del yacimiento, tal como se muestra en la Tabla VI:

Tabla VI Programa de Exploración y Desarrollo para la Estrategia 3: “Agresivo”

Nivel Intensivo	0	1	2	3	4
Longitudes de Exploración y Desarrollo (m)	2,500	3,348	4,482	6,002	6,002
Sondaje diamantino con Perf. Diamec (m)	10,725	8,258	6,359	4,896	3,770
Sondaje diamantino con Perf. Explorer (m)	6,225	4,793	3,691	2,842	2,188

Elaboración Propia

Con esta estrategia, se requiere una mayor realización de labores de exploración y desarrollo, porque con la elección del (2) Método de Explotación denominado “Minado por Subniveles”, cuyas características se reseñaron en el Capítulo 2, se espera lograr una producción masiva, por lo que es necesario ubicar mayor reserva para obtener un ritmo de producción sostenido.

En cuanto a la (3) Mejora en la Recuperación Metalúrgica, se está considerando la optimización del circuito de flotación, además de un incremento del grado de liberación de partículas, que se estima aumente la recuperación del zinc en la planta concentradora, así como la implementación de un laboratorio metalúrgico. Se espera con estas decisiones, mejorar la ley del zinc en el concentrado de zinc. Por otro lado, en cuanto a (4) Servicio de Terceros, aparte de incorporar a contratistas, se está contemplando la adquisición de equipos, para reforzar las labores de preparación y explotación de la mina y que serán suministrados (bajo modalidad de alquiler) a los contratistas reduciéndose las tarifas unitarias. Finalmente, en cuanto a la decisión de (5) Financiamiento, se ha considerado la provisión de fondos en un 50% proveniente de terceros y un 50% de los propios accionistas, sin incluir el rubro de exploración y desarrollo que debe financiarse con capital propio.

Hasta este punto, se han señalado cada una de las estrategias alternativas a ser consideradas en el Proyecto Pucarrajo. El siguiente paso, es vincular cada una de estas decisiones estratégicas con las variables de incertidumbre a través del *Diagrama de Influencias*, lo cual se realizará en la siguiente sección.

3.5.- DIAGRAMA DE INFLUENCIAS: MAPA DE CONOCIMIENTO

El Diagrama de Influencias “es una representación gráfica de la dependencia entre variables aleatorias y de decisión”³⁴ y representa el grado de conocimiento que tienen los expertos acerca del problema de decisión, proporcionando una mayor claridad comunicacional entre el decisor, los expertos y el analista, logrando una representación más fácilmente comprensible y matemáticamente consistente.

Una vez elaborado, permite visualizar rápidamente las dependencias probabilísticas entre las variables de incertidumbre y decisión, especificando el estado de información al momento de realizar el análisis. Adicionalmente, el diagrama de influencias³⁵, ha servido de base para la construcción del modelo estructural (también denominado modelo financiero).

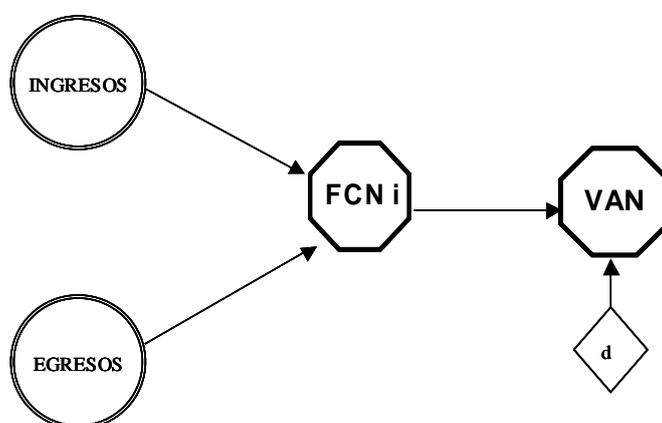
Para el caso del Proyecto Pucarrajo, constituyó un desafío recoger la experiencia de los expertos conocedores del problema que enfrentaba Minera Huallanca, porque implicó conjugar la apreciación y juicio profesional de diferentes especialidades. Por ello, fue de gran ayuda haber relacionado las diversas variables de decisión e incertidumbre del *Listado de Cuestiones* mediante el diagrama de influencias respectivo.

³⁴ Salinas (1992), ob. cit., pág. 137.

³⁵ El Diagrama de Influencias (D.I.), es una herramienta del Análisis de Decisiones que sirve para analizar un problema de decisión de la misma manera que los árboles de decisiones, con la ventaja de que el primero, es más fácilmente entendible. Muestra explícitamente las dependencias entre todas las variables de decisión e incertidumbre relevantes del problema y las flechas que van de una a otra, indican la dirección de la influencia. La elaboración del D.I, sigue ciertas reglas como: no se pueden dibujar trayectorias circulares, se deben identificar sólo las influencias importantes, no se grafican constantes entre otras. Más detalles en Salinas (1992).

En la Figura 8, se muestra el Diagrama de Influencias Agregado del Proyecto Pucarrajo. Se observa que la medida de valor relevante es el Valor Actual Neto (VAN) y se calcula a partir del Flujo de Caja Neto (FCN_i), descontados dichos flujos, a la tasa de descuento “d”, la cual refleja las preferencias respecto al tiempo del decisor (i.e. Minera Huallanca). A su vez, nótese que el Flujo de Caja Neto depende de los *Ingresos* y *Egresos* futuros.

Figura 8: Diagrama de Influencias Agregado del Proyecto Pucarrajo



Elaboración Propia

En la Figura 9, se representan los factores de incertidumbre y decisión que afectan los *Ingresos* del Proyecto Pucarrajo. Dichos *Ingresos* dependen del *precio de los metales* y de la *cantidad de concentrado* que proporciona la planta concentradora. Hay que mencionar que Minera Huallanca, es una empresa tomadora de precios del mercado internacional, los cuales están determinados por la oferta y demanda mundial de metales y no son controlables por la empresa. Además los ingresos del proyecto son afectados por los *costos de maquila* y por las *penalizaciones* por presencia de contaminantes en los concentrados, como se vió en el capítulo 2. De otro lado, la *cantidad de concentrado* se determina por la *ley de mineral de cabeza*, la *ley*

de mineral en el concentrado, así como la *ley de mineral en el relave*, de acuerdo a la fórmula predeterminada explicada en el Capítulo 2. De otra parte, con la variable de decisión “*Mejora en la Recuperación Metalúrgica*”, es posible incrementar las leyes de mineral en el concentrado con el fin de obtener un mayor valor de concentrado.

Otra variable que influye en la *cantidad de concentrado* es la *cantidad de producción (mineral bruto)*. Esto es producto de las operaciones de minado y dependen del *Método de Explotación* que para el caso de la Unidad Pucarrajo se adecúan el “*Método de Almacenamiento Provisional*” (en sus versiones Semi-mecanizado y Mecanizado) y el “*Método de Minado por Subniveles*” que es un método que permite una alta producción.

Por otro lado, la *Reserva de Mineral* está caracterizada por la *ley de mineral de cabeza*, la cual está dada por la naturaleza, y su volumen influye en la *cantidad de producción* posible de realizar. A su vez, dicha *Reserva de Mineral*, depende del *Radio de Cubicación*, lo que permite cuantificar el recurso de mineral que puede ser confirmado y elevado a la categoría de reserva de mineral, si se toma la decisión de seguir un adecuado *Programa de Exploración y Desarrollo*.

En el Figura 10, se puede observar el diagrama de influencias para los *Egresos* del Proyecto Pucarrajo. Dichos *Egresos* dependen de la *cantidad de producción (mineral bruto)*, *cierre de mina*, *costo unitario de preparación*, *costos de planta concentradora*, *costo unitario de explotación*, *costo unitario de energía eléctrica*, *costo indirectos de producción unitarios*,

costo de administración de la unidad minera, gastos administrativos en Lima, gasto unitario de comercialización y de los gastos financieros.

El *costo unitario de explotación* es una variable de incertidumbre predeterminada porque proviene de la suma del costo unitario de *perforación y voladura, carguío, acarreo, y transporte*; los cuales a su vez dependen de la decisión a tomar en cuanto al uso de *Servicio de Terceros* (contratistas mineros).

Además, el *costo unitario de explotación*, está influenciado por el *Método de Explotación* a elegir, el cual tiene asociado una determinada forma de preparación de la mina (véase el Capítulo 2), lo que influirá en el *costo unitario de preparación*. De otra parte, dicho método permite la obtención de una *cantidad de producción (mineral bruto)* e influye además en los costos de *cierre de mina*, cuando se agote el recurso mineral.

El *Método de Explotación*, también define el tipo de equipamiento necesario, lo que conlleva a realizar inversiones en diversos equipos para la sección mina, los cuales pueden presentar cierta variabilidad en los *Costos de Equipos Sección: Mina* en el mercado de bienes de capital, y esto influye en el *Monto de Inversiones*. Esta última variable, determina a su vez, el nivel de *Financiamiento* para el proyecto, el cual afectará la *tasa de interés* obtenida, y por ende la determinación de los *gastos financieros*.

El *Monto de Inversiones* también depende del *costo de equipos de la Sección Planta Concentradora*, según se opte por la *Mejora de la Recuperación Metalúrgica*. Además, dicho

monto de inversiones estará afectado por el *Programa de Exploración y Desarrollo*, así como del *costo de labor de exploración y costo de labor de desarrollo*.

3.6.- MEDIDA DE VALOR

En vista de que se está haciendo proyecciones económicas y financieras, que involucran cantidades en distintos puntos del tiempo, se ha utilizado el valor actual neto (VAN) para cuantificar la generación de valor del Proyecto Pucarrajo. Este único número denominado en el ámbito del Análisis de Decisiones como *Equivalencia Presente*, significa que el decisor es indiferente entre recibir hoy una cantidad de dinero o esperar, siempre que los flujos futuros se descuenten a una tasa de descuento apropiada. Para el estudio se utilizó una tasa del 10%, libre de riesgo e inflación y refleja las preferencias del decisor respecto al tiempo y servirá para la actualización de los flujos futuros, con el fin de evaluar el valor generado por cada estrategia alternativa en el capítulo cuatro.

De otro lado, para la realización del Análisis Probabilístico es necesario modelar las preferencias del decisor frente al riesgo, porque éste enfrenta la elección entre estrategias alternativas bajo condiciones de incertidumbre. Esta elección se puede realizar a través del criterio denominado *Equivalencia Cierta*. En la presente Tesis, se está considerando que el decisor es neutral al riesgo, por lo que el criterio de equivalencia cierta es igual al criterio del *Valor Esperado*. Por lo tanto, para discernir aquella estrategia que proporciona un mayor valor, se escogerá aquella que proporcione el mayor VAN esperado, lo que ha sido materia de estudio en el capítulo cinco.

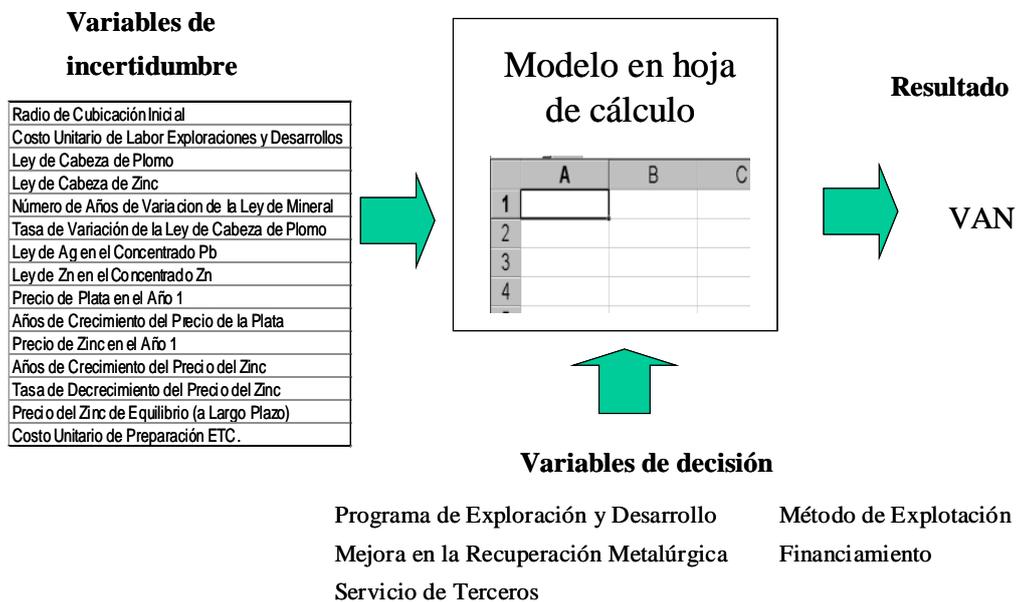
CAPITULO 4

ANÁLISIS DETERMINÍSTICO

El objetivo de este capítulo es la identificación de aquellas variables cuya incertidumbre puede destruir valor para los accionistas y que resultan cruciales para cada estrategia alternativa. Para ello, se elaboró el modelo estructural en hoja de cálculo, a partir de las relaciones establecidas entre las variables de decisión e incertidumbre, según el mapa de conocimiento elaborado con ayuda de los expertos en la Fase de Estructuración (véase el Capítulo 3).

Este modelo estructural, también denominado modelo financiero, estableció explícitamente las relaciones cuantitativas entre las variables de decisión e incertidumbre y se expresaron en una medida de valor adecuada. Esto ha permitido cuantificar el VAN de cada estrategia en el caso base considerado. Para efectos de la identificación de las variables críticas, fue necesario definir los rangos de incertidumbre, así como la utilización del software *Sensitivity*®. A continuación se presenta el esquema de trabajo del análisis determinístico (véase la Figura 10, página 69).

Figura 10: Esquema del Análisis Determinístico



Elaboración Propia

El esquema muestra cómo ingresan las diversas variables de incertidumbre y de decisión (*inputs*) en el modelo estructural, las cuales intervienen específicamente en la evaluación de las estrategias alternativas propuestas. Dicha valoración de resultados se expresará a través del valor actual neto (*output*).

4.1.- MODELO ESTRUCTURAL

El modelo estructural se elaboró en una hoja de cálculo, bajo los siguientes lineamientos: primero, se definieron las tres estrategias alternativas: Estrategia 1 “Sin Cambios”, Estrategia 2 “Mejorado” y Estrategia 3 “Agresivo”, las cuales combinaron diversas decisiones estratégicas vinculadas a las áreas de decisión: Programa de Exploración y Desarrollo,

Método de Explotación, Mejora en la Recuperación Metalúrgica, Servicio de Terceros y Financiamiento, las cuales fueron presentadas en el Capítulo 3.

A continuación, se definieron las constantes o parámetros del modelo y que permanecen fijos a lo largo del horizonte de evaluación. Estas corresponden a relaciones de equivalencia físicas, de tiempo, porcentajes establecidos por dispositivos legales, contractuales entre otros.

Luego, se elaboró la *tabla de cálculos*, como paso previo a la evaluación de los resultados del proyecto. La lógica seguida se explica a continuación:

Una vez definido el programa de exploración y desarrollo, el cual permite confirmar reserva a partir del recurso de mineral cuantificado a través del radio de cubicación, se determinó la reserva probado-probable susceptible de ser explotada cada año. Se ha considerado que el 75% de la reserva cubicada anual se explota en su mismo año quedando un remanente del 25% a explotarse en el siguiente año. Por lo tanto, la producción de la mina en el primer año es el 75% de dicha reserva cubicada anual más el stock de reserva probado-probable inicial. En el segundo año del proyecto, la producción de la mina será 75% de la reserva cubicada en el segundo año más el 25% de la reserva cubicada en el año anterior y así sucesivamente hasta que se agota totalmente el recurso de mineral. Hay que indicar que el nivel de producción estará en función del método de explotación, lo que influye en la vida útil de la mina: a un mayor nivel de producción, la vida de la mina será menor y viceversa.

Lo señalado anteriormente, ha permitido determinar que la vida de la mina con la Estrategia 1: “Sin Cambios” es de 7 años (incluyendo el periodo de liquidación del proyecto y cierre de la mina). Con la Estrategia 2 “Mejorado” la vida de la mina es de 6 años y con la Estrategia 3 “Agresivo”, la vida de la mina se estima en 5 años.

Una vez obtenida la producción de la mina, ésta ingresa totalmente a la Planta Concentradora, por lo que no hay inventarios de mineral. Luego, a través de un formato de trabajo denominado *Balance Metalúrgico* se determinó el peso de los concentrados de plomo y zinc (los cuales representan los productos vendibles) combinando las leyes de cabeza del mineral, las leyes de mineral en el concentrado y las leyes de mineral en el relave (según la fórmula predeterminada explicada en el Capítulo 2), descontando las mermas respectivas (0.30% para el concentrado de plomo y 0.50% para el concentrado de zinc).

Con estos elementos, se realizó la valorización de los concentrados de plomo y zinc en función a los precios de los metales, las deducciones por maquila y las penalidades por presencia de contaminantes. Dicha valorización constituye los ingresos totales del Proyecto Pucarrajo.

Siguiendo con el modelo estructural, se establecieron las inversiones necesarias, los costos de operación y los cronogramas de pago vinculados al financiamiento del proyecto. Finalmente, se concluyó el modelo con la *Tabla de Output*, donde se elaboraron los Estados Financieros Projectados: Estado de Ganancias y Pérdidas y Flujo de Caja, determinándose finalmente el valor generado por el proyecto a través del valor actual neto (VAN).

4.2.- RANGOS DE INCERTIDUMBRE DEL PROYECTO

Una vez definido el modelo estructural, se procedió a establecer los rangos de incertidumbre asociados al primer decil, quinto decil y noveno decil, según opinión de los expertos. Estos valores sirvieron de insumo para establecer el valor generado en el caso base (cuando las variables toman el valor de la mediana) para cada una de las estrategias y para la identificación de aquellas variables de incertidumbre que serán cruciales en la toma de decisiones. En la Tabla VIII (véase la página 73), se presentan los respectivos rangos de incertidumbre para la Estrategia 3: “Agresivo”³⁶.

Por ejemplo, el radio de cubicación inicial presenta valores para el 1er. Decil, 5to. Decil y 9no. Decil de 81, 90 y 94.5 TM/m respectivamente. Es decir, la probabilidad de que el radio de cubicación en el primer año del proyecto sea menor a 81 TM/m es de 0.10 y la probabilidad de que sea menor a 94.5 TM/m es de 0.90. Por lo tanto, el rango de 81 a 94.5 TM/m está capturando el 80% de la incertidumbre de dicha variable. De manera análoga se explica el resto de variables de la Tabla VIII.

³⁶ Los rangos de incertidumbre correspondientes a las demás estrategias se presentan en el Anexo.

Tabla VIII: Rangos de Incertidumbre del Proyecto Pucarrajo para la Estrategia 3 “Agresivo”

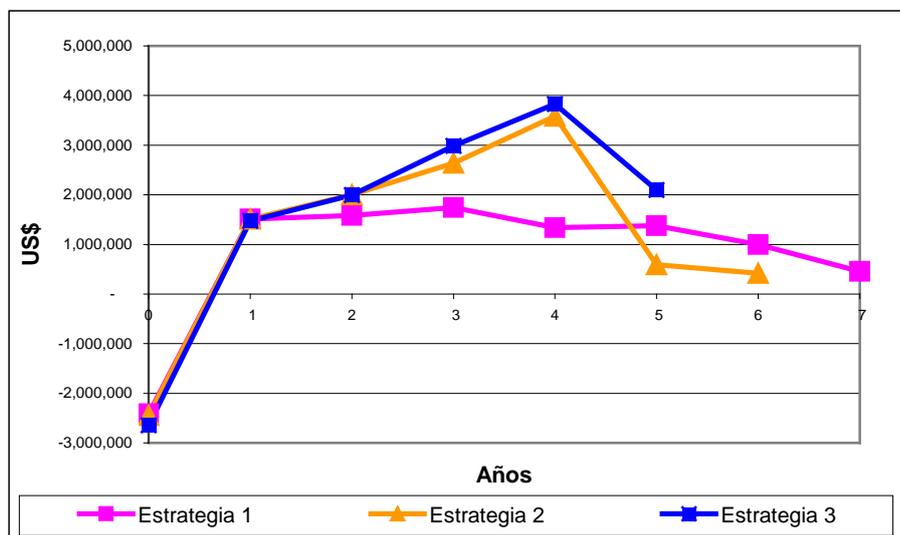
Variables de Incertidumbre	Bajo (1er. Decil)	Base (5to. Decil)	Alto (9no. Decil)	unidad de medida
Radio de Cubicación Inicial	81	90	94.5	TM/m
Recurso de Mineral Potencial	850,000	1,000,000	1,050,000	TM
Tasa de Crecimiento de Exploraciones	0.24	0.34	0.37	%
Costo Unitario de Labor Exploración y Desarrollo	187	220	242	US\$/m
Número de Años de Crecimiento de Exploraciones	2	3	4	años
Ley de Cabeza de Zinc	7.5	7.89	8.92	%
Ley de Zn en el Concentrado Zn	51.29	53.99	56.69	%
Tasa de Variación de la Ley de Cabeza de Plomo	-0.18	-0.25	-0.28	%
Ley de Cabeza de Plomo	0.81	0.9	0.95	%
Número de Años de Variación de la Ley de Mineral	1	2	3	años
Ley de Ag en el Concentrado Pb	124.2	138	144.9	%
Precio Inicial del Zinc	1,062	1,180	1,298	US\$/TM
Años de Crecimiento del Precio del Zinc	0	1	3	años
Precio del Zinc de Equilibrio (a Largo Plazo)	923	1,025	1,128	US\$/TM
Precio Inicial de la Plata	6.3	7	7.35	US\$/Oz
Años de Crecimiento del Precio de la Plata	0	1	3	años
Costo Unitario de Planta Concentradora	3.83	4.5	5.4	US\$/TM
Costo Unitario de Preparación	3.57	4.2	5.04	US\$/TM
Costo Unitario de Transporte	2.68	3.15	3.78	US\$/TM
Gasto Unitario de Comercialización y Ventas	2.13	2.5	3	US\$/TM

Elaboración Propia

4.3.- FLUJOS DE CAJA ASOCIADOS AL CASO BASE

A continuación se presentan los flujos de caja para cada una de las estrategias alternativas en el caso base (véase la Figura 11, página 74). Es decir el escenario correspondiente cuando las variables de incertidumbre consideradas toman el valor de la mediana.

Figura 11: Flujos de Caja de las Estrategias Alternativas en el caso base



Elaboración propia

El flujo de caja asociado al caso base de la Estrategia 1 “Sin Cambios” se muestra en la Figura 11. La inversión requerida por el Proyecto Pucarrajo es de US\$ 2’738,896 y de acuerdo a la estructura de financiamiento, el 88.1% constituye aporte de los accionistas, es decir US\$ 2’411,817. Por el lado de la producción, en el primer año se alcanza 216,250 TPA y en los siguientes años se mantiene en un promedio de 225,000 TPA debido al uso del método de explotación denominado Almacenamiento Provisional Semi-Mecanizado. De acuerdo a este ritmo de producción se estima que en el séptimo año se agota la reserva de mineral. El flujo neto del primer año asciende a US\$ 1’513,700 el cual aumenta hasta US\$ 1’746,125 en el tercer año, para luego disminuir paulatinamente, por la reducción de los precios del plomo, plata y zinc a largo plazo. El VAN de esta estrategia resultó US\$ 4’150,387.

En la Figura 11, también se muestra el flujo de caja asociado a la Estrategia 2 “Mejorado” en el caso base. La inversión total estimada asciende a US\$ 2’961,941, la cual es mayor a la correspondiente a la Estrategia 1 debido a un mayor nivel de exploración y desarrollo y nuevas inversiones en la planta concentradora, para la mejora en el grado de liberación de partículas que redunde en una mayor ley en el concentrado de zinc. De acuerdo a la estructura de financiamiento elegida, el 82.6% es asumida por los accionistas, es decir, US\$ 2’445,921. Mediante el uso del método de explotación Almacenamiento Provisional Mecanizado, se espera lograr en el primer año una producción de 216,250 TPA, la cual se incrementará hasta el año cuarto año llegando a 376,588 TPA. El flujo neto para el primer año es de US\$ 1’511,213 el cual se incrementará hasta US\$ 3’581,628 en el cuarto año. Debido al mayor ritmo de producción con esta estrategia, se agota la reserva de mineral en el sexto año, en que la producción alcanza 142,188 TPA, lo que provoca a su vez, una caída en los flujos generados de US\$ 588,770 en el quinto año. Finalmente, se tiene un flujo positivo de US\$ 421,930 en el año 6, proveniente de la diferencia entre los ingresos generados por la liquidación de los activos del proyecto y los desembolsos vinculados al cierre de mina. El VAN de esta estrategia resultó US\$ 5’611,395.

Asimismo, el flujo de caja asociado a la Estrategia 3 “Agresivo” en el caso base, se muestra en la Figura 11. La inversión total requerida asciende a US\$ 3’908,932 y es mayor a la estimada para la Estrategia 1, porque esta considerando un nivel de exploración y desarrollo intensivo, adquisición de mayor equipamiento para la sección mina y la implementación del laboratorio metalúrgico. Esta inversión es financiada por los accionistas en un 67.7% de acuerdo a la estructura de financiamiento elegida para esta estrategia, es decir por un monto

de US\$ 2'644,591. Con esta estrategia, se utiliza el método de explotación Minado por Subniveles, alcanzándose una producción en el primer año de 216,250 TPA, la cual se incrementará a 390,279 TPA en el cuarto año, porque este método permite una producción masiva. El flujo neto generado en el primer año asciende a US\$ 1'473,058 y se incrementa a US\$ 3'828,151 en el cuarto año. Debido al mayor ritmo de explotación se estima que se agote la reserva en el quinto año. En dicho año, se espera una producción remanente de 99,753 TM, luego de lo cual se procederá a la liquidación del proyecto y al cierre de la mina. El VAN para esta estrategia resultó US\$ 6'505,071. A continuación, se presenta el flujo de caja asociado al caso base para la Estrategia 3 “Agresivo” (véase la Tabla IX):

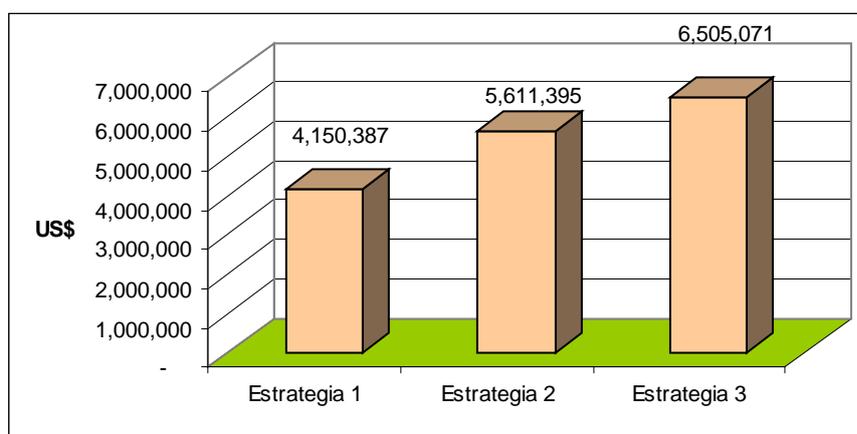
Tabla IX: Principales resultados económico-financieros de la Estrategia 3: “Agresivo” en el caso base

DESCRIPCION	Unidad	0	1	2	3	4	5
Producción Anual de Mina	T.M./Año		216,250	270,908	344,609	390,279	99,753
Ley de Mineral de Cabeza							
Ley de Cabeza de Plata	Ag Oz/TM		3.03	2.49	2.05	2.05	2.05
Ley de Cabeza Plomo	Pb %		0.90	0.67	0.50	0.50	0.50
Ley de Cabeza de Zinc	Zn %		7.89	8.13	8.38	8.38	8.38
Peso de Concentrados Neto							
Peso de Concentrado Pb	T.M.		2,822	2,350	1,862	2,109	539
Peso de Concentrado Zn	T.M.		29,053	37,681	49,592	56,164	14,355
Precio de Metales							
Precio de Plata	US\$/Oz		7.00	7.14	6.64	6.18	5.00
Precio de Plomo	US\$/TM		900.00	918.00	853.74	793.98	738.40
Precio de Zinc	US\$/TM		1,180.00	1,215.40	1,142.48	1,073.93	1,025.00
Venta de Concentrados							
Venta de Concentrados de Plomo	US\$		3,163,062	2,691,557	1,968,882	2,057,503	432,424
Venta de Concentrados de Zinc	US\$		9,717,781	13,002,194	16,031,318	17,005,079	4,136,466
Total Ingresos por Venta de Concentrados			12,880,844	15,693,752	18,000,200	19,062,582	4,568,890
Costo de Operación Total	US\$		5,906,859	7,267,108	9,028,417	10,046,228	2,535,468
Utilidad Bruta	US\$		6,973,984	8,426,644	8,971,783	9,016,354	2,033,423
Gastos de Operación	US\$		1,440,860	2,068,218	2,828,139	3,034,268	2,245,853
Utilidad Operativa	US\$		5,533,125	6,358,426	6,143,644	5,982,087	-212,430
Participación de los Trabajadores	US\$		442,650	508,674	491,492	478,567	-
Participación del Directorio	US\$		331,987	381,506	368,619	358,925	-
Utilidad Antes de Impuestos	US\$		4,758,487	5,468,246	5,283,534	5,144,594	-212,430
Impuesto a la Renta	US\$		1,427,546	1,640,474	1,585,060	1,543,378	-
Utilidad Neta	US\$		3,330,941	3,827,772	3,698,474	3,601,216	-212,430
(+) Depreciaciones	US\$		194,518	226,650	309,531	324,724	345,786
(+) Amortizaciones Intangibles	US\$		489,717	948,298	1,441,085	1,517,846	1,596,683
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	US\$		4,015,176	5,002,719	5,449,090	5,443,786	1,730,039
Flujo de Inversiones							
Inversión en Activos + Explor. & Desarrollo	US\$	-3,327,760	-2,335,595	-2,444,358	-1,970,790	-2,018,194	-35,000
Variación de Capital de Trabajo	US\$	-581,172	-146,895	-198,070	-122,738	780,788	268,087
Liquidación							
Recuperación de Activo Fijo	US\$		-	-	-	-	640,501
Escudo Fiscal por Liquidación de Activos			-	-	-	-	768,601
Cierre de Mina	US\$		-	-	-	-	-1,000,000
FLUJO DE FINANCIAMIENTO NETO	US\$	1,264,341	-59,628	-364,444	-371,084	-378,229	-271,968
FLUJO DE CAJA FINANCIERO	US\$	-2,644,591	1,473,058	1,995,847	2,984,478	3,828,151	2,100,261
EVALUACIÓN FINANCIERA	VAN @10%	6,505,071					

Elaboración Propia

A continuación se presenta comparativamente el valor generado por cada una de las tres estrategias alternativas en el caso base (véase la Figura 12)

Figura 12: VAN de las Estrategias en el caso base



Elaboración Propia

El VAN de la Estrategia 3 “Agresivo” resultó US\$ 6’505,071, el cual es mayor al correspondiente a la Estrategia 2 “Mejorado” que arrojó un VAN de US\$ 5’611,395. Mientras que el VAN de la Estrategia 1 “Sin Cambios” en el caso base resultó US\$ 4’150,387. Si bien es cierto que la Estrategia 3 proporciona el mayor VAN, no necesariamente es la estrategia óptima, porque en esta parte del ciclo del Análisis de Decisiones, aún no se han identificado aquellas incertidumbres críticas, que podrían destruir valor para los accionistas. Mas aún, todavía no se han hecho explícitas las preferencias del decisor frente al riesgo, lo que será presentado en el Capítulo 5: Análisis Probabilístico.

4.4.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DETERMINÍSTICO DE LAS ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS E IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES CRITICAS

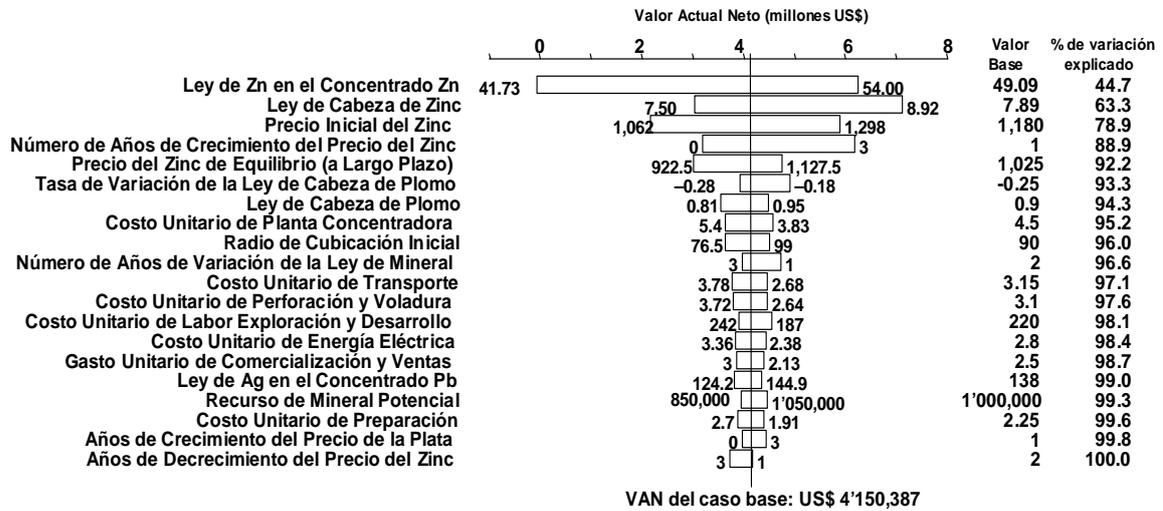
En esta sección se ha procedido a identificar las variables cruciales en la generación de incertidumbre, para cada una de las estrategias alternativas. Para ello, se utilizó el software *Sensitivity*®, para identificar las variables que impactan en mayor medida en el VAN del proyecto Pucarrajo.

Para la realización del análisis de sensibilidad determinístico se fijó cada una de las variables de incertidumbre en su valor base, para luego hacer que tomen diversos valores desde el valor bajo hasta el valor alto, de acuerdo a los rangos de incertidumbre definidos en la sección 4.2, lo que fue modificando el valor del VAN. Las variables críticas son aquellas que explican en mayor porcentaje la variabilidad total registrada en el VAN del proyecto.

De esta manera se logró un ordenamiento objetivo de las variables de incertidumbre que afectan a cada una de las estrategia alternativas a partir de la variabilidad que dichas variables aportan a la incertidumbre total en el VAN.

Para la Estrategia 1 “Sin cambios”, las variables de mayor impacto en el VAN son: la ley de zinc en el concentrado de zinc, ley de cabeza del zinc, el precio inicial del zinc y el número de años de crecimiento del precio del zinc, las que en conjunto explican el 88.9% de la variabilidad total del VAN (véase la Figura 13, página 79):

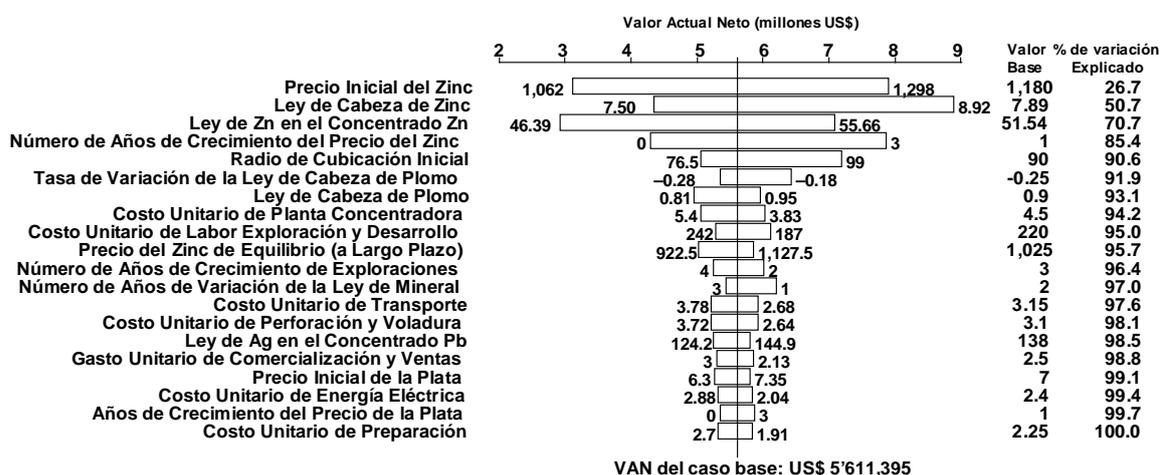
Figura 13: Diagrama de Tornado para la Estrategia 1: “Sin Cambios”



Nótese que en primer lugar, la ley de zinc en el concentrado de zinc explica el 44.7% de la incertidumbre total en el VAN, seguida de la ley de cabeza del zinc con un 18.6%. Le siguen el precio inicial del zinc con 15.6% y el número de años de crecimiento del precio del zinc con un 9.9%. En vista de que son las variables más importantes para explicar la variabilidad total en el VAN de la estrategia 1, han sido consideradas como variables críticas y han servido de base para la elaboración del modelo probabilístico (véase el Capítulo 5).

Por otro lado, los resultados obtenidos para la Estrategia 2 “Mejorado” se muestran en la Figura 14 (véase la página 80). Se identificó para esta alternativa que las variables críticas que influyen de manera significativa en la variabilidad total del VAN generado son: el precio inicial del zinc, la ley de cabeza del zinc, la ley de zinc en el concentrado de zinc, y el número de años de crecimiento del precio del zinc, las que explican en conjunto el 85.4% de la variación total del VAN.

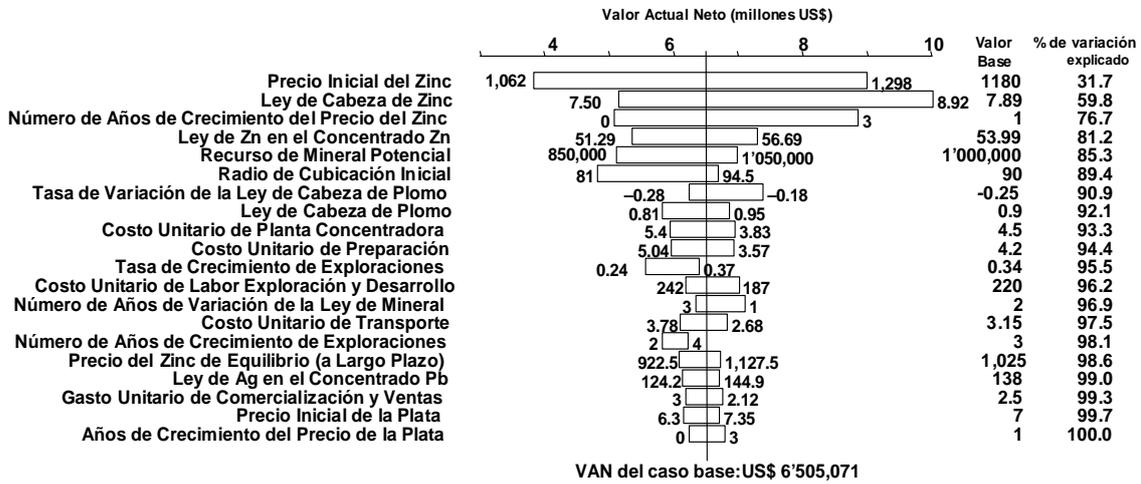
Figura 14: Diagrama de Tornado para la Estrategia 2: “Mejorado”



Obsérvese que el precio inicial del zinc explica el 26.7% de la incertidumbre total en el VAN, seguida de la ley de cabeza del zinc con un 24.0%. A continuación, se tiene la ley del zinc en el concentrado de zinc con 20.1% y luego el número de años de crecimiento del precio del zinc con 14.7%. En vista de que son las variables más importantes para explicar la variabilidad total en el VAN de la estrategia 2, constituyen las variables críticas a considerarse en la elaboración del modelo probabilístico (véase el Capítulo 5).

Para la Estrategia 3 “Agresivo” se determinó que las variables que impactan en mayor medida en la variabilidad total del VAN son: el precio inicial del zinc, la ley de cabeza del zinc, el número de años de crecimiento del precio del zinc y la ley de zinc en el concentrado de zinc, las que en conjunto explican el 81.2% de la variación total. (véase la Figura 15, página 81)

Figura 15: Diagrama de Tornado para la Estrategia 3: “Agresivo”



Se observa que el precio inicial del zinc explica el 31.7% de la incertidumbre total en el VAN, seguida de la ley de cabeza del zinc con un 28.1%. Le siguen, el número de años de crecimiento del precio del zinc con 16.9% y la ley del zinc en el concentrado de zinc con 4.4%. Debido a que son las variables más importantes para explicar la variabilidad total en el VAN de la estrategia 3, han sido consideradas como variables críticas y se utilizaron en el modelo probabilístico (véase el Capítulo 5).

4.5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DETERMINÍSTICO

Después de haber realizado la evaluación del modelo estructural se determinó el VAN que genera cada estrategia en el caso base como sigue: la Estrategia 3 “Agresivo” genera un valor de US\$ 6’505,071; la Estrategia 2 “Mejorado” tiene un VAN de US\$ 5’611,395 y la Estrategia 1 “Sin Cambios” un VAN de US\$ 4’150,387. Sin embargo, hay que resaltar que en esta parte del ciclo del Análisis de Decisiones, aún no se han hecho explícitas las incertidumbres críticas asociadas a cada estrategia alternativa, lo que ha sido materia de estudio del análisis probabilístico (véase el Capítulo 5).

Las variables de incertidumbres críticas identificadas en las estrategias alternativas son: el precio inicial del zinc, el número de años de crecimiento del precio del zinc, la ley de cabeza del zinc y la ley de zinc en el concentrado de zinc.

En la Tabla X (véase la página 83), se presenta el porcentaje que la variabilidad que cada variable de incertidumbre permite explicar de la variabilidad total del VAN del proyecto.

Para la Estrategia 1 “Sin Cambios”, resulta crítica la variable *ley de zinc en el concentrado de zinc* porque explica el 44.7% de la incertidumbre total en el VAN, seguida por la *ley de cabeza del zinc* que explica un 18.6%. Luego le siguen en importancia el *precio inicial del zinc* con 15.6% y el *número de años de crecimiento del precio del zinc* con un 9.9%.

Tabla X: Porcentaje de Variabilidad que cada variable de incertidumbre explica de la Variabilidad Total

Estrategia Alternativa	Incertidumbre explicada en %			
	ley de Zinc en el concentrado de zinc	ley de cabeza del zinc	precio Inicial del Zinc	número de años de crecimiento del precio del zinc
1. "Sin Cambios"	44.7	18.6	15.6	9.9
2. "Mejorado"	20.1	24.0	26.7	14.7
3. "Agresivo"	4.4	28.1	31.7	16.9

Elaboración Propia

En cuanto a la Estrategia 2 “Mejorado”, resultó crítica el *precio inicial del zinc* porque explica el 26.7% de incertidumbre, seguido por la *ley de cabeza del zinc* con un 24.0%. Otras variables cruciales son la *ley de zinc en el concentrado de zinc* con un 20.1% y el *número de años de crecimiento del precio del zinc* con un 14.7%.

Finalmente, en la Estrategia 3 “Agresivo” influye de manera decisiva el *precio inicial del zinc* con un 31.7% y la *ley de cabeza del zinc* que explica un 28.1% de la variabilidad total respectivamente. Le siguen, el *número de años de crecimiento del precio del zinc* con 16.9% y por la *ley de zinc en el concentrado de zinc* con un 4.4%.

CAPITULO 5

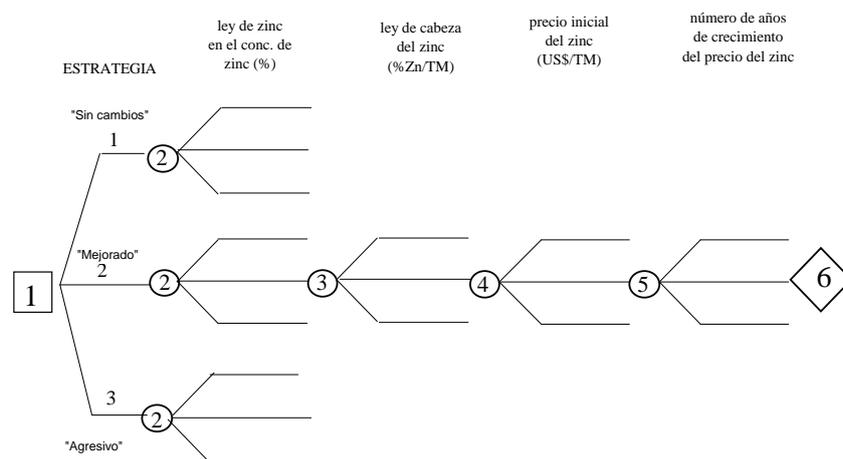
ANÁLISIS PROBABILÍSTICO

El objetivo de este capítulo es incorporar la incertidumbre de manera explícita, proveniente de las variables críticas identificadas con el análisis determinístico visto en el Capítulo 4 y que han servido de base para la elaboración del modelo probabilístico del Proyecto Pucarrajo.

Dicho modelo interrelacionó las estrategias alternativas, así como las variables cruciales en un árbol de decisiones, utilizando el modelo estructural para cuantificar el VAN de cada estrategia alternativa. Con ayuda del software *Supertree*®, se establecieron los perfiles de riesgo / rentabilidad de las estrategias alternativas con el fin de identificar la estrategia óptima. De otro lado, se realizó el análisis de sensibilidad probabilístico, con el fin de conocer si la estrategia elegida cambiaba ante modificaciones en las probabilidades asignadas a las variables. Además se analizaron los perfiles de riesgo condicionales referidos a la estrategia óptima, para conocer qué importancia tiene el valor de una de las variables críticas cuando varían las otras probabilísticamente. Finalmente, se resumen los resultados alcanzados y se muestran las conclusiones del análisis probabilístico.

La asignación de probabilidades sigue un criterio subjetivo y no frecuentista y se basa en el estado de información del que dispone el decisor y/o sus expertos en un momento dado. Dicha asignación, ha permitido incorporar los riesgos asociados a las alternativas estratégicas propuestas a través de un árbol de decisiones, donde se especifican las incertidumbres generadoras de riesgo. Para evaluar cada nodo final (i.e. cada escenario) se usa el modelo estructural. El árbol de decisiones esquemático³⁷ se aprecia en la Figura 16.

Figura 16: Árbol de decisiones esquemático del Proyecto Pucarrajo



Elaboración Propia

Al inicio del árbol, se observa el nodo de decisión, representado por un cuadrado, e indica qué alternativa puede elegir el decisor: sea la Estrategia 1 “Sin Cambios”, la Estrategia 2 “Mejorado” o la Estrategia 3 “Agresivo”. Los factores de incertidumbre se representan

³⁷ El Modelo Probabilístico del Proyecto Pucarrajo, se compone del árbol de decisiones y del modelo estructural y permite modelar la toma de decisiones estratégicas (representado por el nodo de decisión) en un entorno de incertidumbre (representado por las distribuciones de probabilidades discretas de las variables cruciales que podrían destruir valor si se sigue un determinado curso de acción); explicitando los escenarios que enfrenta el decisor (81 escenarios por cada curso de acción alternativo). La diferencia del árbol de decisiones con el Diagrama de Influencias, es que el primero vincula la decisión y las variables de incertidumbre cruciales, mientras que el segundo, vincula todas las variables de decisión e incertidumbre relevantes para la toma de decisiones, dado el estado de conocimiento de los expertos. Más detalles en Salinas (1992).

mediante círculos y corresponden a las variables: ley de zinc en el concentrado de zinc, ley de cabeza del zinc, precio inicial del zinc y número de años de crecimiento del precio del zinc. Además se observa el nodo final, representado por un rombo y es allí donde se utiliza el modelo estructural, para evaluar cada escenario posible. Nótese que la variable ley de zinc en el concentrado de zinc depende de la estrategia elegida mientras que el resto de variables de incertidumbre es independiente de la estrategia a elegir, por lo tanto pueden colocarse en cualquier orden.

La combinación de los cuatro factores claves, generaron ochenta y un escenarios, cubriendo el rango de posibilidades futuras para cada estrategia evaluada.

5.1.- VALORACION DE PROBABILIDADES EN LAS INCERTIDUMBRES CLAVES

En esta sección se asignarán las probabilidades a cada una de las variables cruciales que forman parte del modelo probabilístico, Se utilizó para este propósito, el método de la *rueda de probabilidades*, para asignar probabilidades de ocurrencia a las variables aleatorias, a fin de obtener una distribución de probabilidades acumulada y continua para cada variable a través de entrevistas a los expertos. Luego, se hizo una aproximación discreta a dicha distribución de probabilidades.

Evaluar las incertidumbres juega un papel muy importante en el Análisis de Decisiones, porque evalúa las opiniones informadas de los expertos, cuantificando su juicio personal acerca de cantidades inciertas. Además, proporciona un medio claro de comunicación con respecto a la incertidumbre.

Si bien los expertos, son especialistas en diferentes áreas de la organización, no necesariamente les será fácil expresar su conocimiento en términos de probabilidades. Mas aún, existen una serie de sesgos que pueden dificultar la obtención de resultados confiables. Estos sesgos se refieren a la discrepancias entre las respuestas del experto y la descripción exacta de su conocimiento. Los sesgos pueden ser *motivacionales* o *cognoscitivos*.

El primer caso, se refiere a los ajustes conscientes o inconscientes, que el entrevistado introduce sistemáticamente en sus respuestas, dada su percepción del sistema de recompensas/castigos vigente. En el segundo caso, los ajustes conscientes o inconscientes, se deben a cómo se procesan intelectualmente dichas percepciones, debido al uso de métodos no rigurosos o heurísticos. Existen cuatro reglas heurísticas para asignar probabilidades a los eventos, que pueden ocasionar sesgos cognoscitivos: disponibilidad, representatividad, fijaciones y ajustes, así como dependencias implícitas³⁸.

Debido a la introducción de los sesgos mencionados, el proceso de la entrevista debe ser adecuadamente conducido por el analista, utilizando técnicas de evaluación que permitan neutralizarlos. Este proceso sigue cinco fases: motivación, estructuración, condicionamiento, evaluación y verificación. Cada fase incorpora remedios para los sesgos más comunes.

A continuación, se explicará de manera sucinta, la fase de evaluación o asignación de probabilidades³⁹. En primer lugar, se establece con ayuda del experto, un valor mínimo y un

³⁸ Una explicación más amplia de lo señalado, se pueden encontrar en Salinas (1992, capítulo VII).

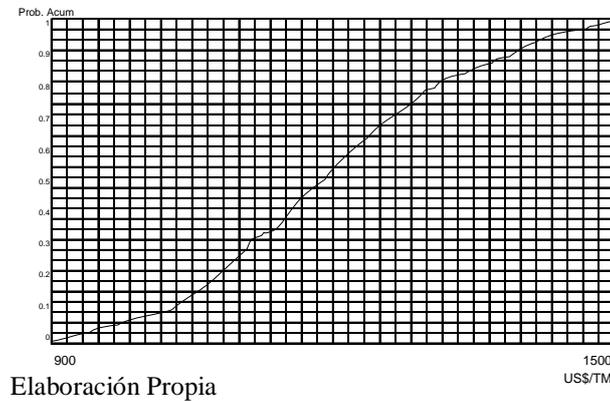
³⁹ Más detalles en Salinas (ibíd.)

valor máximo que puede tomar una variable de incertidumbre, en un rango lo suficientemente amplio para evitar los sesgos centrales.

Luego, se utiliza la *rueda de probabilidades*, el cual es un instrumento que consiste en un disco con un puntero y dos sectores, uno azul y el otro naranja, cuyos tamaños relativos pueden ajustarse. Para usarla, el analista selecciona un valor de la variable en consideración y le pregunta al experto: ¿prefiere apostar que el valor de la variable será menor que el seleccionado, o que, cuando gire esta rueda, el puntero terminará en la región naranja?. A continuación, los tamaños relativos de las regiones azul y naranja son ajustados y se vuelve a repetir la pregunta, hasta que la opinión del experto es indiferente ante una composición de sectores establecida. Es decir, el analista encuentra el punto donde el experto piensa que es igual la probabilidad de los dos eventos: que el valor de la variable sea menor al seleccionado y que el puntero termine en el sector naranja.

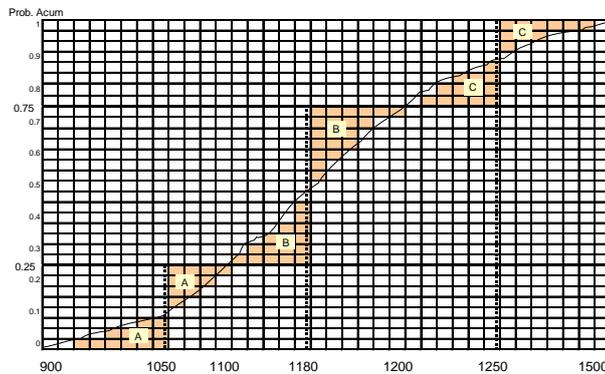
En la parte posterior de la rueda existe una escala que mide la probabilidad de que el puntero caiga en la región naranja. Seguidamente, el valor de la variable y la probabilidad obtenida se grafica en un diagrama de dispersión. Este proceso de evaluación se repite, para diferentes valores de la variable, con lo cual se obtiene un conjunto de puntos que pueden ser conectados por una curva continua y refleja la distribución de probabilidades acumulada de la variable en estudio. A continuación se presenta dicha distribución para el *precio inicial del zinc* (véase la Figura 17, página 89).

Figura 17: Distribución de probabilidades acumulada del precio inicial del zinc luego del proceso de evaluación



La distribución de la variable obtenida es continua, sin embargo, para el modelo probabilístico es necesario hacer una aproximación discreta a esta distribución acumulada, estableciéndose en la misma, un número de rangos mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos (que no se superpongan y cubran todos los valores posibles de la variable). Luego, se escoge un valor que represente cada rango establecido (i.e. la media). Este procedimiento permite transformar una variable continua en una discreta. Esto se ilustra en la Figura 18.

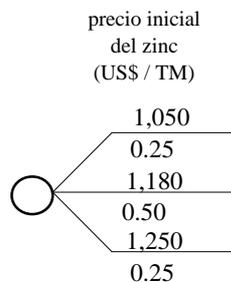
Figura 18: Aproximación de una distribución discreta a una distribución continua



Como se aprecia en la Figura 18, se ha dividido el rango de la variable en tres partes: el primer rango que va desde menos infinito hasta US\$/TM 1,100 con probabilidad de 0.25, el segundo rango que va desde US\$/TM 1,100 hasta US\$/TM 1,200 con probabilidad de 0.50 y el tercer rango que va desde US\$/TM 1,200 a infinito. Luego, se traza una línea vertical en un punto del primer rango, de tal manera que el área a la izquierda y a la derecha de la línea vertical sean iguales. Nótese que dicho punto es el valor US\$/TM 1,050 y divide el primer rango en dos áreas sombreadas iguales, denotadas como “A” en la Figura 18. Esta es una manera visual de encontrar el valor esperado de dicho rango de valores. De la misma forma, se obtienen los valores esperados US\$/TM 1,180 y US\$/TM 1,250 para el segundo y tercer rango, respectivamente. Esto permite la aproximación de la distribución continua a una discreta en forma de árbol, la cual se representa en la Figura 19.

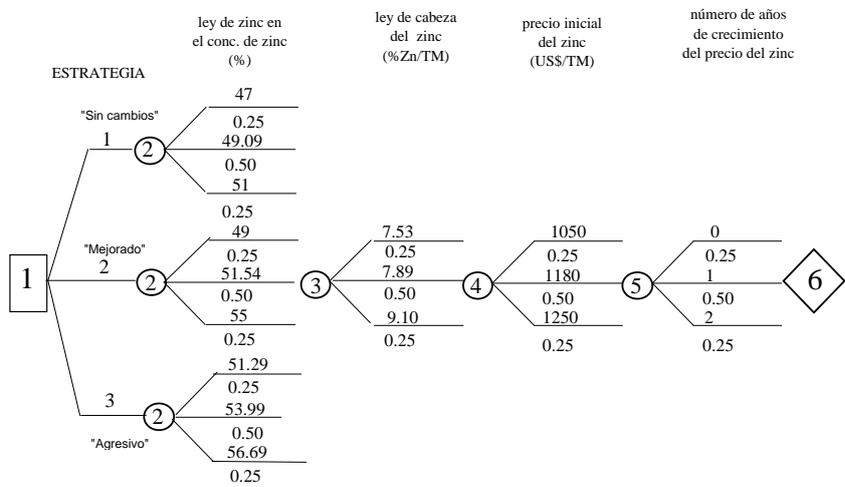
Figura 19: Nodo de Incertidumbre con distribución de probabilidad discreta para la variable

precio inicial del zinc



Se aprecia que el precio inicial del zinc, puede tomar tres valores posibles US\$/TM 1,050; US\$/TM 1,180 y US\$/TM 1,250 con probabilidades de ocurrencia de 0.25, 0.50 y 0.25 respectivamente. De forma análoga se trabaja el resto de incertidumbres cruciales, obteniéndose el modelo probabilístico para el Proyecto Pucarrajo. (véase la Figura 20, página 91).

Figura 20: Modelo probabilístico para el Proyecto Pucarrajo



Elaboración Propia

La primera variable del modelo probabilístico es la *ley del zinc en el concentrado de zinc*, la cual puede tomar para la Estrategia 1 “Sin Cambios”, los valores 47%, 49.09% y 51%. Para el caso de la Estrategia 2 “Mejorado”, dicha variable puede tomar los valores 49%, 51.54% y 55%. Asimismo, con la Estrategia 3 “Agresivo”, esta variable puede tomar los valores 51.29%, 53.99% y 56.69%. Los valores bajos, medios y altos considerados tienen una probabilidad de ocurrencia de 0.25, 0.50 y 0.25 respectivamente. Además, hay que señalar que la ley del zinc en el concentrado de zinc depende de la estrategia elegida.

La segunda variable *ley de cabeza del zinc*, puede tomar un valor bajo de 7.53 %Zn/TM, un valor medio de 7.89 %Zn/TM y un valor alto de 9.10 %Zn/TM con probabilidades de ocurrencia de 0.25, 0.50 y 0.25 respectivamente. Esto es válido para las tres estrategias alternativas, dado que la ley de cabeza del zinc es independiente de la estrategia que se elija, en vista de que la naturaleza del yacimiento es la misma para las tres estrategias.

La tercera variable *precio inicial del zinc*, está referida al precio del zinc para el primer año del proyecto y puede tomar un valor bajo de US\$/TM 1,050; un valor medio de US\$/TM 1,180 y un valor alto de US\$ 1,250 con probabilidades de ocurrencia de 0.25, 0.50 y 0.25 respectivamente. Esta variable también es independiente de la estrategia elegida, porque está dada por el mercado de metales.

La cuarta variable *número de años de crecimiento del precio del zinc*, puede tomar los valores 0, 1 y 2. Cuando esta variable toma el valor “0”, significa que el precio del zinc es de US\$/TM 1,180 en el primer año. Si la variable toma el valor “1”, dicho precio se incrementa a US\$/TM 1,215.4 en el segundo año. Y si la variable toma el valor de “2”, el precio del zinc se incrementa en los dos años subsiguientes alcanzando US\$/TM 1,215.4 en el segundo año y US\$/TM 1,251.86 en el tercer año. Lo señalado es válido para las tres estrategias porque esta variable es independiente de la estrategia elegida.

En vista de que los *inputs* del modelo probabilístico son inciertos, la rentabilidad obtenida también será incierta y tomará la forma de una distribución de probabilidades. Además, debido a la gran cantidad de cálculos que hay que realizar para la resolución del árbol de decisiones, fue necesario el apoyo del software *Supertree*®, a fin de identificar aquella alternativa estratégica más recomendable.

5.2.- SOLUCION DEL ARBOL DE DECISIONES DEL PROYECTO PUCARRAJO

Una vez establecido el modelo probabilístico, se procedió a resolver el árbol de decisiones evaluando cada escenario (nodo final) utilizando el modelo estructural en *Excel*®. Se evaluaron cada uno de los ochenta y un escenarios de cada estrategia utilizando el software *Supertree*®, lo que permitió determinar el VAN generado por cada una de ellas. Este análisis determinó que la Estrategia 3 “Agresivo” genera el mayor VAN esperado con US\$ 6’745,500 (véase la Figura 21).

Figura 21: VAN esperado de las tres alternativas estrategias para el Proyecto Pucarrajo

Estrategia	ANALISIS PROBABILISTICO	ANALISIS DETERMINISTICO
1	\$ 4'398,946	\$ 4'150,387
2	\$ 5'791,290	\$ 5'611,395
>3	\$ 6'745,500	\$ 6'505,071

Elaboración Propia

En la Figura 21, también se muestran los resultados del análisis determinístico para el VAN del caso base de cada estrategia, es decir para un escenario en el cual el valor de las variables de incertidumbre es su respectiva mediana. Hay que indicar que dicho análisis no incluyó la incertidumbre de las variables críticas, ni las preferencias del decisor para discernir entre estrategias alternativas que involucran riesgo.

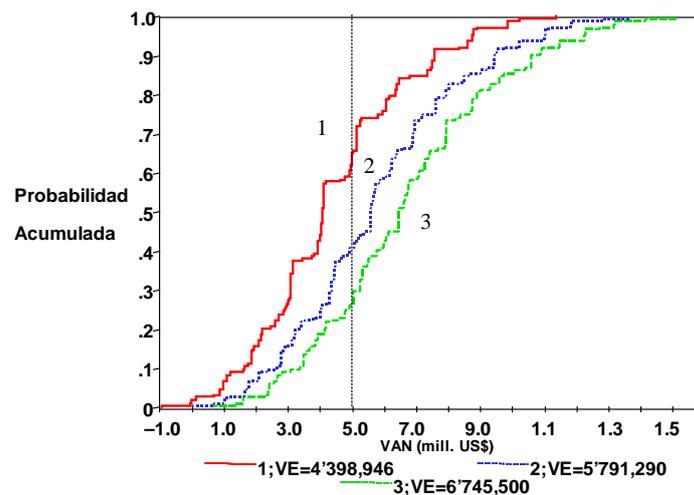
En cambio, con el análisis probabilístico se obtiene el VAN esperado a partir de la evaluación de ochenta y un escenarios posibles, para cada estrategia alternativa, una vez que se hicieron explícitas las incertidumbres cruciales. Además, dado que el decisor es neutral al riesgo, se

puede utilizar el criterio del valor esperado eligiendo aquella estrategia con un mayor VAN. Para el Proyecto Pucarrajo, la Estrategia 3 “Agresivo”, proporciona el mayor VAN esperado con US\$ 6’745,500.

5.3.- PERFILES DE RIESGO / RENTABILIDAD DE CADA ESTRATEGIA

Para lograr mayores entendimientos acerca de la estrategia óptima, se construyeron los *perfiles riesgo / rentabilidad* mediante la distribución acumulada del VAN obtenida a través del análisis probabilístico, con el fin de ayudar al decisor a elegir la estrategia óptima. Ello, en vista de que no es suficiente hallar el VAN esperado de cada estrategia, sino mas bien, el perfil completo de riesgo / rentabilidad para cada estrategia alternativa con ayuda del software *Supertree*®, como se observa en la figura 22.

Figura 22: Perfiles de riesgo / rentabilidad para cada estrategia



En la Figura 22, se aprecia que la Estrategia 3 *domina estocásticamente*⁴⁰ a las estrategias 1 y 2, porque hay una mayor probabilidad de generar un mayor VAN en exceso con la Estrategia 3 que con las otras estrategias alternativas. Por ejemplo, cuando el VAN es igual a US\$ 5 millones, la probabilidad de generar un valor en exceso con la Estrategia 1 es 0.40, mientras que con la Estrategia 2 es 0.60. En cambio con la Estrategia 3 la probabilidad de generar un valor en exceso es 0.70. De la misma forma, se analiza para diversos valores del VAN en el eje horizontal, comparando cada estrategia considerada.

A pesar de la dominación estocástica de la Estrategia 3, respecto a las Estrategias 1 o 2, no se garantiza que la Estrategia 3 sea mejor para cada caso posible. Puede existir un escenario particular, con una combinación específica de valores de las variables de incertidumbre, de tal forma que el VAN de la Estrategia 3 sea menor al VAN de la Estrategia 1 o 2. Sin embargo, se puede afirmar que en general la Estrategia 3 “Agresivo” es mejor para el proyecto.

Dado que existe una estrategia dominante, será suficiente considerar el criterio de neutralidad del decisor frente al riesgo, para identificar la mejor estrategia y no será necesario investigar las preferencias del decisor con respecto al riesgo, porque éste, eliminará racionalmente las estrategias dominadas.

⁴⁰ Mayores detalles en José SALINAS “Cuantificación e Interpretación de los Perfiles de Rentabilidad/Riesgo de los Negocios” En: Punto de Equilibrio. Julio-Agosto 1999, Lima: Universidad del Pacífico.

5.4.- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILÍSTICO PARA CADA VARIABLE CRITICA

Este análisis ha permitido averiguar la dependencia de la decisión con respecto a las probabilidades asignadas a las variables cruciales, utilizadas en el modelo probabilístico.

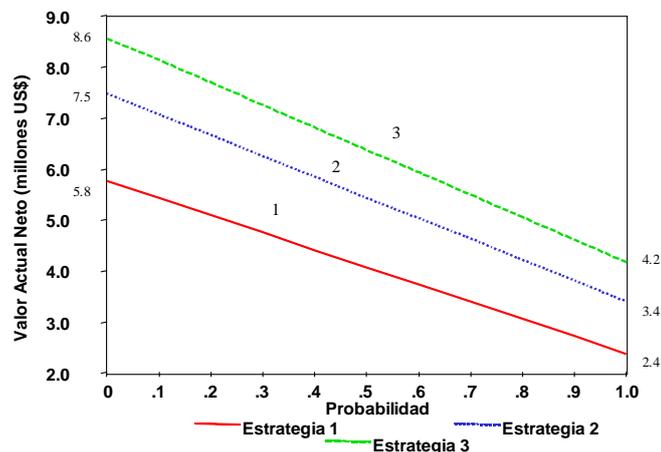
Como se indicó anteriormente, las probabilidades asignadas a las variables críticas para sus valores bajo, medio y alto son 0.25, 0.5 y 0.25 respectivamente. Para modificar estas probabilidades y conocer cómo varía el VAN ante los cambios en dichas probabilidades asignadas, se realizó el análisis de sensibilidad probabilístico, mediante el software *Supertree*®. Este software asignó al valor bajo una probabilidad de “x” (que puede tomar valores desde 0 hasta 1). Por lo tanto, la probabilidad de alcanzar el valor alto será de “1-x” (que toma valores desde 1 hasta 0). Hay que indicar, que al valor medio se le ha asignó una probabilidad de ocurrencia de cero.

Esto significa, que este software realiza el análisis para los valores extremos que puede tomar la variable crítica sin considerar el valor medio. Los resultados de este análisis se muestran a continuación.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILÍSTICO RESPECTO AL PRECIO INICIAL DEL ZINC

En la Figura 23, se representa en el eje horizontal, la probabilidad de que el *precio inicial del zinc* alcance su valor bajo, variando dicha probabilidad desde cero hasta uno. En el eje vertical, se grafica el VAN esperado del proyecto, para las tres estrategias alternativas.

Figura 23: Análisis de sensibilidad probabilístico respecto al precio inicial del zinc



Si la probabilidad de que el precio del zinc alcance su valor bajo es cero, entonces la probabilidad de que el precio del zinc alcance su valor alto es uno. Por este motivo, el VAN generado por las tres alternativas alcanzan su máximo valor: US\$ 8'559,659 para la Estrategia 3, US\$ 7'472,530 para la Estrategia 2 y US\$ 5'762,999 para la Estrategia 1.

De otra manera, si la probabilidad de que dicha variable alcance el valor bajo es uno, entonces la probabilidad de alcanzar el valor alto es cero. Por ello, el VAN esperado de las tres

estrategias alternativas alcanzan su valor mínimo: US\$ 4'169,596 para la Estrategia 3, US\$ 3'400,246 para la Estrategia 2 y US\$ 2'377,666 para la Estrategia 1.

Se observa que la Estrategia 3 “Agresivo” genera un mayor VAN para cualquier probabilidad asignada a que el precio del zinc alcance su valor mínimo, sea que ésta varíe desde cero hasta uno. Por lo tanto, el análisis de sensibilidad probabilístico de esta variable, ha confirmado que la Estrategia 3, sigue siendo la preferida.

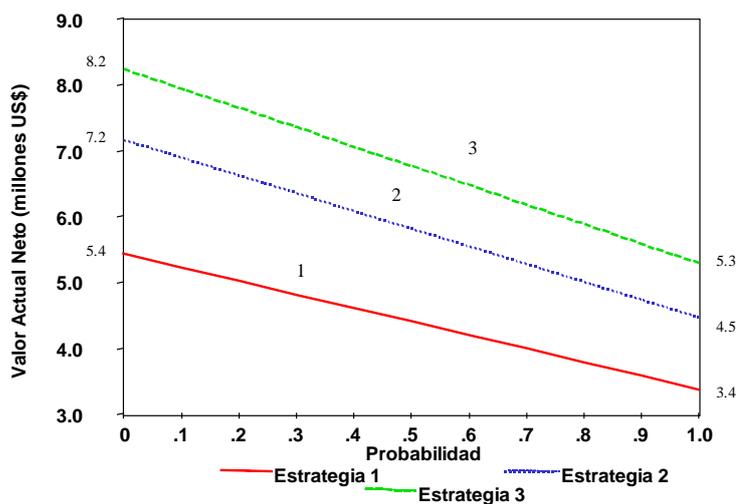
Nótese además que el VAN de las tres estrategias siempre es positivo, para cualquier probabilidad asignada al valor bajo de la variable.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILÍSTICO RESPECTO AL NÚMERO DE AÑOS DE CRECIMIENTO DEL PRECIO DEL ZINC

La Figura 24 (véase la página 99), muestra en el eje horizontal, la probabilidad de que el número de años de crecimiento del precio del zinc alcance su valor bajo, variando dicha probabilidad desde cero a uno. En el eje vertical, se tiene el VAN esperado para las tres estrategias alternativas.

Si la probabilidad de que el precio del zinc no experimente incremento alguno es cero, esto significa que la probabilidad de que el precio del zinc crezca en los dos próximos años es uno. Por este motivo el VAN de las tres alternativas alcanzan su máximo valor: US\$ 8'233,173 para la Estrategia 3, US\$ 7'153,234 para la Estrategia 2 y US\$ 5'430,211 para la Estrategia 1.

Figura 24: Análisis de sensibilidad probabilístico respecto al número de años de crecimiento del precio del zinc



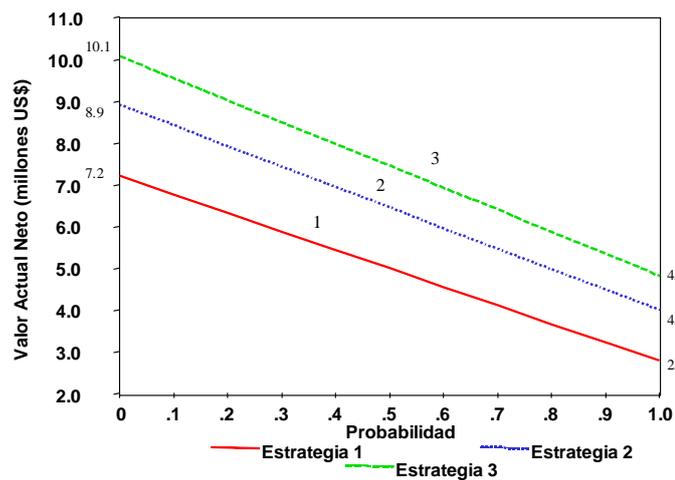
De otra manera, si la probabilidad de que el precio del zinc se incremente en los dos próximos años es cero, entonces la probabilidad de la variable no experimente crecimiento alguno es uno. Por ello, el VAN esperado de las tres estrategias alternativas alcanzan su valor mínimo: US\$ 5'292,456 para la Estrategia 3, US\$ 4'473,416 para la Estrategia 2 y US\$ 3'375,015 para la Estrategia 1.

Se observa que la Estrategia 3 “Agresivo” genera un mayor VAN para cualquier probabilidad asignada al valor bajo de dicha variable, modificando dicha probabilidad desde cero hasta uno. Por lo tanto, se confirma que la Estrategia 3, sigue siendo la estrategia preferida. Además, hay que indicar que para cualquier probabilidad asignada al valor bajo de la variable, el VAN siempre es positivo para las tres estrategias alternativas.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILÍSTICO RESPECTO A LA LEY DE CABEZA DEL ZINC

En la Figura 25, se representa en el eje horizontal, la probabilidad de que la ley de zinc tome su valor bajo, variando esta probabilidad de ocurrencia desde cero a uno. En el eje vertical se muestra el VAN esperado para las tres estrategias alternativas.

Figura 25: Análisis de sensibilidad probabilístico respecto a la ley de cabeza del zinc



Si la probabilidad de que la ley de cabeza del zinc alcance su valor bajo, esto significa que la probabilidad de que se alcance el valor alto es uno. Esto implica que el VAN generado por las tres alternativas alcanzan su máximo valor: US\$ 10'066,212 para la Estrategia 3, US\$ 8'906,474 para la Estrategia 2 y US\$ 7'205,471 para la Estrategia 1.

De la misma forma, si la probabilidad de que la ley de cabeza del zinc alcance su valor bajo es uno, entonces la probabilidad de que se alcance el valor alto es cero. Por ello, el VAN

esperado de las tres estrategias alternativas alcanzan su valor mínimo: US\$ 4'824,806 para la Estrategia 3, US\$ 3'999,032 para la Estrategia 2 y US\$ 2'785,011 para la Estrategia 1.

Se observa que la Estrategia 3 “Agresivo” genera un mayor valor para cualquier probabilidad asignada a que la ley de cabeza del zinc alcance su valor mínimo, sea que dicha probabilidad varíe desde cero hasta uno. Por lo tanto, la Estrategia 3, sigue siendo la estrategia preferida.

Se aprecia que el VAN generado por las tres estrategias es positivo, para cualquier probabilidad asignada al valor bajo de la variable analizada.

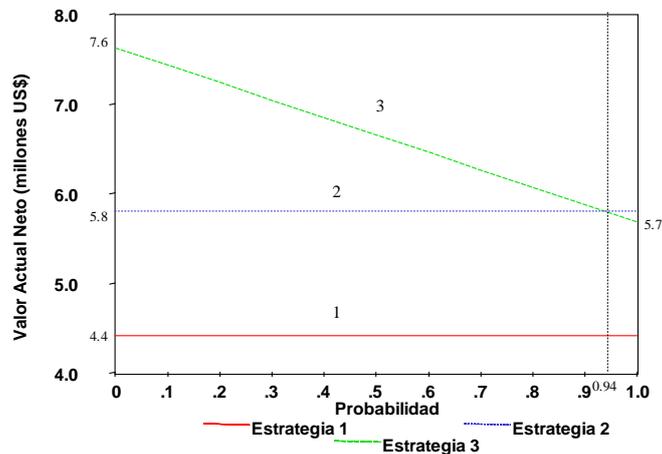
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROBABILÍSTICO RESPECTO A LA LEY DE ZINC EN EL CONCENTRADO DE ZINC

La Figura 26 (véase la página 102), muestra el VAN esperado del Proyecto Pucarrajo, en función de la probabilidad asignada al valor bajo que pueda tomar la ley de zinc en el concentrado de zinc para las estrategias alternativas consideradas. Se observa que la Estrategia 1 “Sin Cambios” proporciona un VAN esperado US\$ 4'398,946 y la Estrategia 2 “Mejorado” genera un VAN de US\$ 5'791,290. Estos últimos valores son constantes porque dicha variable depende de la estrategia a seguir y en esta sección se ha efectuado el análisis para la estrategia óptima.

Para el caso de la Estrategia 3 “Agresivo”, cuando la probabilidad de que la ley de zinc en el concentrado de zinc alcance su valor bajo sea cero, esto implica que la probabilidad de que

dicha variable tome el valor alto es uno. Por este motivo, la estrategia alcanza su máximo valor US\$ 7'623,825. Asimismo, si la probabilidad de que la ley del zinc en el concentrado de zinc alcance el valor bajo es uno, ello implica que la probabilidad de que dicha variable alcance el valor alto es cero, por esta razón el VAN generado por la Estrategia 3, alcanza el valor mínimo de US\$ 5'677,133.

Figura 26: Análisis de sensibilidad probabilístico respecto a la ley de zinc en el concentrado de zinc



Se observa una intersección de la línea que representa el VAN de la Estrategia 3 “Agresivo” y la Estrategia 2 “Mejorado”. Esto indica que para cierta probabilidad de que la ley de zinc en el concentrado de zinc alcance su valor bajo, las estrategias 1 y 2 proporcionan el mismo VAN esperado. Por lo tanto, es indiferente elegir una u otra estrategia.

Para demostrar analíticamente este nivel de probabilidad, se ha procedido de la siguiente manera: Para la Estrategia 3: “Agresivo”, se sabe que la suma de las probabilidades de que la ley de zinc en el concentrado de zinc tome los valores: 51.29%, 53.99% y 56.69% es uno, es decir:

$$P(\text{ley zinc} = 51.29\%) + P(\text{ley zinc} = 53.99\%) + P(\text{ley zinc} = 56.69\%) = 1$$

El software *Supertree*® definió las probabilidades de estos tres valores como:

$x + 0 + (1-x) = 1$, respectivamente; donde “x” es la probabilidad de que la variable *ley de zinc en el concentrado de zinc* tome su valor bajo. Entonces, se planteó la siguiente ecuación probabilística, para hallar el VAN esperado de la Estrategia 3 “Agresivo” en función de “x”:

$$VE(\text{Estrategia 3}) = (5'677,133).x + (7'623,825).(1-x)$$

$$VE(\text{Estrategia 3}) = 7'623,825 - 1'946,692.x \quad \dots (h)$$

Además, como el valor esperado de la Estrategia 2, es constante e igual a US\$ 5'791,290

$$\text{entonces: } VE(\text{Estrategia 2}) = 5'791,290 \quad \dots (i)$$

Entonces al igualar (h)=(i), se determinó la probabilidad para que la Estrategia 2 y 3 generen el mismo valor:

$$7'623,825 - 1'946,692.x = 5'791,290 \rightarrow 1'946,692.x = 1'834,025 \rightarrow x = 0.9414 \approx 0.94.$$

Esto significa que, cuando la probabilidad de que la ley de zinc en el concentrado de zinc alcance su valor mínimo sea menor a 0.94, la estrategia preferida es la Estrategia 3 “Agresivo”. Pero, cuando dicha probabilidad es mayor a 0.94, la estrategia preferida resulta ser la Estrategia 2 “Mejorado”. Es decir, cuando hay una alta probabilidad (mayor a 0.94) de que la ley en el concentrado de zinc sea baja, entonces conviene la Estrategia 2.

5.5.- PERFILES DE RIESGO CONDICIONALES A CADA VARIABLE CRITICA EN EL MODELO PROBABILÍSTICO PARA LA ESTRATEGIA OPTIMA

Los perfiles de riesgo condicionales, permiten conocer la variabilidad que introduce cada variable crítica en el VAN generado por la estrategia óptima, así como la probabilidad de destruir valor.

Este análisis se realizó colocando al inicio del árbol de decisiones, la variable crítica que se va analizar, haciendo que ésta varíe según sus valores y probabilidades asignadas. Luego, se evalúa nuevamente el árbol de decisiones con el resto de variables críticas involucradas variando en sus respectivas distribuciones de probabilidades. De esta manera, se obtuvo un VAN esperado para cada valor bajo, medio y alto de la variable crítica analizada. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

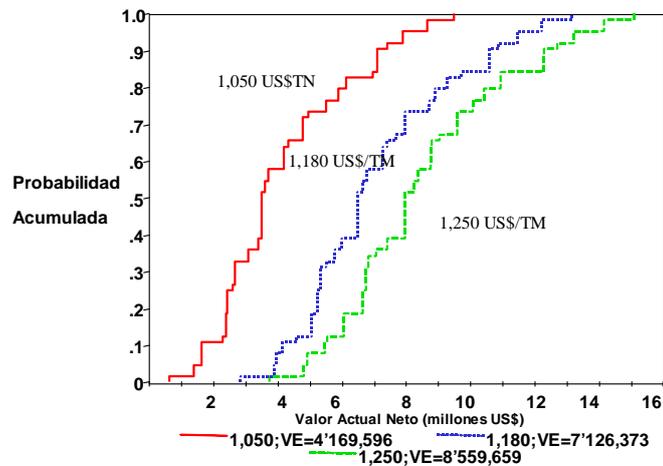
PERFIL DE RIESGO CONDICIONAL AL PRECIO INICIAL DEL ZINC

Se observa en la Figura 27 (véase la página 105), que el VAN esperado del Proyecto Pucarrajo condicionado al precio inicial del zinc, para la estrategia óptima, varía desde US\$ 4'169,596 hasta US\$ 8'559,659, lo que implica una variabilidad de US\$ 4'407,412.

Para el caso de la Estrategia 3 “Agresivo” identificada como la estrategia óptima, la probabilidad de destrozarse valor cuando el precio inicial del zinc es US\$/TM 1,050 es nula, porque el área de la distribución acumulada para un VAN negativo es igual a cero. De la

misma forma, si esta variable alcanza un valor de US\$/TM 1,180 o US\$/TM 1,250 la distribución acumulada para un VAN negativo también es cero. Por lo tanto, la estrategia óptima siempre generará un VAN esperado positivo.

Figura 27: Perfil de riesgo condicional al precio inicial del zinc

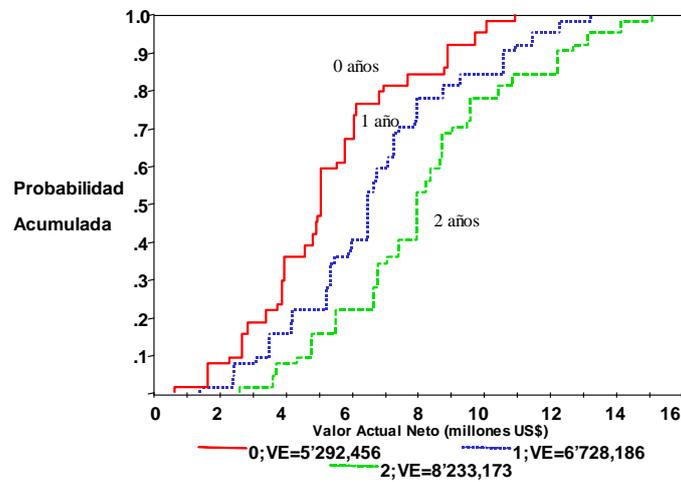


PERFIL DE RIESGO CONDICIONAL AL NÚMERO DE AÑOS DE CRECIMIENTO DEL PRECIO DEL ZINC

La Figura 28 (véase la página 106) muestra que el VAN esperado de la estrategia óptima condicionado al número de años de crecimiento del precio del zinc, varía desde US\$ 5'292,456 hasta US\$ 8'233,173 presentando una variabilidad de US\$ 2'940,717.

Cuando la variable *número de años de crecimiento del precio del zinc* es cero, la probabilidad de destrozar valor es nula. Por lo tanto, aún cuando el precio del zinc no presente incremento alguno en los próximos años, la probabilidad de que el Proyecto Pucarrajo genere un VAN negativo es cero.

Figura 28: Perfil de riesgo condicional al número de años de crecimiento del precio del zinc



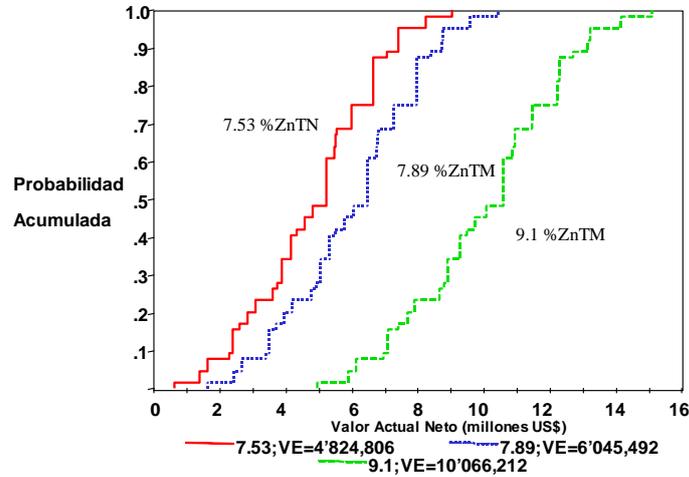
Si el precio del zinc se incrementa en un año o en dos años consecutivos, también la probabilidad de destrozar valor es nula.

PERFIL DE RIESGO CONDICIONAL A LA LEY DE CABEZA DEL ZINC

Se observa en la Figura 29 (véase la página 107) que el VAN esperado que proporciona la estrategia óptima, condicionado a la ley de cabeza del zinc, varía desde US\$ 4'824,806 hasta US\$ 10'066,212 presentando una variabilidad de US\$ 5'241,406.

Por otra parte, cuando la ley de cabeza del zinc alcanza el valor de 7.53 %Zn/TM, la probabilidad de que la estrategia óptima destruya valor es de cero. Asimismo, cuando dicha variable toma el valor de 7.89 o 9.1 %Zn/TM, la probabilidad de destrozar valor también es nula. Esto indica que el VAN generado por la estrategia óptima siempre será positivo.

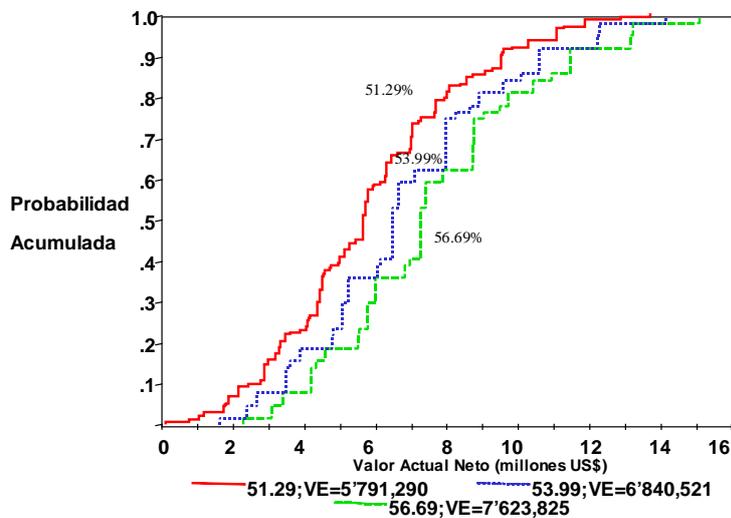
Figura 29: Perfil de riesgo condicional a la ley de cabeza del zinc



PERFIL DE RIESGO CONDICIONAL A LA LEY DE ZINC EN EL CONCENTRADO DE ZINC

Se observa en la Figura 30 que el VAN generado por la estrategia óptima, condicionado a la ley de zinc en el concentrado de zinc, varía desde US\$ 5'791,290 hasta US\$ 7'623,825 presentando una variabilidad de US\$ 1'832,535.

Figura 30: Perfil de riesgo condicional al valor de la ley de zinc en el concentrado de zinc



Además, la probabilidad de destrozar cuando la ley de zinc en el concentrado de zinc es de 51.29% es de cero. De la misma forma, si dicha variable toma valores de 53.99% o 56.69%, la probabilidad de que la estrategia óptima destruya valor es nula.

5.6.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO

Con la realización del análisis probabilístico, se ha identificado la Estrategia 3 “Agresivo” como la estrategia óptima a seguir, para maximizar la probabilidad de éxito del Proyecto Pucarrajo, porque proporciona el mayor VAN esperado: US\$ 6'745,500. Además el entendimiento logrado por la dominancia estocástica de la Estrategia 3 frente a las otras, significa que éstas serán eliminadas por el decisor racional y no ha sido necesario investigar las preferencias del decisor respecto al riesgo.

De otro lado, mediante los perfiles de riesgo condicionales respecto a las variables cruciales, se ha cuantificado la variabilidad que aporta cada una de dichas variables al VAN de la estrategia óptima. Estos resultados se resumen en la Tabla XI.

Tabla XI: Variabilidad que producen las variables críticas en el VAN de la estrategia óptima

variable de Incertidumbre	Máximo VAN	Mínimo VAN	Variación VAN
ley de cabeza del zinc	10'066,212	4'824,806	5'241,406
precio inicial del zinc	8'559,659	4'169,596	4'390,063
número años de crecimiento del precio de zinc	8'233,173	5'292,456	2'940,717
ley de zinc en el concentrado de zinc	7'623,825	5'791,290	1'832,535

Elaboración Propia

Nótese que la variable que introduce la mayor variabilidad en el VAN generado por la estrategia óptima es la *ley de cabeza del zinc* con US\$ 5'241,406, seguida por el *precio inicial del zinc*, luego por el *número de años de crecimiento del precio del zinc* y finalmente por la *ley de zinc en el concentrado de zinc*. Sin embargo, la pérdida esperada medida a través del VAN y provocada por estas variaciones es cero.

Finalmente, a través del análisis de sensibilidad probabilístico, se ha determinado que una modificación en las probabilidades de ocurrencia de las variables cruciales, no modifica la decisión de considerar a la Estrategia 3 “Agresivo” como óptima. Pero, cuando la probabilidad de que la ley del zinc en el concentrado de zinc, alcance su valor bajo sea alta (i.e. mayor a 0.94), es preferible la Estrategia 2 “Mejorado”.

CAPITULO 6

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se interpretan los resultados alcanzados, a la luz de dos conceptos que han proporcionado mayores entendimientos acerca de las incertidumbres relativas a la estrategia óptima: el *valor de la información perfecta* y el *control de la información*. El primero, está referido a cuánto valor se añade a la estrategia óptima, si se resuelve la incertidumbre antes de tomar la decisión; y el segundo concepto, indica el valor agregado a dicha estrategia, de ser factible controlar el resultado de una variable de incertidumbre crítica.

Finalmente se hará una evaluación global del ciclo del Análisis de Decisiones utilizado en el Proyecto Pucarrajo, a través de la Calidad Decisional.

6.1.- VALOR DE LA INFORMACION PERFECTA

El *valor de la información perfecta*, permite determinar el valor económico de eliminar la incertidumbre en cada una de las variables cruciales del Proyecto Pucarrajo, a saber: precio inicial del zinc, número de años de crecimiento del precio del zinc, ley de cabeza del zinc y

ley del zinc en el concentrado de zinc. En otras palabras, cuánto costaría mejorar el estado de información acerca de dichas variables antes de tomar la decisión.

Para determinar el valor de la información perfecta, se colocó al comienzo del árbol de decisiones, el nodo de azar que representa la variable cuya incertidumbre se requiere despejar. Luego, se utilizó la siguiente expresión:

$$VEIP = VECIP - VESIP \quad \dots (j)$$

Donde:

VEIP: Valor Esperado de la Información Perfecta

VECIP: Valor Esperado con Información Perfecta

VESIP: Valor Esperado sin Información Perfecta

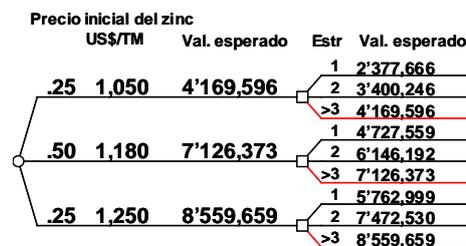
Los entendimientos logrados al determinar el valor de la información perfecta para las variables de incertidumbre críticas se presentan a continuación.

VALOR DE LA INFORMACIÓN PERFECTA PARA LA VARIABLE “PRECIO INICIAL DEL ZINC ”

Como se vió anteriormente, de acuerdo con el análisis probabilístico el VAN esperado de la Estrategia 3: “Agresivo” es US\$ 6’745,500. Este valor constituye el Valor Esperado sin Información Perfecta (VESIP). De otro lado, si se observa la Figura 31 (véase la página 112), se ha colocado al inicio del árbol de decisiones, el nodo del factor crítico *precio inicial del*

zinc, variando con sus respectivas probabilidades. Es decir, se está condicionando los resultados del VAN al valor que toma dicha variable crucial, lo que implica que debe resolverse primero esta incertidumbre antes de emprender el proyecto. Se puede apreciar que cuando el precio del zinc toma el valor bajo, el valor generado es de US\$ 4'169,596. Si el precio del zinc toma el valor medio, el proyecto genera un VAN de US\$ 7'126,373. Asimismo, si el precio del zinc toma el valor alto, se genera un valor de US\$ 8'559,659.

Figura 31: Árbol de Decisiones condicionado al precio inicial del zinc



En vista de que cada uno de estos niveles de precios, tienen una determinada probabilidad de ocurrencia, se calculó en dicho nodo el Valor Esperado con Información Perfecta (VECIP), resolviendo el árbol de decisiones:

$$\text{VECIP} = 0.25 * 4'169,596 + 0.5 * 7'126,373 + 0.25 * 8'559,659 = \text{US\$ } 6'745,500.$$

Al reemplazar estos valores en la expresión (j), se obtuvo:

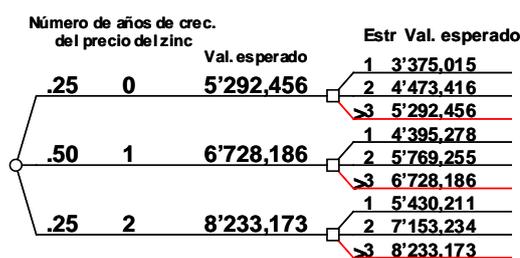
$$\text{VEIP} = \text{VECIP} - \text{VESIP} = 6'745,500 - 6'745,500 = 0$$

Con este resultado, se concluye que la recolección de información adicional acerca de la variable *precio inicial del zinc* con el fin de resolver su incertidumbre, no añade mayor valor económico a la estrategia elegida.

VALOR DE LA INFORMACIÓN PERFECTA PARA LA VARIABLE “NUMERO DE AÑOS DE CRECIMIENTO DEL PRECIO DEL ZINC”

Como se mencionó anteriormente, el Valor Esperado sin Información Perfecta (VESIP) es US\$ 6'745,500. Seguidamente, se colocó al inicio del árbol de decisiones, el factor crucial *número de años de crecimiento del precio del zinc*, el cual puede tomar valores de 0,1 y 2 (véase la Fig. 32). “0” significa que el precio del zinc en el primer año será US\$/TM 1,180 con lo cual el VAN generado por el proyecto es de US\$ 5'292,456. “1” significa que el precio del zinc se incrementará en el siguiente año, alcanzando el valor de US\$/TM 1,215.4 resultando el VAN US\$ 6'728,186. De otro lado, “2” significa que el precio del zinc crecerá en los próximos dos años, alcanzando los valores de US\$/TM 1215.4 en el segundo año y US\$/TM 1,251.86 en el tercer año, siendo el VAN US\$ 8'233,173.

Figura 32: Árbol de Decisiones condicionado al número de años de crecimiento del precio del zinc



Como los valores 0,1 y 2 tienen distintas probabilidades de ocurrencia, se determinó el Valor Esperado con Información Perfecta (VECIP), en dicho nodo a través del árbol de decisiones de la Figura 32.

$$\text{VECIP} = 0.25 * 5'292,456 + 0.5 * 6'728,186 + 0.25 * 8'233,173 = \text{US\$ } 6'745,500.$$

Seguidamente, se reemplazaron dichos valores en la expresión (j), obteniéndose:

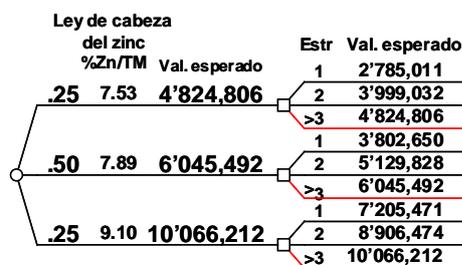
$$\text{VEIP} = \text{VECIP} - \text{VESIP} = 6'745,500 - 6'745,500 = 0$$

Por lo tanto, este análisis ha mostrado que la recolección de información adicional, que permita un mayor conocimiento acerca de la incertidumbre generada por el el *número de años de crecimiento del precio del zinc* no añade mayor valor a la Estrategia 3 “Agresivo”.

VALOR DE LA INFORMACIÓN PERFECTA PARA LA VARIABLE “LEY DE CABEZA DEL ZINC”

Para conocer cuánto valor se añade a la estrategia si se despeja la incertidumbre introducida por el factor crítico *ley de cabeza del zinc*, se colocó el nodo de esta variable al inicio del árbol de decisiones (véase la Fig. 33). Se puede apreciar que si la ley de cabeza del zinc toma el valor bajo, el VAN generado por el proyecto es de US\$ 4'824,806. Si dicha variable toma el valor medio, se genera un VAN de 6'045,492. De otro lado, si la variable toma el valor alto, el proyecto proporciona un VAN de US\$ 10'066,212.

Figura 33: Árbol de Decisiones condicionado a la ley de cabeza del zinc



En vista de que los valores que puede tomar el factor crítico tienen distintas probabilidades de ocurrencia, se puede determinar el Valor Esperado con Información Perfecta (VECIP), resolviendo el árbol de decisiones así:

$$\text{VECIP} = 0.25 * 4'824,806 + 0.5 * 6'045,492 + 0.25 * 10'066,221 = \text{US\$ } 6'745,500.$$

El reemplazo de estos valores en la expresión (j), resultó:

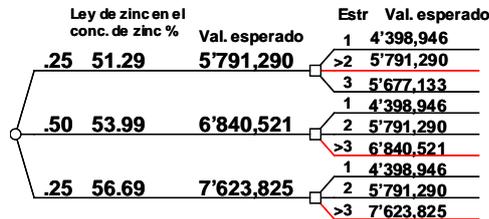
$$\text{VEIP} = \text{VECIP} - \text{VESIP} = 6'745,500 - 6'745,500 = 0$$

Este resultado, ha permitido concluir que económicamente no se justifica la recolección de mayor información que brinde un mayor conocimiento acerca de la variable *ley de cabeza del zinc*, porque no añade valor a la estrategia óptima.

VALOR DE LA INFORMACIÓN PERFECTA PARA LA VARIABLE “LEY DE ZINC EN EL CONCENTRADO DE ZINC”

Para conocer los efectos de despejar la incertidumbre introducida por el factor crítico *ley de zinc en el concentrado de zinc*, se colocó el nodo de esta variable al inicio del árbol de decisiones. Se puede apreciar, según la Figura 34 (véase la página 116), que dicha variable puede tomar el valor bajo, con lo cual el proyecto proporciona un VAN de US\$ 5'791,290. Si toma el valor medio, se genera un VAN de US\$ 6'840,521. De otro lado, si dicha variable toma el valor alto, el VAN generado por el proyecto es de US\$ 7'623,825.

Figura 34: Árbol de Decisiones condicionado a la ley de zinc en el concentrado de zinc



Dado que este factor crítico puede tomar los valores bajo, medio y alto con diferentes probabilidades de ocurrencia, se determinó el Valor Esperado con Información Perfecta (VECIP), con ayuda del árbol de decisiones de la Figura 34.

$$VECIP = 0.25 * 5'791,290 + 0.5 * 6'840,521 + 0.25 * 7'623,825 = \text{US\$ } 6'774,039.25$$

Al reemplazar estos valores en la expresión (j), se obtuvo:

$$VEIP = VECIP - VESIP = 6'774,039.25 - 6'745,500 = \text{US\$ } 28,539.25$$

Nótese que, la recolección de información adicional en este caso podría añadir valor a la Estrategia 3 “Agresivo”. Por lo tanto, es pertinente dedicar esfuerzos para obtener información adicional acerca de la ley de zinc en el concentrado de zinc, siempre que el costo de dicha información no implique un desembolso mayor a US\$ 28,539.25.

6.2.- VALOR DEL CONTROL PERFECTO

El análisis del valor del control perfecto, ha permitido cuantificar, cuánto valor se añade a la estrategia elegida, si se pudiera crear mecanismos para controlar el resultado de una variable incierta, fijándola en su valor óptimo.

La determinación del valor del control perfecto, se realizó colocando al inicio del árbol de decisiones, el nodo de azar que representa la variable de incertidumbre que se desea controlar, identificando a continuación, aquella rama que conduce a un mayor valor generado. Luego, se utilizó la siguiente expresión:

$$VECP = VECCP - VESCP \quad \dots (k)$$

Donde:

VECP: Valor Esperado del Control Perfecto

VECCP: Valor Esperado con Control Perfecto

VESCP: Valor Esperado sin Control Perfecto

A continuación, se presentan los resultados alcanzados a través del valor del control perfecto para los factores cruciales.

VALOR DEL CONTROL PERFECTO PARA LA VARIABLE “PRECIO INICIAL DEL ZINC”

El VAN de la estrategia óptima asciende a US\$ 6'745,500 y representa el Valor Esperado sin Control Perfecto (VESCP). De otro lado, para determinar el Valor Esperado con Control Perfecto (VECCP), se procedió a fijar la variable *precio inicial del zinc* en su valor óptimo, es decir US\$/TM 1,250 (véase la Figura 31, página 112), porque proporciona el mayor VAN, es decir US\$ 8'559,659. Al reemplazar dichos valores en la expresión (k), se obtuvo:

$$VECP = VECCP - VESCP = 8'559,659 - 6'745,500 = \text{US\$ } 1'814,159$$

Por lo tanto, si se pudiera controlar el resultado del *precio inicial del zinc*, fijándolo en US\$/TM 1,250, se podría incrementar el VAN de la Estrategia 3 “Agresivo” en US\$ 1’814,159.

El control de la variable *precio inicial del zinc*, es posible de ser realizado a través del uso de instrumentos financieros derivados, específicamente a través de opciones de venta (*put options*) y ventas a futuro (*forwards*), con la finalidad de reducir los riesgos asociados a las variaciones en el precio del zinc. Una opción de venta concede a Minera Huallanca el derecho a vender el activo subyacente (i.e. los concentrados de plomo y zinc) a un precio determinado en una fecha futura, a cambio del pago de una prima; mientras que una venta a futuro, le permitiría fijar un precio de venta, protegiéndola de pérdida de valor de dicho activo por un tiempo determinado.

VALOR DEL CONTROL PERFECTO PARA LA VARIABLE “NUMERO DE AÑOS DE CRECIMIENTO DEL PRECIO DEL ZINC”

Como se mencionó el Valor Esperado sin Control Perfecto (VESCP) para la estrategia óptima “Agresivo” es US\$ 6’745,500. Por otra parte, el Valor Esperado con Control Perfecto (VECIP) se determinó fijando la variable *número de años de crecimiento del precio del zinc* en su valor óptimo, es decir, que el precio del zinc se incremente en los próximos dos años. Esto ha permitido lograr un mayor valor esperado que asciende a US\$ 6’135,718 (véase la Figura 32, página 113). Al reemplazar estos valores en la expresión (k), se obtuvo:

$$VECP = VECCP - VESCP = 8'233,175 - 6'745,500 = \text{US\$ } 1'487,675$$

Se concluye, que si se pudiera hacer que el precio del zinc, se incremente en los próximos dos años, se podría añadir valor a la estrategia óptima en US\$ 1'487,675.

Incorporar un control perfecto sobre el *número de años de crecimiento del precio del zinc* no está al alcance de Minera Huallanca. Las variaciones que experimenta el precio del zinc como de otros metales están dados por el mercado de *commodities*, y están influenciados por los ciclos de producción industrial de los países desarrollados⁴¹. Dichos ciclos están asociados a los niveles de inventarios de mineral, gastos de inversión como edificios e infraestructura, equipo de transporte, bienes de capital y bienes durables, entre otras variables que afectan la oferta y demanda del mercado de metales⁴².

VALOR DEL CONTROL PERFECTO PARA LA VARIABLE “LEY DE CABEZA DEL ZINC”

El Valor Esperado con Control Perfecto (VECIP) se determinó a través del árbol de decisiones (véase la Figura 33, página 114) fijando el valor de la variable *ley de cabeza del zinc* en su valor óptimo, es decir en el valor más alto correspondiente a 9.10 %Zn/TM, a

⁴¹ Hay que indicar que el zinc tiene diversos usos industriales, tales como: galvanizado de estructuras metálicas de hierro y acero para protegerlas de la corrosión, fabricación de latones, moldes de fundición, carrocerías, sistemas de aire acondicionado, tintes y pinturas, pilas secas, textiles y lubricantes.

⁴² Hoy en día, el crecimiento económico de China, es un factor que está contribuyendo a un aumento de la demanda de metales y por lo tanto a un mayor nivel de precios. Un estudio más detallado del mercado de metales excede los alcances de la presente Tesis.

través del cual, el proyecto genera un mayor VAN de US\$ 10'066,212. El reemplazo de estos resultados en la expresión (k), ha permitido obtener lo siguiente:

$$\text{VECP} = \text{VECCP} - \text{VESCP} = 10'066,212 - 6'745,500 = \text{US\$ } 3'320,712$$

Por lo tanto, si se pudiera hacer que la *ley de cabeza del zinc* tome el valor de 9.10 %Zn/TM se podría aumentar el VAN generado de la estrategia óptima en US\$ 3'320,712.

Si bien es cierto que la *ley de cabeza del zinc* es una consecuencia de la naturaleza del yacimiento a explotar -lo cual no es controlable por Minera Huallanca-, es posible que un adecuado programa de exploración y desarrollo, permita un mejor conocimiento geológico a fin de identificar las zonas con mayores leyes de zinc. De este modo, se podría iniciar la preparación de dichas zonas para su explotación. Otra forma de controlar la *ley de cabeza de zinc* es evitar en lo posible la dilución -durante el ciclo de extracción de mineral- para que no se contamine la ley de mineral con material estéril y no se reduzca el valor de los concentrados.

VALOR DEL CONTROL PERFECTO PARA LA VARIABLE “LEY DE ZINC EN EL CONCENTRADO DE ZINC”

El Valor Esperado con Control Perfecto (VECIP) se determinó a partir del árbol de decisiones (véase la Figura 34, página 116) para lo cual se fijó la variable *ley de zinc en el concentrado*

de zinc en el valor más alto, es decir, 56.69% en vista de que proporciona un mayor VAN generado US\$ 7'623,825. Al reemplazar dichos valores en la expresión (k), se obtuvo:

$$VECP = VECCP - VESCP = 7'623,825 - 6'745,500 = \text{US\$ } 878,325$$

Se concluyó, que de ser posible controlar el resultado de la *ley de zinc en el concentrado de zinc*, se podría incrementar el VAN de la Estrategia 3 “Agresivo” en US\$ 878,325

Este factor crítico se puede controlar, mediante un seguimiento estrecho al procesamiento de los minerales en la planta concentradora como: calidad y cantidad de los reactivos utilizados, verificando la calidad del mineral suministrado a través de muestreadores en puntos clave del circuito de flotación. Además debe optimizarse, la reducción de tamaño del mineral que ingresa a la planta concentradora, de manera que se libere adecuadamente el zinc alojado en la roca. De otro lado, la investigación metalúrgica, debe proveer la mezcla óptima de mineral que debe ingresar a la planta concentradora para asegurar una óptima ley de zinc en el concentrado de zinc.

6.3.- RESUMEN DEL VALOR DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONTROL PERFECTO

Del análisis del valor de la información perfecta, se concluyó que la recolección de información adicional acerca de las variables críticas: precio inicial del zinc, número de años de crecimiento del precio del zinc y ley de cabeza del zinc no genera mayor valor económico. Sin embargo, un mayor conocimiento acerca de la ley de zinc en el concentrado de zinc, podría incrementar el VAN de la estrategia óptima en US\$ 28,539.25.

Según los resultados del valor del control perfecto de la información, de introducir mecanismos para controlar ley de cabeza del zinc, fijándola en su valor alto 9.10 %Zn/TM, se podría incrementar el VAN esperado de la estrategia óptima en US\$ 3'320,712.

Además, de introducir mecanismos que aseguren que el precio inicial del zinc sea US\$/TM 1,250 el VAN de la estrategia óptima aumentaría en US\$ 1'814,159.

De otro lado, si se asegurara que el precio del zinc se incremente en los próximos dos años, se incrementaría el VAN en US\$ 1'487,675.

Finalmente, de establecer mecanismos que fijen la ley de zinc en el concentrado de zinc en 56.69%, se podría añadir US\$ 878,325 al VAN de la estrategia óptima.

6.4.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DECISIONAL

En esta sección se realizará una evaluación global del ciclo del Análisis de Decisiones realizado en la presente Tesis, es decir, del proceso de toma de decisiones estratégicas para el Proyecto Pucarrajo.

En vista de que dichas decisiones tienen un profundo sentido prospectivo, sus resultados se conocerán en el largo plazo. Pero, ¿cómo la gerencia de Minera Huallanca podría evaluar hoy la calidad de sus decisiones estratégicas?. Si se estuviera tomando decisiones en el ámbito

operativo de la empresa, se podría juzgar la calidad de dichas decisiones, utilizando algún criterio para evaluar las variaciones estadísticas de los resultados obtenidos⁴³, porque se presentan situaciones repetitivas.

Sin embargo, para evaluar la calidad de las decisiones estratégicas, las cuales se toman una sola vez y comprometen grandes recursos de la organización, es necesario otro tipo de evaluación. Este papel lo cumplen los *requerimientos de la calidad decisional*⁴⁴, y son los siguientes:

1.- Marco apropiado:

Permite saber si se está trabajando el problema correcto y evita resolver el problema equivocado óptimamente (denominado Error de tipo III). Según Salinas: “El marco adecuado garantiza que la organización resolverá el problema correcto, en la manera correcta, con las personas correctas”⁴⁵.

Para establecer el marco apropiado se utilizó las herramientas de la metodología del Análisis de Decisiones como: la *visión del estudio*, que permitió definir el propósito a alcanzar; el *listado de cuestiones* estableció la perspectiva global, mostrando las variables más relevantes involucradas en la decisión sin descartar que un estudio más exhaustivo pueda incorporar

⁴³ Existen técnicas para evaluar la calidad de los procesos operativos tales como: Control Total de la Calidad (TQM), Six Sigma, Reingeniería, entre otros.

⁴⁴ José SALINAS, “Calidad Decisiva, Reingeniería del Proceso de Toma de Decisiones Estratégicas” En: Semana de la Calidad. Lima, 1994, Sociedad Nacional de Industrias

⁴⁵ José SALINAS, “Desarrollo Estratégico: Cómo Abrir la ‘Caja Negra’ del Planeamiento Estratégico” En: Apuntes 44. Primer Semestre. Lima, 1999, Universidad del Pacífico. Pág. 45.

otras más. De otro lado, la *jerarquía decisional* señaló el alcance del estudio, explicitando las decisiones estratégicas por tomar. La evaluación de este requerimiento se estima en 85%.

2.- Alternativas creativas y viables:

Este requerimiento constituyó un gran desafío porque exigió mucha creatividad y trabajo intenso, porque sin alternativas no hay decisión que tomar. Las estrategias alternativas deben ser significativamente diferentes, integrales y realistas.

Como las alternativas estratégicas tienden a ser multidimensionales, se usó la herramienta *tabla de generación de estrategias*, para mostrar las opciones estratégicas disponibles en las áreas de decisión identificadas. Luego con ayuda de la *tabla de estrategias*, se plantearon tres estrategias alternativas que fueron evaluadas. El cumplimiento de este requerimiento se estima en 75%.

3.- Información relevante y confiable:

Es importante incorporar la información prospectiva realmente necesaria, para lograr un entendimiento integral e insesgado de la toma de decisiones. Hay que señalar que esta información no proviene de extrapolaciones de registros históricos, sino que especifican escenarios futuros y cuantifican las incertidumbres involucradas.

Para cumplir con este requisito, se utilizaron los mapas de conocimiento y la asignación de probabilidades con ayuda de los expertos. Se estima que este requerimiento se ha logrado en un 70%.

4.- Valores y preferencias claras:

Este requerimiento implica claridad en los objetivos a cumplir, señalando qué se desea realmente y qué medida de valor se debe utilizar. Dado que las organizaciones involucran mucha gente con diferentes valores y perspectivas, es necesario explicitar el orden de preferencias.

La medida del valor para los accionistas de Minera Huallanca, es el *valor actual neto* (VAN), descontado a una tasa libre de riesgo e inflación y expresa las preferencias con respecto al tiempo del decisor. De otro lado, si se considera que el decisor es neutral al riesgo, el criterio más adecuado para discernir entre alternativas bajo incertidumbre es el *valor actual neto esperado*. El logro de requerimiento se estima en 90%

5.- Razonamiento lógicamente correcto:

La base para cumplir este requerimiento la ha proveído la metodología del Análisis de Decisiones, porque ha permitido una combinación apropiada de las estrategias alternativas, información y valores para la toma de decisiones. Para el Proyecto Pucarrajo, se elaboró el *Modelo Estructural*, con ayuda del *Diagrama de Influencias* que reflejó el grado de conocimiento de los expertos acerca del problema de decisión. Asimismo, se utilizó el software apropiado para el análisis determinístico y probabilístico. El cumplimiento de este requerimiento para el Proyecto Pucarrajo se estima en un 85%.

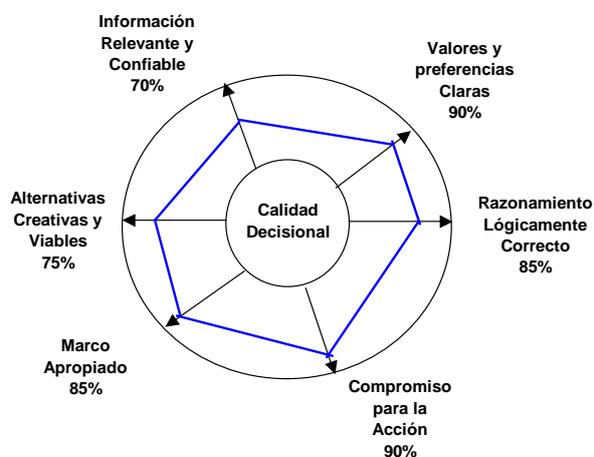
6.- Compromiso para la acción:

Representa el vínculo entre la decisión y la ejecución de la estrategia elegida y depende del grado de compromiso del decisor. “Sin un compromiso sincero para la acción, el proceso para alcanzar la decisión habrá sido una pérdida de tiempo”⁴⁶. Es importante involucrar a la gente clave desde el proceso de desarrollo de estrategias, en vez de hacerlo al final cuando ya se tiene la conclusión del estudio. Esto facilita además, la asignación de recursos necesarios para la ejecución de estrategia.

Minera Huallanca está muy interesada en llevar a cabo el proyecto, porque de ello depende la continuidad de la empresa a largo plazo. Por lo tanto, el cumplimiento de este requerimiento se estima en 90%.

En la Figura 35, se visualiza el logro de cada uno de los requerimientos de la calidad decisional para el Proyecto Pucarrajo.

Figura 35: Evaluación de la Calidad Decisinal



Elaboración Propia

⁴⁶ SALINAS, ob. cit. Pág. 47.

CONCLUSIONES

1. La estrategia empresarial óptima para el Proyecto Pucarrajo, involucró las siguientes decisiones estratégicas: un nivel intensivo de exploración y desarrollo, uso del método de explotación Minado por Subniveles, mejora en la recuperación metalúrgica a través de optimización del circuito de flotación, mejora en el grado de liberación de partículas e investigación metalúrgica, uso de servicio de terceros incorporando equipamiento propio para reforzar las labores de preparación y explotación de mina, así como una estructura de financiamiento del 50% de terceros y de 50% de aporte propio.
2. El Análisis Determinístico, ha mostrado que el valor generado por la Estrategia 3 “Agresivo” en el caso base asciende a US\$ 6’505,071. Además ha identificado como variables críticas: el *precio inicial del zinc*, el *número de años de crecimiento del precio del zinc*, la *ley de cabeza del zinc* y la *ley de zinc en el concentrado de zinc*, las que en conjunto explican el 81.2% de la variación total del VAN.
3. Mediante el Análisis Probabilístico, se ha establecido que la estrategia óptima es la Estrategia 3 “Agresivo”, con un VAN esperado de US\$ 6’745,500. Como dicha

estrategia domina estocásticamente a las demás estrategias alternativas, éstas serán descartadas racionalmente por el decisor.

4. A través de los perfiles condicionales respecto cada una de las variables críticas para la estrategia óptima, se ha determinado que la *ley de cabeza del zinc* genera una variabilidad de US\$ 5'241,406 en el VAN obtenido, seguida por el *precio inicial del zinc* con US\$ 4'390,063. Luego, por el *número de años de crecimiento del precio del zinc* con US\$ 2'940,717 y finalmente por la *ley de zinc en el concentrado de zinc* con US\$ 1'832,535. Sin embargo, la pérdida esperada producida por estas variaciones es cero.
5. Del análisis del valor de la información perfecta, se ha determinado que la recolección de información adicional respecto a las variables críticas: *ley de cabeza del zinc*, *precio inicial del zinc* y *número de años de crecimiento del precio del zinc*, no generan un mayor valor para Minera Huallanca. Sin embargo, la recopilación de información adicional acerca de la *ley de zinc en el concentrado de zinc*, podría añadir valor a la estrategia óptima en US\$ 28,539.25.
6. Mediante el análisis del control perfecto de la información, de ser factible introducir mecanismos para controlar el resultado de la *ley de cabeza del zinc*, fijándola en su valor óptimo (9.10 %Zn/TM), se podría aumentar el VAN de la estrategia óptima en US\$ 3'320,712.

7. De otro lado, de controlar el resultado del *precio inicial del zinc*, fijándolo en el valor de US\$/TM 1,250; el VAN generado por la estrategia óptima se podría incrementar en US\$ 1'814,159.

8. Además, de asegurar de que el precio del zinc, se incremente en los próximos dos años, se podría aumentar la creación de valor de la estrategia óptima en US\$ 1'487,675.

9. Finalmente, de controlar el resultado de la *ley de zinc en el concentrado de zinc*, fijándola en su valor óptimo es decir en 56.69%, se podría incrementar el VAN de la Estrategia 3 “Agresivo” en US\$ 878,325.

RECOMENDACIONES

1. La recolección de información adicional para mejorar el estado de información de la variable *ley de zinc en el concentrado de zinc*, podría añadir valor a la estrategia óptima. Por lo tanto, es pertinente dedicar esfuerzos para obtener información adicional acerca de esta variable crítica, siempre que no implique un desembolso mayor a US\$ 28,539.25.
2. El control de la *ley de cabeza del zinc*, se podría lograr mediante un adecuado programa de exploración y desarrollo, que permita un mejor conocimiento geológico y económico del yacimiento mineral en Pucarrajo. De esta manera, se podría lograr la identificación de las zonas con mayores leyes de zinc, de modo que la preparación de la mina se oriente a la explotación en dichas áreas.
3. Para controlar el resultado del *precio inicial del zinc*, es posible utilizar los instrumentos financieros derivados, específicamente a través de opciones de venta (*put options*) y ventas a futuro (*forwards*), con la finalidad de reducir los riesgos de variaciones en el precio del zinc contenido en los concentrados que produce y comercializa Minera Huallanca.

4. Para controlar el factor crítico *ley de zinc en el concentrado de zinc*, se puede hacer un seguimiento más estrecho a la calidad y cantidad de los reactivos utilizados, verificando la calidad del mineral suministrado a través de muestreadores en puntos clave del circuito de flotación. Además debe controlarse, la reducción de tamaño del mineral que ingresa a la planta concentradora, de manera que se libere adecuadamente el zinc alojado en la roca. De otro lado, la investigación metalúrgica, debe proveer la mezcla óptima de mineral que debe ingresar a la planta concentradora para asegurar una óptima ley de zinc en el concentrado de zinc.

5. Adicionalmente, la base de datos generada en la presente Tesis, puede ser modificada y actualizada, conforme se incremente el estado de información y grado de conocimiento de los expertos en el futuro, de modo que se pueda ajustar el análisis expuesto, así como los resultados alcanzados.

6. Finalmente, se recomienda incorporar los entendimientos logrados a través del desarrollo estratégico -realizado a lo largo de la presente Tesis-, en el Planeamiento Estratégico de Minera Huallanca. De esta manera, se espera maximizar la probabilidad de generación de valor para los accionistas a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

ANGELES, Mario

- 1983 Evaluación de las actividades de producción minero – metalúrgicas en las Plantas de Concentración de la Mediana Minería. Informe de Ingeniería. Lima: UNI. –FIECS.

BOLSA DE VALORES DE LIMA

- 2003a “Segmento de Capital de Riesgo de la B.V.L. Venture Exchange”

Diapositivas en www.bvl.com.pe Lima: BVL.

- 2003b “Código de Estándares de Reporte para Informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena BVL – Venture Exchange”. En www.bvl.com.pe, Lima: BVL.

BUSTILLO, M y LOPEZ C.

- 1998 Manual de Explotación y Diseño de Explotaciones Mineras, Editorial Entorno Gráfico, Madrid

EPPEN, G.D, GOULD, F.J. y Otros

- 2000 Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa, Prentice Hall. México.

GALA, Fernando

- 1991 Formulación y Evaluación de Proyectos Mineros. Tesis de Grado. Lima: PUCP.

GALA, Fernando

1996 “El riesgo en los proyectos Mineros”. En: Revista El Ingeniero de Minas. Capítulo de Ingeniería de Minas, Año 2 N°6 Julio, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, CIP.

GALLI, A y ARMSTRONG M.

1999 “Comparing Three Methods for Evaluating Oil Projects: Option Pricing, Decision Trees and Monte Carlo Simulations”. En: Society of Petroleum Engineers. Texas: S.P.E.

HERTZ, David

1964 “Análisis de Riesgo en la Inversión de Capital”, En: Harvard Business Review, Vol XLII No.1 Enero Febrero 1964 pp. 95-106, The President & Fellows of Harvard.

HUSTRULID W. Y BULLOCK, Richard

2001 UNDERGROUND Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

1991 Manual de Evaluación Técnico-Económica de Proyectos Mineros de Inversión. Madrid: I.T.G.E.

J.L.VARGAS O. INGENIEROS: Investigación, Consultoría y Operación

1999a Estudio y Evaluación Económica del Proyecto de Explotación ‘Pucarrajo’ CEDIMIN S.A. – Minera Huallanca S.A.C., Lima.

1999b Cálculo del Cut – Off y Valores Unitarios Minera Huallanca S.A.C. Mina Pucarrajo. Lima.

2001 Cálculo del Cut – Off y Valores Unitarios para el Proyecto Sabrinas. Minera Huallanca S.A.C., Lima.

2004 Proyecto de Profundización Mina Minera Huallanca S.A.C. Unidad Pucarrajo, Lima.

KERRY, Errol G.

1990 Procesamiento de Minerales. México: Editorial LIMUSA.

LLANQUE, Oscar y Otros

1997 Explotación Subterránea: Métodos y Casos Prácticos. Lima: IIMP – UNA.

MINAS Y PETROLEO Semanario

2004 “Minera Huallanca: óptimos resultados en el desarrollo de Pucarrajo y Contonga”. En: Huallanca: una difícil apuesta No. 401 – 22 de Julio del 2004. Lima: L & L Editores S.R.L.

MINTZBERG, Henry

1993 El Proceso Estratégico: Conceptos, Contextos y Casos. México: Prentice Hall.

NUÑEZ, Angel

1998 Cambio técnico en procesamiento de minerales y metalurgia extractiva y sus implicancias para el desarrollo ambiental en países en desarrollo: los casos del cobre, plomo y zinc. Informe de Ingeniería. Lima: UNI. – FIECS.

SALINAS, José:

- 1992 Análisis de Decisiones en Entornos Inciertos, Cambiantes y Complejos, Lima: Universidad del Pacífico.
- 1993 Análisis Estadístico para la Toma de Decisiones en Administración y Economía, Lima: Universidad del Pacífico.
- 1994 “Calidad Decisional, Reingeniería del Proceso de Toma de Decisiones Estratégicas” En: Semana de la Calidad. Lima: Sociedad Nacional de Industrias.
- 1998 “Inversión de Recursos para Crear Valor, Un Enfoque de Portafolio” En: Apuntes 42. Primer Semestre. Lima: Universidad del Pacífico.
- 1999a “Desarrollo Estratégico: Cómo Abrir la ‘Caja Negra’ del Planeamiento Estratégico” En: Apuntes 44. Primer Semestre. Lima: Universidad del Pacífico.
- 1999b “Análisis de Sensibilidad, Cómo Identificar los factores Críticos en un Problema de Decisiones”. En: Punto de Equilibrio. Mayo-Junio Lima: Universidad del Pacífico.
- 1999c “Cuantificación e Interpretación de los Perfiles de Rentabilidad/Riesgo de los Negocios”. En: Punto de Equilibrio. Julio-Agosto Lima: Universidad del Pacífico.
- 1999d “Análisis de Riesgo Estratégico”. En: Gerencia. No. 241. Septiembre. Lima: Revista IPAE
- 2003 “Apuntes del Curso Análisis de Decisiones”. 2do. Semestre. Lima: UNI – FIECS.

SMITH, Lawrence

- 2000 “Discounted Cash Flows Analysis Methodology and Discount Rates (Rio Algom Limited)”. En: Mining Millenium March 8. Toronto: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

TORRIES, Thomas

1998 Evaluating Mineral Projects: Applications and Misconceptions. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

1992 Metodología de Costos de Operación en Minería. Lima: UNI.

VARGAS Jorge Luis y ESPINOZA, Daniel Arturo

2003 “Simulación de Escenarios para Formular Estrategia de Desarrollo”. En: Revista El Ingeniero de Minas. Año IX N°24 Abril –Junio. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, CIP .

VIERA Manuel

1989 “Uso de Escenarios Probabilísticos para Simular Proyectos de Inversión en Minería”. RTZ Consultores. En: Revista Minerales Nov-Dic, Vol 44 No. 188.

YIN, Robert

1994 Case Study Research: Design and Methods. California: Sage Publications Inc.