

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**



**POLITÉCNICA**

**ANÁLISIS DE LA VALORACIÓN DE PROYECTOS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE  
OPCIONES REALES: APLICACIÓN A UN PROYECTO REAL DEL SECTOR MINERO –  
METALÚRGICO EN EL PERÚ**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Industrial**

**AUTORA:**

**FIGRELLA ANGELA PACHECO EGAS**

**ASESOR:**

**OSCAR MIRANDA CASTILLO**

**CO-ASESOR:**

**JOSÉ BALIBREA INIESTA**

**Lima, Noviembre, 2020**

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla con la intención de exponer el valor que agrega las Opciones Reales a los métodos de valoración tradicional. Específicamente, se pretende regresar a los orígenes de este método al evaluar un proyecto peruano del sector minero-metalúrgico empleando los métodos tradicionales y el de la Opción Real, con el fin de volver a evidenciar la importancia de la aplicación de Opciones Reales en un sector caracterizado por la incertidumbre. Así mismo, a través del análisis del proyecto real, se busca mostrar que este moderno método permite corregir, en cierto grado, el problema de la infravaloración que presentan los proyectos con incertidumbre y que son valorizados mediante los métodos tradicionales.

El trabajo inicia con el **estado del arte** de la valoración financiera. Luego, se presenta toda la **información relevante del proyecto** metalúrgico de una refinería de La Empresa ubicada en el Perú que será empleada como caso de estudio. Después, se muestra el **análisis económico – financiero** del proyecto y se valora el proyecto empleando los métodos tradicionales del VAN y la TIR. Los resultados obtenidos fueron 0.16 millones de dólares y 18.01%, respectivamente. En el último capítulo se realiza la **valoración del proyecto empleando el método de Opciones Reales**. Para el estudio de la volatilidad del proyecto se emplearon dos variables como fuente de incertidumbre: el precio del cobre y del zinc; y las opciones reales estudiadas fueron: la opción de retrasar por un año la segunda inversión (del 2008 al 2009), la opción de retrasar el inicio de todo del proyecto y la opción de cierre temporal anual de la refinería. Así mismo, en la discusión de los resultados se evalúa la opción de cierre temporal y la opción de retrasar el inicio del proyecto de manera conjunta, para luego, discutir los resultados obtenidos de la valoración del proyecto con y sin opciones reales, comparando sus rentabilidades con las rentabilidades reales de la empresa y del sector.

<b>VAN sin opciones reales</b>	<b>0.16 MM\$</b>
<b>VAN con opción de retrasar la segunda inversión</b>	6.80 MM\$
<b>VAN con opción de retrasar el inicio del proyecto</b>	69.16 MM\$
<b>VAN con opción de cierre temporal</b>	20.16 MM\$

En conclusión, la presente tesis demuestra, a través del estudio del caso práctico, que la valoración de proyectos mediante las Opciones Reales logra **recuperar el valor de la flexibilidad** que los proyectos volátiles presentan de manera implícita y que las valoraciones empleando, únicamente, los métodos tradicionales no logran recoger.



*Dedico la presente tesis a las personas que  
siempre han estado apoyándome  
incondicionalmente, esto es para ustedes:  
Fernando, Lili, Nando y Milagros*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre y madre por encontrar la manera de siempre apoyarme desde la distancia, dándome ánimos cuando las cosas no salían como esperaba y celebrando conmigo cada pequeño logro. Les agradezco también por haberme dado una grandiosa educación en Perú y por haberme dado la oportunidad de vivir una experiencia enriquecedora en el extranjero.

Agradezco a mis hermanos porque a pesar de la distancia, siempre nos hemos mantenido unidos y apoyándonos en lo posible.

Agradezco a mi mejor amigo, Franco, por todas las llamadas que, sin duda, fueron parte importante para mantenerme de pie y culminar este proceso. A Nikol, por las experiencias vividas en este viaje. A Massiel y André, por las palabras de aliento.

Agradezco a mis tíos, primos y abuelos por siempre confiar en mí. A todas las maravillosas personas que conocí en mi etapa universitaria y a todos los que me dieron fuerzas para continuar luchando por mis metas.

Finalmente, quiero agradecer de manera especial a mis asesores José Balibrea y Oscar Miranda por guiarme en la elaboración de este trabajo, dándome consejos y resolviendo mis dudas en todo momento. Por su tiempo y paciencia.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
1 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN .....	4
1.1 Objetivos .....	4
1.2 Motivación .....	4
2 METODOLOGÍA .....	6
3 ESTADO DEL ARTE .....	10
3.1 Métodos tradicionales de valoración.....	10
3.1.1 Método del Valor Actual Neto (VAN).....	10
3.1.2 Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR).....	11
3.1.3 Técnica del Payback o plaza de recuperación.....	12
3.1.4 Limitaciones de métodos tradicionales .....	12
3.2 Opciones Financieras .....	15
3.2.1 Tipos de opciones.....	16
3.2.2 Posiciones en las opciones .....	17
3.2.3 Modelos de valoración de las opciones financieras .....	18
3.3 Opciones reales como método de valoración.....	23
3.3.1 Introducción a opciones reales .....	23
3.3.2 Tipos de Opciones Reales .....	25
3.3.3 Variables a tomar en cuenta en una Opción Real .....	27
3.3.4 Cálculo de la incertidumbre: volatilidad .....	28
3.3.5 Revisión de trabajos previos sobre opciones reales .....	30
4 PROYECTO “ZINC 320K” .....	33
4.1 Introducción al proyecto .....	33

4.1.1	Análisis de la demanda del zinc .....	34
4.1.2	Análisis del precio del zinc y cobre .....	35
4.1.3	Cronología del proyecto.....	36
4.2	Aspectos técnicos del proyecto .....	38
4.3	Cálculo de materia prima y producción de cemento de cobre .....	41
5	ESTUDIO DE INVERSIONES, ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO .....	44
5.1	Ingresos de ventas .....	44
5.1.1	Venta de Zinc .....	45
5.1.2	Venta de Subproductos .....	46
5.2	Coste de ventas .....	48
5.2.1	Materia Prima.....	48
5.2.2	Logística.....	49
5.2.3	Mano de obra directa.....	50
5.2.4	Energía .....	52
5.2.5	Otros costes operativos .....	52
5.3	Gastos de ventas.....	52
5.3.1	Mano de obra indirecta .....	53
5.3.2	Servicios de luz y agua.....	53
5.3.3	Impuestos Municipales .....	53
5.4	Inversiones .....	54
5.4.1	Sitios Generales .....	54
5.4.2	Plantas específicas.....	56
5.5	Estados financieros proyectados .....	57
5.5.1	Estado de Ganancias y Pérdidas proyectado .....	57
5.5.2	Flujo de Caja proyectado .....	59
5.6	Evaluación económica financiera .....	61
5.6.1	Costo de Oportunidad del Capital (COK).....	61

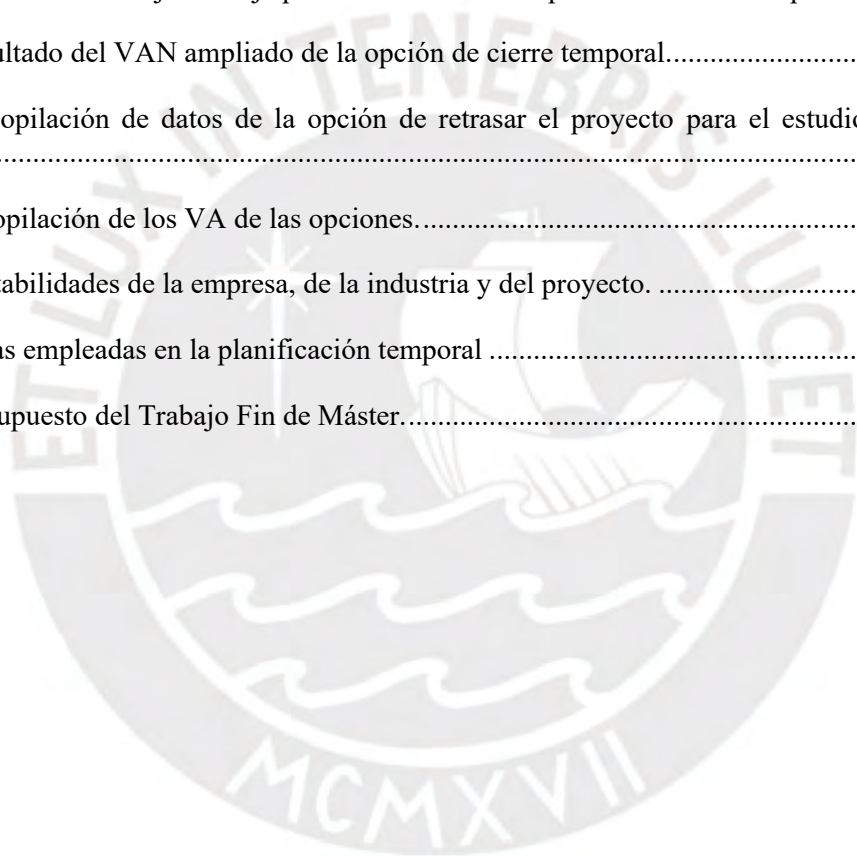
5.6.2	Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC).....	63
5.6.3	Indicadores de Rentabilidad.....	64
6	APLICACIÓN DE OPCIONES REALES EN EL PROYECTO.....	66
6.1	Volatilidad del proyecto.....	66
6.1.1	Fuentes de incertidumbre.....	66
6.1.2	Simulación de Montecarlo.....	70
6.2	Parámetros necesarios.....	73
6.3	Opciones del proyecto.....	74
6.3.1	Opción de retrasar la segunda inversión.....	76
6.3.2	Opción de retrasar todo el proyecto.....	84
6.3.3	Opción de cierre temporal.....	98
6.4	Discusión de los resultados obtenidos.....	102
6.4.1	Combinación de Opciones.....	102
6.4.2	Rentabilidad del proyecto.....	107
7	CONCLUSIONES.....	110
	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	113
	PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO.....	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	ANEXOS.....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables que forman parte del valor de una opción financiera vs. Una Opción Real. ....	27
Tabla 2: Cronología de producción de zinc (en kt).....	37
Tabla 3: Concentrado adquirido y cemento de cobre producido (en kt).....	43
Tabla 4: Precios históricos del zinc cotizados en LME. ....	45
Tabla 5: Precios históricos del cobre cotizados en LME. ....	47
Tabla 6: Tarifas de la distribución del zinc refinado por tramo. ....	50
Tabla 7: Número de operarios y de mantenimiento por tasa de producción anual (en kt).....	51
Tabla 8: Sueldo anual de un trabajador (operario o de mantenimiento). ....	51
Tabla 9: Sueldo anual del personal administrativo y de los supervisores (en \$). ....	53
Tabla 10: Inversiones en el grupo de Sitios Generales. ....	55
Tabla 11: Inversión en Plantas Específicas.....	56
Tabla 12: Inversión del proyecto para las dos etapas.....	57
Tabla 13: Estado de Ganancias y Pérdidas hasta el año 2019 (en millones de dólares). ....	58
Tabla 14: Flujo de Caja Proyectado hasta el año 2019 (en millones de dólares).....	60
Tabla 15: Parámetros del modelo CAPM. ....	63
Tabla 16: Indicadores de Rentabilidad del Proyecto.....	64
Tabla 17: recio del zinc y desarrollo del procedimiento para obtención de los parámetros del MGB (solo se muestran los 10 primero datos de un total de 180). ....	69
Tabla 18: Precio del cobre y desarrollo del procedimiento para obtención de los parámetros del MGB (solo se muestran los 10 primero datos de un total de 150). ....	69
Tabla 19: Parámetros del MGB para el zinc y cobre. ....	70
Tabla 20: Desviaciones Estándares de las simulaciones realizadas utilizando Macro en Excel y Crystall Ball.....	73
Tabla 21: Datos hallados y necesarios para la construcción de los árboles binomiales.....	74
Tabla 22: Producción de zinc refinado durante el periodo de construcción del proyecto.....	75
Tabla 23: Flujo de caja al que se renuncia descontados al 2008.....	79
Tabla 24: Resultado del VAN ampliado de la opción de retrasar la segunda inversión por un año. ....	84



Tabla 25: Producción modificada por el retraso de un año.....	88
Tabla 26: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar un año el proyecto. ....	89
Tabla 27: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar dos años el proyecto.....	90
Tabla 28: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar tres años el proyecto.....	91
Tabla 29: Recopilación de los costos respecto al VA de los FCL del proyecto causados por el retraso de 1, 2 y 3 años. ....	92
Tabla 30: Inversión capitalizada para los años 2007, 2008 y 2009. ....	93
Tabla 31: Resultado del VAN ampliado de la opción de retrasar todo el proyecto. ....	97
Tabla 32: Estructura del Flujo de Caja para el análisis de la Opción de Cierre Temporal. ....	101
Tabla 33: Resultado del VAN ampliado de la opción de cierre temporal.....	102
Tabla 34: Recopilación de datos de la opción de retrasar el proyecto para el estudio de la opción combinada. ....	105
Tabla 35: Recopilación de los VA de las opciones.....	107
Tabla 36: Rentabilidades de la empresa, de la industria y del proyecto. ....	108
Tabla 37: Horas empleadas en la planificación temporal .....	116
Tabla 38: Presupuesto del Trabajo Fin de Máster.....	118



# ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Proceso para la aplicación de Opciones Reales en la valoración del proyecto .....	9
Imagen 2: Beneficios de las posiciones en opciones europeas: a) posición larga en una opción de compra, b) posición corta en una opción de compra, c) posición larga en una opción de venta, d) posición corta en una opción de venta.....	17
Imagen 3: Precios de las acciones y opciones en un árbol general de dos pasos. ....	21
Imagen 4: Enfoque de las Opciones Reales: La Incertidumbre incrementa el valor .....	25
Imagen 5: Precios históricos del zinc (izquierda) y del cobre (derecha) de 1980 al 2019 .....	35
Imagen 6: Precios históricos mensuales del zinc y cobre en la Bolsa de Metales de Londres (LME). 36	
Imagen 7: Procesos de la segunda fase de producción de zinc. ....	41
Imagen 8: Gráfica de distribución de la variable "Z". ....	72
Imagen 9: Árbol binomial del activo subyacente.....	80
Imagen 10: Árbol binomial con la opción de retrasar la segunda inversión. ....	82
Imagen 11: Árbol binomial con el VAN del proyecto con la opción de retrasar la segunda inversión.83	
Imagen 12: Precio histórico del zinc de 1991 al 2019. ....	86
Imagen 13: Precio histórico del cobre de 1993 al 2019. ....	86
Imagen 14: Árbol binomial del proyecto sin opciones. ....	94
Imagen 15: Árbol binomial del proyecto con la opción real de retrasar todo el proyecto. ....	97
Imagen 16: Árbol binomial del proyecto sin opciones .....	103
Imagen 17: Árbol binomial del proyecto con la opción de cierre temporal.....	105
Imagen 18: Árbol binomial del proyecto con la combinación de las opciones de retrasar y cerrar temporalmente.....	106
Imagen 19: Diagrama de GANTT de la planificación del proyecto .....	117

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Crecimiento de la capacidad y producción de zinc .....	123
Anexo 2: Facturación del zinc metal en el 2015 .....	123
Anexo 3: Facturación por subproductos en el 2015 .....	124
Anexo 4: Tasa de inflación (IPC) histórica del 2000 al 2005 .....	124
Anexo 5: Resultados de la prueba de Augmented Dick Fuller para el zinc .....	125
Anexo 6: Resultados de la prueba de Augmented Dick Fuller para el cobre.....	126
Anexo 7: Datos históricos mensuales del Zinc .....	127
Anexo 8: Datos históricos mensuales del Cobre.....	129
Anexo 9: Simulación empleando macro de Excel para los valores de la opción de cierre temporal de los años 2007 y 2008 .....	130
Anexo 10: Simulación empleando Crystall Ball para los valores de la opción de cierre temporal del 2007 .....	131
Anexo 11: Simulación empleando Crystall Ball para los valores de la opción de cierre temporal del 2008 .....	131

# INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años, el sector de la minería<sup>1</sup> ha representado en promedio el 9% del PBI del Perú, llegando a alcanzar picos de hasta 12%. Así mismo, en el 2019 alcanzó alrededor del 60% del valor de las exportaciones peruanas<sup>2</sup>. De esta manera, se manifiesta la relevancia que, desde hace ya varios años, ha presentado la actividad minera para el desarrollo del Perú.

*“El Perú es un país de antigua tradición minera, tradición que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes a nivel internacional”* (Ministerio de Energía y Minas, 2020)

Las inversiones en proyectos del sector minero son atractivas e importantes, tanto para el inversionista, como para el país; por lo tanto, la valoración de dichos proyectos exige una mayor calidad en la obtención de información con el fin de generar una mejor valoración económica-financiera del proyecto.

La Empresa tiene presencia en el Perú a través de tres minas polimetálicas y una refinería de fundición de zinc. La relevancia de su presencia se encuentra en los resultados de sus operaciones, exponiendo que una de sus minas se posiciona entre las 15 minas de zinc más grandes del mundo y que su refinería ocupa el séptimo lugar a nivel mundial por volumen producido.

De esta forma, se puede afirmar que los proyectos ejecutados por La Empresa generan un alto impacto en el sector de la minería y metalurgia y, por ende, en la economía peruana. Uno de los proyectos de mayor relevancia de los últimos 20 años fue la ampliación de su refinería que consistió en ampliar la capacidad de producción de zinc refinado de 130 mil a 320 mil toneladas. Esta ampliación se realizaría a través de dos inversiones, la primera en el 2006 y la segunda en el 2008. **En este punto, es de vital importancia resaltar que el planteamiento original de los líderes del proyecto era la ejecución de ambas inversiones como parte total de la ampliación.**

---

<sup>1</sup> Se refiere a las actividades mineras y metalúrgicas de metales no ferrosos.

<sup>2</sup> (Andina, 2015). “Actividad minera en Perú representó 9% del PBI en últimos diez años”.

Por lo antes mencionado, la ejecución de este proyecto, de ahora en adelante llamado “Zinc 320k”, tuvo gran implicancia en el posicionamiento mundial de la refinería.

Por otro lado, en las últimas décadas, diversos factores alrededor del mundo han provocado que el entorno económico se caracterice por una inestabilidad constante. Por ejemplo, la crisis originada en el 2007 en el sector inmobiliario tuvo efecto en las commodities energéticas y de metales provocando que los precios de metales como el zinc y cobre disminuyan en un 41% y 44%, respectivamente (El País, 2008). Sin ir muy lejos en el tiempo, la alarma sanitaria causada por el Covid-19 ha provocado la caída de los precios de los metales industriales. Así pues, se pone en evidencia la inconstancia de la economía mundial y con ello, el vaivén de los precios de los metales.

Es por eso, que la flexibilidad ha ido adquiriendo mayor importancia para las empresas a lo largo de los años. Pero, ¿a qué nos referimos exactamente con flexibilidad en las empresas? Es la posibilidad de introducir modificaciones en las inversiones a lo largo de la vida del proyecto, como ampliar o reducir la escala, abandonar el proyecto, diferir las inversiones, cerrar temporalmente las operaciones, etc. Logrando, de esta manera, aportar un carácter dinámico a la valoración del proyecto e incrementar su valor.

Ante las nuevas necesidades que demanda la actualidad, el conjunto académico y empresarial ha ido desarrollando métodos de valoración en los que se toma en cuenta la incertidumbre de la economía y se permite la flexibilidad en las decisiones. Entre estos nuevos métodos se encuentra el de las **opciones reales**.

A diferencia de los métodos tradicionales, las opciones reales no limitan la decisión del inversionista al “hoy” de aceptar o rechazar, en su totalidad, un proyecto. Por el contrario, permiten que la decisión se vaya aplazando, completa o parcialmente, conforme se disponga de mayor información. En este punto, es importante mencionar que la aplicación de opciones reales es complementaria a los métodos tradicionales y el aporte que generan es el valor de la flexibilidad en las decisiones.

Por esta razón, y por la importancia económica del desarrollo de la minería en el Perú, el presente trabajo analiza el proyecto “Zinc 320k”.

La valoración del proyecto en estudio se realiza empleando el método de opciones reales teniendo en cuenta dos fuentes de incertidumbre, los precios del zinc y cobre. Así mismo, las opciones que se consideran para la valoración son las siguientes:

- Opción de retrasar todo el proyecto.
- Opción de retrasar la segunda inversión del proyecto.
- Opción de cierre temporal.

Finalmente, es necesario mencionar que este trabajo se desarrolla con la intención de demostrar el valor que aporta el empleo de las opciones reales en proyectos caracterizados por la incertidumbre y flexibilidad.



# 1 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

## 1.1 Objetivos

### Objetivo general

Exhibir que la valoración financiera empleando Opciones Reales es ideal para proyectos relacionados a la minería y metalurgia.

### Objetivos específicos

- Demostrar que un proyecto del ámbito metalúrgico reúne las condiciones necesarias para aplicar la teoría de Opciones Reales.
- Demostrar que la valoración a través de Opciones Reales añade valor, frente al VAN, a proyectos con incertidumbre y flexibilidad.
- Otorgar al lector conocimientos sobre la valoración de proyectos, haciendo hincapié en el método de Opciones Reales.
- Hallar la volatilidad del proyecto a través del modelizado de las fuentes de incertidumbre del proyecto

## 1.2 Motivación

Vivimos en un mundo que no descansa de los cambios constantes que suscitan en diferentes aspectos del entorno como: sociales, políticos, ambientales y tecnológicos. Esto convierte nuestro entorno en una realidad altamente volátil. Ahora bien, surge la siguiente interrogante: ¿Cómo influye esta realidad en la valoración de los proyectos?

Para responder a la pregunta realizada, es necesario describir el método por excelencia que se ha empleado en el pasado y que aún se sigue utilizando en la mayoría de las valoraciones de proyectos. Es de conocimiento que la forma en la que las empresas han venido valorado sus proyectos ha sido a través de los flujos de caja libre que representa la cantidad que la empresa espera que el proyecto genere cada año de su vida útil, y lo descontaban al presente utilizando una tasa de interés. En otras palabras, empleaban y emplean el método tradicional del Valor Actual Neto (VAN).

Un detalle importante del método del VAN, es que en su planteamiento no hay lugar para considerar cierta flexibilidad en el momento que los directivos toman la decisión de ejecutar o no el proyecto. Por lo tanto, al emplear solo el método del VAN se está valorando proyectos sin tomar en cuenta la realidad cambiante que se mencionó en el primer párrafo, la volatilidad.

Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la investigación y el desarrollo de métodos de valoración más acordes a la realidad cambiante del entorno, con el fin de motivar a empresarios, directivos y público en general, a valorar teniendo en cuenta la flexibilidad implícita que algunos proyectos presentan. Una de estas metodologías es la denominada Opciones Reales.

La motivación de la autora de realizar el presente trabajo surgió en el momento en el que por primera vez escuchó sobre la metodología de Opciones Reales y el valor que aportaba la presencia de opciones a la valoración de empresas y proyectos, y que en muchos casos no se tomaban en cuenta provocando que proyectos con valor sean rechazados debido a un resultado negativo en el cálculo del VAN.

Es por ello que el presente trabajo se realiza con la motivación de demostrar que la aplicación de las opciones reales en la valuación de empresas y/o proyectos permite valorar las opciones implícitas, logrando optimizar el valor obtenido de los métodos tradicionales. Además, esta demostración se pretende realizar a través del análisis de un caso real en el sector de la metalurgia, con el fin de dar un paseo por el pasado y recordar que los sectores pioneros en aplicar opciones reales fueron: las petroleras, mineras y farmacéuticas; industrias caracterizadas por un alto grado de incertidumbre.



## 2 METODOLOGÍA

La metodología que se empleará para el desarrollo del presente trabajo iniciará con la revisión de la literatura, también denominada estado del arte, correspondiente al nuevo método de valoración. Después, se expondrán las características generales y técnicas del proyecto real que se empleará como caso de estudio.

Una vez sentadas las bases teóricas de la nueva metodología de valoración y expuestas las características del caso de estudio, se realizará el análisis económico-financiero del proyecto que permitirá valorar el proyecto empleado los métodos tradicionales. Por último, se calcularán todos los parámetros necesarios de la nueva metodología de valoración, para que inmediatamente después sea aplicado al proyecto. Los resultados de la valoración del proyecto empleando los métodos tradicionales serán comparados con los resultados de la nueva metodología de valoración.

A continuación, se detallarán los pasos a seguir en la metodología antes descrita:

### 1. Revisión de la literatura o Estado del Arte

Como ya se mencionó, se realizará un estudio exhaustivo de la teoría implicada en los métodos de valoración. Para esto, como primer paso, se presentarán las características de los métodos tradicionales de valoración (VAN y TIR) y, además, se expondrán las limitaciones que estas presentan.

Posteriormente, se investigará teóricamente sobre las opciones financieras ya que la nueva metodología en estudio deriva de este instrumento financiero. Por ende, es necesario establecer la teoría de las opciones financieras. Con el conocimiento previo adquirido sobre las opciones financieras, se pasa a realizar un estudio profundo sobre la nueva metodología de valoración denominada Opciones Reales. En esta parte del estudio, se presentarán los fundamentos del método, los tipos de opciones, los parámetros que se requieren para su cálculo y se hará un análisis analógico con los parámetros de las opciones financieras.

La revisión de la literatura terminará con una revisión de trabajo previos sobre la metodología de Opciones Reales. En todo el desarrollo de la revisión de la literatura, el trabajo se basará en fuentes fiables y la referencia bibliográfica estará expresado en cada apartado.

El resultado de este primer paso del proceso será la exposición teórica y la adquisición de conocimiento sobre el método de Opciones Reales, lo que permitirá que en pasos posteriores se pueda justificar el empleo de dicho método en el caso práctico real, así como, ejecutar su aplicación.

## **2. Presentación del caso práctico real**

Luego de haber investigado, analizado y mostrado las bases teóricas del presente trabajo, se presentarán los detalles del proyecto real que se empleará como caso práctico para la aplicación del método.

Se iniciará con el análisis de la demanda del zinc y el análisis de los precios del zinc y cobre. Luego, se presentará el modo de ejecución del proyecto, la cronología de inversiones y el nivel de producción de zinc refinado estimado para cada año. Este último punto está basado en la información publicada por La Empresa en el 2008.

Después, se explicará el proceso de obtención zinc refinado y la obtención de los subproductos. Finalmente, luego de conocer el proceso que sigue el zinc en la refinería, se realizará el cálculo del concentrado de zinc, o materia prima, necesaria para la producción del zinc refinado y el cálculo de la producción de cemento de cobre como subproducto del zinc refinado.

La información expuesta en esta etapa estará basada en noticias de periódicos fiables, información expuesta por La Empresa y en entrevistas realizada a un ingeniero experto en el sector minero – metalúrgico.

## **3. Análisis económico - financiero**

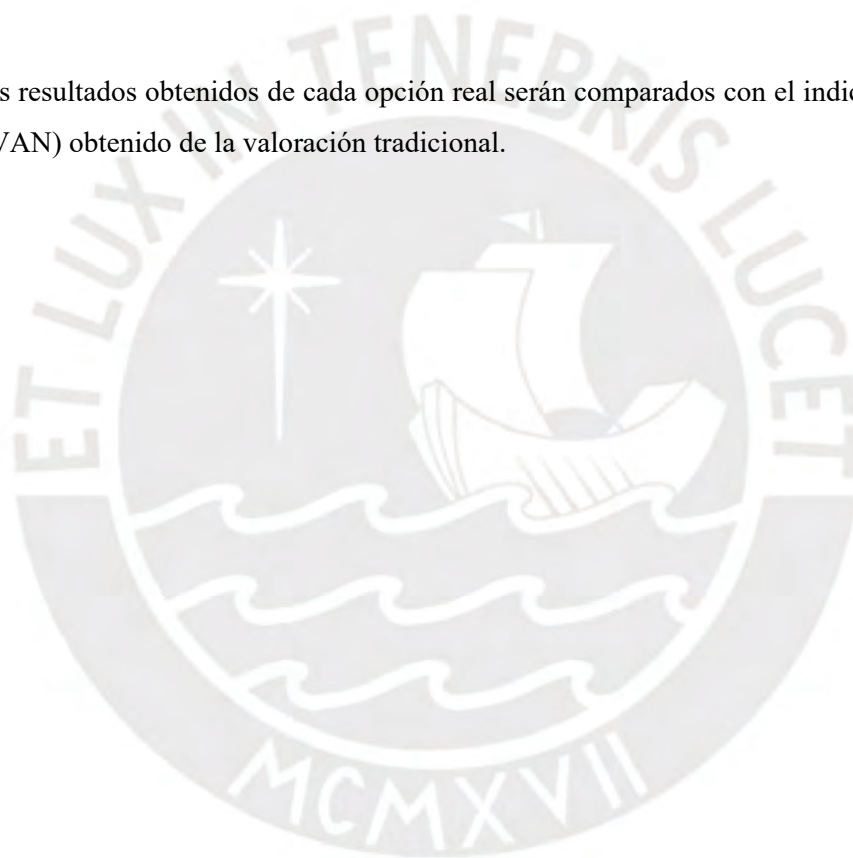
En este punto del trabajo se determinará la estructura de las inversiones, ingresos y egresos. Así mismo, se calculará el costo de oportunidad (COK) y el costo promedio ponderado de capital (WACC). Finalmente, se realizará la valoración tradicional del proyecto empleando la metodología de Flujo de Caja Descontado y el resultado serán los indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

#### 4. Aplicación de Opciones Reales

En este último paso, se realiza la valoración del proyecto del caso práctico empleando la Teoría de Opciones Reales. Se contemplarán tres opciones reales: Opción de Retrasar el inicio de la segunda inversión, Opción de Retrasar el inicio del proyecto y la Opción de Cierre Temporal para cada año durante toda la vida del proyecto.

La aplicación de la Teoría de Opciones Reales presenta un proceso interno que contiene la modelización de las fuentes de incertidumbre para el cálculo de la volatilidad, cálculo del resto de parámetros y finalmente el cálculo del VAN ampliado y del valor de la opción.

Finalmente, los resultados obtenidos de cada opción real serán comparados con el indicador del Valor Actual Neto (VAN) obtenido de la valoración tradicional.



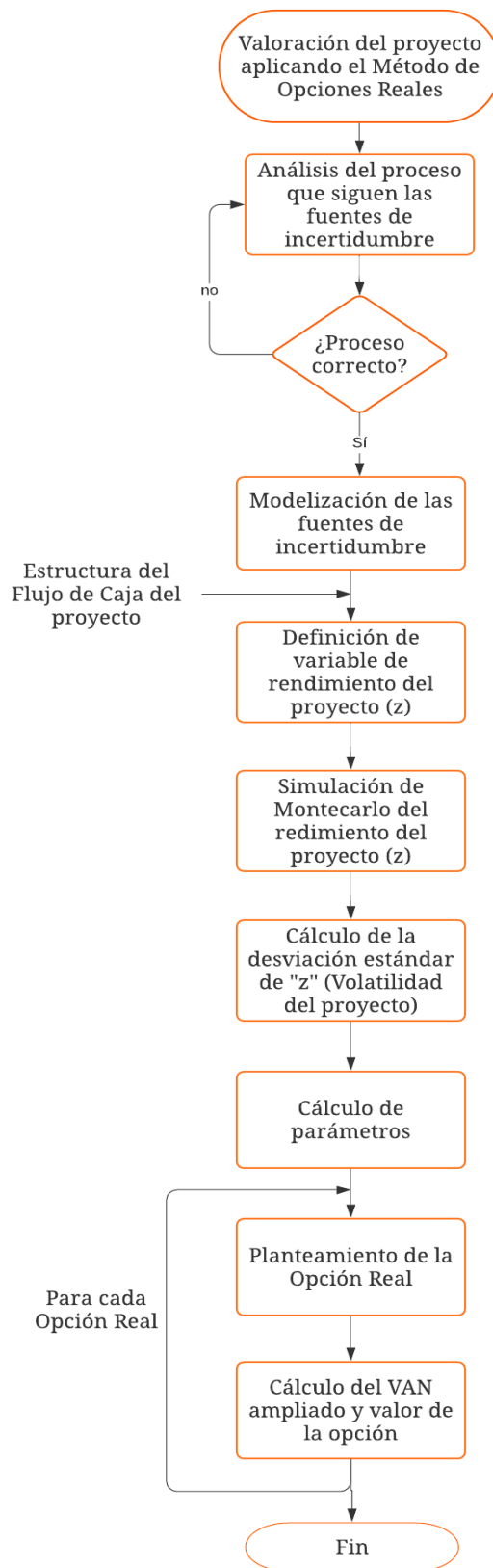


Imagen 1: Proceso para la aplicación de Opciones Reales en la valoración del proyecto

### 3 ESTADO DEL ARTE

La valoración de inversión de cualquier tipo de proyecto consiste en evaluar la posibilidad de invertir en dicho proyecto desde el punto de vista financiero. Existen diferentes maneras de evaluar los proyectos, de los cuales, las más conocidas y aplicadas son los métodos tradicionales de valoración. No obstante, existen métodos complementarios a los tradicionales como es el caso de la teoría de Opciones Reales.

En este capítulo se presentarán las bases en las que se desarrollan los métodos tradicionales de valoración, así como, sus limitaciones. Luego, se explicará teóricamente en qué consisten las opciones financieras para, finalmente, dar pase a la presentación y explicación de las opciones reales.

#### 3.1 Métodos tradicionales de valoración

##### 3.1.1 Método del Valor Actual Neto (VAN)

La teoría del Valor Actual Neto (VAN) permite saber si un proyecto es viable o no. Es un procedimiento que consiste en calcular un número determinado de flujos de caja futuros de un determinado proyecto, para luego descontarlos al año 0 del proyecto. Si la inversión inicial es mayor a los flujos de caja descontados, entonces el proyecto no se realiza, caso contrario, el proyecto debería ser ejecutado.

La fórmula que permite hallar el VAN de cualquier proyecto es:

$$VAN = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 1: Fórmula para calcular el Valor Actual Neto

Donde:

$C_0$  = flujo de caja en el tiempo 0 (es decir, ahora). Normalmente, es negativo ya que es la inversión inicial que se realiza.

$C_t$  = flujos de caja a partir del año 1 hasta el año T.

$r$  = tasa de descuento

Interpretación:

- $VAN > 0$ , la inversión aumenta el valor de la empresa. El proyecto puede ser aceptado.
- $VAN < 0$ , la inversión disminuye el valor de la empresa. El proyecto debería ser rechazado.
- $VAN = 0$ , la inversión no aumenta ni disminuye el valor de la empresa. La decisión de invertir debería basarse en otros criterios.

### 3.1.2 Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) mide la rentabilidad de un proyecto en manera de porcentaje. Es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto del proyecto adopte el valor de cero.

La fórmula que permite hallar la TIR de un proyecto es:

$$VAN = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1 + TIR)^t}$$

Ecuación 2: Fórmula para calcular la Tasa Interna de Retorno

Donde:

$C_0$  = flujo de caja en el tiempo 0 (es decir, ahora). Normalmente, es negativo ya que es la inversión que se realiza.

$C_t$  = flujos de caja a partir del año 1 hasta el año T.

Interpretación:

Teniendo en cuenta que el costo de oportunidad de capital es " $k$ ", entonces si la

$TIR > k$ , se debe aceptar el proyecto

$TIR < k$ , se debe rechazar el proyecto

En este aspecto, hay que tener claro la diferencia entre tasa interna de retorno (TIR) y el costo de oportunidad de capital. La TIR es una medida de rentabilidad que depende únicamente de dos factores: cantidad de los flujos de efectivo y el tiempo de los mismo. Por otro lado, el costo de oportunidad de capital es un valor que lo establece el mercado de capitales y, por ende, es un valor estándar de rentabilidad que se utiliza para calcular el valor del proyecto (Myers, 2011).

El criterio del VAN y TIR miden la rentabilidad de una inversión; sin embargo, se sugiere que su empleo se realice de forma complementaria ya que miden aspectos diferentes de la rentabilidad. El VAN muestra un valor absoluto y la TIR la rentabilidad porcentual.

### **3.1.3 Técnica del Payback o plaza de recuperación**

La técnica del *payback* consiste en calcular el tiempo en el que el proyecto logra recuperar la inversión inicial. Este método analiza la liquidez del proyecto ya que valora positivamente a los proyectos que logran recuperar el valor invertido en un menor tiempo. Por lo tanto, según este método, se deberá elegir los proyectos cuyas inversiones tengan el menor *Payback*.

Para calcular el plazo de recuperación de la inversión se debe acumular de forma sucesiva los flujos de caja hasta que dicha suma sea igual a la inversión inicial.

Se debe tener en cuenta que el método del *Payback* no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo; sin embargo, esto se puede solucionar empleando un *Payback* Descontado. Es decir, antes de acumular los flujos de caja, estos deben ser descontados al año cero.

El principal inconveniente de este criterio es que no considera los Flujos de Caja Netos que se producen luego del plazo de recuperación, por ende, la decisión de invertir en un proyecto estará sesgada a los años necesarios para recuperar la inversión inicial.

### **3.1.4 Limitaciones de métodos tradicionales**

Los modelos tradicionales de valoración de proyectos fueron desarrollados en un entorno estable, esto permitía que sea posible pronosticar lo que sucedería durante el tiempo que duraría el proyecto (Calle & Tamayo, 2009). Por lo tanto, los modelos tradicionales planteaban parámetros constantes y estables a lo largo de la vida útil del proyecto como:

- a. Los flujos de caja que se esperan del proyecto se conocen desde el inicio de la valoración y son calculados teniendo en cuenta las provisiones realizadas en el momento de su cálculo. Estas provisiones pueden haber sido realizadas mediante condiciones que se estiman que serán predominantes a lo largo de la vida del proyecto.

- b. Se considera a la tasa de descuento que se aplica en la inversión como constante a lo largo del tiempo, dejando de lado la posibilidad de variaciones en función del tiempo. Además, esto supone que el riesgo es constante a lo largo de la vida del proyecto, suposición falsa en gran parte de los casos debido a que el riesgo disminuye conforme avanza el tiempo ya que se tiene más información sobre el mismo y; por ende, capacidad de prever con mayor exactitud los flujos de caja que queda por recibir (Mascareñas, 1999)

Sin embargo, debido a los constantes cambios que han ido ocurriendo a lo largo del siglo XXI, al acelerado avance de la tecnología, a la necesidad de investigación, a la innovación (Calle & Tamayo, 2009) y a la libre disposición de información; han provocado que el entorno de un giro de 180 grados y adopte una posición inestable. Produciendo, de esta forma, que los modelos tradicionales no se adapten a las nuevas características del entorno.

Existe un problema básico de emplear el método de VAN. Al comparar el VAN y el valor real se tiene tres escenarios. El primer escenario es que ambos valores sean positivos; sin duda, el escenario ideal. El segundo escenario es cuando el VAN es positivo y el valor real resultó siendo negativo, esto sería un problema ya que se habría invertido en un proyecto que generó pérdidas. Y el último escenario se presenta cuando el VAN arrojó un resultado negativo cuando en la realidad era positivo, en este caso se pierde la oportunidad de invertir en un proyecto valioso (Stephen, Randolph, & Bradford, 2010).

Este análisis es también aplicable al método de la TIR y del *Payback*; al fin y al cabo, los tres requieren de la elaboración de un pronóstico de los flujos de caja que generaría el proyecto. La probabilidad de que ocurra cualquiera de estos escenarios dependerá de la precisión con la que se estimen los flujos de caja, y debido a la naturaleza de estos cálculos, es difícil hallar dichas probabilidades.

Siguiendo el hilo del anterior párrafo, según (Mascareñas, 1999) existen varios sectores en los que proyectar los ingresos y egresos esperados es algo imposible o trabajoso debido a la gran variabilidad que los caracteriza. Por lo tanto, cuando se emplea el método del VAN se está escogiendo unos pocos de los tantos caminos posibles, dejando de lado una gran cantidad de posibles escenarios. De esta manera, el resultado de la valoración se estaría cegando solo a los escenarios tomados en cuenta en el análisis.



Por otro lado, “*Las principales limitaciones en el uso del VAN surgen debido a que éste es un método desarrollado inicialmente para la valoración de bonos sin riesgo, y cuya utilización se extendió también a la valoración de proyectos de inversión reales*” (Mascareñas, 1999, pág. 143).

En primer lugar, se debe entender que los métodos tradicionales de valoración fueron desarrollados sin tener en cuenta varios aspectos que pueden influir en la ejecución y, por ende, en los resultados del proyecto. Por lo tanto, la aplicación directa de los métodos tradicionales en proyectos de inversión real, sin comparar los aspectos que toma en cuenta los métodos tradicionales con las características del proyecto, puede conllevar a resultados pocos fiables.

Las aplicaciones de métodos tradicionales en proyectos de inversión real pueden ser efectivos en circunstancias donde la decisión de invertir se debe tomar inmediatamente; es decir, ahora o nunca. Sin embargo, serán menos efectivos cuando sean proyectos a) con flexibilidad operativa<sup>3</sup> y b) con alta volatilidad. Además, los intangibles no son tomados en cuenta al valorar mediante métodos tradicionales y, en muchos casos, forman parte de los aspectos claves para tomar la decisión de inversión (Tamayo & Calle, 2005); por lo que, si solo se emplean los métodos tradicionales para valorar una inversión, es posible que se esté ignorando aspectos importantes para la decisión.

En resumen, existen cuatro puntos limitantes de los métodos tradicionales que impide una correcta valoración de inversión de varios proyectos reales. Estos son:

- i. Los modelos tradicionales no han sido capaces de adaptarse a las nuevas características del entorno, que difieren en gran proporción a las características del entorno en las que fueron creadas. Por ende, estos modelos suponen una tasa de descuento constante y conocida, lo que indica que asumen un riesgo constante.
- ii. Emplear los métodos tradicionales significa, en muchos casos, ignorar posibles caminos que pueda tomar el futuro. Por lo tanto, los cálculos que se emplean para estimar los flujos de caja son, en su mayoría, imprecisos debido a que se estiman empleando el promedio de los datos e información estimada sobre el futuro.

---

<sup>3</sup> Se refiere a proyectos en donde el equipo directivo tiene la posibilidad de responder con flexibilidad a la nueva información y, por ende, puede demorar la decisión de inversión para un futuro.

- iii. El método del VAN fue desarrollado para valorar bonos sin riesgo, por lo su aplicación en proyectos reales debería limitarse a aquellos proyectos que tengan características similares a los bonos sin riesgo.
- iv. Son métodos que se limitan a decisiones del ahora o nunca, por lo que en su ecuación no se considera el valor adicional de la flexibilidad que presentan algunos proyectos.

Ante el problema de las limitaciones que presentan los métodos tradicionales de valoración, se han desarrollado técnicas complementarias a los métodos tradicionales en las que se tiene en cuenta: el grado de irreversibilidad, la incertidumbre y el margen de maniobra (Mascareñas, 1999). Este método es el llamado Opciones Reales.

### **3.2 Opciones Financieras**

Este apartado estará basado en el libro de (Hull, 2014) en lo que respecta a la conceptualización de la teoría de opciones financieras y a la terminología que se emplee para su presentación.

Las opciones financieras son uno de los tipos de instrumentos de derivados financieros. Los instrumentos de derivados son acuerdos o contratos que se realiza entre dos partes para realizar algo en el futuro. Una de las principales razones por las que se emplean las opciones financieras es que tiene la capacidad de proporcionar seguro ante las incertidumbres del entorno. Por ende, se puede afirmar que son instrumentos de cobertura<sup>4</sup> ante un contexto de incertidumbre.

En los mercados derivados existen dos tipos de posiciones que se pueden tomar: el agente que va a realizar la compra de la opción tiene la posición larga y el agente que realiza la venta de la opción tiene la posición corta.

---

<sup>4</sup> Se les denomina instrumentos de cobertura ya que tienen la capacidad de proporcionar seguridad al inversionista porque les permite protegerse antes cambios desfavorables de los precios en un futuro y, beneficiarse de los cambios favorables.

En las opciones financieras la posición larga, el comprador, debe pagar un precio adelantado que se conoce como prima<sup>5</sup> de la opción. Al pagar esta prima, el comprador tiene el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender un determinado activo subyacente a un precio fijado y en una fecha<sup>6</sup> concreta establecida en el contrato.

Los activos subyacentes pueden ser opciones, acciones, divisas, índices bursátiles, futuros o *commodities*<sup>7</sup>. El agente que toma la posición corta, vendedor, tiene la obligación de ejercer el contrato en caso el comprador lo encuentre favorable. Si el escenario es desfavorable, la posición larga no ejerce la opción y pierde la prima.

### 3.2.1 Tipos de opciones

Los tipos de opciones son las siguientes:

- Opción de compra (call): Brinda a la posición larga (comprador) el derecho de comprar el activo subyacente a un determinado precio en una fecha específica y obliga a la posición corta (vendedor) a vender el activo subyacente. El agente con posición larga ejercerá la opción si el valor del activo en el mercado es mayor al valor pactado en el contrato
- Opción de venta (put): Brinda a la posición larga el derecho de vender el activo subyacente a un determinado precio en una fecha específica y obliga a la posición corta a comprar el activo subyacente. El agente con posición larga ejercerá la opción si el valor del activo en el mercado es menor al valor pactado en el contrato

---

<sup>5</sup> Prima: es el precio que debe pagar el comprador para participar en el contrato de la opción. Se calcula teniendo en cuenta seis variables precio actual del activo, precio del ejercicio, volatilidad del activo, tiempo de vencimiento, tipo de interés libre de riesgo entre otros parámetros

<sup>6</sup> La fecha que se indica en el contrato es la fecha de vencimiento y existen dos tipos de contratos, las opciones europeas y las americanas.

-En las opciones europeas se puede ejercer solo en la fecha de expiración.

-En las opciones americanas se puede ejercer en cualquier momento antes de la fecha de expiración

<sup>7</sup> Commodities: Son bienes que se tasan en el mercado de valores. Estos pueden ser materias primas como los metales, alimentos y combustible.

### 3.2.2 Posiciones en las opciones

En todos los contratos de opciones intervienen dos partes: el comprador (posición larga) y el vendedor (posición corta). El comprador realiza un primer pago que sería la prima de la opción y el emisor de la opción (vendedor) recibe efectivo por adelantado. En este punto, se puede afirmar que la utilidad o pérdida del vendedor de la opción son lo opuesto a la utilidad o pérdida del comprador de la opción.

Existen cuatro tipos de posiciones en las opciones:

1. Posición larga en una opción de compra: el comprador tiene el derecho de comprar el activo subyacente acordado en el contrato.
2. Posición corta en una opción de compra: el vendedor tiene la obligación de entregar el activo subyacente, en caso la posición larga del contrato ejerza su derecho de la compra.
3. Posición larga en una opción de venta: el comprador tiene el derecho de vender el activo subyacente acordado en el contrato.
4. Posición corta en una opción de venta: el vendedor tiene la obligación de comprar el activo subyacente, en caso la posición larga del contrato ejerza su derecho de venta.

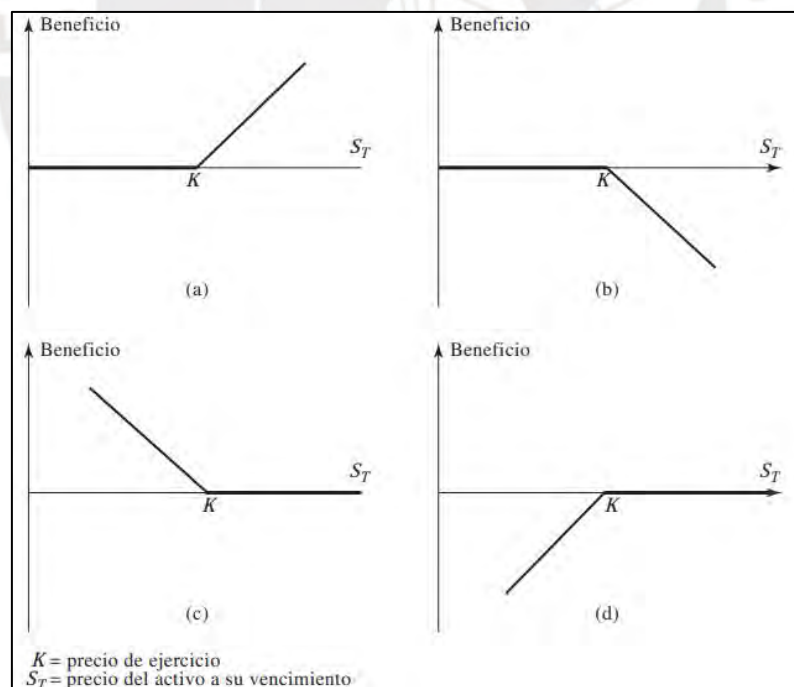


Imagen 2: Beneficios de las posiciones en opciones europeas: a) posición larga en una opción de compra, b) posición corta en una opción de compra, c) posición larga en una opción de venta, d) posición corta en una opción de venta

Fuente: (Hull, 2014, pág. 190)

En la imagen 2 se puede observar los beneficios obtenidos de las 4 posiciones de opciones europeas. Hay que tener en cuenta que con frecuencia una opción europea se describe en términos del beneficio para el comprador de la opción, y la prima de la opción no se toma en cuenta para el cálculo de los beneficios. Teniendo en cuenta que  $K$  es el precio del ejercicio y  $S_T$  es el precio final del activo, se puede calcular los beneficios de las cuatro posiciones:

El beneficio para una posición larga en una opción de compra europea es:  $\max(S_T - K, 0)$ ; por lo tanto, la opción se ejercerá si  $S_T > K$  y no se ejercerá si ocurre lo contrario. La posición corta en una opción de compra europea tendrá un beneficio de:  $-\max(S_T - K, 0)$ . Analizando lo planteado, se puede observar que si la opción de compra europea se ejerce es porque generará una utilidad positiva a la posición larga del contrato y generará una pérdida a la posición corta, esta pérdida será de la misma magnitud que el beneficio generado para la posición larga.

El beneficio para una posición larga en una opción de venta europea es:  $\max(K - S_T, 0)$ ; por lo tanto, la opción se ejercerá si  $K > S_T$  y no se ejercerá si ocurre lo contrario. La posición corta en una opción de venta europea tendrá un beneficio de:  $-\max(K - S_T, 0)$ .

### 3.2.3 Modelos de valoración de las opciones financieras

En este apartado se presentará dos modelos empleados para valorar las inversiones mediante opciones financieras, conjuntamente con sus respectivos análisis. En primer lugar, se presentará el **Modelo de árboles binomiales** que fue propuesto por Cox, Ross y Rubinstein, y se emplea ampliamente en la valuación de las opciones americanas.

En segundo lugar, se introducirá el **Modelo Black, Scholes y Merton**. La importancia de este segundo modelo recae en dos aspectos principales: la influencia que ha logrado tener en la manera en que los negociantes e inversores evalúan y cubren las opciones; y su relevancia para que se logre el crecimiento de la ingeniería financiera.

Antes de iniciar con la explicación de ambos modelos, es necesario recalcar la diferencia que existe entre los términos: valor de una opción y precio de una opción, ya que puede llevar a confusiones.

El valor de una opción es la diferencia que existe entre el precio del activo subyacente en el mercado y el precio strike<sup>8</sup>, en una opción de compra; y es la diferencia que existe entre el precio strike y el precio del activo subyacente en el mercado, en una opción de venta. Este valor se calcula en la expiración del contrato, en otras palabras, cuando se decide si se va a efectuar la opción o no. Por lo tanto, el valor de una opción siempre es positiva y en caso la opción no se ejerza, su valor será cero.

El precio de la opción, también conocido como prima de la opción, es la cantidad que el comprador de la opción debe pagar al inicio del ejercicio independientemente de que la opción se lleve a cabo o no.

### 3.2.3.1 Modelo de árboles binomiales

Como se mencionó en el apartado de “Limitaciones de métodos tradicionales”, una de las principales limitaciones de los métodos clásicos es que ignoran en su planteamiento la existencia de varios posibles caminos.

El modelo de árboles binomiales resuelve dicha limitación, ya que su técnica consiste en construir diferentes rutas posibles que podría seguir el valor del activo subyacente, teniendo en cuenta una o más fuentes de incertidumbre.

El único supuesto que se necesita para aplicar este método es que no debe existir oportunidades de arbitraje<sup>9</sup> (Hull, 2014).

Al realizar el análisis en el modelo binomial de un paso y teniendo en cuenta el único supuesto, se obtuvo que el precio de una opción es:

$$f = e^{-rT} [pf_u + (1 - p)f_d]$$

Ecuación 3: Fórmula para calcular el precio de una opción

Donde:

---

<sup>8</sup> El precio strike es el precio que se fija en el ejercicio de la opción. Es decir, es el precio al que se ha establecido la compra o venta del activo subyacente.

<sup>9</sup> Consiste en asegurar un beneficio libre de riesgo realizando, simultáneamente, transacciones en dos o más mercados.

$p$  = probabilidad de un movimiento ascendente en un mundo neutral al riesgo  
 $1-p$  = probabilidad de un movimiento descendente en un mundo neutral al riesgo  
 $r$  = tasa de interés libre de riesgo.  
 $T$  = duración de la opción.  
 $u$  = índice cuando el precio de activo ascendió ( $u > 1$ ).  
 $d$  = índice cuando el precio de activo descendió ( $d < 1$ ).  
 $f_u$  = beneficio proveniente de la opción cuando el precio del activo aumentó.  
 $f_d$  = beneficio proveniente de la opción cuando el precio del activo disminuyó.

Al aplicar el modelo de árboles binomiales hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- La fórmula que se aplica para valuar una opción no tiene relación con las probabilidades de que el precio de la opción aumente o disminuya. Esto se debe a que el precio de la opción se está calculando en función del precio del activo subyacente. Por lo tanto, las probabilidades de movimientos de ascenso o descenso ya están contemplados en el precio de la acción.
- En la valuación de los instrumentos financieros derivados, se puede hacer el supuesto de que los inversionistas son neutrales al riesgo; es decir, que el rendimiento esperado de los inversionistas no se ve afectado por la variación del riesgo. A este principio se le denomina **valuación neutral al riesgo** y su base se fundamenta en que la valuación de una opción se realiza en términos de su activo subyacente y las inclinaciones de los inversionistas respecto al riesgo no tiene mucha relevancia. Es decir, en el mundo real, cuando los inversionistas manifiestan su aversión al riesgo, los precios de los activos disminuyen, pero esto no afecta al beneficio de la opción.

Por lo tanto, suponer la neutralidad al riesgo nos da el precio correcto de la opción a pesar de que el mundo en el que vivimos la neutralidad al riesgo no existe. Finalmente, la valuación neutral al riesgo permite que el rendimiento esperado sobre todos los activos sea la tasa libre de riesgo, lo que significa que, para calcular los beneficios esperados (entre ellos el beneficio esperado de la opción) se emplee la tasa libre de riesgo.

A continuación, se presentará los principios del método binomial que dará lugar a su posterior construcción.

- El precio del activo subyacente en  $t = 0$  es  $S_0$

- El precio del activo subyacente en el tiempo  $t+1$  (inmediatamente posterior al actual) solo podrá tomar dos valores posibles. Considerando que estamos en el  $t=0$ , los posibles valores que podrá tomar el activo subyacente en el  $t=1$  serán:
  - Valor superior: cuando el precio del activo es superior y su valor se calcula multiplicando  $S_0$  y  $u$ . La probabilidad de que ocurra este escenario esta dado por  $p$ .
  - Valor inferior: cuando precio del activo es inferior y su valor se calcula multiplicando  $S_0$  y  $d$ . La probabilidad de que ocurra este escenario esta dado por  $1-p$ .
- La tasa de descuento empleado será la tasa libre de riesgo.
- El precio de la opción en un escenario dependerá del precio del activo subyacente en dicho escenario y del precio del ejercicio. Recordemos que el precio de una opción solo podrá ser cero o valores positivos.

Su representación se muestra en la imagen 3, por ejemplo, después de un primer movimiento ascendente y un segundo movimiento descendente se denotará como  $f_{ud}$ .

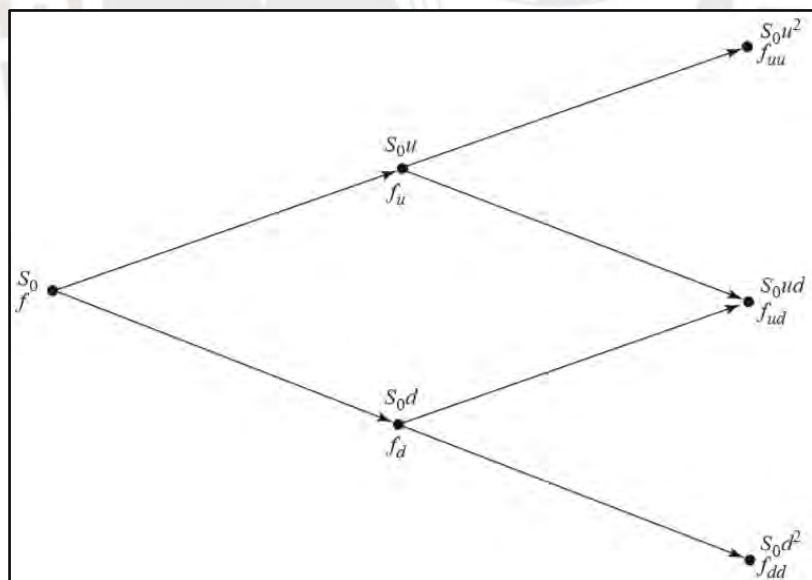


Imagen 3: Precios de las acciones y opciones en un árbol general de dos pasos.

Fuente: (Hull, 2014, pág. 254)

Se debe considerar la diferencia que existe entre las opciones europeas y americanas. Cuando se valora una opción europea se sabe que solo se podrá ejercer en la fecha de vencimiento establecida en el contrato. Por lo tanto, el precio de la opción en cada nodo dependerá solo de la ecuación 3.



Por otro lado, en una opción americana la opción se podrá ejercer en cualquier momento antes de la fecha de vencimiento; por ende, el precio de la opción en cada nodo será el mayor entre los siguientes valores:

1. El valor obtenido de la ecuación 3.
2. El beneficio que se obtiene al valorar el precio de la opción si se ejerciera en ese momento.

El modelo, independientemente de que se aplique en una opción europea o americana, requiere del cálculo de la probabilidad libre de riesgo ( $p$ ), el factor de ascenso ( $u$ ) y del factor de descenso ( $d$ ).

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}$$

Ecuación 4: Fórmula para calcular la probabilidad libre de riesgo.

Donde:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta T}}$$

$$d = \frac{1}{u}$$

$\sigma$  = volatilidad del precio del activo subyacente

$\Delta T$  = longitud del intervalo de tiempo del nodo

### 3.2.3.2 Modelo Black, Scholes y Merton

Este modelo fue planteado para la valuación de opciones de compra y venta de acciones en el mercado europeo; es decir, la posibilidad de ejercer la opción solo está presente en la fecha de vencimiento. Además, su fórmula se dedujo bajo las siguientes suposiciones (Hull, 2014, págs. 277-278):

1. El precio de una acción tendrá un comportamiento logarítmico normal, con un rendimiento esperado de la acción ( $\mu$ ) y una volatilidad de la acción ( $\sigma$ ) constantes.
2. La acción no genera dividendos durante la vida de la opción.
3. No hay oportunidades de arbitraje.
4. Los inversionistas pueden emplear la tasa de interés libre de riesgo para solicitar u otorgar préstamos.
5. La tasa de interés libre de riesgo a corto plazo es constante.
6. La opción es de tipo europeo.
7. No hay costos por transacciones ni impuestos al ejercer la opción.

Este modelo de valoración presenta un grado de complejidad alto y su aplicación práctica se limita a considerar como máximo dos fuentes de incertidumbre (Contreras & Muñoz, 2013).

### 3.3 Opciones reales como método de valoración

#### 3.3.1 Introducción a opciones reales

Las Opciones Reales surgen como un método complementario a los métodos tradicionales para valorar proyectos, con la finalidad de suplir las limitaciones que presentan los métodos tradicionales, principalmente las del método del Valor Actual Neto (VAN). Estas limitaciones se resumen en los siguientes tres puntos:

- Su modelo se basa en un solo escenario dejando de lado todos los posibles escenarios.
- No tienen en cuenta la posibilidad de flexibilidad operativa del proyecto.
- Asumen que la tasa de descuento es constante y conocida.

Por lo tanto, la metodología de Opciones Reales tiene en cuenta dos aspectos: el valor actual neto del proyecto calculado con el método tradicional y el valor actual de las opciones reales, como se puede ver a continuación:

$$VAN_{ampliado} = VAN_{tradicional} + VA_{opciones\ reales}$$

Según Mascareñas (2004), la metodología de Opciones Reales será correctamente aplicado cuando:

- El equipo directivo cuenta con la posibilidad de responder flexiblemente a la nueva información. Es decir, no es necesario tomar una decisión en el instante y se puede retrasarse el tiempo que sea necesario, según la disposición de información.
- En mercados donde una de sus principales características es la incertidumbre
- En proyectos en donde el VAN tradicional presenta un valor cercano a cero. Si el VAN es un valor muy alto, el proyecto será atractivo, incluso, sin tomar en cuenta el valor de las opciones. Ocurrirá lo mismo cuando el VAN es muy negativo, el proyecto será rechazado.

Por otro lado, la posibilidad de invertir en un proyecto se asemeja a la opción para comprar una acción (o activo subyacente). En ambos casos, le da al poseedor de la opción el derecho de invertir o comprar, mas no la obligación de hacerlo. Las Opciones Reales son aquellas opciones en donde el activo subyacente es un activo real<sup>10</sup>.

(Contreras & Muñoz, 2013) resaltan la importancia de la flexibilidad e incertidumbre de los proyectos para la aplicación de Opciones Reales.

La **flexibilidad** de un proyecto se manifiesta en la presencia de caminos alternos que se puedan ir tomando conforme se disponga de mayor y mejor información. Es decir, es un proceso de decisión en el que se “tantea y avanza” de acuerdo a los resultados de las fases previas. La presencia de flexibilidad genera valor en la valuación de un proyecto.

La **incertidumbre** se presenta cuando es difícil pronosticar si un proyecto será exitoso o no. Además, afirman que la incertidumbre es directamente proporcional al valor de la opción. Es decir, mientras mayor sea la incertidumbre, el valor que tendrá la opción también crecerá de manera positiva y negativa. Sin embargo, hay que recordar que la opción solo se ejercerá cuando el crecimiento de su valor sea positivo.

Por otro lado, (Amram & Kulatilaka, 1999) mencionan que, si un activo se valora desde un enfoque tradicional, su valor decrece conforme la incertidumbre aumenta. Sin embargo, la aplicación de las opciones reales puede provocar que el valor del activo aumente cuando la incertidumbre es alta, esto se da debido a que los directivos, a través de la identificación y aplicación de sus opciones, logran responder con flexibilidad a los cambios del entorno. Esto se puede ver reflejado en la siguiente imagen:

---

<sup>10</sup> Activos reales: son activos como inmuebles, proyectos de inversión, empresas, patentes, etc.

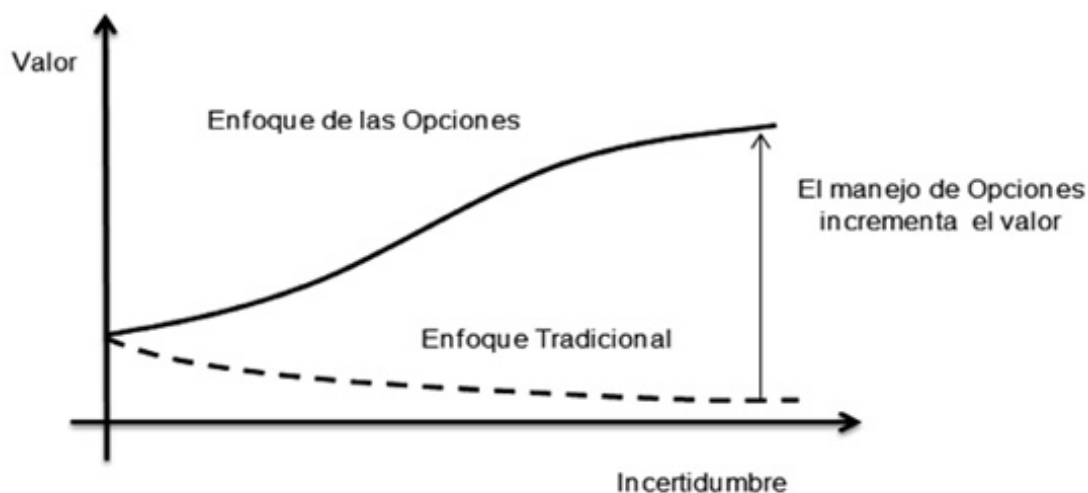


Imagen 4: Enfoque de las Opciones Reales: La Incertidumbre incrementa el valor

Fuente: Adaptado de (Amram & Kulatilaka, 1999)

En esta parte es importante aclarar la diferencia entre riesgo e incertidumbre. Aunque en muchas ocasiones sean conceptos que se emplean como sinónimo, su uso en la literatura financiera implica diferentes definiciones. Se habla de riesgo cuando es posible cuantificar de manera probabilística los posibles comportamientos de una variable o proyecto, mientras que hablar de incertidumbre significa no tener conocimientos de las probabilidades de que ocurra un evento (Contreras & Muñoz, 2013).

### 3.3.2 Tipos de Opciones Reales

(Mascareñas, Lamothe, Lopez, & Luna, 2004) señalan siete tipos de opciones: de diferir, de aprendizaje, de ampliar, de reducir, de cierre temporal, de intercambio y de abandono. Sin embargo, se presentará los cuatro tipos de opciones más empleadas.

#### 3.3.2.1 Opción de Ampliar

Esta opción se ejecuta cuando las condiciones del mercado resultan ser más favorables de lo estimado. Le brinda al propietario el derecho a comprar una parte adicional del proyecto incurriendo en un coste adicional ( $A_E$ ), que estará destinado a la ampliación ( $x\%$ ). Tomando desde la perspectiva de una opción financiera, se puede interpretar como una **opción de compra de los flujos de caja que generará la ampliación del proyecto**. Por lo tanto, la oportunidad de invertir en un proyecto con una inversión inicial ( $VA$ ) y una opción de ampliar, puede ser representada mediante la siguiente ecuación:

$$E_1 = VA_1 + \text{máx} [xVA_1 - A_E ; 0]$$

Ecuación 5: Valor medio del proyecto en el primer periodo en una opción de Ampliar.

### 3.3.2.2 Opción de Abandonar

Esta opción aparece en muchos proyectos en donde se trabaja por etapas, ya que mantiene la opción de abandonar el proyecto cuando se considera que el futuro será bastante negativo. Le brinda al propietario el derecho de: vender, liquidar, cerrar la totalidad del proyecto (VA) a cambio de un precio residual (VR) o suprimir la totalidad del proyecto a cambio de ahorrar costes. Esta opción se puede interpretar como una **opción de venta de flujos de caja del proyecto que se abandona**. La opción de abandonar el proyecto se representa de la siguiente manera:

$$E_1 = \text{Máx} [VA ; VR]$$

Ecuación 6: Valor medio del proyecto en el primer periodo en una opción de Abandonar

### 3.3.2.3 Opción de Diferir

Este tipo de opciones son más valiosas en proyectos donde las barreras de entrada son fuertes y el propietario tiene derechos exclusivos para invertir en dicho proyecto. Le brinda al propietario el derecho de retrasar el proyecto durante un plazo determinado, a cambio de una inversión luego del retraso ( $A_n$ ). Esta opción se puede interpretar como una **opción de compra de los flujos de caja retrasado ( $VA_n$ )**. La opción de diferir el proyecto es representada de la siguiente forma:

$$E_1 = \text{Máx} [VA_1 - A_1 ; 0]$$

Ecuación 7: Valor medio del proyecto en el primer periodo en una opción de Diferir

### 3.3.2.4 Opción de Cierre Temporal

Este tipo de opciones se presentan principalmente en industrias de extracción y procesamiento de recursos naturales, generación de energía eléctrica o en industrias cíclicas. Le proporciona al poseedor el derecho de abandonar temporalmente el proceso productivo cuando su realización incurre en pérdidas; es decir, cuando los ingresos obtenidos no son suficientes para responder a los costes variables. Ejercer el derecho de la opción le permite al dueño ahorrarse los costes variables durante el periodo que decide cerrar (Mascareñas, 2013).

Se puede interpretar como una **opción de compra de los ingresos netos (I)**, cuyo precio de ejercicio es el valor de los costes variables operativos ( $C_v$ ). Por lo tanto, el valor de la opción de cierre temporal se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Máx } [I - C_p ; 0]$$

### 3.3.3 Variables a tomar en cuenta en una Opción Real

Para calcular el valor de las opciones financieras se requiere de variables que ya han sido comentadas en el subcapítulo pertinente. El valor de las opciones reales, al igual que el de las opciones financieras, varía en función de seis variables, estas son (**Tabla 1**):

1. **Precio del activo subyacente (S)**: en la opción real se refiere al valor actual del activo real subyacente, en otras palabras, al valor actual de los flujos de caja que se espera que genere el activo real subyacente.
2. **Precio del ejercicio o *Strike Price* (E)**: en la opción real es el precio que se debe pagar para poner en marcha la opción real establecida. Este precio puede ser flujos de caja, inversiones y ahorro de coste o ingresos; en realidad, va a depender del tipo de opción real.
3. **Tiempo hasta el vencimiento (t)**: indica el tiempo que dispone el propietario de la opción real para ejercer su derecho. Puede ser de tipo europea o americana.
4. **Volatilidad ( $\sigma$ )**: es la desviación típica del rendimiento del activo subyacente. Es decir, indica que tanto puede oscilar el precio del activo subyacente (S).
5. **Tasa de interés libre de riesgo ( $r_f$ )**: es la tasa que se emplea para calcular el valor del dinero en diferentes horizontes del tiempo. Como se sabe, la inversión en una opción tiene un costo de oportunidad de utilizar el dinero en otra alternativa; en este caso, basándose en el principio de valuación neutral al riesgo, el rendimiento de la tasa será igual a la tasa libre de riesgo.
6. **Dividendos (D)**: es el dinero que genera el activo subyacente real durante el tiempo que el propietario de la opción real no ejerza su derecho (o la renuncia a su derecho).

Tabla 1: Variables que forman parte del valor de una opción financiera vs. Una Opción Real.

Opción financiera	Variable	Opción real
Precio de mercado del activo subyacente.	S	Valor presente de los flujos de caja operativos del proyecto.
Precio del ejercicio.	E	Valor presente de la inversión requerida para desarrollar el proyecto
Tiempo hasta el vencimiento de la opción.	t	Longitud del tiempo que se puede ejercer la opción real.

<b>Volatilidad de los rendimientos del activo subyacente.</b>	$\sigma$	Riesgo del proyecto.
<b>Valor temporal del dinero.</b>	$r_f$	Tasa de interés sin riesgo.
<b>Dividendos del activo subyacente.</b>	D	Pagos o pérdidas en los ingresos durante la vida del proyecto.

Fuente: (Contreras & Muñoz, 2013).

### 3.3.4 Cálculo de la incertidumbre: volatilidad

La volatilidad es una de las variables necesarias para poder valorar una opción real y en muchos casos, su estimación puede llegar a ser compleja. Es un parámetro que indica la incertidumbre presente en el retorno de una inversión.

Cuando se habla de opciones financieras a corto plazo se puede partir del supuesto de que la varianza<sup>11</sup> del rendimiento medio esperado es constante y conocida; sin embargo, en las opciones reales la varianza suele afectar a un periodo largo de tiempo y, por ende, es difícil que permanezca constante. Esta inconstancia de la varianza se puede deber a los cambios permanentes que ocurren en los distintos mercados como: los avances tecnológicos, nuevos descubrimientos, variación de precios, etc.

La estimación de la volatilidad de una opción real es un paso muy importante en el análisis de opciones reales ya que es de gran relevancia para valorar una opción, intervienen directamente en el cálculo de los índices de alza (u) y baja (d) del activo subyacente. La complejidad del cálculo de la volatilidad va a depender de las **fuentes de incertidumbre** que afecten al valor del activo subyacente real y de la naturaleza de dichas fuentes de incertidumbre.

En muchos casos, el análisis de Opciones Reales no contempla solo una fuente de incertidumbre, por el contrario, es posible que se tenga que tomar en cuenta varias fuentes de incertidumbre, lo cual nos dirige a tener que realizar dicho análisis empleando el método de árboles binomiales debido a la limitación que presenta el modelo de Black, Scholes y Merton.

<sup>11</sup> Es una medida de dispersión que se define como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media. Su unidad de medida es el cuadrado de la unidad de medida de la variable

Según (Contreras & Muñoz, 2013), las incertidumbres se pueden clasificar en dos tipos de familias:

1. **Incertidumbres discretas:** son aquellas incertidumbres que se van aclarando conforme la investigación vaya avanzando. Es decir, conforme se va avanzando con una fase del proyecto se va adquiriendo mayor información y con ello, la incertidumbre se va resolviendo. Por ejemplo, en la fase de exploración minera, la incertidumbre sería el desconocimiento de la extensión del mineral y su valor. Por lo tanto, una vez se avance con esta fase o, en su defecto, se termine; la incertidumbre será resuelta debido a que ya se obtiene información de lo que al inicio se desconocía.
2. **Incertidumbres continuas en el tiempo:** son aquellas incertidumbres que se mueven de manera aleatoria y continua en el tiempo. Por ejemplo, estas incertidumbres pueden estar presentes en los precios de los productos o costos por aplicación de nuevas tecnologías.

A continuación, se mostrará cuatro formas de estimar la volatilidad del activo real subyacente según (Mascareñas, 1999):

1. En caso no se disponga de datos anteriores, es posible estimar la volatilidad a partir del conocimiento de expertos en la materia y en el sector.
2. Utilizar datos históricos de resultados anteriores, a los que se le debe aplicar algunos ajustes para acoplarlos a las condiciones del nuevo proyecto o inversión. Es importante tener cuidado al decidir la cantidad de datos a utilizar, ya que es común pensar que mientras más datos se emplee, el resultado será más preciso; sin embargo, hay que tener en cuenta las dinámicas de comportamiento del entorno y tiempo en el que fueron recolectados esos datos porque pueden arrojar resultados no reales.
3. Se puede utilizar la varianza de empresas similares y del mismo sector que coticen en la Bolsa de Valores.
4. A través de la simulación de Montecarlo, en este punto hay varias posibilidades de calcular el valor de la volatilidad. Como es un proyecto nuevo y, por ende, no existe información histórica sobre su rendimiento y/o volatilidad, se debe buscar la manera de hallar la volatilidad mediante simulación empleando otros datos y, por ello se presentan distintas formas de realizar dicho cálculo.



Una de ellas es utilizar directamente la volatilidad de los factores de incertidumbre que forman parte del flujo de caja del proyecto. Sin embargo, este valor solo estaría reflejando la volatilidad de las fuentes de incertidumbre mas no la del proyecto.

De esta forma, nace la hipótesis de utilizar el propio proyecto sin opciones como estimador de la volatilidad del proyecto, en el cual se asume que el valor actual del proyecto es su valor de mercado y que la volatilidad del proyecto será la volatilidad de los rendimientos esperados del proyecto en un intervalo de tiempo.

### **3.3.5 Revisión de trabajos previos sobre opciones reales**

Las Opciones Reales han ido adquiriendo importancia en proyectos de recursos naturales, siendo la minería uno de los sectores más atractivos para su aplicación debido a la naturaleza de gran incertidumbre en la que desarrollan sus actividades. En este sentido, la metalurgia comparte, en su mayoría, características del entorno de la minería.

Kelly Simone (1998) realizó uno de los primeros análisis de valorización de un proyecto minero empleando opciones reales. En este documento, Kelly busca demostrar el valor de la teoría de opciones reales para valorar una inversión, específicamente, empleando opciones de tiempo. A pesar de que el VAN del proyecto resulta positivo, se decide no ejecutarlo en dicho momento y, por el contrario, esperar. De este modo, Kelly demuestra el valor que añade la opción de espera al valorar una inversión.

Gonzalo Cortazar y Jaime Casassus (1998) elaboraron un modelo de opciones reales para valorar una inversión que expande la capacidad de producción y modifica los costos unitarios de una mina de cobre. En la implementación de su modelo tuvieron en cuenta los tres requerimientos que consideraron importantes para aumentar el impacto de la metodología de opciones reales: (1) el precio del *commodity* sigue un modelo estocástico con reversión hacia la media, (2) activos reales que tengan flexibilidad de gestión de abrir y/o cerrar la producción o retrasar la inversión y (3) la implementación de una computadora amigable para el usuario.

Determinar el precio crítico sobre el que es óptimo invertir y cerrar o abrir la mina es una de las aportaciones más importantes que brinda el modelo desarrollado por Gonzalo Cortazar y Jaime Casassus. Finalmente, concluyeron que el método de opciones reales estima un valor más alto que el valor obtenido por los métodos tradicionales, en su caso particular, este incremento de valor era

especialmente importante en el momento en que el precio del cobre era bajo, ya que generaba mayor valor esperar la ejecución del proyecto para cuando los precios del cobre aumentaran.

Shafiee, Topal y Nehring (2009) desarrollaron un nuevo modelo de opciones reales en donde el costo total se encuentra en función a la tasa de producción, de esta manera el nuevo modelo desarrollado logra maximizar el valor de un proyecto minero. Como segundo paso, implementaron su modelo en Century Mine, mina de zinc, en el noroeste de Queensland y realizaron una comparativa entre el método tradicional VAN y su modelo de Opciones Reales. Los resultados arrojaron un valor negativo al aplicar el método tradicional y un valor positivo con su método desarrollado. Afirman que la principal razón de esta diferencia es que el método de opciones reales permite el cierre de la mina cuando el precio del zinc baje y la opción de reabrir cuando el precio suba.

Por otro lado, (Tresierra & Carrasco, 2016) presentan en su investigación el desarrollo de un análisis de toma de decisiones de inversión en proyectos mineros en condiciones de incertidumbre y estudian el comportamiento del precio de oro en el Perú utilizando el modelo de Ornstein-Uhlenbeck<sup>12</sup>. Los autores resaltan la capacidad de obtener una valoración real de un proyecto de inversión mediante el enfoque de opciones reales ya que tiene en cuenta el trinomio rentabilidad-riesgo-flexibilidad. Así mismo, afirman que debido a las condiciones de incertidumbre de los mercados a nivel mundial es importante cuantificar correctamente las variables inciertas para las decisiones estratégicas del proyecto.

En la publicación de (Miranda, Brandao, & Lazo, 2017) se muestra el desarrollo de un modelo para evaluar la viabilidad financiera de proyectos mineros en etapa de exploración. Este modelo tiene en consideración opciones combinadas; es decir, en primer momento tiene la opción de retrasar la inversión por un periodo de tiempo, y una vez ejecutada la inversión, existirán opciones de expandir o abandonar el proyecto.

---

<sup>12</sup> Ornstein y Uhlenbeck propusieron este modelo en 1930 en el campo de la física para determinar la velocidad de una partícula bajo la influencia de la fricción. Este modelo sigue un proceso Gaussiano, Markov y es estacionario. Así mismo, es un modelo que además de aplicarse en la física, también puede ser aplicado en finanzas. Lucía y Schwarts (2002) elaboraron una versión del modelo Ornstein y Uhlenbeck en el que el precio *spot* de la electricidad está caracterizado por dos componentes. El primer componente puede ser predecible y es una función determinística que depende del tiempo. El segundo componente es un proceso estocástico del tipo Ornstein y Uhlenbeck.

Establecer el tipo de comportamiento que asumirá el precio del metal es relevante ya que es una variable que influye en los ingresos y flujo de caja. Mencionan que los precios de los metales pueden seguir dos tipos de comportamientos que dependerá de la duración de los periodos de tiempo. El comportamiento del precio del metal es *Geometric Brownian Motion* (MGB) para periodos cortos, mientras que para periodos largos asumen un comportamiento *Mean Reverting Movement* (MRM). Finalmente, los autores de esta publicación coinciden en que la evaluación de inversión en proyectos mineros empleando opciones reales tiene un valor significativo debido a que toma en cuenta las diferentes opciones que el proyecto puede ejecutar en un periodo de tiempo.



## 4 PROYECTO “ZINC 320K”

### 4.1 Introducción al proyecto

La Empresa es una empresa productora de zinc, cobre, plata, plomo y oro, presente en Perú y Brasil. Su presencia en Perú es a través de dos activos, siendo una de ellas “La Empresa Refinería”. La refinería fue construida por el gobierno de Perú en 1981 en Chosica y pasó a formar parte La Empresa en el 2004 con una capacidad de producción de 120 mil toneladas de zinc refinado al año.

Durante los primeros dos años La Empresa ha ido realizando inversiones para aumentar su capacidad de producción de zinc. Para el 2006 ya tenían una capacidad de 130 mil toneladas por año, en el que se invirtió 330 millones de dólares.

El proyecto “ZINC 320K” fue planteado como parte del crecimiento de la capacidad de producción de zinc refinado. Sus principales características se listan a continuación:

- El proyecto contempla 2 inversiones, la primera se realizaría en el 2006 con una inversión de 100 millones de dólares y la segunda en el 2008 invirtiendo 400 millones de dólares. En este punto es importante resaltar que la empresa consideró desde un inicio la ejecución del proyecto en su totalidad; es decir, realizar ambas inversiones.
- Antes de la realización del proyecto “Zinc 320k”, la empresa ya producía a una tasa de 130 mil toneladas anuales.
- En el 2008, debido a la coyuntura del entorno económico mundial, los directivos del proyecto contemplaron la posibilidad de esperar un año para realizar la segunda inversión del proyecto.
- La financiación del proyecto es 100% a través de su propio capital.
- Dentro del Plan de Cierre de la Refinería se contempla la opción de cierre temporal durante un año cuando las condiciones operativas de dicho año se presentan desfavorables para la empresa.

Es importante resaltar que fue un proyecto con mucha relevancia ya que permitiría que La Empresa Refinería se consolide como el mayor productor de zinc refinado de América Latina (Wood Mackenzie, 2017) y el séptimo más importante a nivel mundial.

#### 4.1.1 Análisis de la demanda del zinc

El análisis de la demanda del zinc fue de gran relevancia para justificar la ampliación de la refinería y con ello duplicar la capacidad de producción. Por lo tanto, realizar la comparación entre el pronóstico de la demanda elaborada por la empresa y la demanda real, permitirá conocer si este primer paso de análisis de la demanda se acerca a la realidad.

De acuerdo al estudio realizado por CRU Consulting (2018), el consumo del zinc entre el año 2008 y 2017 ha aumentado de 11 a 14 millones de toneladas; es decir, la demanda sufrió un aumento promedio de 3.03% anual. En el periodo del 2008 al 2013, la demanda aumentó en promedio 3.4% anual y del 2014 al 2017 el crecimiento de la demanda fue de 1.7% anual. China es el principal consumidor de zinc y ha sufrido un crecimiento del 6.1% anual entre el 2008 y 2017.

Por otro lado, en la proyección de la demanda del zinc para el periodo del 2018 al 2035 presentan tres escenarios principales.

1. Continuidad: indica que la demanda anual promedio del zinc será de 1.3%.
2. Coexistencia: considera que el crecimiento del PBI global será mayor que el escenario de continuidad hasta el 2033, año en el que se revierte la situación. Según este escenario, el crecimiento promedio de la demanda del zinc será de un 1.4% anual.
3. Divergencia: proyecta que el PBI global será mayor hasta el año 2031. En este escenario, el crecimiento promedio del zinc será de 1.5% anual.

Independiente al escenario analizado, se puede concluir que la demanda del zinc seguirá en aumento; sin embargo, la tasa de crecimiento de la demanda no alcanzará los niveles altos del 2017.

Por su parte, La Empresa Refinería se basó en el modelo económico que Brook Hunt realizó en el 2007 para estimar la variación de la demanda del zinc. Este modelo predecía que la demanda en el periodo del 2006 al 2020 aumentaría en promedio un 3.5% anual, aumentando así la demanda de 10,610 a 18,040 kt de zinc.

Por lo tanto, el pronóstico realizado por la refinería sobre la evolución de la demanda fue certera hasta el año 2014 con una mínima diferencia de 0.47%. A partir del año 2014, la demanda del zinc disminuyó

a casi la mitad, por lo que el pronóstico realizado por la empresa en mención se alejó en gran proporción de lo que ocurrió en la realidad.

A pesar de que se estima que el crecimiento de la demanda del zinc a partir del 2018 será de 1.5% anual, sigue siendo un mercado atractivo para invertir por la gran variedad de usos que se le da a este metal.

#### 4.1.2 Análisis del precio del zinc y cobre

El análisis de los precios de ambos metales es necesario para el pronóstico de los mismos en años futuros. El zinc y el cobre son metales industriales “básicos”<sup>13</sup>; a continuación, se muestra la evolución del precio del zinc y cobre desde 1980 al 2019.

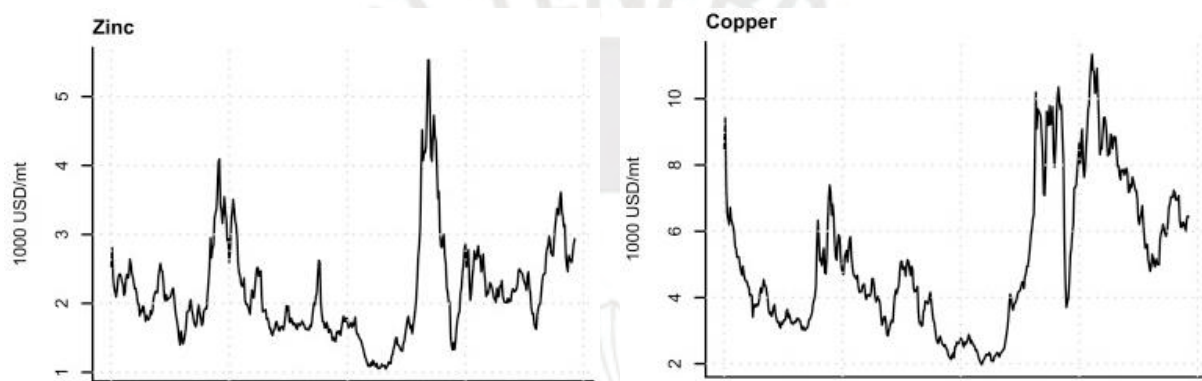


Imagen 5: Precios históricos del zinc (izquierda) y del cobre (derecha) de 1980 al 2019

Fuente: Rubaszek, Michal (2020)

Como se puede observar en la imagen antes mostrada, la evolución de los precios a lo largo de los últimos 40 años muestra la existencia de una alta volatilidad para ambos. Esto significa que, su desarrollo en el tiempo es susceptible a los cambios que puedan ocurrir en el entorno.

Por ejemplo, el precio de los metales básicos se cuadruplicó del 2003 al 2007, esto nos haría pensar que en los siguientes años los precios seguiría en aumento. Sin embargo, la crisis económica mundial que inició el 2007 provocó que sufrierán una fuerte caída en su valor. Esto demuestra, que no hay manera de conocer de forma anticipada que acontecimientos ambientales, sociológicos o políticos tomarán

---

<sup>13</sup> Los metales industriales básicos cotizan en diferentes bolsas a nivel mundial. Los metales que pertenecen a este grupo son: el aluminio, cobre, níquel, plomo, zinc y estaño)

lugar en la historia y; que por ende, la evolución de los precios de los commodities tiene una componente aleatoria.

En este trabajo, se estimará la evolución del precio del zinc y cobre desde el año 2006 al 2056. A pesar de que ya conocemos cuales fueron los valores de los precios de ambos productos hasta el 2020, debemos recordar que este proyecto se evaluó antes del 2006 y, por ende, no se contaba con dicha información.

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento del precio del zinc comprendidos entre los años 1991 y 2005, y del cobre entre los años 1993 y 2005. Como se puede ver, incluso para periodos cortos, los precios presentan alta volatilidad.

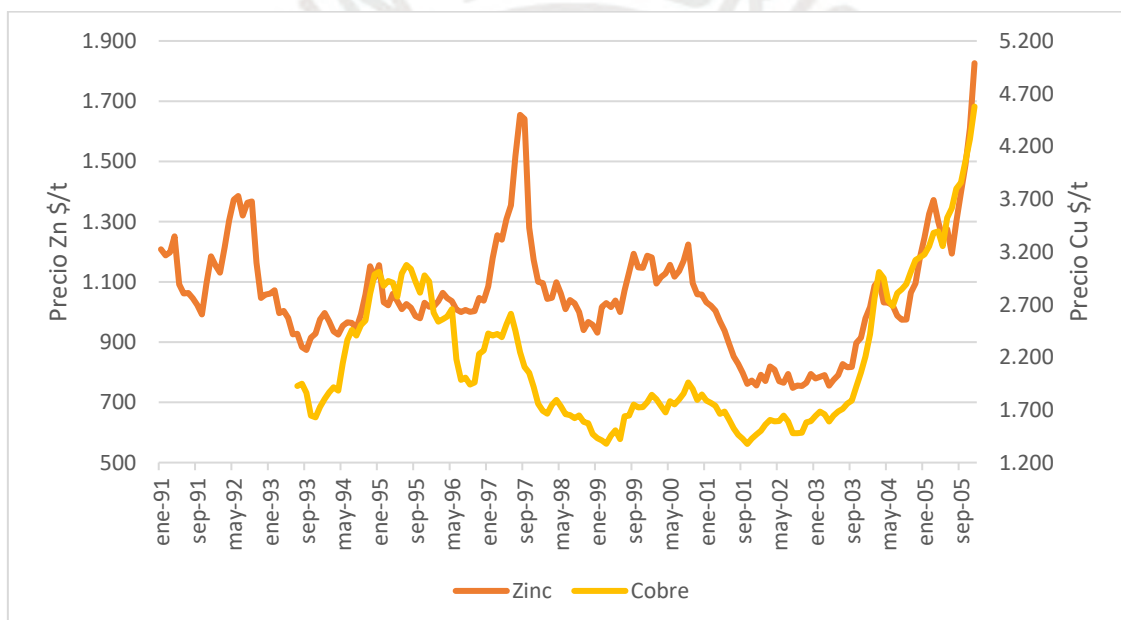


Imagen 6: Precios históricos mensuales del zinc y cobre en la Bolsa de Metales de Londres (LME).

Fuente: Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital.

#### 4.1.3 Cronología del proyecto

El proyecto se realiza en dos etapas de construcción, la primera etapa se desarrolla entre el último trimestre del 2006 y setiembre del 2008, con una inversión de 100 millones de dólares que se realiza en el 2006. La culminación de la primera etapa permite que la capacidad de producción anual aumente de 130 a 160 mil toneladas de zinc refinado, recordar que en el 2006 la empresa ya contaba con una capacidad de producción de 130 mil toneladas.

La segunda etapa inicia en el último trimestre del 2008 y finaliza en febrero del 2010, en esta etapa se invierte 400 millones de dólares en el 2008 (Andina, 2009) y el resultado es la culminación del proyecto con una capacidad de 320 mil toneladas anuales.

En el 2006 la empresa opera al 100% de su capacidad; es decir, ese año produce 130 mil toneladas de zinc refinado. En el último trimestre del mismo año, la refinería comienza la construcción de la primera parte de la ampliación; sin embargo, durante la construcción, la refinería seguirá produciendo a la misma tasa de los meses anteriores. Para el 2007, la empresa indica que la producción promedio sería de un 8% mayor respecto a la del 2006.

La producción promedio de los primeros 8 meses del 2008 será de 12% mayor a la del 2006. A partir de setiembre del mismo año, se producirá a una tasa de 160 mil toneladas ya que para ese mes la primera ampliación ya concluyó. Por lo tanto, la producción promedio del 2008 será 15% mayor a la del 2006. Este mismo año inicia la segunda ampliación.

Para el 2009, la tasa de producción durante todo el año será de 160 mil toneladas, según lo planificado por la empresa. Así mismo, la construcción de la segunda etapa de ampliación continúa a lo largo de este año.

En el 2010, se estima que la producción será un 38% mayor a la capacidad inicial. En febrero de este año se estima la finalización de la segunda etapa de ampliación. Por lo tanto, en el 2011 se tiene una capacidad de 320 kt de producción de zinc. La producción para el 2011 se realizará de forma gradual. En los primeros 9 meses se utilizará únicamente el 75% de la capacidad y a partir de octubre se empezará a producir al 100%, lo que indica una producción promedio del 81% de la capacidad total.

Toda esta información es recogida del reporte anual que realiza La Empresa Refinería a los inversionistas y se puede observar en el Anexo 1.

Tabla 2: Cronología de producción de zinc (en kt).

<b>Año</b>	<b>Periodo financiero</b>	<b>Capacidad inicial (kt)</b>	<b>Factor de producción</b>	<b>Producción de n refinado (kt)</b>
<b>2006</b>	0	130	1.00	130



2007	1	130	1.08	140
2008	2	130	1.15	150
2009	3	160	1.00	160
2010	4	160	1.38	220
2011	5	320	0.81	260
2012 – AL FINAL		320	1.00	320

## 4.2 Aspectos técnicos del proyecto

Para poder realizar la valoración del proyecto, es necesario conocer el funcionamiento del proceso de obtención de zinc refinado al 99%. Este proceso inicia desde que ingresa concentrado de zinc<sup>14</sup> a la refinería hasta que se obtiene zinc refinado con una pureza de 99%.

La minería se encarga de extraer los minerales en forma de yacimientos que se han acumulado en el suelo y subsuelo. La principal mena<sup>15</sup> de zinc es la esfalerita de la cual se obtiene el 90% del zinc producido a nivel mundial.

La producción de zinc se puede dividir en dos etapas. La primera etapa inicia con la extracción del mineral de la tierra, luego pasa por procesos de trituración, concentración y flotación con la finalidad de lograr una mayor concentración del zinc en el mineral. En la mayoría de los casos, el producto final de esta etapa, concentrado de zinc, se encuentra como sulfuro de zinc (ZnS) con 52% de zinc, 30% de azufre, 2% de cobre y el resto de otros metales. Cabe resaltar que esta etapa se realiza en la mina.

---

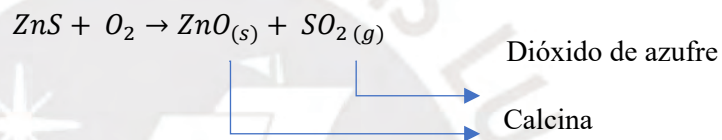
<sup>14</sup> Se refiere al mineral del zinc luego de haber sido extraído de la tierra y haber pasado por procesos físicos para disminuir su tamaño.

<sup>15</sup> Se refiere al principal mineral para la obtención de un metal.

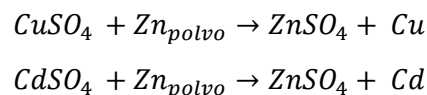
La segunda etapa tiene lugar en las refineries e inicia con la llegada del concentrado de zinc, pasa por varios procesos que serán detallados luego, hasta obtener el producto final que sería zinc refinado al 99%.

Como ya se mencionó, las refineries son las encargadas de realizar la segunda etapa del proceso de obtención de zinc refinado, por lo que solo esta etapa se explicará de manera profunda. Los procesos que se realizan en la segunda etapa de producción de zinc y, por ende, los que realizan las refineries, son los siguientes:

1. Tostación: en este proceso los sulfuros pasan a ser calcina (óxido de zinc) y el azufre se convierte en dióxido de azufre, el cual pasará por un proceso aparte para la obtención de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Solo la calcina se envía al siguiente proceso que es de lixiviación.

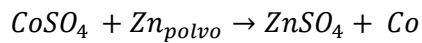
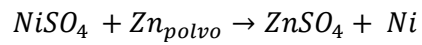


2. Lixiviación: consiste en disolver la calcina en una disolución diluida de ácido sulfúrico (100 -150 g/l) para obtener una solución líquida con contenido de: sulfato de zinc, sulfato de cobre, sulfato de cadmio, sulfato de cobalto y sulfato de níquel. En el sector de la metalurgia a esta solución líquida se le denomina sulfato de zinc impuro.
3. Purificación: la finalidad de este proceso es eliminar elementos presentes (impurezas) en el sulfato de zinc obtenido de la lixiviación. Se utiliza zinc en polvo ya que permite la precipitación de los elementos impuros. Este proceso se realiza en dos etapas:
  - i) Etapa 1: la solución líquida y el zinc en polvo se calienta a 70 °C con la finalidad de precipitar el cobre y cadmio. Las reacciones que se obtienen son las siguientes:



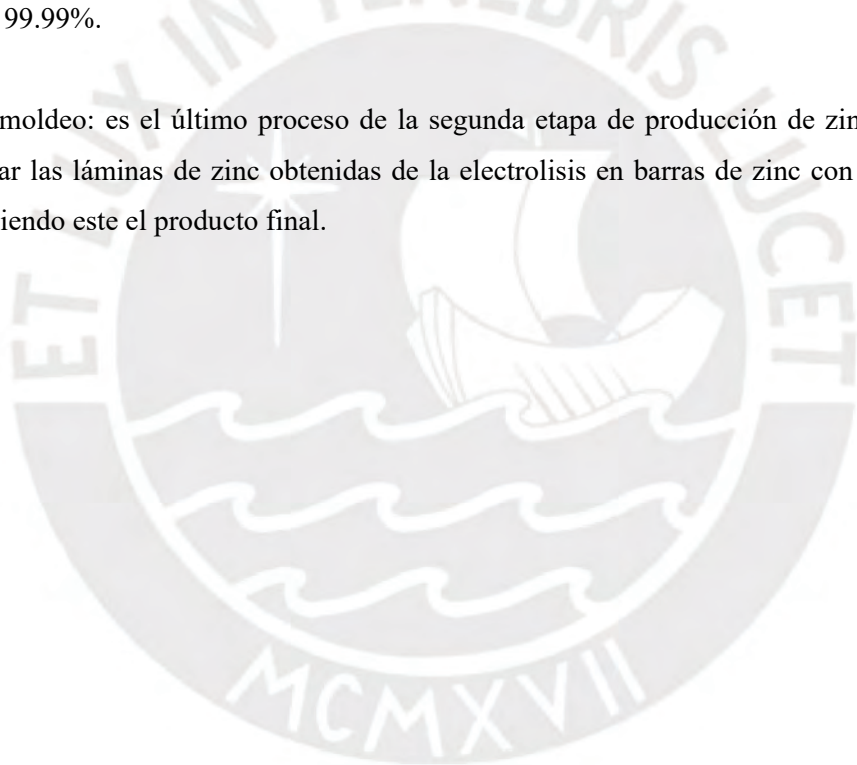
Al precipitar el cobre y cadmio, la solución líquida contendrá sulfato de zinc, sulfato de cobre, sulfato de níquel y el zinc en polvo.

- ii) Etapa 2: la solución líquida restante se calienta a 95 °C para precipitar el níquel y cobalto. Las reacciones son las siguientes:



Finalmente, el cobalto y níquel quedan precipitados y ahora la solución líquida solo contiene sulfato de zinc. Al producto final que se obtiene en este proceso se le llama sulfato de zinc puro.

4. Electrólisis: es un proceso electro-químico en donde el sulfato de zinc se electroliza sobre cátodos de aluminio y ánodos inertes de plomo-plata. El producto son láminas de zinc catódico con una pureza de 99.99%.
5. Fusión y moldeo: es el último proceso de la segunda etapa de producción de zinc. Consiste en transformar las láminas de zinc obtenidas de la electrolisis en barras de zinc con una pureza de 99.99%, siendo este el producto final.



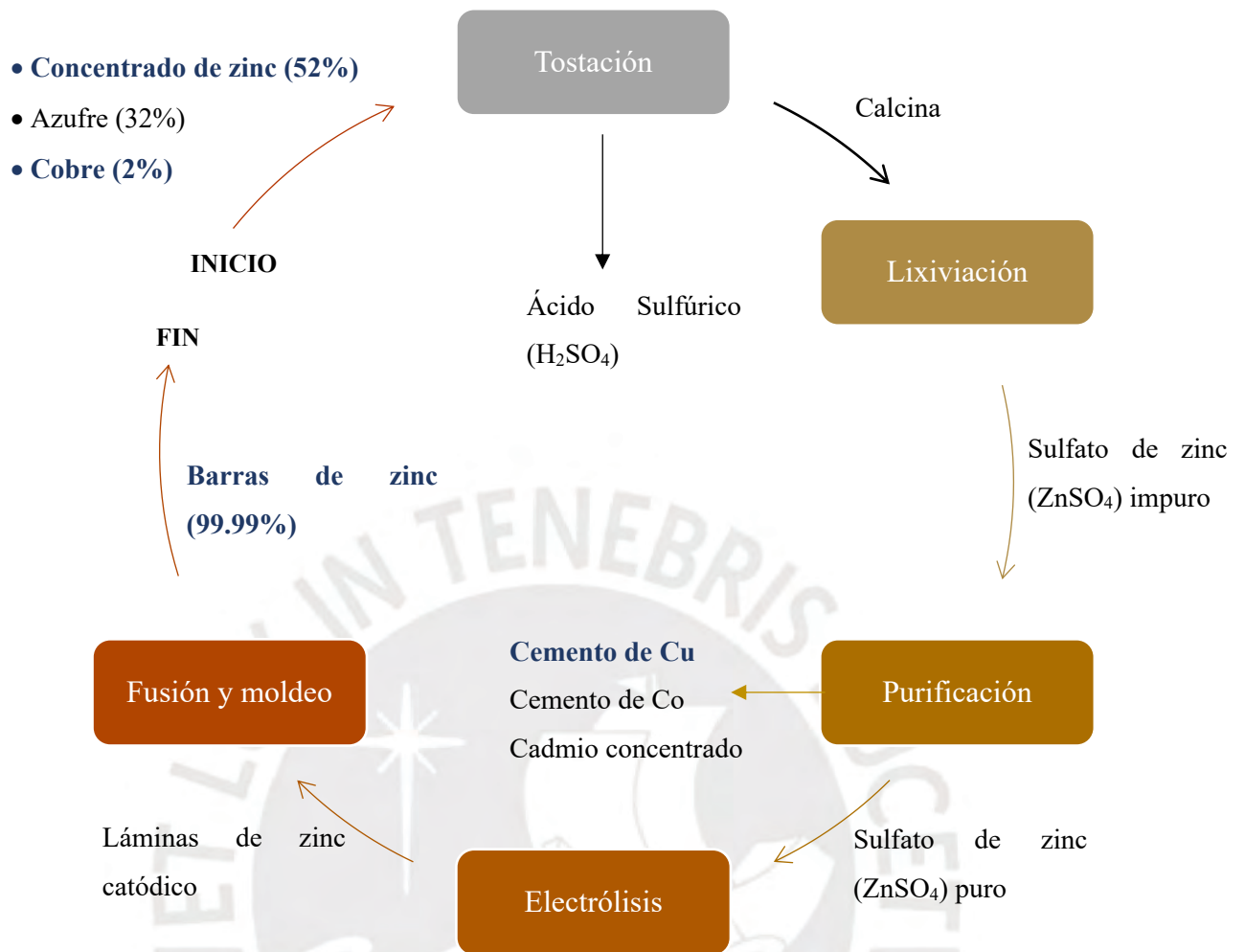


Imagen 7: Procesos de la segunda fase de producción de zinc.

Elaboración Propia

### 4.3 Cálculo de materia prima y producción de cemento de cobre

Luego de conocer las etapas de producción de zinc, se calcularán las cantidades de concentrado de zinc, que es la materia prima, y subproducto, estos datos serán utilizados en el siguiente capítulo para elaborar el flujo de caja proyectado.

Los cálculos desarrollados están en base a una producción anual de 320 mil toneladas de zinc refinado; sin embargo, se puede emplear el mismo procedimiento y los mismos datos de entrada para calcular la materia prima y subproductos teniendo como base otras cantidades de producción anual de zinc.

### Concentrado de zinc:

Para calcular la cantidad de concentrado de zinc necesario para producir 320 mil toneladas de zinc refinado, se debe tener en cuenta los siguientes datos:

- Porcentaje de zinc fino en el concentrado: 52%.
- Porcentaje de recuperación de zinc en la refinería: 94%.
- Producción de zinc refinado al 99% de pureza: 320,000 toneladas al año.

Primero, se hallará la cantidad de zinc total (zinc recuperado + zinc perdido) presente en el concentrado de zinc que llega a la refinería. Se conoce que la cantidad de zinc recuperado al final de todos los procesos es de 320,000 toneladas anuales. Por lo tanto, si “X” es la cantidad de zinc total y la recuperación es de 94%, se tiene la siguiente ecuación:

$$X * 94\% = 320,000$$

$$X = 340,426$$

La cantidad de zinc que llega a la refinería al año es de 340,426 toneladas. Luego, esta cantidad forma parte del concentrado de zinc; es decir, de todo el material que llega, solo el 52% es zinc. Si 340,426 son las toneladas de zinc presentes en el concentrado y “Y” la cantidad de concentrado que llega anualmente a la refinería, entonces:

$$Y * 52\% = 340,426$$

$$Y = 654,664$$

Entonces, para producir 320 mil toneladas de zinc refinado se necesita **654.7 mil toneladas de concentrado de zinc.**

### Cemento de cobre producido

Se calculará la cantidad del subproducto cemento de cobre que se puede obtener al producir 320 mil toneladas de zinc refinado. Para ello, es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Porcentaje de cobre en el concentrado: 2%.
- Porcentaje de recuperación de cobre: 70%.

Del cálculo del concentrado de zinc necesario para 320 mil toneladas de zinc refinado, se obtuvo que se requiere de 654.7 mil toneladas de concentrado; por lo tanto, al multiplicarlo por el porcentaje de cobre en el concentrado, se obtiene que hay 13.1 mil toneladas de cobre en el concentrado.

Finalmente, la recuperación del cobre no es al 100% por lo que se obtiene menos cantidad del cobre presente en el concentrado. Para esto se multiplica la cantidad del cobre, que se halló anteriormente, con el porcentaje de recuperación. En consecuencia, se obtiene que por cada 320 mil toneladas de zinc refinado se produce **9.2 toneladas de cemento de cobre**.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las cantidades de concentrado de zinc necesario y de la producción de cemento de cobre, ambas para cada tasa de producción anual de zinc refinado

Tabla 3: Concentrado adquirido y cemento de cobre producido (en kt).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012 al final
<b>Zinc refinado</b>	130	140	150	160	220	260	320
<b>Concentrado de Zn</b>	266.0	286.4	306.9	327.3	450.1	531.9	654.7
<b>Prod. Cemento de Cu</b>	3.72	4.01	4.30	4.58	6.30	7.45	9.17

## 5 ESTUDIO DE INVERSIONES, ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO

En este capítulo se construirá el flujo de caja con comportamiento determinístico del proyecto y se valorará a través del método del Valor Actual Neto.

Este es un proyecto que se llevó a cabo en la realidad, teniendo como inicio el año 2006. Por lo tanto, para acercar este trabajo a la mayor realidad posible, se emplearán datos históricos hasta el año 2006 a menos que se indique lo contrario.

Debido a la naturaleza la industria, estos son proyectos que se llevan a cabo para un periodo de tiempo bastante largo. Como la intención de la empresa es ampliar para que ellos mismos continúen con la producción, se asume un tiempo de vida del proyecto de 50 años.

Antes de iniciar con el estudio, se debe recordar lo siguiente:

<b>Año</b>	<b>Periodo financiero</b>	<b>Producción de Zn refinado (kt)</b>
<b>2006</b>	0	130
<b>2007</b>	1	140
<b>2008</b>	2	150
<b>2009</b>	3	160
<b>2010</b>	4	220
<b>2011</b>	5	260
<b>2012 – AL FINAL</b>		320

### 5.1 Ingresos de ventas

El proyecto de ampliación de la refinería generaría ingresos a través de 2 productos diferentes.

- Venta de zinc refinado
- Venta de subproductos del zinc

### 5.1.1 Venta de Zinc

Son los ingresos directos obtenidos por la venta de la producción de zinc refinado. Se asume que la toda la cantidad producida al año se venderá.

Para el cálculo del precio del zinc se asume que sigue una tasa de crecimiento anual durante los primeros 20 años; es decir, hasta el 2026 y a partir del siguiente año el precio será constante hasta el 2056. La tasa de crecimiento será el promedio obtenido de la data histórica del precio del zinc desde 1991 al 2005. Se emplea una tasa de crecimiento anual de 3.04%.

Tabla 4: Precios históricos del zinc cotizados en LME.

<b>AÑO</b>	<b>ZINC (\$/T)</b>	<b>TASA CRECIMIENTO</b>
<b>1991</b>	1,116.42	
<b>1992</b>	1,239.93	0.11
<b>1993</b>	961.02	-0.22
<b>1994</b>	997.67	0.04
<b>1995</b>	1,030.81	0.03
<b>1996</b>	1,025.02	-0.01
<b>1997</b>	1,315.65	0.28
<b>1998</b>	1,023.77	-0.22
<b>1999</b>	1,077.01	0.05
<b>2000</b>	1,127.93	0.05
<b>2001</b>	885.40	-0.22
<b>2002</b>	778.27	-0.12



<b>2003</b>	827.93	0.06
<b>2004</b>	1,048.07	0.27
<b>2005</b>	1,383.06	0.32
<b>PROMEDIO</b>		3.04%

Fuente: (Ministerio de asuntos económicos y transformación digital, s.f.)

Los ingresos por la venta de zinc refinado es el resultado de la multiplicación del precio del zinc en el año “t” por la producción de zinc refinado en ese mismo año.

### 5.1.2 Venta de Subproductos

La ampliación de la refinería permitirá la producción y comercialización de mayor cantidad de subproductos de zinc y con ello, mayor ingreso por estas ventas. Los ingresos por subproductos se generan a través de los ingresos individuales de:

- Ácido sulfúrico
- Cadmio refinado.
- Concentrado de plata.
- **Cemento de cobre.**
- Cemento de cobalto.

Como se puede ver en el Anexo 2, el cemento de cobre y el ácido sulfúrico representan más del 80% total de ingresos por subproductos. Sin embargo, este trabajo se limitará a considerar al cemento de cobre como única fuente de ingreso por subproductos ya que junto con las ventas del zinc refinado representan el 95% del total de ingresos (Anexo 3).

Para el cálculo del precio del cobre se asume que sigue una tasa de crecimiento anual durante los primeros 20 años; es decir, hasta el 2026 y a partir del siguiente año el precio será constante hasta el 2056. La tasa de crecimiento será el promedio obtenido de la data histórica del precio del cobre desde 1993 al 2005. Se emplea una tasa de crecimiento anual de 8.84%.

Tabla 5: Precios históricos del cobre cotizados en LME.

<b>Año</b>	<b>Cobre (\$/t)</b>	<b>Tasa crecimiento</b>
<b>1993</b>	1,790.60	
<b>1994</b>	2,310.58	0.290
<b>1995</b>	2,934.81	0.270
<b>1996</b>	2,294.63	-0.218
<b>1997</b>	2,273.06	-0.009
<b>1998</b>	1,652.86	-0.273
<b>1999</b>	1,573.68	-0.048
<b>2000</b>	1,812.51	0.152
<b>2001</b>	1,577.56	-0.130
<b>2002</b>	1,557.88	-0.012
<b>2003</b>	1,779.73	0.142
<b>2004</b>	2,867.96	0.611
<b>2005</b>	3,683.81	0.284
<b>PROMEDIO</b>		8.84%

Fuente: (Ministerio de asuntos económicos y transformación digital, s.f.)

Luego, el precio del cemento de cobre es el 75% <sup>16</sup> del precio del cobre que cotiza en la LME. Por lo tanto, los ingresos por la venta del cemento de cobre es la multiplicación de 0.75 por el precio del cobre que cotiza en la LME y por la cantidad producida de cemento de cobre en el año “t”.

---

<sup>16</sup> El porcentaje que se aplica al precio del cobre en el LME para obtener el precio del cemento de cobre es un acuerdo entre las empresas que participan en la compra y venta de dicho producto. La Empresa estima que dicho porcentaje se encuentra en un promedio de 75.

## 5.2 Coste de ventas

Los costes de ventas hacen referencia al desembolso que la empresa debe realizar para poder producir un producto determinado y en una cantidad específica. Todos los costes son variables; es decir, depende de la cantidad de producción anual.

Se tendrá en cuenta los siguientes costes de producción:

- Materia prima
- Logística
- Mano de obra directa
- Energía
- Otros gastos operativos

### 5.2.1 Materia Prima

Se considerará como materia prima el concentrado de zinc proveniente de las minas. Antes de explicar el método de cálculo del precio que paga la refinera por el concentrado, se detallará los parámetros a considerar:

- Cantidad de concentrado: calculado en el capítulo anterior y depende de la producción de zinc refinado.
- Porcentaje de zinc en el concentrado: 52%
- Porcentaje de recuperación (para cálculo de precio): aunque en la sección de Aspectos técnicos del proyecto se mencione que la recuperación es del 94%, las refineras emplean un 85% para el cálculo del precio del concentrado.
- Precio del zinc: se emplearán los precios pronosticados en la anterior sección.
- Reducción por el tratamiento (*Treatment Charge*): es el monto que las refineras cobran a las minas por el procesado del concentrado de zinc. En otras palabras, es una tarifa que se le descuenta al precio del concentrado. El precio del *Treatment Charge* (TC) se establece directamente entre la mina y la refinera. La tarifa del TC varía entre 200 \$/t y 330 \$/t, se utilizará la tarifa de 225 \$/tonelada de concentrado con el fin de adoptar un perfil conservador.

A continuación, se explicará de forma secuencial el cálculo del precio final del concentrado de zinc:

1. Cantidad del metal zinc presente en el concentrado por el que se paga, “Y” es la cantidad de concentrado.

$$Y * 52\% * 85\% = 0.442 Y \rightarrow \text{Cantidad de zinc por el que se paga en un año}$$

2. El monto que la refinería debería pagar cada año por el concentrado, si no existiera el TC, sería el precio estimado del zinc por 0.442Y. El precio del zinc estará denotado por “Z”.

$$0.442 Y * Z = 0.442 * Y * Z \rightarrow \text{Monto anual a pagar por el concentrado sin el TC}$$

3. Precio del *treatment charge* (TC): tarifa acordada por la cantidad total de concentrado que llega a la refinería.

$$225 * Y \rightarrow \text{Precio del TC anual que cobra la refinería}$$

4. Precio del concentrado luego de la reducción por tratamiento (TC).

$$0.442 * Z * Y - 225 * Y \rightarrow \text{Precio final del concentrado}$$

Se aplica una tasa de crecimiento constante al *Treatment Charge* de acuerdo a la tasa de inflación promedio obtenida entre los años 2000 y 2005, esta tasa es de 2.27% (Anexo 4). Se decidió emplear estos años, debido a que años predecesores al 2000 la coyuntura del país provocó que la inflación adopte valores extremos y atípicos.

### 5.2.2 Logística

En los costos de logística se incluye el precio de transportar el concentrado de zinc y el metal refinado. El transporte de estos dos materiales se realizaría a través de un contratista que brinda servicios de transporte.

El concentrado se obtendría 100% de minas en Perú, el costo del transportar del concentrado se encuentra incluido en la tarifa de Treatment Charge (TC), por lo que no se tomará en cuenta. El metal refinado primero se transporta hacia el puerto de Callao, en donde el 50% es destinado a USA y el otro 50% a Europa. El metal destinado a USA tiene un costo adicional de traslado hacia el interior de dicho país.

Tabla 6: Tarifas de la distribución del zinc refinado por tramo.

	<b>Origen / Destino</b>	<b>Distribución (%)<sup>17</sup></b>	<b>Precio (\$/t)<sup>18</sup></b>
<b>Zinc refinado (t)</b>	Callao	100	15
	USA	50	85
	USA (interior)	50	60
	Europa	50	75

Fuente: SNC-Lavalin (2007)

La tarifa total por el transporte es de 125 dólares por zinc refinado. La Empresa Refinería realiza un contrato por cantidad transportada con los transportistas; por lo tanto, el monto anual por el transporte dependerá de la cantidad de zinc producido.

La tasa de crecimiento anual de la logística será constante a lo largo del proyecto y toma el valor medio de la tasa de inflación histórica del Perú. Este valor es de 2.27%.

### 5.2.3 Mano de obra directa

Para el cálculo de la mano de obra directa se sabe que se requiere de 5.1 horas-hombre por cada tonelada de zinc refinado. Se cuenta con 252 días laborables al año con una jornada de 8 horas diarias por cada trabajador; por lo tanto, cada trabajador labura 2,016 horas al año. Además, el 65% de trabajadores son operarios y el 35% son de mantenimiento, todos los trabajadores son contratados en planilla.

En tabla 7, se muestra el número de trabajadores clasificados entre operarios y de mantenimiento que se requiere para cada tasa de producción anual.

<sup>17</sup> Porcentaje del zinc refinado distribuido en cada zona.

<sup>18</sup> Tarifas de transporte brindadas por La Empresa Refinería, el precio se refiere a dólares por tonelada de zinc refinado.

Tabla 7: Número de operarios y de mantenimiento por tasa de producción anual (en kt).

<b>Producción anual</b>	<b>Operarios</b>	<b>Mantenimiento</b>
<b>130</b>	214	116
<b>140</b>	231	124
<b>150</b>	247	133
<b>160</b>	264	142
<b>220</b>	362	195
<b>260</b>	428	231
<b>320</b>	527	284

Por otro lado, todo empleador debe contratar obligatoriamente un seguro Vida Ley<sup>19</sup> para cada uno de los trabajadores que pertenecen a la planilla de la empresa. Así mismo, por ser un sector en el que se considera que se realizan trabajos de alto riesgo, el empleador debe contratar un Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo (SCTR). Finalmente, a cada trabajador se le debe de proveer de Equipos de Protección Individual (EPI) durante todo el periodo en el que labore.

Dado que la valoración del proyecto se está realizando en dólares americanos, se utilizará el tipo de cambio promedio del año 2005 que fue de 3.3 soles por dólar americano, dato obtenido del Banco Central de Reserva del Perú. A continuación, se mostrará el sueldo mensual y anual, incluye ambos seguros y los EPIs, por cada tipo de trabajador:

Tabla 8: Sueldo anual de un trabajador (operario o de mantenimiento).

<b>Tipo</b>	<b>Sueldo mensual<sup>20</sup> (s/.)</b>	<b>Sueldo anual (s/.)</b>	<b>Sueldo anual (\$)</b>
<b>Operarios</b>	2,800	33,600	10,213

<sup>19</sup> Decreto Legislativo N° 688.

<sup>20</sup> Información obtenida de la refinería que hace referencia a los sueldos del año 2009.

**Mantenimiento**

3,500

42,000

12,766

El sueldo de los trabajadores sufre una tasa de crecimiento anual equivalente a la tasa de inflación pronosticada para cada año.

#### **5.2.4 Energía**

Los consumidores industriales negocian contratos a largo plazo con los productores eléctricos para obtener una tarifa especial, en estos contratos se acuerda el precio de la energía, la demanda máxima y las condiciones de venta.

La empresa Enel Generaciones Perú suministra energía a la refinería. La Empresa espera negociar un precio de 0.04 \$/kWh para las operaciones. Se estima que el consumo de energía para la producción de 320 mil toneladas de zinc refinado es de 168 MW; en otras palabras, se consume 0.525 kW por cada tonelada de zinc refinado. Las máquinas operan 360 días al año, las 24 horas. Por lo tanto, el consumo anual de energía por tonelada de zinc refinado es de 4.536 MWh. Finalmente, la tarifa de la energía es de **181 dólares** por tonelada de zinc refinado producido.

#### **5.2.5 Otros costes operativos**

En estos gastos está incluido los materiales para el mantenimiento, consumibles y otros costes. Representan el 20% de los costes totales sin considerar a la materia prima.

### **5.3 Gastos de ventas**

En los gastos de venta se tiene en cuenta todo lo necesarios para el funcionamiento de la empresa y son los denominados costes fijos. Para este cálculo, se consideran los siguientes gastos:

- Mano de obra indirecta
- Servicios de luz y agua
- Impuestos Municipales

Todos los gastos sufren una tasa de crecimiento anual de 2.27%, equivalente a la inflación del país.

### 5.3.1 Mano de obra indirecta

En el cálculo de la mano de obra indirecta se tendrá en cuenta al personal administrativo y a los supervisores. Se asume que se requiere de 25 personas para la administración de la empresa con un sueldo promedio de S/. 4,000 mensual y de 15 supervisores con un sueldo mensual de S/. 9,000.

La tasa de cambio a utilizar, será la misma que se empleó en el cálculo de la mano de obra directa. A continuación, se muestra el sueldo anual por cada personal de administración y supervisor.

Tabla 9: Sueldo anual del personal administrativo y de los supervisores (en \$).

Tipo	Sueldo mensual (s/.)	Sueldo anual (s/.)	Sueldo anual (\$)
Administración	4,000	48,000	14,590
Supervisores	9,000	108,000	21,176

Por lo tanto, la mano de obra indirecta presenta un costo fijo anual de **682,389 dólares**.

### 5.3.2 Servicios de luz y agua

En este concepto se considera el consumo energía en las oficinas o ambientes que no sean las plantas de producción. Así mismo, se tiene en cuenta el consumo del agua.

Se considera que la tarifa anual de ambos servicios es de **5 millones de dólares**.

### 5.3.3 Impuestos Municipales

La empresa es dueña del terreno en el que opera, razón por la cual tiene obligaciones con la municipalidad a la que pertenece.



Según el Decreto Legislativo N° 776, Ley de Tributación Municipal, en el Perú existen distintos tipos de impuestos por la adquisición de un terreno, a continuación, listaré los impuestos que le corresponden a la refinería: impuesto predial <sup>21</sup> e impuesto por funcionamiento <sup>22</sup>.

La suma total de estos dos impuestos asciende a **200 mil dólares** al año.

## **5.4 Inversiones**

Las inversiones se realizan en dos periodos de tiempo. La primera inversión se realiza en el 2006 y está destinada para la construcción de la primera etapa de ampliación. Es importante resaltar que, una vez finalizada la construcción de la primera etapa, correspondiente a la primera inversión, la refinería está en la capacidad de producir 160 mil toneladas al año. La segunda inversión se realiza en el 2008 para la construcción de la segunda etapa de ampliación.

El cálculo de la inversión se realizó en general para el proyecto en su totalidad. De la cual, el 20% del total se destina para la primera etapa y el resto, para la segunda.

Todas las inversiones son de tipo tangible. Así mismo, se han dividido en dos grupos para su mejor comprensión. Los datos proporcionados se han recopilado del informe elaborado por SNC-Lavalin en el 2008 para la empresa.

### **5.4.1 Sitios Generales**

La construcción, instalación e implementación de los sitios generales se realizarán, en su totalidad, en la primera etapa del proyecto. En otras palabras, forman parte de la primera inversión.

Las inversiones que pertenecen a este subgrupo se dividen en 6 categorías:

---

<sup>21</sup> Son las tasas que se pagan por la prestación o mantenimiento de un servicio público individualizado en el contribuyente.

<sup>22</sup> Son las tasas que debe pagar todo contribuyente para operar un establecimiento industrial, comercial o de servicios.

### **Construcciones**

Inversiones destinadas a todas las construcciones de edificaciones para el desarrollo de las operaciones en la refinería. También contempla las inversiones en algunos equipos para la implementación de las nuevas construcciones. La depreciación de esta categoría se realizará con el método de la línea recta y empleando un periodo de 25 años.

### **Equipos móviles (tangibles)**

Todos los equipos de transporte necesarios para realizar las operaciones y movilizar al personal durante la construcción. Se empleará el método de la línea recta para calcular la depreciación, la vida útil de los equipos móviles es de 10 años.

### **Recepción de productos mineros**

Inversión para realizar toda la implementación de la zona de recepción de productos mineros (concentrado de zinc). La depreciación se calculará empleando el mismo método y periodo que se empleó para las construcciones.

### **Implementación eléctrica**

Contempla todas las construcciones de subestaciones para las plantas que participan en el proceso; así mismo, la implementación de estas subestaciones. También incluye instalaciones de plantas de energía y controles. El cálculo de su depreciación seguirá los parámetros de la categoría instalaciones.

Tabla 10: Inversiones en el grupo de Sitios Generales.

<b>SITIOS GENERALES</b>	<b>MONTO (\$)</b>
<b>SUBTOTAL DE CONSTRUCCIONES</b>	<b>14,250,500</b>
<b>SUBTOTAL DE EQUIPOS MÓVILES</b>	<b>7,640,000</b>
<b>SUBTOTAL DE RECEPCIÓN DE PRODUCTOS MINEROS</b>	<b>21,938,040</b>

SUBTOTAL DE IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA	27,093,680
<b>TOTAL</b>	<b>70,922,220</b>

#### 5.4.2 Plantas específicas

En este grupo se contempla la construcción y equipamiento de las plantas que forman parte del proceso de obtención de zinc y subproductos. Los costos aplicados para cada planta han sido suministrados por la misma empresa basados en un proyecto similar. La depreciación de todas las plantas construídas se realiza utilizando el método de la línea recta con un periodo de 25 años.

Debido a que el tamaño de las plantas específicas influye directamente en la capacidad de producción, su inversión se realiza de acuerdo a los niveles de producción que se quiere lograr en cada etapa del proyecto. Por lo tanto, la primera inversión contemplará únicamente el 6.7% del total de la inversión en plantas específicas.

Se cuenta con las siguientes 4 plantas:

- Tostación
- Planta de Ácido
- Lixiviación
- Fusión y fundición

Tabla 11: Inversión en Plantas Específicas.

PLANTAS ESPECÍFICAS	MONTO (\$)
TOSTACIÓN	103,520,000
PLANTA DE ÁCIDO	123,960,000
LIXIVIACIÓN	168,800,000
FUSIÓN Y FUNDICIÓN	32,640,000
<b>TOTAL</b>	<b>428,920,000</b>

Por lo tanto, la inversión para todo el proyecto es de 500 millones de dólares.

Tabla 12: Inversión del proyecto para las dos etapas.

<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>Inversión 1 (MMS)</b>	<b>Inversión 2 (MMS)</b>
SITIOS GENERALES	70.92	
PLANTAS ESPECÍFICAS	28.92	400.00
<b>TOTAL</b>	<b>99.84</b>	<b>400.00</b>

Del total de la inversión, 100 millones se invierte en el 2006 para la primera etapa y 400 millones en el 2008, para la segunda etapa.

## **5.5 Estados financieros proyectados**

### **5.5.1 Estado de Ganancias y Pérdidas proyectado**

La depreciación de las instalaciones, equipos y materiales se especifica en el apartado de Inversiones por cada concepto.

El gasto financiero es cero porque la empresa recurrirá a su capital para el total de la inversión.

En la siguiente tabla se muestra el Estado de Ganancias y Pérdidas hasta el año 2019.

Tabla 13: Estado de Ganancias y Pérdidas hasta el año 2019 (en millones de dólares).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Venta de Zn	-16.3	-17.9	-19.6	-21.4	-30.1	-36.4	-45.8	-46.8	-47.9	-48.9	-50.0	-51.2	-52.3	-53.5
Venta subproductos	-3.7	-4.0	-4.4	-4.8	-6.8	-8.2	-10.3	-10.5	-10.8	-11.0	-11.3	-11.5	-11.8	-12.1
<b>Ingresos totales</b>	<b>-23.6</b>	<b>-26.0</b>	<b>-28.5</b>	<b>-31.0</b>	<b>-43.7</b>	<b>-52.8</b>	<b>-66.4</b>	<b>-67.9</b>	<b>-69.5</b>	<b>-71.0</b>	<b>-72.6</b>	<b>-74.3</b>	<b>-76.0</b>	<b>-77.7</b>
Materia prima	-107.7	-120.0	-133.0	-146.8	-208.8	-255.3	-325.1	-336.2	-347.8	-359.7	-372.1	-367.9	-380.6	-393.6
Logística	-16.3	-17.9	-19.6	-21.4	-30.1	-36.4	-45.8	-46.8	-47.9	-48.9	-50.0	-51.2	-52.3	-53.5
Mano de Obra Directa	-3.7	-4.0	-4.4	-4.8	-6.8	-8.2	-10.3	-10.5	-10.8	-11.0	-11.3	-11.5	-11.8	-12.1
Energía	-23.6	-26.0	-28.5	-31.0	-43.7	-52.8	-66.4	-67.9	-69.5	-71.0	-72.6	-74.3	-76.0	-77.7
Otros Costes	-10.9	-12.0	-13.1	-14.3	-20.1	-24.3	-30.6	-31.3	-32.0	-32.7	-33.5	-34.3	-35.0	-35.8
<b>Costes totales</b>	<b>-162.1</b>	<b>-179.9</b>	<b>-198.6</b>	<b>-218.4</b>	<b>-309.5</b>	<b>-377.0</b>	<b>-478.2</b>	<b>-492.8</b>	<b>-507.9</b>	<b>-523.5</b>	<b>-539.5</b>	<b>-539.2</b>	<b>-555.7</b>	<b>-572.7</b>
Mano de Obra Ind.	-0.68	-0.70	-0.71	-0.73	-0.75	-0.76	-0.78	-0.80	-0.82	-0.83	-0.85	-0.87	-0.89	-0.91
Servicios de luz y agua	-5.0	-5.1	-5.2	-5.3	-5.5	-5.6	-5.7	-5.8	-6.0	-6.1	-6.3	-6.4	-6.5	-6.7
Impuestos Municipales	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
<b>Gastos totales</b>	<b>-5.9</b>	<b>-6.0</b>	<b>-6.2</b>	<b>-6.3</b>	<b>-6.4</b>	<b>-6.6</b>	<b>-6.7</b>	<b>-6.9</b>	<b>-7.0</b>	<b>-7.2</b>	<b>-7.4</b>	<b>-7.5</b>	<b>-7.7</b>	<b>-7.9</b>
<b>Utilidad sobre flujo</b>	<b>28.5</b>	<b>32.8</b>	<b>37.5</b>	<b>42.6</b>	<b>64.1</b>	<b>81.1</b>	<b>106.7</b>	<b>112.6</b>	<b>118.8</b>	<b>125.5</b>	<b>132.7</b>	<b>138.6</b>	<b>146.7</b>	<b>155.5</b>
Depreciación	0.0	-4.5	-4.5	-4.5	-20.5	-20.5	-20.5	-20.5	-20.5	-20.5	-20.5	-19.7	-19.7	-19.7
Gastos financieros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Utilidad antes de impuestos (EBIT)</b>	<b>28.5</b>	<b>28.4</b>	<b>33.0</b>	<b>38.1</b>	<b>43.7</b>	<b>60.6</b>	<b>86.3</b>	<b>92.1</b>	<b>98.4</b>	<b>105.0</b>	<b>112.2</b>	<b>118.9</b>	<b>127.1</b>	<b>135.9</b>
Impuestos a la renta	-8.6	-8.5	-9.9	-11.4	-13.1	-18.2	-25.9	-27.6	-29.5	-31.5	-33.7	-35.7	-38.1	-40.8
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>20.0</b>	<b>19.9</b>	<b>23.1</b>	<b>26.7</b>	<b>30.6</b>	<b>42.4</b>	<b>60.4</b>	<b>64.5</b>	<b>68.9</b>	<b>73.5</b>	<b>78.5</b>	<b>83.2</b>	<b>88.9</b>	<b>95.1</b>

### 5.5.2 Flujo de Caja proyectado

Los impuestos a la renta de un ejercicio, se pagan el mismo año.

El capital de trabajo tendrá en cuenta la siguiente modalidad de cobro y pago:

1. Se cobrará 30 días después de haber realizado la venta.
2. Los pagos respecto a la materia prima, logísticas y energía se pagarán 30 días después de haber efectuado la compra.

En la siguiente tabla se muestra el Flujo de Caja Proyectado hasta el año 2019.



Tabla 14: Flujo de Caja Proyectado hasta el año 2019 (en millones de dólares).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Año financiero</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ingresos Totales	196.5	218.7	242.3	267.2	380.0	464.6	591.6	612.3	633.8	656.2	679.6	685.2	710.1	736.1
Costes de producción	-162.1	-179.9	-198.6	-218.4	-309.5	-377.0	-478.2	-492.8	-507.9	-523.5	-539.5	-539.2	-555.7	-572.7
Gastos (fijos)	-5.9	-6.0	-6.2	-6.3	-6.4	-6.6	-6.7	-6.9	-7.0	-7.2	-7.4	-7.5	-7.7	-7.9
<b>EBITDA</b>	28.5	32.8	37.5	42.6	64.1	81.1	106.7	112.6	118.8	125.5	132.7	138.6	146.7	155.5
Impuesto a la Renta	-8.6	-8.5	-9.9	-11.4	-13.1	-18.2	-25.9	-27.6	-29.5	-31.5	-33.7	-35.7	-38.1	-40.8
Capital de trabajo	-3.2	-0.4	-0.4	-0.5	-2.0	-1.5	-2.3	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.7	-0.8
<i>Cuentas por cobrar</i>	-16.4	-1.9	-2.0	-2.1	-9.4	-7.0	-10.6	-1.7	-1.8	-1.9	-1.9	-0.5	-2.1	-2.2
<i>Cuentas por pagar</i>	13.2	1.5	1.5	1.6	7.4	5.5	8.3	1.2	1.2	1.3	1.3	-0.1	1.4	1.4
<b>Flujo de caja Operativo</b>	16.8	23.9	27.1	30.7	49.1	61.3	78.5	84.4	88.8	93.4	98.4	102.4	107.9	114.0
Inversiones	-100	0.0	-400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Flujo de Caja Libre</b>	<b>-83.1</b>	23.9	<b>-372.9</b>	30.7	49.1	61.3	78.5	84.4	88.8	93.4	98.4	102.4	107.9	114.0

## 5.6 Evaluación económica financiera

### 5.6.1 Costo de Oportunidad del Capital (COK)

Para el cálculo del COK se empleará el modelo CAPM<sup>23</sup>. La aplicación del CAPM en países emergentes ha generado varias críticas debido a que es un modelo que se aplica en mercados de capital eficiente, líquidos y con volúmenes altos de negociación de activos, características ausentes en los mercados de capital de países emergentes. Sin embargo, al añadir una tasa de riesgo país al modelo original, se obtiene una mejor aproximación del costo de oportunidad del capital en los países emergentes.

A continuación, se muestra la fórmula del COK empleando el modelo CAPM:

$$COK = R_f + Beta * (R_m - R_f) + R_{país}$$

Ecuación 8: Fórmula ajustada a países emergentes para el cálculo del COK

**R<sub>f</sub>**: se refiere al rendimiento de un activo libre de riesgo. En este proyecto se estimará a través de los datos históricos de los Bonos del Tesoro peruano a 10 años. Se emplea el rendimiento promedio de los años comprendidos entre el 2009 y 2019. El valor que se obtiene es 3.90 %.<sup>24</sup>

**Beta**: mide el grado de volatilidad sistemática de un activo respecto al mercado en el que participa. Además, es un parámetro que se ve afectado por la ratio deuda/equity (D/E) ya que el aumento de deuda implica mayor riesgo sistemático. Por lo tanto, la beta que se debe emplear debe ser corregido en función al ratio antes mencionado.

$$B_{apalancado} = B_{desapalancado} * \left(1 + \frac{D * (1 - T)}{E}\right)$$

Ecuación 9: Fórmula para hallar el beta ajustado al ratio de deuda/equity.

---

<sup>23</sup> BCRP. El modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) es un modelo de valoración que se aplica a activos financieros en un mercado en equilibrio.

<sup>24</sup> (Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), s.f.)



Sin embargo, como el proyecto será 100% financiado por capital propio el ratio D/E es cero, esto significa que:

$$B_{\text{apalancado}} = B_{\text{desapalancado}} = \text{Beta}$$

La Empresa cotiza en la Bolsa de Valores de Lima; por lo tanto, se emplearán los precios diarios de la acción de la empresa y del mercado para hallar la beta. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Beta} = \frac{\text{COV}(r_e, r_m)}{\text{VAR}(r_m)}$$

Ecuación 10: Fórmula empleada para hallar la Beta.

Donde:

$r_e$  = rentabilidad de las acciones de la empresa. Se emplearon datos históricos diarios desde el 2016<sup>25</sup>, ya que solo se cuenta con información a partir de ese año.

$r_m$  = rentabilidad del mercado. Se emplearon datos históricos diarios del índice Lima 25 index desde el 2016<sup>26</sup>, se utilizaron las mismas empleadas en  $r_e$ . La Empresa pertenece a dicho índice.

El valor que se obtiene es de 1.09.

**R<sub>m</sub>**: se refiere al rendimiento de mercado. Se empleará el rendimiento de la Bolsa de Valores de Lima. Se emplearon rendimientos medios mensuales desde el año 2000 al 2020. Se obtuvo un promedio de 1.13% de rendimiento mensual. El rendimiento anual es de 14.39%<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup> (Bolsa de Valores de Lima, s.f.).

<sup>26</sup> (S&P Dow Jones Indices, s.f.). S&P/BVL LIMA 25 Index (PEN)

<sup>27</sup> A partir del rendimiento medio mensual, se calculó el rendimiento anual con la siguiente expresión  $(1 + \text{rendimiento medio mensual})^{12} - 1$ .

$R_{\text{pais}}$ : se refiere al riesgo promedio de las inversiones realizadas en un país en específico. Se empleará el promedio del EMBI<sup>28</sup> del Perú comprendidos entre los años 2000 y 2020. Se obtuvo el valor de 2.69<sup>29</sup>.

Tabla 15: Parámetros del modelo CAPM.

PARÁMETRO	VALOR
$R_f$	3.90%
$R_{\text{pais}}$	2.69%
$R_m$	14.39%
Beta	1.088
COK ANUAL	18.01%

### 5.6.2 Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC)

Es la tasa de descuento que se utiliza para hallar el valor presente neto de un flujo de caja proyectado.

$$WACC = k_e * \frac{E}{E + D} + k_d * \frac{E}{E + D} * (1 - T)$$

Ecuación 11: Fórmula para obtener el WACC

Parámetros:

- $K_e$  = costo del inversor. Se utiliza el valor obtenido en el COK.
- $K_d$  = costo del financiamiento.
- $E$  = monto de fondos propios.
- $D$  = monto de la deuda financiada.

<sup>28</sup> El EMBI (Emerging Markets Bonds Index) mide el riesgo de que un país deje de pagar sus deudas a sus acreedores internacionales. El valor es la diferencia entre el rendimiento de los bonos en dólares emitidos por países emergentes y el rendimiento de los bonos del tesoro de Estados Unidos.

<sup>29</sup> (Ministerio de Economía y Finanzas, s.f.).

- T = Tasa impuesto a la renta

El proyecto es financiado 100% con el capital de la empresa; por lo tanto, el valor del WACC<sup>30</sup> es igual al valor obtenido en el COK. Se obtiene un **WACC de 18.01%** el cual se empleará para descontar el flujo de caja proyectado.

### 5.6.3 Indicadores de Rentabilidad

#### Valor Actual Neto (VAN):

Un valor positivo indica que el proyecto es viable; de lo contrario, no se recomienda su ejecución.

Para calcular el VAN se emplea el WACC como tasa de descuento. El valor del VAN para el proyecto es de **0.16 millones de dólares**. Esto significa que se recomienda la ejecución del proyecto. Sin embargo, es un valor cercano a cero, lo que podría provocar que los directivos de la empresa no quieran apostar por el proyecto debido a su bajo valor actual neto.

#### Tasa Interna de Retorno (TIR):

Es la tasa de descuento en la que el VAN adopta el valor de cero. Una TIR mayor a la tasa de descuento empleada (WACC) indica que el proyecto es viable. El valor de la TIR es **18.01%**, lo que indica que sí recomienda la ejecución del proyecto.

Tabla 16: Indicadores de Rentabilidad del Proyecto.

INDICADOR	VALOR (en MMS)
VA (t=0)	387.24
VA inversiones (t=0)	-387.08

<sup>30</sup> Costo promedio ponderado de capital es una tasa de descuento que considera ambas fuentes de capital (deuda financiera y fondos propios).

<b>VAN</b>	0.16
<b>TIR</b>	18.01 %

Finalmente, se puede observar que el valor de la TIR es similar al valor del WACC y que el valor del VAN es cercano al cero. Por lo tanto, este proyecto puede aumentar su valor al emplear el método de opciones reales.



## 6 APLICACIÓN DE OPCIONES REALES EN EL PROYECTO

En este capítulo se desarrollará la valoración del proyecto mediante opciones reales empleando el modelo de simulación de Montecarlo para la estimación de la volatilidad.

### 6.1 Volatilidad del proyecto

La volatilidad del proyecto es el principal parámetro que se debe hallar, ya que a partir de este se calculan los parámetros restantes.

El problema principal para el cálculo de este parámetro es suscitado por la falta de información histórica del proyecto. Por ello, existen varias posibilidades para realizar el cálculo de la volatilidad. El presente trabajo empleará al propio proyecto sin opciones para estimar el rendimiento y la volatilidad del proyecto.

Para esto, se seguirá la siguiente secuencia de pasos:

1. Construir el FC del proyecto y hallar el valor presente del proyecto. Este paso ya se realizó en el capítulo y fue de donde se obtuvo el VAN sin opción.
2. Detectar las fuentes de incertidumbre presentes en los flujos de caja
3. Modelar el comportamiento de las fuentes de incertidumbre y calcular sus parámetros.
4. Modelar el flujo de caja dinámico y calcular la desviación típica del proyecto empleado simulación de Montecarlo

#### 6.1.1 Fuentes de incertidumbre

En el proyecto se detecta la existencia de dos fuentes de incertidumbre que tienen gran impacto en el flujo de caja, estas son: el precio del zinc y el precio del cobre.

Los *commodities* siguen un proceso estocástico, estos procesos indican que la variable tiene un comportamiento aleatorio que evoluciona en función de otra variable, en muchos casos en función del tiempo. Para los *commodities* y las tasas de interés, el modelo de reversión a la media explica mejor su comportamiento. Sin embargo, Pindyck (1999) analizó el caso de los precios del petróleo y concluyó

que el modelo de reversión a la media es válido para series de más de 100 años. Por lo tanto, se asume la hipótesis de que los precios del zinc y cobre siguen un Movimiento Geométrico Browniano (MGB)<sup>31</sup>.

Como primer paso, se debe validar la hipótesis del comportamiento de los precios. Esta validación se realizará mediante la prueba de *Augmented Dicker Fuller*<sup>32</sup>. Se emplea la herramienta EViews para realizar la prueba.

En el caso del zinc se obtuvo que el valor t-statistic fue -1.49, el cual es mayor a -3.43 que representa al valor crítico en un nivel de confianza al 95% (Anexo 5). En la prueba del cobre se obtuvo un t-statistic de 0.67 y -3.44 en el valor crítico en un nivel de confianza al 95% (Anexo 6). Por lo tanto, en ninguna de las variables se puede rechazar la hipótesis nula de la prueba y, por ende, las series de tiempo del precio del zinc y cobre no son estacionarios y pueden seguir un proceso MGB.

Ya validada la hipótesis del comportamiento de las dos fuentes de incertidumbre, se debe modelar el proceso y hallar los parámetros. El comportamiento de los precios sigue la siguiente ecuación

$$dZ = \mu_z Z dt + \sigma_z Z d_z$$

Ecuación 12: Fórmula del proceso MGB para el precio del zinc

$$dC = \mu_c C dt + \sigma_c C d_c$$

Ecuación 13: Fórmula del proceso MGB para el precio del cobre

Donde:

$d_z$  y  $d_c$ : Proceso estocástico de Wiener que sigue una distribución normal  $N \sim (0,1)$ .

$dt$ : Es un intervalo de tiempo.

$\mu_z$  y  $\mu_c$ : Tasas promedio de crecimiento anuales para los precios del zinc y cobre, respectivamente.

$\sigma_z$  y  $\sigma_c$ : Volatilidad de los rendimientos de los precios del zinc y cobre, respectivamente.

---

<sup>31</sup> Los MGB se basan en el proceso de Wiener, proceso estocástico, cuyas trayectorias son continuas, pero no derivables.

<sup>32</sup> Es una prueba para evaluar la estacionalidad de una serie de tiempo. Tiene como hipótesis nula ( $H_0$ ) que la variable tiene una raíz unitaria. Si se acepta  $H_0$ , significa que la variable no es estacionaria.

Para obtener los valores del proceso MGB del precio de ambos metales, se debe convertir la trayectoria del proceso Wiener en derivable. Esto se realiza mediante el Lema de Ito en el que se deduce que el Ln (Z) y Ln (C) sigue un Movimiento Browniano Aritmético<sup>33</sup> (AMB) representado en las siguientes ecuaciones:

$$dLnZ = \left( \mu_z - \frac{\sigma_z^2}{2} \right) dt + \sigma_z d_z$$

Ecuación 14: Fórmula del MGB con aplicación del Lema de Ito para el precio del zinc.

$$dLnC = \left( \mu_c - \frac{\sigma_c^2}{2} \right) dt + \sigma_c d_c$$

Ecuación 15: Fórmula del MGB con aplicación del Lema de Ito para el precio del cobre.

Se emplearán datos históricos mensuales entre los años 1991 y 2005 para el zinc y entre los años 1993 y 2005 para el cobre, esta información ha sido recopilada de la página del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital del Gobierno Español.

De la data histórica de los precios mensuales del zinc y cobre, se obtendrán los parámetros del MGB para luego utilizarlos en la simulación de Montecarlo. El siguiente procedimiento se realiza dos veces, uno para el zinc y otro para el cobre:

1. Hallar el logaritmo natural del precio para cada periodo.
2. Para cada periodo “t”, realizar la resta del logaritmo natural del precio en el tiempo “t” menos la del tiempo “t-1”. La siguiente expresión ejemplifica este paso, donde X es el precio del mineral “X”:  $\text{Ln } X_{(t)} - \text{Ln } X_{(t-1)}$ .
3. Obtener la media ( $\alpha$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) mensual del resultado del paso 2.
4. Hallar el parámetro “ $\mu$ ” a partir de la media. Se cumple lo siguiente:  $\alpha = \mu - (\sigma^2) / 2$ .
5. Transformar los parámetros mensuales “ $\mu$ ” y “ $\sigma$ ” a anuales.

A continuación, se mostrará los primeros 10 datos de cada precio.

---

<sup>33</sup> El AMB es un proceso de Wiener; por lo tanto, sigue una distribución normal:  $\Delta x \sim N(\mu \Delta t, \sigma^2 \Delta t)$

La data histórica completa que se emplea para el análisis de los precios del zinc y cobre se encuentran en el Anexo 7 y Anexo 8, respectivamente.

Tabla 17: recio del zinc y desarrollo del procedimiento para obtención de los parámetros del MGB (solo se muestran los 10 primero datos de un total de 180).

<b>Periodo</b>	<b>Precio Zinc (Z)</b>	<b>Ln Z(t)</b>	<b>Ln Z(t-1)</b>	<b>Ln Z(t) - Ln Z(t-1)</b>
<b>1</b>	1,208.16	7.10	7.14	-0.04
<b>2</b>	1,188.14	7.08	7.10	-0.02
<b>3</b>	1,198.39	7.09	7.08	0.01
<b>4</b>	1,251.18	7.13	7.09	0.04
<b>5</b>	1,092.07	7.00	7.13	-0.14
<b>6</b>	1,061.55	6.97	7.00	-0.03
<b>7</b>	1,063.10	6.97	6.97	0.00
<b>8</b>	1,045.88	6.95	6.97	-0.02
<b>9</b>	1,023.55	6.93	6.95	-0.02
<b>10</b>	991.71	6.90	6.93	-0.03

Tabla 18: Precio del cobre y desarrollo del procedimiento para obtención de los parámetros del MGB (solo se muestran los 10 primero datos de un total de 150).

<b>Periodo</b>	<b>Precio cobre (C)</b>	<b>Ln C(t)</b>	<b>Ln C(t-1)</b>	<b>Ln C(t) - Ln C(t-1)</b>
<b>1</b>	1,926.76	7.56		
<b>2</b>	1,947.74	7.57	7.56	0.01
<b>3</b>	1,861.20	7.53	7.57	-0.05
<b>4</b>	1,646.01	7.41	7.53	-0.12



5	1,629.69	7.40	7.41	-0.01
6	1,728.45	7.45	7.40	0.06
7	1,803.21	7.50	7.45	0.04
8	1,866.06	7.53	7.50	0.03
9	1,914.47	7.56	7.53	0.03
10	1,882.33	7.54	7.56	-0.02

Luego de realizar los pasos 3, 4 y 5 en una hoja de Excel, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 19: Parámetros del MGB para el zinc y cobre.

Metal	Parámetro	Mensual	Anual
ZINC	$\sigma_z$	5.26%	18.24%
	$\mu_z$	0.32%	3.82%
COBRE	$\sigma_c$	5.09%	17.62%
	$\mu_c$	0.71%	8.52%

### 6.1.2 Simulación de Montecarlo

Antes de iniciar con la simulación de Montecarlo, se debe establecer la expresión que se utilizará para calcular el precio futuro del zinc y cobre. De las ecuaciones 12 y 14 se obtiene la expresión para el precio del zinc, y de las ecuaciones 13 y 15, para el precio del cobre.

$$Z_t = Z_{(t-1)} e^{\left(\mu_z - \frac{\sigma_z^2}{2}\right) * dt + \sigma_z * N(0,1) * \sqrt{dt}}$$

Ecuación 16: Fórmula para calcular el precio del zinc en cualquier tiempo futuro "t".

$$C_t = C_{(t-1)} e^{\left(\mu_c - \frac{\sigma_c^2}{2}\right) * dt + \sigma_c * N(0,1) * \sqrt{dt}}$$

Ecuación 17: Fórmula para calcular el precio del cobre en cualquier tiempo futuro "t".

El factor aleatorio  $N(0,1)$  es distinto para cada metal y para cada periodo de tiempo “t”. El precio en el 2006 (año 0), es determinístico y por lo tanto ya está fijado. A partir del 2007 (año 1), se emplean las ecuaciones 16 y 17 para calcular los precios futuros del zinc y cobre, respectivamente. Esto se realiza en una hoja de Excel.

Una vez se halla modelizado en la hoja de Excel los precios del zinc y cobre. Se establece una nueva variable denominada “z”, que representa a los rendimientos esperados del proyecto. El numerador presenta valores simulados y el denominador un valor determinista.

$$Z = \ln\left(\frac{PV_1}{PV_0}\right)$$

En donde:

$PV_1$ : Es el valor presente en el año 1 de los flujos de caja simulados.

$PV_0$ : Es el valor presente determinista en el año 0. El valor que se emplea es de 387.24 millones de dólares, resultado del análisis determinista.

La variable “Z” seguirá una distribución normal, ya que las variables de incertidumbre que modelan los flujos de caja a partir del año 1 tienen un comportamiento MGB y este, a la vez, contiene al proceso de Wiener que sigue una distribución normal. En la siguiente imagen, se puede observar y confirmar la distribución normal que sigue “Z” luego de haber realizado la simulación de Montecarlo con 50,000 iteraciones.

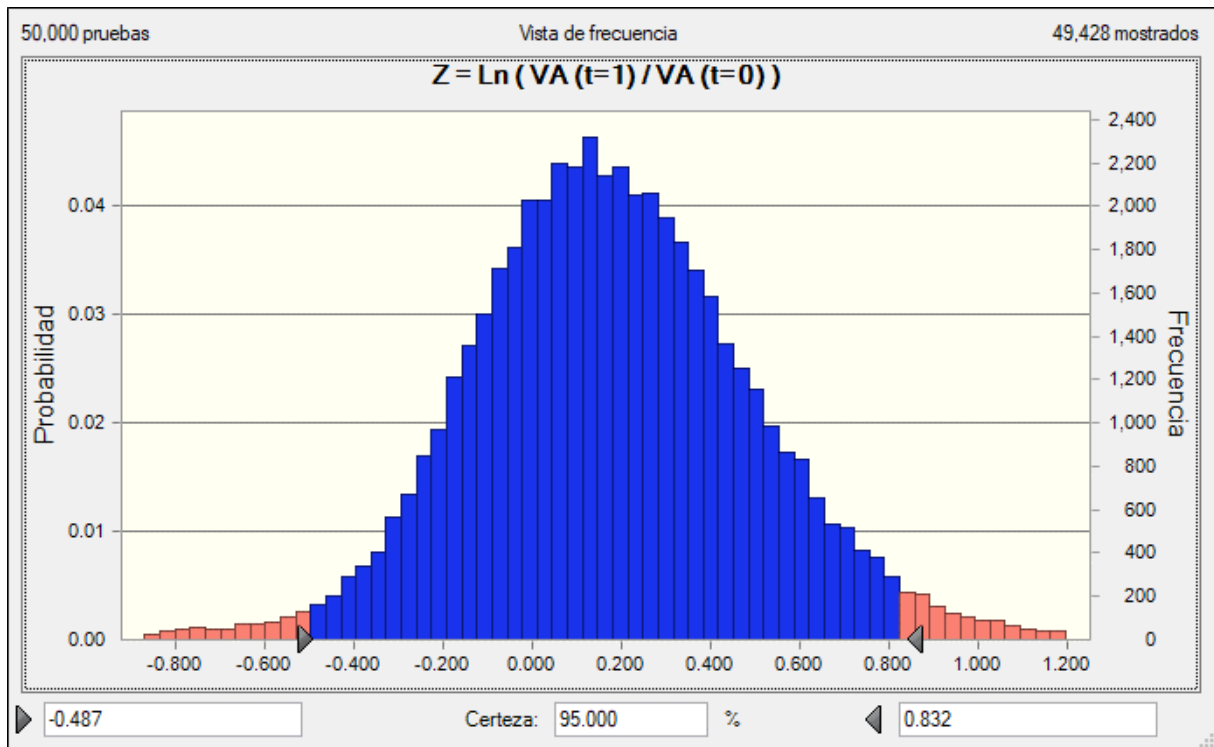


Imagen 8: Gráfica de distribución de la variable "Z".

Por otro lado, la desviación estándar de los resultados simulados de la variable "Z" representa la volatilidad del proyecto. La simulación de Montecarlo de la variable "Z" se hizo de dos formas, con la finalidad de corroborar los resultados de ambas.

La primera forma consiste en crear una macro en Excel para que realice la simulación de "Z". Esta macro muestra los resultados obtenidos de la simulación, a partir de estos datos se puede obtener la media y la desviación estándar. La segunda forma es utilizar el software Crystall Ball que se emplea para realizar simulaciones de Montecarlo, entre la información que muestra se encuentra la desviación estándar y la gráfica de distribución de los resultados.

Se realizaron 4 simulaciones con iteraciones de 1,000; 5,000; 10,000 y 50,000, cada una. En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de las simulaciones en cada método empleado.

Tabla 20: Desviaciones Estándares de las simulaciones realizadas utilizando Macro en Excel y Crystall Ball.

Simulación	Iteraciones	Macro (Desv. Est.)	Crystall Ball (Desv. Est.)
SIMULACIÓN 1	1,000	36.33%	36.40%
SIMULACIÓN 2	5,000	36.40%	37.02%
SIMULACIÓN 3	10,000	36.63%	36.40%
SIMULACIÓN 4	50,000	35.72%	36.90%

Como se puede observar, los resultados obtenidos de la desviación estándar de las 4 simulaciones empleando dos métodos son similares. La volatilidad del proyecto será el promedio de los 8 resultados obtenidos que se muestran en la tabla anterior, el valor obtenido es de **36.48%**.

## 6.2 Parámetros necesarios

Para la construcción de los árboles binomiales de las opciones reales, se debe calcular los parámetros restantes ya que definirán las distintas rutas que puede seguir el precio del activo subyacente. En el análisis de las opciones reales, el activo subyacente (S) son los valores esperados de los flujos de caja futuros.

Primero, se calcula los coeficientes de ascenso y descenso que dependen de la volatilidad del proyecto. El cálculo se realiza empleando un año como intervalo de tiempo, esto quiere decir que los árboles binomiales que se construirán serán por cada año.

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta T}} = 1.44$$

$$d = \frac{1}{u} = 0.69$$

Luego, se calcula las probabilidades asociadas a cada movimiento; es decir, la probabilidad (p) de que ocurra un aumento del subyacente representado por “u” y la probabilidad (1- p) de que ocurra un

descenso, representado por “d”. La expresión para hallar “p” se muestra a continuación, r es la tasa de libre riesgo que ya se calculó en el capítulo anterior ( $r_f = 3.9\%$ )

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} = 0.46$$

$$1 - p = 0.54$$

En la siguiente tabla se muestra todos los datos necesarios a tomar en cuenta para la construcción de los árboles binomiales.

Tabla 21: Datos hallados y necesarios para la construcción de los árboles binomiales.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR
$\Delta t$	Intervalo de tiempo (año)	1
$\sigma(\text{proyecto})$	Volatilidad del proyecto	36.48%
$r_f$	Tasa libre de riesgo	3.9%
$u$	Factor creciente	1.44
$d$	Factor decreciente	0.69
$p$	Probabilidad neutra al riesgo	0.46
$S (VP_o)$	Valor presente operativo (en millones)	387.24 \$
$E (\text{Inversión})$	Valor presente inversión (en millones)	- 387.08 \$
$VAN$	$VAN$ del proyecto sin opciones (en millones)	0.16 \$

### 6.3 Opciones del proyecto

En este apartado, se realizará el análisis de las opciones reales que presenta el proyecto. Es importante resaltar dos puntos generales antes de presentar las opciones que se han considerado:

El primero punto es que el proyecto “Zinc 320k” presenta dos inversiones en distintos años, en el 2006 y 2008. Esto se podría considerar como un proyecto por etapas y en la que existiría la opción de ampliar, que haría referencia a la segunda etapa; es decir, a la inversión del 2008. Sin embargo, el enfoque inicial de los directivos es la realización del proyecto en su totalidad, justificado por el objetivo que tiene el proyecto: posicionarse entre los mayores productores de zinc a nivel mundial.

Por lo tanto, en el presente trabajo, todas las opciones se analizarán teniendo en cuenta el primer enfoque de la empresa respecto a las dos inversiones.

El segundo punto hace referencia a la producción del zinc refinado durante la ampliación. Como se mencionó en la cronología del proyecto presente en el capítulo 4, el crecimiento de la producción se realiza de manera gradual. Esto quiere decir que, si en el 2006 se realiza la primera inversión para ampliar la capacidad a 160 mil toneladas, no significa que en el 2007 ya se producirá a una tasa de 160 mil. Esto se debe, principalmente, a que la construcción tiene un periodo de duración mayor a un año y recién, cuando la construcción haya culminado, la refinería podrá producir en su capacidad máxima. Además, el planteamiento de la empresa es aumentar la capacidad de forma gradual, aun así, ya se haya terminado con las dos etapas de construcción.

En la siguiente tabla, se vuelve a mostrar la producción estimada para cada año durante el periodo de construcción del proyecto.

Tabla 22: Producción de zinc refinado durante el periodo de construcción del proyecto.

<b>Año</b>	<b>Producción de Zn refinado (kt)</b>
<b>2006</b>	130
<b>2007</b>	140
<b>2008</b>	150
<b>2009</b>	160
<b>2010</b>	220
<b>2011</b>	260
<b>2012 – al final</b>	320

### 6.3.1 Opción de retrasar la segunda inversión<sup>34</sup>

El proyecto “Zinc 320k” contempla una primera inversión en el 2006 de 100 MM\$ para aumentar la capacidad a 160 mil toneladas y una segunda, en el 2008 de 400 MM\$ para culminar con el proyecto de llegar a la capacidad de producir a 320 mil toneladas por año. Recordar que a pesar de que el proyecto presenta dos inversiones en distintos años, se considera que abarca ambas inversiones dentro de su concepto.

El proyecto cuenta con la opción real de retrasar la decisión de la segunda inversión por un año ante cualquier declive de los precios de los metales. Esto significa que en el 2006 se realiza la primera inversión y se ejecuta la construcción del proyecto correspondiente a dicha inversión. En el último trimestre del 2008, momento en el que se debería realizar la segunda inversión, se presenta la posibilidad de que los directivos retrasen la inversión por un año. Es decir, realizar la inversión el último trimestre del 2009.

La inversión que se realiza en el 2008 permite que a partir del último trimestre de ese mismo año se continúe con la construcción del proyecto, que tiene como fecha culminación en febrero del 2010. A pesar de que en el 2011 ya se cuenta con la capacidad de producir a 320 mil toneladas, La Empresa planificó que el aumento de la producción se haría de forma gradual, por lo que en promedio la producción de ese año sería de 260 mil toneladas. Esta información se puede revisar en el Capítulo 4 en el apartado “Cronología del proyecto” y en el Anexo 1.

De esta manera, al considerar la opción de retrasar la segunda inversión por un año; es decir, realizar la inversión en el 2009, se estaría reiniciando la construcción del proyecto en el último trimestre del 2009. Esto significaría que la producción del año 2010 seguiría siendo de 160 mil toneladas y la construcción estaría culminando en el 2011. Por lo tanto, en el año 2012 se tendría la capacidad instalada de 320 mil toneladas, pero se produciría en promedio 260 mil toneladas debido al planteamiento de escalada de la empresa. Ya desde el 2013, se produciría al 100% de su capacidad. De este modo, el retraso de un año de la segunda inversión afectaría a la producción de la siguiente forma:

---

<sup>34</sup> El desarrollo de esta opción estará basado en el trabajo que (Arias, 2005, págs. 69-70) realizó en su tesis doctoral, donde ejemplifica la opción de diferir una segunda inversión.

- En el 2009: la producción de este año no se ve afectada por el retraso de la segunda inversión, ya que la producción planificada para este año era la capacidad máxima disponible luego de terminar la construcción de la primera parte del proyecto. Respecto a la construcción de la segunda parte, sin el retraso se preveía que durante todo el año se realicen los trabajos de ampliación; con la opción real de retraso, se estima que se iniciaría la segunda ampliación en el último trimestre del 2009.
- En el 2010: la producción sin retraso es de 220 mil toneladas y con retraso de un año de la segunda inversión, la producción sería de 160 mil toneladas debido a que ese año recién se estaría reiniciando la construcción del proyecto. Por lo tanto, la producción se reduce un 27.27%  $\left(\frac{220-160}{220}\right)$ .
- En el 2011: la producción sin retraso es de 260 mil toneladas y con retraso de un año de la segunda inversión, la producción sería de 220 mil toneladas. Por lo tanto, la producción se reduce un 15.38%  $\left(\frac{260-220}{260}\right)$ .
- En el 2012: la producción sin retraso es de 320 mil toneladas y con retraso de un año de la segunda inversión, la producción sería de 260 mil toneladas. Por lo tanto, la producción se reduce un 18.75%  $\left(\frac{320-260}{320}\right)$ .

Se debe recordar que la opción de retrasar un proyecto proporciona al propietario el derecho, mas no la obligación, a posponer la realización del proyecto durante un tiempo determinado. En este caso, en el último trimestre del 2008, los directivos e inversionistas tiene la opción de retrasar la segunda inversión durante un año. Este tipo de opción real se puede interpretar como una opción de compra del valor actual de los flujos de caja esperados del proyecto ( $VA_{2008}$ ) a cambio de un precio de ejercicio que sería el valor de la inversión en el instante después del retraso.

Para valorar la opción de retrasar se debe tener en cuenta dos costes que se generan por su realización: los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar el proyecto y el riesgo de obsolescencia tecnológica (Mascareñas, 2013).

Respecto al riesgo de obsolescencia, se refiere a las innovaciones tecnológicas que pueden provocar que la depreciación económica se acelere y así, originar que el valor de los activos descienda



rápidamente. Evidentemente, si esto ocurriera, el valor de la opción de diferir sería nulo. En el caso del proyecto, no se generará coste por el riesgo de obsolescencia debido a que sus activos tienen un periodo largo de vida y no están expuestos a los efectos de los avances tecnológicos.

En cuanto al coste que se genera por los flujos de caja que se renuncia por retrasar el proyecto, Mascareñas (2013) afirma que la opción de diferir un año un proyecto no implica que única y obligatoriamente se deba renunciar al primer flujo de caja, sino que pueden existir casos en los que se renuncia a flujos de caja intermedios o al último. Esta aclaración es importante para el presente análisis, ya que el retraso de la segunda inversión (2008) incurre a que se renuncie a una porción de los flujos de caja de los años 2010, 2011 y 2012; provocado por la disminución de la producción que ya se explicó previamente.

Para calcular este coste, se seguirá lo recomendado por Mascareñas en su monografía “Opción real de diferir un proyecto de inversión”, quien manifiesta que es necesario hallar el impacto que generan las porciones de los flujos de caja a los que se renuncia sobre el valor actual del proyecto y que es mejor expresarlo en términos relativos.

Para esto, como primer paso, se deben hallar las porciones de los flujos de caja del 2010, 2011 y 2012 a los que se renuncia debido a la opción del retraso, estos serán afectados de manera proporcional al porcentaje de reducción de la producción de su respectivo año, que se halló previamente.

- Para el 2010, el flujo esperado del proyecto sin retraso de la segunda inversión es de 30.6 millones de dólares. Debido al retraso, la producción de dicho año disminuye un 27.27%, lo que significa que el flujo de caja se reduce un 13.38 millones de dólares.
- Para el 2011, el flujo esperado del proyecto sin retraso de la segunda inversión es de 42.4 millones de dólares. Debido al retraso, la producción de dicho año disminuye en 15.38%, lo que significa que el flujo de caja se reduce un 9.44 millones de dólares.
- Para el 2012, el flujo esperado del proyecto sin retraso de la segunda inversión es de 60.4 millones de dólares. Debido al retraso, la producción de dicho año disminuye un 18.75%, lo que significa que el flujo de caja se reduce un 14.72 millones de dólares.

Luego, los valores de las porciones de los flujos de caja hallados en el primer paso se deben descontar al 2008, para estos se emplea la tasa ajustada por el riesgo del proyecto; es decir, se utiliza el WACC.

Tabla 23: Flujo de caja al que se renuncia descontados al 2008.

AÑO	Porción flujo de caja al que se renuncia (MMS)	Porción flujo de caja al que se renuncia descontados al 2008 (MMS)
2010	13.38	$13.38 * (1 + 0.18)^{-2} = 9.61$
2011	9.44	$9.44 * (1 + 0.18)^{-3} = 5.74$
2012	14.72	$14.72 * (1 + 0.18)^{-4} = 7.59$

Finalmente, se debe hallar el porcentaje que representan los flujos de caja retrasados y descontados al 2008 sobre el valor actual del proyecto en el 2008. El VA del proyecto en el 2008 tiene un valor de 487.67 millones de dólares. Por lo tanto, el coste del retraso es el siguiente:

$$\text{Coste de retraso} = \frac{9.61 + 5.74 + 7.59}{487.67} = 4.70\%$$

Esto significa que las porciones de los flujos de caja a los que se renuncia por el retraso de la segunda inversión son responsables del 4.70% del VA<sub>(2008)</sub> del proyecto en su totalidad. Lo que es equivalente a decir que, si se retrasa la segunda inversión se renuncia al 27.27% del FCL del 2010, 15.38% del FCL del 2011 y al 18.75% del FCL del 2012 y esto provoca que el VA<sub>(2008)</sub> se reduzca en un 4.70%.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la valuación de la opción se realiza entre los años 2008 y 2009; sin embargo, sabiendo que el presente es el 2006 (año 0), esto supone que el VA del proyecto en el 2008 pueden tener 3 escenarios de acuerdo con el desarrollo del mercado. Esto se puede ver en la siguiente imagen en donde se realiza la construcción del árbol binomial del activo subyacente que es VA de los flujos de caja del proyecto.

			En estos periodos se realiza el análisis de la opción	
En MMS	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio				415.91
			S (2)	803.2
			S (3)	1,156.8
			S (3)	557.7
			S (2)	387.2
			S (3)	268.9
			S (2)	186.7
			S (3)	129.6
			S (1)	557.7
			S (1)	268.9
			S	387.2

Imagen 9: Árbol binomial del activo subyacente

Por lo tanto, a pesar de que la construcción del árbol binomial se realiza para cuatro periodos, el análisis de la opción solo se realizará para los años del 2008 al 2009, que es el momento en el cual la opción se presenta.

A continuación, se mostrará los parámetros de la opción de retrasar la segunda inversión:

**Precio activo subyacente ( $S_0$ )** = tiene tres valores diferentes dependiendo del desarrollo del mercado, estos son: 803.2, 387.2 y 186.7 millones de dólares

**Precio del ejercicio ( $K$ )** = inversión capitalizada al año de vencimiento, en este caso al 2009. Se emplea la tasa libre de riesgo para capitalizar la inversión.

Inversión (año 2008) = 400 millones de dólares

Inversión (año 2009) =  $400 * e^{0.039*1} = 415.91$  millones de dólares

**Tiempo hasta vencimiento (t) = 1 año.**

Primero, a cada nodo del año 2009 se le debe restar el costo que genera el retraso y la inversión que se haría en ese momento como consecuencia de haber pospuesto la segunda inversión. Lógicamente, si el valor que se obtiene es negativo, entonces se entiende que la opción no tiene valor y, por ende, el mínimo valor que puede tener es 0.

$$VAN(3.1) = \text{Max}(0; 1,156.8 * (1 - 4.70\%) - 415.9) = 686.5$$

$$VAN(3.2) = \text{Max}(0; 557.7 * (1 - 4.70\%) - 415.9) = 115.6$$

$$VAN(3.3) = \text{Max}(0; 268.9 * (1 - 4.70\%) - 415.9) = 0$$

$$VAN(3.4) = \text{Max}(0; 129.6 * (1 - 4.70\%) - 415.9) = 0$$

Una vez obtenido estos valores, se procede a recorrer el árbol en sentido contrario, solo hasta el 2008, para hallar el valor actual neto en el 2008 del proyecto con la opción de retrasar. Se emplea la siguiente expresión:

$$VAN \text{ ampliado } 2008(t) = \text{MAX} \left( S(t) - \text{Inversión}(2008); \frac{VAN_u * p + VAN_d * (1 - p)}{e^{rf*t}} \right)$$

Esto significa que el VAN en el 2008 con la opción de retrasar será el máximo valor entre: realizar la inversión en el año original; es decir, en el 2008 o ejercer el derecho que le brinda la opción de esperar un año

$$VAN_{2.1} = \text{Max} \left( 803.2 - 400; \frac{686.5 * 0.46 + 115.6 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max}(403.2; 365.44) = 403.2$$

$$VAN_{2.2} = \text{Max} \left( 387.24 - 400; \frac{115.6 * 0.46 + 0 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max}(-12.8; 51.5) = 51.5$$

$$VAN_{2.3} = \text{Max} \left( 186.7 - 400; \frac{0 * 0.46 + 0 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max}(-213.3; 0) = 0$$

El árbol binomial con la opción de retrasar, queda de la siguiente forma:

n MM\$	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio			400.0	415.91

Imagen 10: Árbol binomial con la opción de retrasar la segunda inversión.

De esta forma se obtiene los tres posibles valores del VAN ampliado en el 2008.

Ahora, se debe continuar recorriendo el árbol binomial de manera inversa para obtener el VAN ampliado en el 2006. Para ello se utilizará la siguiente expresión:

$$VAN = \left( \frac{VAN_u * p + VAN_d * (1 - p)}{e^{rf*t}} \right)$$

$$VAN (1.1) = \left( \frac{403.2 * 0.46 + 51.5 * 0.64}{e^{0.039*1}} \right) = 206.17$$

$$VAN (1.1) = \left( \frac{51.5 * 0.46 + 0 * 0.64}{e^{0.039*1}} \right) = 28.61$$

$$VAN (0) = \left( \frac{206.17 * 0.46 + 28.61 * 0.64}{e^{0.039*1}} \right) = 106.6$$

El árbol binomial queda de la siguiente forma:

En MM\$	2006	2007	2008	2009																																				
K: Precio ejercicio			400.0	415.91																																				
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>S (3)</td> <td>1,156.8</td> </tr> <tr> <td>VAN(3.1)</td> <td>686.5</td> </tr> <tr> <td>S (2)</td> <td>803.2</td> </tr> <tr> <td>VAN(2.1)</td> <td>403.2</td> </tr> <tr> <td>S (1)</td> <td>557.7</td> </tr> <tr> <td>VAN(1.1)</td> <td>206.17</td> </tr> <tr> <td>S (2)</td> <td>387.2</td> </tr> <tr> <td>VAN(2.2)</td> <td>51.5</td> </tr> <tr> <td>S (1)</td> <td>268.9</td> </tr> <tr> <td>VAN(1.2)</td> <td>28.61</td> </tr> <tr> <td>S (2)</td> <td>186.7</td> </tr> <tr> <td>VAN(2.3)</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>S (3)</td> <td>268.9</td> </tr> <tr> <td>VAN(3.3)</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>S (3)</td> <td>129.6</td> </tr> <tr> <td>VAN(3.4)</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>387.2</td> </tr> <tr> <td>VAN (0)</td> <td>106.6</td> </tr> </table>					S (3)	1,156.8	VAN(3.1)	686.5	S (2)	803.2	VAN(2.1)	403.2	S (1)	557.7	VAN(1.1)	206.17	S (2)	387.2	VAN(2.2)	51.5	S (1)	268.9	VAN(1.2)	28.61	S (2)	186.7	VAN(2.3)	0	S (3)	268.9	VAN(3.3)	0	S (3)	129.6	VAN(3.4)	0	S	387.2	VAN (0)	106.6
S (3)	1,156.8																																							
VAN(3.1)	686.5																																							
S (2)	803.2																																							
VAN(2.1)	403.2																																							
S (1)	557.7																																							
VAN(1.1)	206.17																																							
S (2)	387.2																																							
VAN(2.2)	51.5																																							
S (1)	268.9																																							
VAN(1.2)	28.61																																							
S (2)	186.7																																							
VAN(2.3)	0																																							
S (3)	268.9																																							
VAN(3.3)	0																																							
S (3)	129.6																																							
VAN(3.4)	0																																							
S	387.2																																							
VAN (0)	106.6																																							

Imagen 11: Árbol binomial con el VAN del proyecto con la opción de retrasar la segunda inversión.

El VAN (0) que se obtuvo fue 106.6 millones de dólares; sin embargo, este valor solo contiene la segunda inversión; por ello se le debe restar la primera inversión para, luego, poder hallar el valor de la opción.

$$\text{VAN ampliado} = \text{VAN (0)} - \text{Inversión del 2006}$$

$$\text{VAN ampliado} = 106.6 - 99.8 = 6.8 \text{ MM\$}$$

Por lo tanto, el VAN ampliado con la opción de diferir un año la segunda inversión es igual a 6.8 millones de dólares. Como es de conocimiento, el VAN sin contemplar la opción real es igual a 0.16 millones de dólares. Esto significa que el valor de la opción de diferir la segunda inversión un año es igual a la diferencia de ambos:

$$\text{Opción de diferir la segunda inversión un año} = \text{VAN}_{\text{ampliado}} - \text{VAN}_{\text{tradicional}}$$

$$\text{Opción de diferir la segunda inversión un año} = 6.8 - 0.16 = 6.64 \text{ MM\$}$$

Tabla 24: Resultado del VAN ampliado de la opción de retrasar la segunda inversión por un año.

<b>VALOR (MMS)</b>	
<b>VAN tradicional</b>	0.16
<b>VA opción</b>	6.64
<b>VAN ampliado</b>	6.80

Como se puede observar de los resultados, contemplar la opción de retrasar una parte del proyecto genera un valor añadido, provocando que el proyecto sea más interesante.

### 6.3.2 Opción de retrasar todo el proyecto.

Antes de iniciar con la valoración de esta opción, es preciso mencionar el contexto económico que se desarrollaba en el 2006 ya que es una pieza clave para justificar la presencia de la opción de retrasar el inicio de todo el proyecto.

El 2007 tuvo lugar al inicio de una de las mayores crisis financieras del último siglo, la Gran Recesión. Se atribuye que el origen de la crisis se dio en Estados Unidos en el tercer trimestre de 2007, cuando un gran número de bancos de inversión anunciaban su quiebra como consecuencia de la crisis de las hipotecas subprime.

Así mismo, se menciona que la crisis se originó el 2007 y explotó mundialmente el 2008, pero en un análisis realizado por los profesores Bellamy Foster y Magdoff sobre la Gran Crisis Financiera, se afirma que desde los últimos meses del 2006 ya se comentaba que la economía estaba siendo tocada (Ekáizer, 2009). Por lo tanto, ya en el 2006 se especulaba sobre una posible crisis financiera, año en el que La Empresa Refinería tenía planeado iniciar el proyecto “Zinc 320k”. Es por ello que valorar la opción de retrasar el proyecto es oportuno, y se contempla con el fin de reducir la incertidumbre del efecto que tendría la crisis financiera sobre la evolución de los precios de los *commodities*.

Ya justificada la presencia de la opción real de retrasar todo el proyecto, se debe justificar los años en que el proyecto puede ser retrasado. Se hará la suposición de que el proyecto tiene la posibilidad de ser retrasado por un máximo de 3 años debido a que se prevé que durante esos años los precios de los

metales sufrirán una caída. Para validar esta suposición, se empleará un análisis inverso de la evolución de los precios de los metales.

En los siguientes dos gráficos se puede observar la evolución histórica del precio del zinc y cobre en un periodo de 30 años. En cada gráfica se puede visualizar que existen tres colores diferentes para los marcadores:

Rojo: Este marcador se encuentra en ambas gráficas y hace referencia al 2006, año 0 en el periodo financiero del proyecto y año en el que se tiene planificado realizar la primera inversión. Es decir, es el estado “presente” del proyecto.

Azul y Amarillo: Los marcadores de azul y amarillo hacen referencia a los precios históricos del zinc y cobre, respectivamente, desde 1991 hasta el 2005. Teniendo en cuenta que el “presente” es el 2006, los directivos ya conocían estos precios.

Naranja y verde: Los marcadores de naranja y verde hacen referencia a los precios históricos del zinc y cobre, respectivamente, desde el 2007 hasta el 2019. En este caso se debe tener en cuenta que, aunque estos datos sean precios históricos, el “presente” es el 2006 por lo que estos precios eran desconocidos para los directivos.

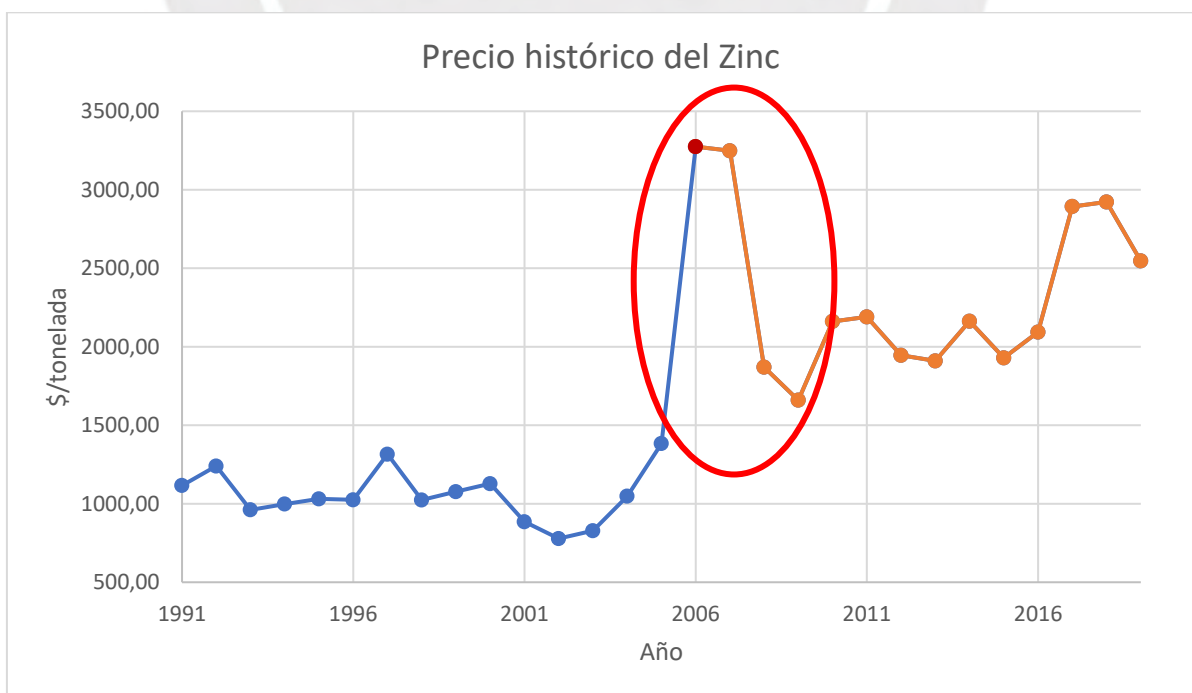




Imagen 12: Precio histórico del zinc de 1991 al 2019.

Fuente: Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital.

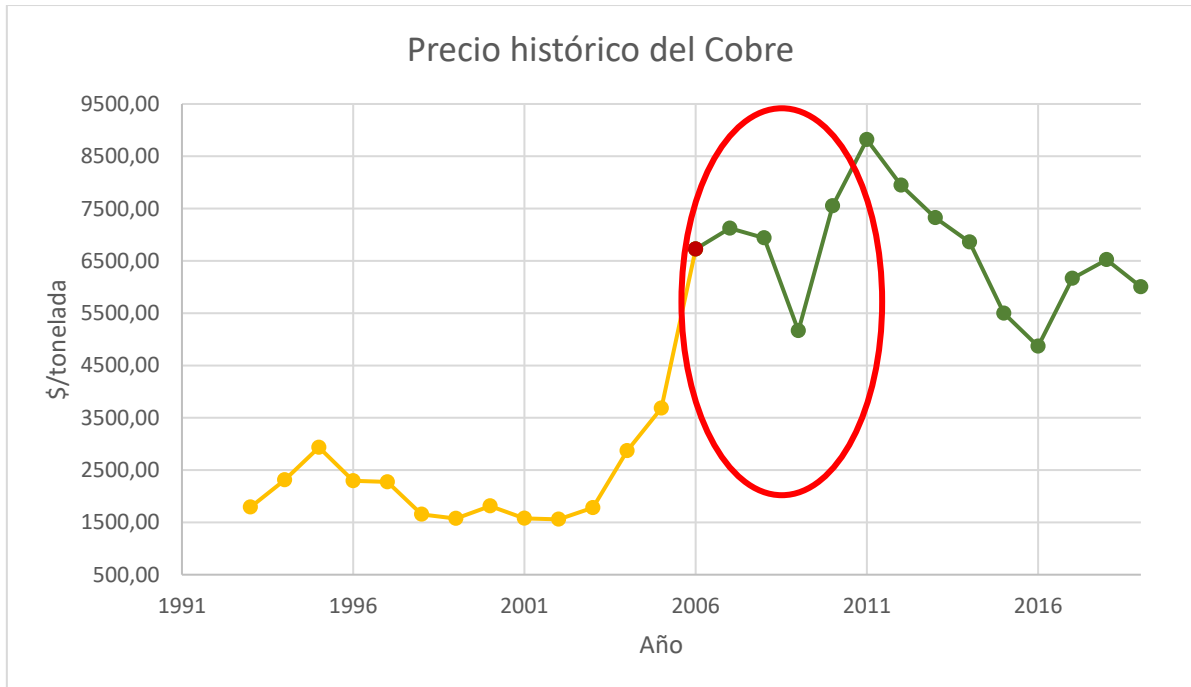


Imagen 13: Precio histórico del cobre de 1993 al 2019.

Fuente: Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital.

El análisis que se realiza se centrará en los precios de los años 2006 al 2010, ambos inclusive.

De los gráficos se puede observar lo siguiente:

- En el 2007, el precio del zinc sufre una pequeña caída. Sin embargo, el precio promedio del cobre tiene un ligero crecimiento. En este año, la crisis económica iniciaba a nivel mundial y poco a poco iba afectando de manera negativa a los precios de los metales básicos.
- En el 2008, el precio de zinc sufre fuertemente el impacto de la crisis y cae en aproximadamente un 45%. El precio del cobre también se ve afectado por la crisis, aunque en menor intensidad que la del zinc.
- En el 2009, la crisis sigue provocando la caída de los precios de ambos metales. En este año, el precio del cobre disminuye más que el 2008.

- En el 2010, ya se puede observar que el efecto de la crisis en los precios de los metales terminó y ambos metales empiezan a recuperar su valor con una tendencia al alza.

De esta manera se justifica un periodo máximo de tres años (del 2007 al 2009) para que los precios de los metales inicien su recuperación tras la crisis económica y así, también, justificar la decisión de considerar la opción de retrasar por 3 años el inicio del proyecto.

Una vez justificada la suposición de retrasar el inicio del proyecto por un máximo de tres años, se hará la presentación formal de la opción real. La segunda opción a considerar es la opción americana de retrasar por un máximo de 3 años el inicio del proyecto, evaluando así el mejor momento para su realización.

De esta forma, se estudiará la opción de diferir el proyecto 3 años; es decir, se valorará el derecho que la opción le proporciona al propietario de posponer la realización del proyecto. En este caso, la opción de retrasar el proyecto es equivalente a una opción americana de compra. Se recuerda que una opción americana puede ser ejercida en cualquier momento antes de la fecha de vencimiento. Por lo tanto, la dinámica de la opción es la siguiente: en cada periodo, hasta la fecha de vencimiento, el propietario tiene el derecho de ejercer la opción de retrasar el proyecto un año más o de iniciar el proyecto ese mismo año.

Al igual que en el análisis de la opción de retrasar la segunda inversión, se debe hallar el coste que genera dicho retraso. En este caso, no se tendrá solo un porcentaje del VA de los flujos de caja del proyecto que se estaría dispuesto a renunciar por ejercer la opción de retraso. Sino que se tendrá un costo diferente por cada año que se retrasa; es decir, si se retrasa un año, el coste por el año retrasado será  $x\%$ ; si se retrasa dos años, el coste por los dos años será de  $y\%$ , y así sucesivamente para todos los años que se pueda retrasar el proyecto.

En este caso en particular, solo se podrá retrasar como máximo tres años; por ende, se debe calcular tres costos (en %) provocados por el retraso. Recordar que este costo hace referencia a los flujos de caja que se renuncia por retrasar el proyecto un periodo de tiempo establecido. A continuación, se hallará el costo de retraso para 1, 2 y 3 años de retraso:

Costo de retrasar el proyecto un año: implica que la primera inversión se realice el 2007 en lugar del 2006. Esto tiene efecto directo en el nivel de producción de cada año, ya que la escalada de la producción

estaría iniciando en el 2008. Recordar que la refinería ya contaba con una capacidad de producción de 130 mil toneladas antes de que se inicie el proyecto “Zinc 320k”. Por lo tanto, el nuevo nivel de producción sería el siguiente:

Tabla 25: Producción modificada por el retraso de un año.

<b>AÑO</b>	<b>Producción sin retraso (kt)</b>	<b>Producción con un año de retraso (kt)</b>	<b>Porcentaje de reducción de producción</b>
<b>2006</b>	130	130	0
<b>2007</b>	140	130	7.14%
<b>2008</b>	150	140	6.67%
<b>2009</b>	160	150	6.25%
<b>2010</b>	220	160	27.27%
<b>2011</b>	260	220	15.38%
<b>2012</b>	320	260	18.75%
<b>2013 AL FINAL</b>	320	320	0%

Luego, se debe hallar la porción de los flujos de caja a los que se renuncia por el retraso de un año del proyecto. Para su cálculo, se emplea el porcentaje de reducción de la producción debido a que la disminución de la producción de un año influye directamente proporcional al flujo de caja libre esperado del mismo año.

Una vez hallado las porciones de los flujos de caja, estos se deben descontar al 2006 para poder hallar el porcentaje que aportan al VA de los flujos de caja esperados de todo el proyecto. El resultado que se obtenga será el costo que se genera al retrasar el proyecto un año.

En la siguiente tabla se observa los resultados obtenidos:

Tabla 26: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar un año el proyecto.

AÑO	Flujo de caja esperado sin retraso (MMS\$)	Porcentaje de reducción de producción	Porción del flujo de caja al que se renuncia (MMS\$)	Porción del flujo de caja al que se renuncia descontados al 2006 (MMS\$)
2007	23.90	7.14%	1.71	1.45
2008	27.14	6.67%	1.81	1.30
2009	30.65	6.25%	1.92	1.17
2010	49.05	27.27%	13.38	6.90
2011	61.33	15.38%	9.44	4.12
2012	78.52	18.75%	14.72	5.45
<b>TOTAL</b>				20.39

En donde:

Porción del FC al que se renuncia = FC esperado sin retraso \* Porcentaje de reducción de producción

Porción del FC al que se renuncia descontado al 2006 = Porción del FC al que se renuncia \*  $(1 + WACC)^{-(\text{año} - 2006)}$

A modo de ejemplo, se realiza el cálculo para el año 2007:

Porción del FC al que se renuncia =  $29 * 7.14\% = 1.71$  \$MM

Porción del FC al que se renuncia actualizado al 2006 =  $1.71 * (1+0.18)^{-1} = 1.44$  \$MM

Después de haber hecho los cálculos para todos los años, se suma todos los resultados obtenidos de los flujos de caja a los que se renuncia descontados al 2006. El resultado es de 20.39 millones de dólares. Finalmente, se procede a calcular el porcentaje que represente este valor sobre el VA de los FCL esperados de todo el proyecto.

$$\text{Coste de retraso} = \frac{20.39}{387.24} = 5.26\%$$

Este significa que, si el inicio del proyecto se retrasa un año se renuncia a ciertas proporciones de los FCL de los años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012 y esto provoca que el VA del proyecto total se reduzca en un 5.26%.

Costo de retrasar el proyecto dos años: implica que la primera inversión se realice el 2008 en lugar del 2006. Esto tiene efecto directo en el nivel de producción de cada año, ya que la escalada de la producción estaría iniciando en el 2009.

Se utilizará el mismo procedimiento que se empleó para hallar el costo de retrasar el proyecto un año; por lo tanto, en la siguiente tabla se presentará los resultados:

Tabla 27: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar dos años el proyecto.

AÑO	Prod. Sin retraso (kt)	Prod. Con dos años de retraso (kt)	% de reducción de prod.	Fc sin retraso (MM\$)	Porción del fc al que se renuncia (MM\$)	Porción del fc al que se renuncia descontado al 2006 (MM\$)
2006	130	130	0	16.79	0	0
2007	140	130	7.14%	23.90	1.71	1.45
2008	150	130	13.33%	27.14	3.62	2.60
2009	160	140	12.50%	30.65	3.83	2.33
2010	220	150	31.82%	49.05	15.61	8.05
2011	260	160	38.46%	61.33	23.59	10.31
2012	320	220	31.25%	78.52	24.54	9.09
2013	320	260	18.75%	84.42	15.83	4.97
2014 - FINAL	320	320	0	-	0	0
<b>TOTAL</b>						38.78

Finalmente, se procede a calcular el porcentaje que represente 38.78 millones de dólares sobre el VA de los FCL esperados de todo el proyecto.

$$\text{Coste de retraso} = \frac{38.78}{387.24} = 10.02\%$$

Este significa que, si el inicio del proyecto se retrasa dos años se renuncia a ciertas proporciones de los FCL de los años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013, y esto provoca que el VA del proyecto total se reduzca en un 10.02%.

Costo de retrasar el proyecto tres años: implica que la primera inversión se realice el 2009 en lugar del 2006. Esto tiene efecto directo en el nivel de producción de cada año, ya que la escalada de la producción estaría iniciando en el 2010.

Se utilizará el mismo procedimiento que se empleó para hallar el costo de retrasar el proyecto un año; por lo tanto, en la siguiente tabla se presentará los resultados:

Tabla 28: VA de los flujos de caja a los que se renuncia por retrasar tres años el proyecto.

AÑO	Prod. Sin retraso (kt)	Prod. Con tres años de retraso (kt)	% de reducción de prod.	FC sin retraso (MMS)	Porción del FC al que se renuncia (MMS)	Porción del FC al que se renuncia descontado al 2006 (MMS)
2006	130	130	0	16.79	0	0
2007	140	130	7.14%	23.90	1.71	1.45
2008	150	130	13.33%	27.14	3.62	2.60
2009	160	130	18.75%	30.65	5.75	3.50
2010	220	140	36.36%	49.05	17.84	9.20
2011	260	150	42.31%	61.33	25.95	11.34
2012	320	160	50.00%	78.52	39.26	14.54
2013	320	220	31.25%	84.42	26.38	8.28

<b>2014</b>	320	260	18.75%	88.75	16.64	4.43
<b>2015 - FINAL</b>	320	320	0	-	0	0
<b>TOTAL</b>						55.32

Finalmente, se procede a calcular el porcentaje que represente 55.32 millones de dólares sobre el VA de los FCL esperados de todo el proyecto.

$$\text{Coste de retraso} = \frac{55.32}{387.24} = 14.29\%$$

Este significa que, si el inicio del proyecto se retrasa dos años se renuncia a ciertas proporciones de los FCL de los años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014, y esto provoca que el VA del proyecto total se reduzca en un 14.29%

A modo de recopilación, se muestra la siguiente tabla con el costo respecto al VA del proyecto total que se genera al retrasar el proyecto uno, dos y tres años.

Tabla 29: Recopilación de los costos respecto al VA de los FCL del proyecto causados por el retraso de 1, 2 y 3 años.

<b>AÑOS DE RETRASO</b>	<b>COSTO RESPECTO AL VA DE LOS FCL DEL PROYECTO TOTAL (CT)</b>
<b>1 AÑO</b>	5.26 %
<b>2 AÑOS</b>	10.02 %
<b>3 AÑOS</b>	14.29 %

La construcción del árbol binomial se realiza desde el año 0 (2016) y tendrá 4 periodos discretos. El activo subyacente es el valor actual de los flujos de caja del proyecto total y el precio del ejercicio es la inversión retrasada; es decir, el valor capitalizado al año en que se decide iniciar el proyecto.

**Precio del activo subyacente ( $S_0$ ) = 387.24 millones de dólares.**

**Precio del ejercicio ( $K$ )** = es la inversión capitalizada a la fecha de vencimiento de la opción. En este caso, como es una opción americana, se debe capitalizar la inversión en cada intervalo de tiempo hasta la fecha de vencimiento.

Como es de conocimiento, el proyecto presenta dos inversiones, la primera en el 2006 y la segunda en el 2008. Para poder evaluar esta opción, se hace la suposición de que existe una sola inversión con un valor equivalente al VA de ambas inversiones.

Para hallar el VA de las inversiones se emplea el WACC.

$$\text{VA inversión} = 100 * (1+0.18)^0 + 400 * (1+0.18)^{-2} = 387.08 \text{ millones de dólares}$$

Así mismo, para hallar el valor de la inversión que se debe realizar inmediatamente después del retraso en cada periodo “t” o, lo que es equivalente, el precio del ejercicio ( $K_t$ ). Se empleará la tasa libre de riesgo con capitalización instantánea, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Inversión (año “t”)} = 387.08 * e^{0.039 * t}$$

Tabla 30: Inversión capitalizada para los años 2007, 2008 y 2009.

<b>RETRASO DEL PROYECTO</b>	<b>AÑO DE LA INVERSIÓN</b>	<b>INVERSIÓN DESPUÉS DEL RETRASO <math>K_T</math> (MMS)</b>
<b>SIN RETRASO (SIN OPCIÓN) (T = 0)</b>	2006	387.08
<b>1 AÑO (T = 1)</b>	2007	402.46
<b>2 AÑOS (T = 2)</b>	2008	418.46
<b>3 AÑOS (T = 3)</b>	2009	435.09

**Intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) = 1 año**



Tiempo hasta vencimiento (t) = 3 años

A continuación, se construirá el árbol de 4 nodos del activo subyacente S.

En MMS	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio		402.46	418.46	435.09

Imagen 14: Árbol binomial del proyecto sin opciones.

Luego, a cada nodo del año 2009 se le debe restar la inversión que se haría en ese momento como consecuencia de haber pospuesto tres años el proyecto.

Si el resultado de la resta entre el valor del subyacente y la inversión del mismo año es negativo, se considera que la opción no tiene valor porque no se ejecuta y; por ende, el valor mínimo que puede obtener es cero.

**VAN 3.1 = Max (0; S<sub>3</sub> \* (1 - C<sub>3</sub>) - K)**, en donde C<sub>3</sub> es el costo de retrasar el proyecto 3 años.

$$\text{VAN (3.1)} = \text{Max (0; } 1,156 * (1 - 14.29\%) - 435.09) = 556.5$$

$$\text{VAN (3.2)} = \text{Max (0; } 557.7 * (1 - 14.29\%) - 435.09) = 42.95$$

$$\text{VAN (3.3)} = \text{Max (0; } 268.9 * (1 - 14.29\%) - 435.09) = 0$$

$$\text{VAN (3.4)} = \text{Max (0; } 129.6 * (1 - 14.29\%) - 435.09) = 0$$

Una vez obtenido estos valores, se procede a recorrer el árbol en sentido contrario para hallar el VAN con la opción americana de retrasar 3 años el proyecto. Al momento de construir el árbol binomial en el sentido contrario se debe emplear la siguiente expresión:

$$VAN_{(t)} = \text{Max} \left( S_t * (1 - C_t) - K_t; \frac{VAN_{u(t+1)} * p + VAN_{d(t+1)} * (1 - p)}{e^{rf.t}} \right)$$

En donde, el primer factor,  $S_t * (1 - C_t) - K_t$ , indica el VAN con la opción de retrasar si el proyecto se ejecuta en el tiempo “t”. El segundo factor es el resultado de descontar el VAN ampliado del tiempo “t+1”; es decir, cuando en el tiempo “t” se decidió ejercer la opción de retrasar el proyecto un año más. Evidentemente, el valor de la opción de dicho nodo (ruta) será el que mayor valor genere.

Para aclarar lo descrito en el anterior párrafo, se ejemplificará el nodo VAN (2.1) que pertenece al año 2008.

Supongamos que estamos en el 2008 y que el desarrollo de la economía en los años anteriores fue positivo para la empresa y, por ende, el escenario real es el que hace referencia al nodo 2.1. Así mismo, en este año se tiene la posibilidad realizar el proyecto o seguir ejerciendo el derecho de retrasarlo un año más, entonces se evaluarán ambas alternativas.

Primero se calculará el VAN si se decide realizar la inversión, para esto se emplea la siguiente expresión:

$$S_t(1 - C_t) - K_t = 803.2 * (1 - 10.02\%) - 418.46 = 304.3 \text{ MM\$}$$

Por lo tanto, si en ese escenario se decide ejecutar el proyecto, el VAN que se obtendría sería de 304.3 millones de dólares.

Ahora bien, también existe la posibilidad de retrasar el proyecto un año más. Esto significa que en el 2009 se tiene dos posibles escenarios, un escenario que representa la subida del activo subyacente y el otro, representa la bajada del activo subyacente. Cada escenario tiene una probabilidad asignada a que ocurra; para el escenario de subida la probabilidad es “p” y para el escenario de bajada es de “1-p”. Para esto, previamente se calculó el VAN esperado en el 2009 para cada escenario. De esta manera, se debe hallar el VAN ponderado del 2009 y luego descontarlo con la tasa libre de riesgo al 2008. El resultado

que se obtenga será el VAN del 2008 al decidir ejercer la opción de retrasar un año más. La expresión para calcularlo es la siguiente:

$$VAN_{2.1} = \frac{VAN_{3.1} * p + VAN * (1 - p)}{e^{rf.t}} = \frac{556.48 * 0.46 + 42.95 * 0.54}{e^{0.039*1}} = 270.0 \text{ MM\$}$$

En consecuencia, la gerencia de la empresa elegirá la alternativa que mayor valor genere. En este caso sería el valor máximo entre 304.3 y 270.0. De esta forma, se explica la expresión que se emplea para construir el árbol binomial en sentido contrario.

Empleando la expresión antes descrita en el resto de los nodos, se tiene que:

$$VAN_{2.2} = \text{Max} \left( 387.2 * (1 - 10.02\%) - 418.46; \frac{42.9 * 0.46 + 0 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max} (-70; 19.1) \\ = 19.1$$

$$VAN_{2.3} = \text{Max} \left( 186.7 * (1 - 10.02\%) - 418.46; \frac{0 * 0.46 + 0 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max} (-250.5; 0) = 0$$

$$VAN_{1.1} = \text{Max} \left( 557.7 * (1 - 5.26\%) - 402.46; \frac{304.3 * 0.46 + 19.13 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) \\ = \text{Max} (125.9; 145.4) = 145.4$$

$$VAN_{1.2} = \text{Max} \left( 268.9 * (1 - 5.26\%) - 402.46; \frac{19.1 * 0.46 + 0 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = \text{Max} (-147.8; 8.5) \\ = 8.5$$

$$VAN = \left( \frac{145.4 * 0.46 + 8.5 * 0.54}{e^{0.039*1}} \right) = 69.2$$

En MM\$	2006	2007	2008	2009				
K: Precio ejercicio		402.46	418.46	435.09				
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (3)</td> <td>1,156.8</td> </tr> <tr> <td>VAN (3.1)</td> <td>556.5</td> </tr> </table>					S (3)	1,156.8	VAN (3.1)	556.5
S (3)	1,156.8							
VAN (3.1)	556.5							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (2)</td> <td>803.2</td> </tr> <tr> <td>VAN (2.1)</td> <td>304.3</td> </tr> </table>					S (2)	803.2	VAN (2.1)	304.3
S (2)	803.2							
VAN (2.1)	304.3							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (3)</td> <td>557.7</td> </tr> <tr> <td>VAN (3.2)</td> <td>42.95</td> </tr> </table>					S (3)	557.7	VAN (3.2)	42.95
S (3)	557.7							
VAN (3.2)	42.95							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (2)</td> <td>387.2</td> </tr> <tr> <td>VAN (2.2)</td> <td>19.1</td> </tr> </table>					S (2)	387.2	VAN (2.2)	19.1
S (2)	387.2							
VAN (2.2)	19.1							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (3)</td> <td>268.9</td> </tr> <tr> <td>VAN (3.3)</td> <td>0</td> </tr> </table>					S (3)	268.9	VAN (3.3)	0
S (3)	268.9							
VAN (3.3)	0							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (3)</td> <td>129.6</td> </tr> <tr> <td>VAN (3.4)</td> <td>0</td> </tr> </table>					S (3)	129.6	VAN (3.4)	0
S (3)	129.6							
VAN (3.4)	0							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (1)</td> <td>557.7</td> </tr> <tr> <td>VAN (1.1)</td> <td>145.4</td> </tr> </table>					S (1)	557.7	VAN (1.1)	145.4
S (1)	557.7							
VAN (1.1)	145.4							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (2)</td> <td>186.7</td> </tr> <tr> <td>VAN (2.3)</td> <td>0</td> </tr> </table>					S (2)	186.7	VAN (2.3)	0
S (2)	186.7							
VAN (2.3)	0							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S (1)</td> <td>268.9</td> </tr> <tr> <td>VAN (1.2)</td> <td>8.52</td> </tr> </table>					S (1)	268.9	VAN (1.2)	8.52
S (1)	268.9							
VAN (1.2)	8.52							
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>S</td> <td>387.2</td> </tr> <tr> <td>VAN</td> <td>69.2</td> </tr> </table>					S	387.2	VAN	69.2
S	387.2							
VAN	69.2							

Imagen 15: Árbol binomial del proyecto con la opción real de retrasar todo el proyecto.

Por lo tanto, el VAN con la opción real de retrasar 3 años es igual a 69.2 millones de dólares. Como es de conocimiento, el VAN sin contemplar la opción real es igual a 0.16 millones de dólares. Esto significa que el valor de la opción de retrasar el inicio del proyecto es igual a la diferencia de ambos:

$$\text{Opción de retrasar el proyecto} = \text{VAN}_{\text{ampliado}} - \text{VAN}_{\text{tradicional}}$$

$$\text{Opción de retrasar el proyecto} = 69.16 - 0.16 = 69.0 \text{ MM\$}$$

Tabla 31: Resultado del VAN ampliado de la opción de retrasar todo el proyecto.

	VALOR (MM\$)
<b>VAN tradicional</b>	0.16
<b>VA opción</b>	69.00
<b>VAN ampliado</b>	69.16

### 6.3.3 Opción de cierre temporal

De acuerdo a la Ley que Regula el Cierre de Minas<sup>35</sup>, el Plan de Cierre actualizado al 2012 de La Empresa Refinería considera que la opción de cierres temporales no anticipados puede ejecutarse cuando hay problemas técnicos que impiden la producción o cuando las condiciones operativas son desfavorables, por ejemplo, la caída de los precios de los metales básicos (Ministerio de Energía y Minas, 2012).

“Switching option” u opciones de intercambio son un tipo de opciones que le brindan al propietario el derecho, pero no la obligación, de alterar su proceso productivo o el modo de generación de negocio a cambio de un coste fijo. Estas opciones se consideran cuando la empresa está en la capacidad de salir y volver a entrar en un negocio (Mascareñas, Lamothe, Lopez, & Luna, 2004).

La opción de cierre temporal es un subtipo de opción de intercambio, en donde la empresa tiene la posibilidad de cerrar temporalmente la totalidad del proceso productivo cuando los ingresos son insuficientes para enfrentar los costes variables operativos (Mascareñas, 2013).

Esta opción de cierre temporal se puede interpretar como una opción de compra de los ingresos de un determinado periodo (I), donde el precio de ejercicio son los costes variables del mismo periodo (Cv). Es decir, el poseedor de la opción tiene el derecho de decidir si operar o no durante un periodo determinado. La siguiente expresión representa el valor de la opción de cierre temporal:

$$\text{Máx } [I - Cv; 0]$$

De esta manera, el presente trabajo contempla la opción de cierre temporal durante un año cuando el EBITDA es inferior a los costes fijos, ambos valores del mismo año. Es decir, si en un determinado año la operación de la refinería genera pérdidas de explotación y estas son superiores a los costes fijos de ese año, entonces la empresa cerrará ese año asumiendo como pérdida los costes fijos.

---

<sup>35</sup> Ley N° 28090 de la Constitución Política del Perú

Es necesario aclarar que esta opción de cierre temporal en realidad se trataría de una serie de opciones que la empresa tiene cada año. En otras palabras, la opción de cierre temporal que se analizará es el conjunto de 50 opciones de cierre temporal, una opción para cada año, a lo largo de la vida útil del proyecto. Las variables de la serie de opciones anuales de cierre temporal son las siguientes:

- Precio de activo subyacente (S): valor de los ingresos netos de un año menos los costes fijos del mismo año.
- Precio de ejercicio: son los costes variables que pertenecen al mismo año del activo subyacente.
- Tiempo hasta el vencimiento (t): 1 año. Recordar que cada nuevo año, la empresa vuelve a tener una nueva opción de cierre temporal para dicho año.

Para la valoración de la opción se empleará el método de simulación de Montecarlo y se seguirá la secuencia de los siguientes pasos:

1. Se calculará el EBITDA, si el valor es menor que los costes fijos entonces la empresa ejercerá su opción de cierre temporal de dicho año y el valor del EBITDA será el valor de los costes fijos. En caso el EBITDA sea mayor que los costes fijos, la empresa optará por operar y el valor del EBITDA no sufre ninguna modificación. A este EBITDA le denominaremos de ahora en adelante “EBITDA condicionada” y hará deferencia al valor del EBITDA para cada año contemplando la opción de cierre temporal.

Esto se logra añadiendo una condicional a la celda del valor de la EBITDA condicionada de cada año.

<b>VALOR</b>	
<b>EBITDA</b>	Ingresos – Costes variables – Costes fijos
<b>EBITDA condicionado</b>	Si $EBITDA < (- \text{Costes fijos}) \rightarrow (- \text{Costes fijos})$ Si $EBITDA \geq (- \text{Costes fijos}) \rightarrow EBITDA$

2. Luego, se calculará el valor de los impuestos y el capital de trabajo. En el caso del capital de trabajo se debe tener en cuenta la decisión de la empresa de cerrar u operar, ya que su cálculo depende de los ingresos y egresos de ese mismo año y del año anterior.

Recordemos que el cálculo del capital de trabajo de un año cualquiera considera las cuentas por cobrar y pagar debido al calendario de pagos de la empresa. Así mismo, mencionar que “Egresos” hace referencia a los pagos por el concepto de costes variables con excepción de la mano de obra directa.

Entonces:

Cuenta por cobrar del año “t”<sup>36</sup>:  $1/12 * \text{Ingresos}_{(t-1)} - 1/12 * \text{Ingresos}_{(t)}$

Cuenta por pagar del año “t”<sup>37</sup>:  $- 1/12 * \text{Egresos}_{(t-1)} + 1/12 * \text{Egresos}_{(t)}$

Por lo tanto, la condicional que se le debe añadir es la siguiente:

Si EBITDA = EBITDA condicional, significa que la empresa opera ese año y entonces:

Cuenta por cobrar del año “t”:  $1/12 * \text{Ingresos}_{(t-1)} - 1/12 * \text{Ingresos}_{(t)}$

Cuenta por pagar del año “t”:  $- 1/12 * \text{Egresos}_{(t-1)} + 1/12 * \text{Egresos}_{(t)}$

Si EBITDA <> EBITDA condicional, significa que la empresa cierra ese año y el valor de los ingresos y egresos se vuelve cero, entonces:

Cuenta por cobrar del año “t”:  $1/12 * \text{Ingresos}_{(t-1)}$

Cuenta por pagar del año “t”:  $- 1/12 * \text{Egresos}_{(t-1)}$

- Después, se realiza la suma del EBITDA condicionada, impuestos y capital de trabajo. Este resultado es el Flujo de Caja Operativo contemplando la opción de cierre temporal de cada año, al cual le denominaremos “FCO cierre temporal”. El FCO cierre temporal contiene dos valores: el flujo de caja operativo del proyecto de un año y el valor de la opción del mismo año.
- Para obtener el valor de la opción de cada año se debe realizar la resta del FCO cierre temporal con el Flujo de Caja Operativo sin la opción.

---

<sup>36</sup> En el año “t” se deja de recibir el ingreso de un mes de ese mismo año, pero se recibe el ingreso pendiente de un mes del año anterior.

<sup>37</sup> En el año “t” no se realiza el pago de un mes de ese mismo año (por lo que se incurre en un ahorro), pero se debe desembolsar dinero para realizar el pago pendiente de un mes del año anterior.

$$\text{Valor de la opción} = \text{FCO cierre temporal} - \text{FCO sin opción}$$

5. Finalmente, se debe descontar los valores de la opción de cada año empleando la tasa libre de riesgo.

En la siguiente tabla se mostrará la estructura empleada para el cálculo de la serie de opciones anuales de cierre temporal con dos ejemplos simulados para un mejor entendimiento de las condiciones empleadas.

Tabla 32: Estructura del Flujo de Caja para el análisis de la Opción de Cierre Temporal.

	<b>Simulación 1: empresa opera ese año</b>	<b>Simulación 2: empresa cierra ese año.</b>
<b>Ingresos</b>	494.17	169.30
<b>Gastos variables de explotación</b>	-368.04	-244.73
<b>Gastos fijos</b>	-7.20	-7.20
<b>EBITDA</b>	<b>118.93</b>	<b>-82.63</b>
<b>EBITDA condicionado</b>	<b>118.93</b>	<b>-7.20</b>
<b>Impuestos</b>	-29.54	0.00
<b>Capital de trabajo</b>	0.28	6.81
<b>FCO cierre temporal</b>	<b>89.67</b>	<b>- 0.39</b>
<b>FCO sin opción</b>	<b>89.67</b>	<b>- 70.46</b>
<b>VALOR DE LA OPCIÓN</b>	<b>0.00</b>	<b>70.06</b>

Luego de realizar una simulación con 50 mil iteraciones del VA de las opciones anuales de cierre temporal, se obtuvo un valor medio de 22.96 millones de dólares. Esto significa que el valor de la serie de opciones anuales de cierre temporal incrementa el VAN del proyecto en 22.96 millones de dólares. Luego, el VAN ampliado se calcula de la siguiente forma:



$$\text{Opción de cierre temporal} = \text{VAN}_{\text{ampliado}} - \text{VAN}_{\text{tradicional}}$$

$$22.96 = \text{VAN}_{\text{ampliado}} - 0.16$$

$$\text{VAN}_{\text{ampliado}} = 23.12$$

Tabla 33: Resultado del VAN ampliado de la opción de cierre temporal.

<b>VALOR (MMS)</b>	
<b>VAN tradicional</b>	0.16
<b>VA opción</b>	22.96
<b>VAN ampliado</b>	23.12

## 6.4 Discusión de los resultados obtenidos

### 6.4.1 Combinación de Opciones

Las opciones reales no se presentan únicamente de manera individual; por el contrario, es posible contemplar dos o más opciones reales en un mismo proyecto y al mismo tiempo.

Según (Mascareñas, Lamothe, Lopez, & Luna, 2004), no es correcto afirmar que el valor que proporciona la combinación de opciones reales es la suma de los valores aportados por las opciones de manera individual. Esto se debe a que la interacción de dos o más opciones puede potenciar o anular parcialmente los valores de las opciones individuales que participan en la interacción. A esto le denominaron el “Principio de no aditividad”.

En este trabajo se realizará en análisis del efecto combinado de las opciones de retrasar y de cerrar temporalmente. A modo de recordatorio, la opción de retrasar hace referencia a la segunda opción estudiada, en donde se contempla la opción americana de diferir por 3 años el inicio de todo el proyecto y la opción de cierre temporal fue la tercera opción analizada y hace referencia a una serie de opciones anuales de cierre temporal a lo largo de toda la vida del proyecto.

**Método: Árbol binomial:**

El valor neto del proyecto “ZINC 320K” con la opción de cierre temporal es de 23.12 millones de dólares y fue realizado mediante simulación, por lo cual no contamos con su árbol binomial construido. Por ende, el primer paso es construir el árbol binomial de la opción de cierre temporal. Luego, introduciremos la opción americana de retrasar el proyecto durante 3 años, pagando las inversiones respectivas. De esta forma, se obtendrá el VAN del proyecto con la opción de retrasar y cerrar temporalmente.

A continuación, se describirá y desarrollará la secuencia que se emplea para el cálculo de la combinación de opciones.

1. Construir árbol binomial de los tres primeros años del activo subyacente sin opción.

En MM\$	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio				
				S (3)   1,156.8
			S (2)   803.2	
		S (1)   557.7		S (3)   557.7
			S (2)   387.2	
	S   387.2			S (3)   268.9
		S (1)   268.9		
			S (2)   186.7	
				S (3)   129.6

Imagen 16: Árbol binomial del proyecto sin opciones

2. Calcular el valor medio simulado de las opciones de cierre temporal de cada uno de los dos primeros años (2007 y 2008) ya que son los que afectarían directamente al valor del activo subyacente de los nodos intermedios del proyecto sin opción.

Se realizaron 10 mil simulaciones<sup>38</sup> y el resultado obtenido del valor de las opciones fue cero para año, esto significa que la opción anual de cierre temporal para los dos primeros años no tiene valor y, por ende, el valor del activo subyacente de los nodos del 2007 y 2008 del árbol binomial del proyecto con la opción de cierre temporal quedan tal como están en la imagen 16.

Ahora bien, la serie de opciones anuales de cierre temporal no solo contiene el valor de las opciones individuales de los años 2007 y 2008, sino también contempla los valores de las opciones individuales de los años 2009 al 2056. Por lo tanto, el VA de la opción de cierre temporal (22.96 MM\$) es netamente el resultado del valor de las opciones de los años comprendidos entre el 2009 y 2056, ambos inclusive, ya que el valor que aportan los años 2007 y 2008 es cero.

Entonces, para tener en cuenta el valor de la opción de cierre temporal en la construcción de su árbol binomial, este debe ser capitalizado al año 2009 con la tasa libre de riesgo y el resultado debe ser sumado a cada nodo del año 2009.

De esta forma se obtiene el árbol binomial de la serie de opciones anuales de cierre temporal.

$$VA_{2009} \text{ opción de cierre temporal} = 22.96 * e^{(3*3.90\%)}$$

$$VA_{2009} \text{ opción de cierre temporal} = 25.81$$

---

<sup>38</sup> Las simulaciones se realizaron empleando el programa Crystall Ball y ejecutando una macro en Excel con el fin de corroborar ambos resultados. En los anexos 9 y 10 se pueden observar ambos resultados.

En MMS	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio				

Imagen 17: Árbol binomial del proyecto con la opción de cierre temporal.

3. Finalmente, se debe introducir la opción americana de retrasar durante tres años el inicio del proyecto, pagando la inversión necesaria en cada año. Es importante recordar los siguientes aspectos de la opción de retrasar:

- El precio del ejercicio se debe hallar para cada intervalo de tiempo hasta la fecha de vencimiento, en este caso para los años 2007, 2008 y 2009. Así mismo, se deben tener en cuenta los costos respecto al VA de los FCL causados por el retraso. Todos estos valores se hallaron en el apartado de “Opción de retrasar todo el proyecto” y se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 34: Recopilación de datos de la opción de retrasar el proyecto para el estudio de la opción combinada.

<b>RETRASO DEL PROYECTO   AÑO DE INVERSIÓN</b>	<b>INVERSIÓN DESPUÉS DEL RETRASO KT (MMS)</b>	<b>COSTO DE RETRASAR EL PROYECTO RESPECTO AL VA DE LOS FCL (CT)</b>
<b>1 AÑO (T = 1)   2007</b>	402.46	5.26%
<b>2 AÑOS (T = 2)   2008</b>	418.46	10.02%
<b>3 AÑOS (T = 3)   2009</b>	435.09	14.29%

- Se seguirá la misma secuencia que se utilizó en el análisis de la “Opción de retrasar todo el proyecto”. Por lo tanto, primero se debe hallar el valor del VAN de los nodos del año 2009 siguiendo la siguiente ecuación:

$VAN_{3.1} = \text{Max} (0; S_3 * (1 - C_3) - K_3)$ , en donde  $C_3$  es el costo de retrasar el proyecto 3 años.

Luego, se debe recorrer el árbol en sentido contrario empleando la siguiente ecuación:

$$VAN_{(t)} = \text{Max} \left( S_t * (1 - C_t) - K_t; \frac{VAN_{u(t+1)} * p + VAN_{d(t+1)} * (1 - p)}{e^{rf.t}} \right)$$

El resultado obtenido del árbol binomial con las opciones de retrasar y cerrar temporalmente fue el siguiente:

En MM\$	2006	2007	2008	2009
K: Precio ejercicio		402.46	418.46	435.09

				S (3)	1,182.6	
			S (2)	803.2	VAN (3.1)	578.6
			VAN (2.1)	304.3		
		S (1)	557.7	S (3)	583.5	
		VAN (1.1)	150.5	VAN (3.2)	65.07	
			S (2)	387.2		
			VAN (2.2)	29.0		
	S	387.2	S (1)	268.9	S (3)	294.7
	VAN	73.7	VAN (1.2)	12.91	VAN (3.3)	0
				S (2)	186.7	
				VAN (2.3)	0	
				S (3)	155.4	
				VAN (3.4)	0	

Imagen 18: Árbol binomial del proyecto con la combinación de las opciones de retrasar y cerrar temporalmente.

Por lo tanto, el resultado del VAN de la combinación de opciones empleando el método del árbol binomial fue de 73.7 millones de dólares. Esto significa que el valor de la combinación de opciones es:

Opción combinada de retrasar y cerrar temporalmente =  $VAN_{\text{ampliado}} - VAN_{\text{tradicional}}$

Opción combinada de retrasar y cerrar temporalmente =  $73.7 - 0.16 = 73.54$  MM\$

A continuación, se mostrará una tabla en donde se recopila los valores de las opciones de retrasar el inicio del proyecto, de cerrar temporalmente y la combinación de ambas.

Tabla 35: Recopilación de los VA de las opciones.

	Valor (MM\$)
<b>Opción retrasar el proyecto</b>	69.00
<b>Opción de retrasar la segunda inversión</b>	22.96
<b>Opciones combinadas</b>	73.54

Como se mencionó previamente, no se puede afirmar que la combinación de dos o más opciones genera un valor equivalente a la suma de los valores individuales de cada opción. En este caso en concreto, el valor de las opciones combinadas (73.54 MM\$) es menor que la suma de los valores individuales de cada opción (91.96 MM\$), mostrando así el Principio de no aditividad a la que hacen referencia (Mascareñas, Lamothe, Lopez, & Luna, 2004) en el libro “Opciones reales y valoración de activos”.

#### 6.4.2 Rentabilidad del proyecto

En la realidad, los directivos de los proyectos presentan flexibilidad al momento de tomar decisiones sobre el desarrollo del mismo. Tienen la posibilidad de ampliar o de reducir la magnitud del proyecto, de retrasar la ejecución de un proyecto, de cerrar temporalmente la producción y/o de cerrar definitivamente, todo esto dependiendo de si las condiciones de desarrollo del proyecto se presentan favorables o no.

Las Opciones Reales reflejan el valor de la flexibilidad que presentan los directivos de un determinado proyecto, con la finalidad de realizar valorizaciones más cercanas a la realidad. Por lo tanto, al realizar el análisis de la rentabilidad real del proyecto se debe contemplar la flexibilidad que los directivos presentan y cuyo valor se encuentra en las Opciones Reales. En otras palabras, la rentabilidad real del proyecto se obtiene a través de la valorización del proyecto empleando la teoría de Opciones Reales.

En la siguiente tabla se recoge la rentabilidad sobre la inversión de La Empresa y de Southern Cooper Corporation, la rentabilidad de la industria y las rentabilidades del proyecto.

Tabla 36: Rentabilidades de la empresa, de la industria y del proyecto.

	<b>Rentabilidad sobre la inversión<sup>39</sup></b>
<b>La Empresa</b>	17.35% *
<b>Empresa: Southern Cooper Corporation</b>	20.24% *
<b>Industria: Minería de metales</b>	21.65% *
<b>Proyecto sin opciones</b>	0.04% **
<b>Proyecto con opción de retrasar</b>	17.87% **
<b>Proyecto con opción de retrasar la segunda inversión</b>	1.75% **
<b>Proyecto con opción cierre temporal</b>	5.97% **
<b>Proyecto opciones combinadas</b>	19.04% **

Como se puede observar, la rentabilidad sobre la inversión que brinda el proyecto valorizado mediante métodos tradicionales es casi nula y su valor difiere en gran magnitud de las rentabilidades reales de la propia empresa y de la industria a la que pertenece. De esta forma, se evidencia que la valorización del proyecto a través de los métodos tradicionales no refleja el verdadero valor que el proyecto presenta.

Por otro lado, la rentabilidad del proyecto con la opción de retrasar presenta un valor más acorde a la realidad de la empresa y de la industria. Esto se debe a que al valorizar el proyecto teniendo en cuenta las opciones implícitas, se logra recuperar el valor de la flexibilidad que tienen los directivos del proyecto.

En el caso del proyecto con opción de cierre temporal y del proyecto con opción de retrasar la segunda inversión, a pesar de que sus valores actuales netos son mayores que la del proyecto sin opciones, no logran capturar todo el valor de la flexibilidad ya que sus rentabilidades son aproximadamente el 25%

---

<sup>39</sup> Los valores marcados con un (\*) han sido obtenidos de (Investing, s.f.) y se emplearon los datos que son resultados del promedio de 5 años. Los que están marcados con (\*\*) son el resultado de la siguiente expresión: (VA proyecto sin opción + VA opción) / Inversión

y 5%, respectivamente, de las rentabilidades de la empresa e industria. Este resultado induce a pensar que en la realidad estas opciones se presentan de manera conjunta con otras opciones.

Es por ello, que se realizó la valoración del proyecto con la combinación de las opciones de retrasar y cerrar temporalmente, y al hallar su rentabilidad sobre la inversión se obtuvo un valor de 19.04% que, a su vez, es mayor a las rentabilidades de ambas opciones evaluadas de manera independiente. Esto demuestra que contemplar dos o más opciones a la vez puede reflejar de manera más real el valor de la flexibilidad, siempre que estas sean aditivas.





## 7 CONCLUSIONES

El presente trabajo ha pretendido demostrar, a través de la valoración de un proyecto real, que en muchas ocasiones los proyectos de inversión en mercados con alta incertidumbre están siendo infravalorados, provocando que varios de ellos no sean ejecutados y, así, rechazando oportunidades que son rentables.

Las principales conclusiones obtenidas del trabajo realizado son las siguientes:

1. A pesar de que el mayor número de estudios sobre la metodología de Opciones Reales han sido realizados en proyectos que pertenecen al sector minero y que, además, han logrado demostrar que su aplicación genera valor, su empleo real sigue siendo bajo. Por esta razón, dos de los objetivos planteados al inicio del proyecto están directamente ligados a la demostración del valor de las Opciones Reales con la finalidad de seguir promoviendo su empleo.

*Objetivo 1: Demostrar que un proyecto del ámbito metalúrgico reúne las condiciones necesarias para aplicar la teoría de Opciones Reales.*

La necesidad de demostrar que los proyectos del ámbito minero-metalúrgico son idóneos para la aplicación de las Opciones Reales se alcanzó mediante el cálculo de la volatilidad del proyecto y la identificación de la flexibilidad que presenta, a través del análisis de un proyecto real. Respecto a la volatilidad, se obtuvo un valor alto que demuestra que el sector minero-metalúrgico está caracterizado por la incertidumbre y que, por ende, su valor puede incrementar si se utiliza las Opciones Reales. Por otro lado, la flexibilidad del proyecto se hace presente en los análisis realizados de las opciones implícitas del proyecto.

*Objetivo 2: Demostrar que la valoración a través de Opciones Reales añade valor, frente al VAN, a proyectos con incertidumbre y flexibilidad.*

Luego de demostrar que el proyecto presentaba las condiciones necesarias para ser valorado mediante Opciones Reales, se realizaron las valoraciones de cada opción a través del método de Opciones Reales y los resultados obtenidos muestran que el valor neto del proyecto aumenta cuando se tiene en consideración la flexibilidad gerencial y operacional de los directivos, las cuales se presentan en las opciones.

<b>VAN sin opciones</b>	<b>0.16 MMS</b>
<b>VAN con opción de retrasar la segunda inversión</b>	6.80 MMS
<b>VAN con opción de retrasar el inicio del proyecto</b>	69.16 MMS
<b>VAN con opción de cierre temporal</b>	20.16 MMS
<b>VAN con opciones combinadas</b>	<b>73.70 MMS</b>

2. Es importante elegir cuidadosa y correctamente los procesos que siguen las fuentes de incertidumbre del proyecto, debido a que sus modelizaciones influyen directamente en el cálculo de la volatilidad del rendimiento del proyecto. En este caso, luego de realizar las comprobaciones necesarias, se empleó al Movimiento Browniano Geométrico como proceso que describe el comportamiento de los precios del zinc y cobre.
3. Mediante la comparación de las rentabilidades de La Empresa, de la industria minera y del proyecto valorado con y sin opciones reales, se logra demostrar que la valoración del proyecto teniendo en cuenta las opciones reales implícitas logra **recuperar** el valor de la flexibilidad que el proyecto presenta y que las valoraciones empleando únicamente los métodos tradicionales no logran recoger.
4. La conclusión anterior puede ser mal interpretada indicando que el método estudiado en el presente trabajo pretende sustituir a los métodos tradicionales, lo cual no es cierto en su totalidad. Lo que se pretende es que el método de las Opciones Reales se emplee con mayor frecuencia como un complemento de los métodos tradicionales para que el estudio de los proyectos sea más completo, pues al utilizar los métodos tradicionales conjuntamente con las Opciones Reales se logra capturar el valor de la incertidumbre y flexibilidad.

En consecuencia, la aplicación de esta teoría en el proyecto "ZINC 320K" ha expuesto que considerar las opciones de retrasar y cerrar temporalmente genera mayor valor en el estudio que el mismo proyecto sin las opciones.

5. La valoración de opciones de manera conjunta; es decir, valorar dos o más opciones a la vez, puede generar mayor valor al proyecto que al valorarlas de manera individual. Esto se dará siempre que

ambas opciones sean aditivas y sus valores no se contrarresten. La valoración conjunta de las opciones de retrasar y cerrar temporalmente demostró que contemplar ambas opciones en conjunto puede genera más valor que considerarlas de manera individual, específicamente en el caso de la opción de cierre temporal.

6. Principio de no aditividad: Contemplar dos o más opciones reales a la vez nos puede inducir al error de pensar que su valor es el resultado de la suma de los valores independientes de cada una de las opciones, cuando en realidad su valor puede ser menor o mayor a dicha suma. Esto se ve reflejado en el análisis de la combinación de las opciones de retrasar el proyecto y cerrar temporalmente; en donde, el valor que se obtuvo fue menor a la suma de los valores de cada opción analizadas independientemente pero mayor a los valores de cada opción independiente.
7. Para el cálculo de las opciones reales de retrasar el proyecto y de retrasar la segunda inversión se ha empleado el método Binomial, mientras que para calcular el valor de la opción de cierre temporal se utilizó el método de Montecarlo. En esta última opción, los valores de los FC ampliado incluyen el valor de la opción en cada año, por lo cual al momento de calcular el VAN ampliado se tiene que tener especial cuidado de descontar solo la cantidad que hace referencia al valor de la opción empleando la tasa libre de riesgo y el resto del FC ampliado descontarlo utilizando el WACC.
8. La valoración del proyecto mediante el método tradicional y método de las Opciones Reales se hizo respetando el planteamiento original de la empresa, que era ejecutar las dos inversiones en los diferentes años. Por lo tanto, las opciones estudiadas se basaron en dicha formulación y es la explicación del porqué no se contempla a la segunda inversión como una opción real de crecimiento sino como una opción de retrasar dicha inversión.
9. Finalmente, la elección del proyecto “ZINC 320K” se justifica por las siguientes razones:
  - En el Perú la minería y metalurgia son sectores relevantes para el desarrollo de la economía.
  - El proyecto significaba el crecimiento de la producción de la empresa en más del 100% de su capacidad inicial.
  - Pertenece a un sector caracterizado por la incertidumbre debido a que su principal factor, precio de los metales, es altamente volátil a cambios exógenos.

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Existe, todavía, un gran camino por recorrer en el desarrollo de la metodología de las Opciones Reales. Por lo tanto, este apartado pretende presentar algunas líneas de investigación relacionadas a Opciones Reales y su aplicación.

La volatilidad es el parámetro más difícil de estimar y, además, es el que tiene mayor implicancia en el análisis de las Opciones Reales. Por ello, y en primera instancia, se presenta a la volatilidad como primera línea de investigación.

Varios autores afirman que muchos de los métodos que se emplea para el cálculo de la volatilidad, incurrir en una sobreestimación del parámetro, y con ello, en una sobrevaloración del proyecto.

Por ejemplo, (Brandão, S.Dyer, & J.Hahn, 2012) exponen en su trabajo la fuente del sesgo que provoca la sobreestimación de la volatilidad al emplear la metodología de simulación de C&A y proponen un nuevo enfoque para el cálculo de la volatilidad en la que indican que establecen que la volatilidad del proyecto, desde el periodo 0 hasta el periodo 1, solo depende del resultado de la incertidumbre del periodo 1. De esta forma, desarrollar un análisis más amplio de la volatilidad puede generar resultados más acertados y menos sesgados, por lo que, en este punto, se presenta un campo de investigación bastante útil para la metodología de Opciones Reales.

Luego, existe una segunda línea de investigación relacionada a la volatilidad y a los conflictos sociales que se desarrollan en algunos países. Como se mencionó anteriormente, se han desarrollado numerosos métodos para la estimación de la volatilidad. Sin embargo, la gran mayoría, por no decir todos, están orientados a fuentes de incertidumbres cuantitativas mas no cualitativas. Entonces, ¿Cómo tomar en cuenta en el cálculo de la volatilidad la implicancia de los aspectos sociales que tienen fuerte impacto en el desarrollo de ciertas actividades económicas?

Por ejemplo, en el Perú, uno de los principales problemas para la ejecución de proyectos mineros son los conflictos sociales que se desarrollan entre las comunidades y las empresas mineras. Estos conflictos pueden provocar que un proyecto se vea fuertemente impactado, incluso, llegar a la instancia de tener que abandonar su realización.

De esta manera, el hecho de tomar en cuenta fuentes de incertidumbre cualitativas para la estimación de la volatilidad, podría incurrir en un mejor cálculo del parámetro de la volatilidad. Por lo tanto, otra línea de investigación interesante podría ser el desarrollo de métodos que contemplen fuentes de incertidumbre cuantitativas y cualitativas.

Como tercer punto a investigar, se encuentra la teoría de juegos en la metodología de Opciones Reales, La teoría de juegos estudia las decisiones que un individuo toma para tener éxito, teniendo en cuenta las decisiones de los demás agentes que participan en la situación. Es decir, un individuo no debe tomar decisiones guiadas solo por su análisis, sino que debe cuestionarse lo que debe hacer teniendo en cuenta lo que cree que harán los demás. Se ha empleado, principalmente, en la gestión, estrategia y psicología.

Por otro lado, como se sabe, las Opciones Reales permiten que los directivos de una empresa puedan tomar decisiones más estratégicas gracias a la flexibilidad con la que cuenta.

En consecuencia, realizar un análisis de la valoración de un proyecto mediante Opciones Reales teniendo en cuenta la teoría de juegos, podría ser atractivo para los directivos e inversionistas ya que, las decisiones que se toman respecto al proyecto tendrían en cuenta dos ejes:

- La perspectiva y análisis del dueño del proyecto, sin considerar ningún efecto externo.
- Las posibles decisiones de los competidores que pueden afectar en el desarrollo del proyecto.

De tal forma, se estaría teniendo en cuenta el sistema completo del proyecto, tanto interno como externo, para su valoración.

## PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

La elaboración del presente trabajo se realizó en 4 etapas. La etapa de planificación del trabajo, donde se incluye el índice, objetivos, motivación y metodología, inició el 9 de setiembre del 2019 durante 2.5 semanas y una dedicación de 8 horas semanales.

La segunda etapa, que hace referencia a la revisión bibliográfica, comenzó inmediatamente después de la primera etapa y se emplearon 12 horas semanales durante 9 semanas. Esta etapa incluye la investigación y redacción del estado del arte del trabajo.

La tercera etapa, aplicación práctica, inició la segunda semana de enero del 2020 y se divide en 3 subetapas. La primera subetapa se destinó puramente a la descripción del proyecto trabajando 12 horas semanales durante 4 semanas. En la segunda subetapa, se realizó el desarrollo del análisis económico-financiero del proyecto empleando 12 horas semanales durante 5 semanas. La tercera subetapa fue destinada al análisis del proyecto mediante Opciones Reales en el cual se invirtieron 16 horas semanales durante 13 semanas.

Finalmente, para el cierre del trabajo en donde se redactaron los apartados que no pertenecen al desarrollo del caso práctico; es decir, las líneas futuras de investigación, resumen, conclusiones y darle formato al documento, se destinaron 2 semanas con una carga de trabajo de 8 horas semanales.

Por lo tanto, en total se emplearon 460 horas para la elaboración del trabajo.

Tabla 37: Horas empleadas en la planificación temporal

	<b>Duración (semanas)</b>	<b>Horas empleadas a la semana (h/semana)</b>	<b>Total (h)</b>
<b>Planificación</b>	2.5	8	20
<b>Revisión bibliográfica</b>	9	12	108
<b>Aplicación práctica</b>	22		316
Descripción del proyecto	4	12	48
Análisis económico-financiero	5	12	60
Análisis opciones reales	13	16	208
<b>Cierre del trabajo</b>	2	8	16
<b>TOTAL (h)</b>			460

A continuación, se muestra un Diagrama de Precedencias de las fases y tareas empleadas en la planificación del trabajo.

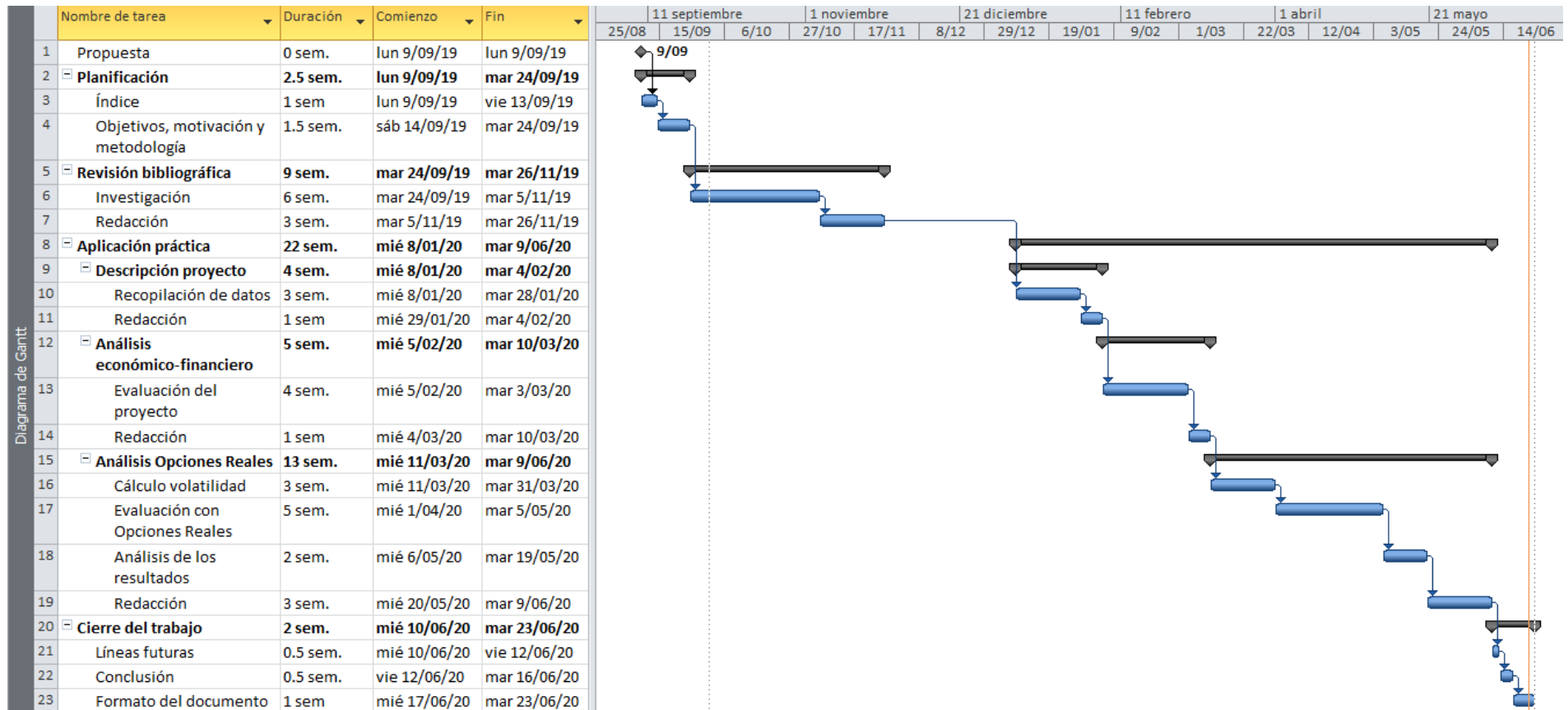


Imagen 19: Diagrama de GANTT de la planificación del proyecto



Respecto al presupuesto del trabajo realizado se tomará en cuenta las horas empleadas por parte de la autora y de los tutores del trabajo. Así mismo, se tendrá en cuenta las licencias que se hayan necesitado. En la siguiente tabla se encuentra lo antes mencionado.

Tabla 38: Presupuesto del Trabajo Fin de Máster.

<b>Recurso</b>	<b>Unidades</b>	<b>Coste unitario</b>	<b>Coste total (€)</b>
Alumna	460 h	8 €/hora	3,680
Tutores	70 h	20 €/hora	1,400
Licencia Crystall Ball	1	0 €	0
Licencia EViews	1	0 €	0
<b>Total antes de IVA</b>			5,080.0
IVA (21%)			1,066.8
<b>TOTAL</b>			6,146.8

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J., Huanacuni, D., & Robles, M. (Abril de 2016). Los metales estratégicos en el Perú. *Horizonte Minero*(109), 54. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de <https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/819180/Acosta%2C+J.+D%2CHuanacuni+%282016%29+Los+metales+estrat%C3%A9gicos+en+el+Per%C3%BA.pdf/2875f11d-613f-4a35-af0e-ba014e60c230>
- Amram, M., & Kulatilaka, N. (1999). *Real Options: managing strategic investment in an uncertain world*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Andina. (Agosto de 2015). Actividad minera en Perú representó 9% del PBI en últimos diez años. *Andina*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-actividad-minera-peru-represento-9-del-pbi-ultimos-diez-anos-763521.aspx>
- Arias, C. A. (2005). *Desarrollo de un modelo de simulación para la valoración de las opciones reales de un operador de telecomunicaciones*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de <http://oa.upm.es/166/1/05200513.pdf>
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (s.f.). *Gerencia Central de Estudios Económicos*. Obtenido de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/>
- Bolsa de Valores de Lima. (s.f.). Obtenido de <https://www.bvl.com.pe/>
- Brandão, L., S.Dyer, J., & J.Hahn, W. (1 de Agosto de 2012). Volatility estimation for stochastic project value models. *ScienceDirect*, 642-648. doi:10.1016/j.ejor.2012.01.059
- Calle, A., & Tamayo, V. (2009). *Decisiones de inversión a través de opciones reales*. Universidad ICESI, Colombia. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592309700737>
- Contreras, H., & Muñoz, G. (2013). *Opciones reales, enfoque para las decisiones de inversión bajo alta incertidumbre*. Bogotá: Ediciones de la U.

- Cortazar, G., & Casassus, J. (1998). Optimal timing of a mine expansion: Implementing a real options model. *ScienceDirect*, 755-769. doi:10.1016/S1062-9769(99)80100-8
- CRU Strategies Consultores. (2018). *Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo con vigencia al año 2035*. Recuperado el 23 de Octubre de 2019, de <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1333>
- Ekáizer, E. (02 de 08 de 2009). La Gran Crisis Financiera: Causas y Consecuencias. *República de Público*. Obtenido de <https://www.publico.es/actualidad/gran-crisis-financiera-causas-y.html>
- El País. (11 de Octubre de 2008). Materia primas golpeadas por la crisis financiera. Obtenido de [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2008/10/11/mercados/1223686906\\_850215.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2008/10/11/mercados/1223686906_850215.html)
- Hull, J. (2014). *Introducción a los Mercados de futuros y opciones*. México: Pearson Educación.
- Investing. (s.f.). *Investing*. Obtenido de Investing.com: <https://es.investing.com/>
- Mascareñas, J. (1999). *Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. Recuperado el 15 de Setiembre de 2019, de <http://semyraz.com.ar/MASCARENAS%20opciones%20reales.pdf>
- Mascareñas, J. (2013). *Opción real de abandonar un proyecto de inversión*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. doi:10.2139/ssrn.2316746
- Mascareñas, J. (2013). *Opción real de diferir un proyecto de inversión*. Monografía, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. doi:10.2139/ssrn.2316667
- Mascareñas, J., Lamothe, P., Lopez, F., & Luna, W. (2004). *Opciones Reales y Valoración de Activos*. Madrid: Prentice Hall.
- Ministerio de asuntos económicos y transformación digital. (s.f.). Obtenido de [http://serviciosede.mineco.gob.es/Indeco/BDSICE/Busquedas/Busquedas\\_new.aspx](http://serviciosede.mineco.gob.es/Indeco/BDSICE/Busquedas/Busquedas_new.aspx)

Ministerio de Economía y Finanzas. (s.f.). Obtenido de <http://www.mef.gob.pe>

Ministerio de Energía y Minas. (2012). *Evaluación de la Actualización del Plan de Cierre de la Refinería de Cajamarquilla de Votorantim Metais - Cajamarquilla S.A.* Lima. Recuperado el Junio de 2020, de [http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/certificado/RD\\_365\\_2012\\_MEM\\_AAM.PDF](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/certificado/RD_365_2012_MEM_AAM.PDF)

Ministerio de Energía y Minas. (03 de Mayo de 2020). <http://www.minem.gob.pe/>.

Miranda, O., Brandao, L., & Lazo, J. (2017). A dynamic model for valuing flexible mining exploration projects under uncertainty. *ScienceDirect*, 393-404. doi:10.1016/j.resourpol.2017.04.002

Myers, B. (2011). *Principles of Corporate Finance*. USA: The McGraw-Hill Companies.

Pindyck, R. (1999). *Long-run evolution of energy prices*. Massachusetts Inst. of Technology. Cambridge: Energy Journal. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0032673708&origin=inward>

Pugs, M. (2011). *VAN y TIR*. Recuperado el 23 de Setiembre de 2019, de <http://www.mpuga.com/docencia/Fundamentos%20de%20Finanzas/Van%20y%20Tir%2011.pdf>

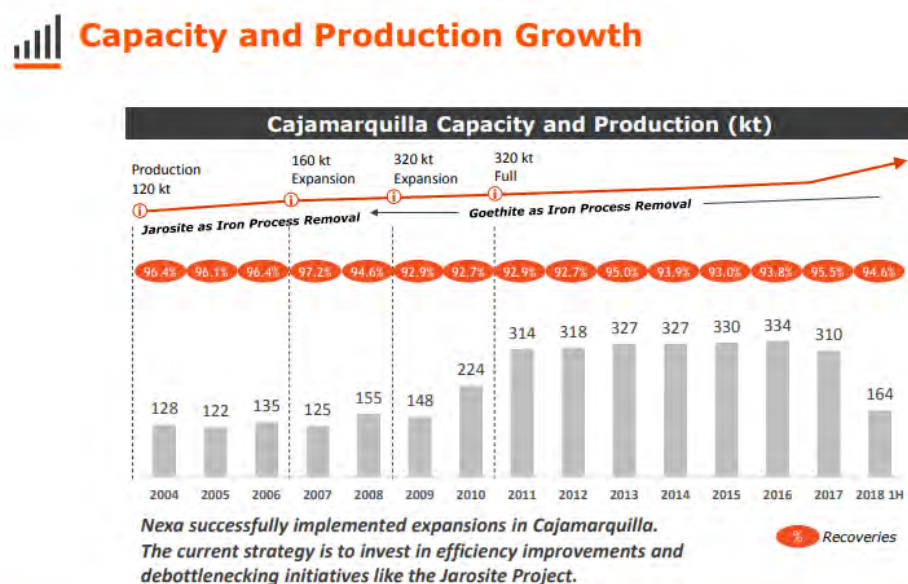
Rojas, P. (2019). Evaluación de factibilidad de un proyecto inmobiliario usando la teoría de opciones reales. Lima, Perú. Recuperado el 15 de Setiembre de 2019, de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13594/ROJAS\\_HUAMAN LAZO\\_PAMELA\\_EVALUACION\\_FACTIBILIDAD\\_PROYECTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13594/ROJAS_HUAMAN LAZO_PAMELA_EVALUACION_FACTIBILIDAD_PROYECTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

S&P Dow Jones Indices. (s.f.). *S&P/BVL LIMA 25 Index (PEN)*. Obtenido de <https://espanol.spindices.com/>

- Shafiee, S., Topal, E., & Nehring, M. (2009). Adjusted Real Option Valuation to Maximise Mining Project Value - A Case Study Using Century Mine. *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/47380040\\_Adjusted\\_real\\_option\\_valuation\\_to\\_maximize\\_mining\\_project\\_value\\_-\\_A\\_case\\_study\\_using\\_century\\_mine](https://www.researchgate.net/publication/47380040_Adjusted_real_option_valuation_to_maximize_mining_project_value_-_A_case_study_using_century_mine)
- Simone, K. (1998). A binomial lattice approach for valuing a mining property IPO. *ScienceDirect*, 693-709. doi:10.1016/S1062-9769(99)80097-0
- Stephen, R., Randolph, W., & Bradford, J. (2010). *Fundamentals of corporate finance* (Novena ed.). México D.F.: The McGraw-Hill Companies.
- Tamayo, V., & Calle, A. M. (2005). Emprendedores e inversionistas: convergencias y divergencias. *Cuadernos de Administración*.
- Tresierra, Á., & Carrasco, C. (2016). Valorización de opciones reales: modelo Ornstein-Uhlenbeck. *ScienceDirect*, 56-62. doi:10.1016/j.jefas.2016.07.001
- Zapata, C. (2015). *Juegos de opciones reales: un enfoque de valoración para inversiones estratégicas bajo incertidumbre*. Paper, Universidad Externado de Colombia. doi:10.13140/RG.2.1.2947.8647

## ANEXOS

### Anexo 1: Crecimiento de la capacidad y producción de zinc.



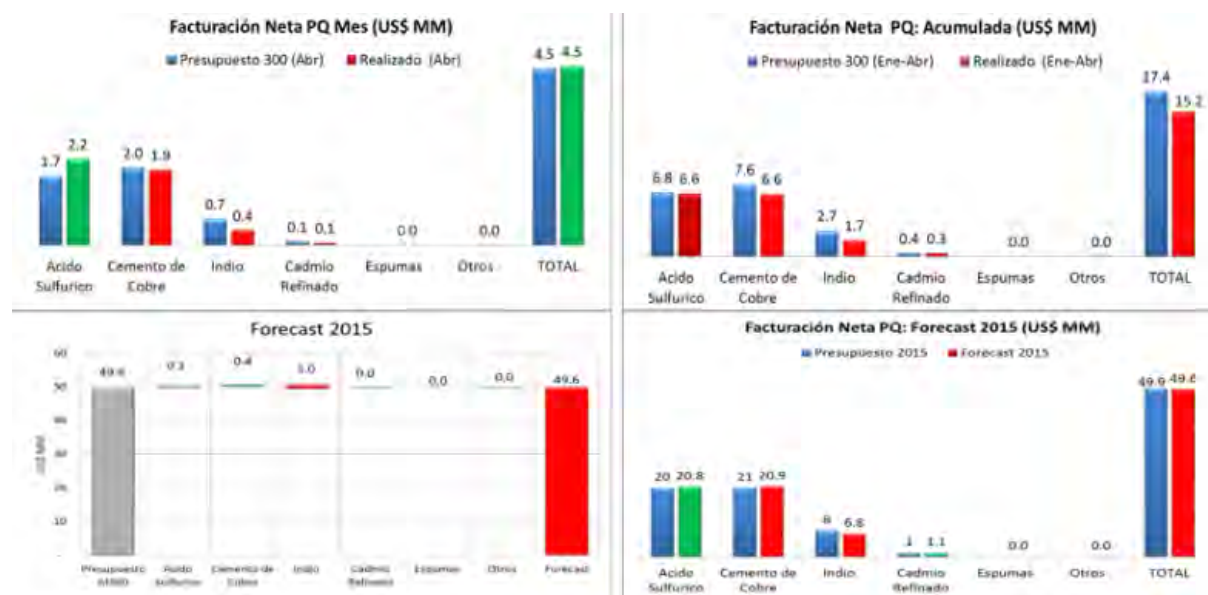
### Anexo 2: Facturación del zinc metal en el 2015

Cockpit Comercial										
C/M	Unidade	abr/15			Acumulado			2015		
		Orç	Fact	Real	Orç	Real	Orç	Fact		
Volume de Vendas Metal	t	27.089	27.099	27.466	105.324	108.338	327.000	330.380		
Prêmio Net Médio Global	US\$/t	97	97	106	98	101	97	99		
Prêmio Net MI	US\$/t	110	110	115	110	114	110	111		
Prêmio Net ME	US\$/t	93	93	104	94	97	92	95		
Estoque de Metal	t	21.731	21.102	21.026	21.731	21.026	21.731	19.681		
Faturamento Zn Metal	R\$ MM	175	190	169	676	674	2.130	2.084		
Faturamento Q&A (com Conc)	R\$ MM	23	30	26	90	84	283	268		
**Reclamações Clientes	U N	1	0	0	4	3	13	3		

Como se puede ver en la imagen, se espera un ingreso de 2,084 millones de reales en el 2015, lo que se traduce a 535 millones de dólares con el tipo de cambio del 2015.

Por lo tanto, los ingresos totales planificados para ese año fueron de 585 millones. El ingreso conjunto por el zinc y cemento de cobre suman 555 millones de dólares y representan un 95% del total de ingresos

### Anexo 3: Facturación por subproductos en el 2015



Fuente: La Empresa

### Anexo 4: Tasa de inflación (IPC) histórica del 2000 al 2005

AÑO	TASA PROMEDIO
2000	3.80%
2001	2.00%
2002	0.20%
2003	2.30%
2004	3.70%
2005	1.60%
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.27%</b>

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (BCRP)

## Anexo 5: Resultados de la prueba de Augmented Dick Fuller para el zinc

Null Hypothesis: ZINC has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.492057	0.8292
Test critical values:		
1% level	-4.007084	
5% level	-3.433651	
10% level	-3.140697	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(ZINC)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/04/20 Time: 21:18  
 Sample (adjusted): 3 192  
 Included observations: 190 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ZINC(-1)	-0.034787	0.023315	-1.492057	0.1374
D(ZINC(-1))	0.353872	0.072566	4.876534	0.0000
C	30.85751	29.69092	1.039291	0.3000
@TREND("1")	0.086915	0.088039	0.987237	0.3248
R-squared	0.133016	Mean dependent var		2.274402
Adjusted R-squared	0.119032	S.D. dependent var		65.53857
S.E. of regression	61.51443	Akaike info criterion		11.09725
Sum squared resid	703828.7	Schwarz criterion		11.16561
Log likelihood	-1050.239	Hannan-Quinn criter.		11.12494
F-statistic	9.512241	Durbin-Watson stat		1.942702



## Anexo 6: Resultados de la prueba de Augmented Dick Fuller para el cobre

Null Hypothesis: COBRE has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=13)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.667692	0.9996
Test critical values: 1% level	-4.021254	
5% level	-3.440471	
10% level	-3.144707	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(COBRE)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/04/20 Time: 21:27  
 Sample (adjusted): 3 150  
 Included observations: 148 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
COBRE(-1)	0.009667	0.014478	0.667692	0.5054
D(COBRE(-1))	0.324891	0.082781	3.924712	0.0001
C	-39.33379	34.87976	-1.127697	0.2613
@TREND("1")	0.411483	0.214680	1.916729	0.0573

R-squared	0.156713	Mean dependent var	17.77050
Adjusted R-squared	0.139145	S.D. dependent var	117.6549
S.E. of regression	109.1629	Akaike info criterion	12.25021
Sum squared resid	1715982.	Schwarz criterion	12.33122
Log likelihood	-902.5159	Hannan-Quinn criter.	12.28313
F-statistic	8.920123	Durbin-Watson stat	1.930564

## Anexo 7: Datos históricos mensuales del Zinc

Ene-91	1208.16	Mar-94	935.85	May-97	1308.86	Jul-00	1135.86
Feb-91	1188.14	Abr-94	924.89	Jun-97	1354.18	Ago-00	1169.75
Mar-91	1198.39	May-94	954.11	Jul-97	1517.96	Set-00	1223.93
Abr-91	1251.18	Jun-94	966.16	Ago-97	1654.77	Oct-00	1095.44
May-91	1092.07	Jul-94	963.95	Set-97	1640.89	Nov-00	1058.67
Jun-91	1061.55	Ago-94	945.79	Oct-97	1280.14	Dic-00	1057.76
Jul-91	1063.10	Set-94	992.40	Nov-97	1173.00	Ene-01	1032.51
Ago-91	1045.88	Oct-94	1058.50	Dic-97	1100.15	Feb-01	1020.51
Set-91	1023.55	Nov-94	1151.66	Ene-98	1096.16	Mar-01	1004.41
Oct-91	991.71	Dic-94	1113.42	Feb-98	1043.60	Abr-01	969.26
Nov-91	1093.30	Ene-95	1155.47	Mar-98	1047.19	May-01	937.54
Dic-91	1185.00	Feb-95	1032.18	Abr-98	1098.53	Jun-01	894.57
Ene-92	1154.77	Mar-95	1022.21	May-98	1061.08	Jul-01	852.06
Feb-92	1130.74	Abr-95	1060.55	Jun-98	1009.45	Ago-01	827.79
Mar-92	1214.55	May-95	1036.16	Jul-98	1039.82	Set-01	798.21
Abr-92	1303.91	Jun-95	1009.63	Ago-98	1028.49	Oct-01	761.14
May-92	1372.83	Jul-95	1026.75	Set-98	1000.00	Nov-01	772.49
Jun-92	1385.18	Ago-95	1014.23	Oct-98	940.13	Dic-01	756.18
Jul-92	1320.18	Set-95	986.23	Nov-98	966.83	Ene-02	791.75
Ago-92	1362.88	Oct-95	979.14	Dic-98	957.42	Feb-02	770.86
Set-92	1366.93	Nov-95	1030.68	Ene-99	931.54	Mar-02	819.26
Oct-92	1163.60	Dic-95	1017.45	Feb-99	1016.90	Abr-02	808.59
Nov-92	1046.92	Ene-96	1018.29	Mar-99	1029.61	May-02	770.24
Dic-92	1058.05	Feb-96	1035.80	Abr-99	1016.14	Jun-02	765.23
Ene-93	1060.94	Mar-96	1063.93	May-99	1038.01	Jul-02	794.45
Feb-93	1072.14	Abr-96	1046.03	Jun-99	1000.11	Ago-02	748.01
Mar-93	996.09	May-96	1036.14	Jul-99	1071.69	Set-02	755.88
Abr-93	1003.89	Jun-96	1008.51	Ago-99	1131.08	Oct-02	754.30
May-93	980.14	Jul-96	1000.07	Set-99	1193.34	Nov-02	764.90
Jun-93	926.03	Ago-96	1006.65	Oct-99	1148.36	Dic-02	794.24
Jul-93	927.55	Set-96	1000.33	Nov-99	1146.77	Ene-03	779.63
Ago-93	883.75	Oct-96	1003.09	Dic-99	1187.14	Feb-03	784.80
Set-93	874.24	Nov-96	1046.46	Ene-00	1181.29	Mar-03	790.60
Oct-93	914.92	Dic-96	1037.49	Feb-00	1094.50	Abr-03	755.35
Nov-93	928.44	Ene-97	1084.74	Mar-00	1116.00	May-03	774.83
Dic-93	975.34	Feb-97	1179.38	Abr-00	1127.78	Jun-03	790.31
Ene-94	996.92	Mar-97	1255.15	May-00	1156.49	Jul-03	827.18
Feb-94	968.85	Abr-97	1240.40	Jun-00	1117.50	Ago-03	816.71

Set-03	817.81	Abr-04	1031.57	Nov-04	1095.18	Jun-05	1275.33
Oct-03	897.54	May-04	1031.21	Dic-04	1181.93	Jul-05	1194.08
Nov-03	914.16	Jun-04	1021.08	Ene-05	1246.95	Ago-05	1299.88
Dic-03	978.49	Jul-04	987.94	Feb-05	1325.81	Set-05	1397.08
Ene-04	1016.20	Ago-04	974.67	Mar-05	1372.15	Oct-05	1487.90
Feb-04	1087.26	Set-04	974.83	Abr-05	1299.81	Nov-05	1610.61
Mar-04	1105.37	Oct-04	1064.49	May-05	1246.08	Dic-05	1,826.26



## Anexo 8: Datos históricos mensuales del Cobre

Jul-93	1,926.76	Set-96	1,940.64	Nov-99	1,727.16	Ene-03	1,642.49
Ago-93	1,947.74	Oct-96	1,960.67	Dic-99	1,773.90	Feb-03	1,683.44
Set-93	1,861.20	Nov-96	2,229.95	Ene-00	1,843.68	Mar-03	1,658.63
Oct-93	1,646.01	Dic-96	2,263.93	Feb-00	1,800.39	Abr-03	1,589.63
Nov-93	1,629.69	Ene-97	2,424.83	Mar-00	1,738.99	May-03	1,646.16
Dic-93	1,728.45	Feb-97	2,405.15	Abr-00	1,676.58	Jun-03	1,686.18
Ene-94	1,803.21	Mar-97	2,419.86	May-00	1,782.45	Jul-03	1,709.67
Feb-94	1,866.06	Abr-97	2,390.25	Jun-00	1,752.78	Ago-03	1,760.32
Mar-94	1,914.47	May-97	2,511.83	Jul-00	1,798.99	Set-03	1,789.09
Abr-94	1,882.33	Jun-97	2,611.95	Ago-00	1,855.39	Oct-03	1,920.20
May-94	2,142.95	Jul-97	2,449.83	Set-00	1,960.06	Nov-03	2,055.04
Jun-94	2,363.65	Ago-97	2,247.64	Oct-00	1,898.19	Dic-03	2,205.24
Jul-94	2,457.65	Set-97	2,106.81	Nov-00	1,794.68	Ene-04	2,418.45
Ago-94	2,405.68	Oct-97	2,051.76	Dic-00	1,846.86	Feb-04	2,758.96
Set-94	2,505.52	Nov-97	1,917.09	Ene-01	1,787.97	Mar-04	3,007.97
Oct-94	2,547.19	Dic-97	1,758.82	Feb-01	1,765.21	Abr-04	2,950.82
Nov-94	2,801.43	Ene-98	1,691.26	Mar-01	1,738.48	May-04	2,738.35
Dic-94	2,985.02	Feb-98	1,664.40	Abr-01	1,663.32	Jun-04	2,685.93
Ene-95	3,009.75	Mar-98	1,747.58	May-01	1,684.20	Jul-04	2,807.41
Feb-95	2,877.18	Abr-98	1,794.95	Jun-01	1,608.11	Ago-04	2,844.27
Mar-95	2,923.43	May-98	1,734.51	Jul-01	1,524.84	Set-04	2,894.30
Abr-95	2,905.98	Jun-98	1,660.11	Ago-01	1,464.42	Oct-04	3,010.96
May-95	2,773.59	Jul-98	1,650.64	Set-01	1,426.00	Nov-04	3,122.19
Jun-95	2,993.83	Ago-98	1,622.12	Oct-01	1,377.00	Dic-04	3,147.48
Jul-95	3,074.60	Set-98	1,647.20	Nov-01	1,427.42	Ene-05	3,174.42
Ago-95	3,036.95	Oct-98	1,586.00	Dic-01	1,467.13	Feb-05	3,252.79
Set-95	2,914.87	Nov-98	1,573.58	Ene-02	1,501.77	Mar-05	3,379.49
Oct-95	2,812.69	Dic-98	1,470.13	Feb-02	1,561.55	Abr-05	3,393.76
Nov-95	2,975.93	Ene-99	1,432.01	Mar-02	1,605.36	May-05	3,253.26
Dic-95	2,919.05	Feb-99	1,410.39	Abr-02	1,591.42	Jun-05	3,523.14
Ene-96	2,623.02	Mar-99	1,378.00	May-02	1,594.66	Jul-05	3,613.57
Feb-96	2,537.00	Abr-99	1,456.88	Jun-02	1,645.34	Ago-05	3,799.48
Mar-96	2,560.46	May-99	1,506.15	Jul-02	1,589.14	Set-05	3,857.18
Abr-96	2,585.18	Jun-99	1,422.11	Ago-02	1,479.66	Oct-05	4,059.13
May-96	2,655.72	Jul-99	1,639.59	Set-02	1,478.35	Nov-05	4,268.63
Jun-96	2,180.38	Ago-99	1,646.56	Oct-02	1,483.41	Dic-05	4,577.77
Jul-96	1,984.28	Set-99	1,750.01	Nov-02	1,581.99		
Ago-96	2,005.95	Oct-99	1,723.71	Dic-02	1,592.69		

## Anexo 9: Simulación empleando macro de Excel para los valores de la opción de cierre temporal de los años 2007 y 2008

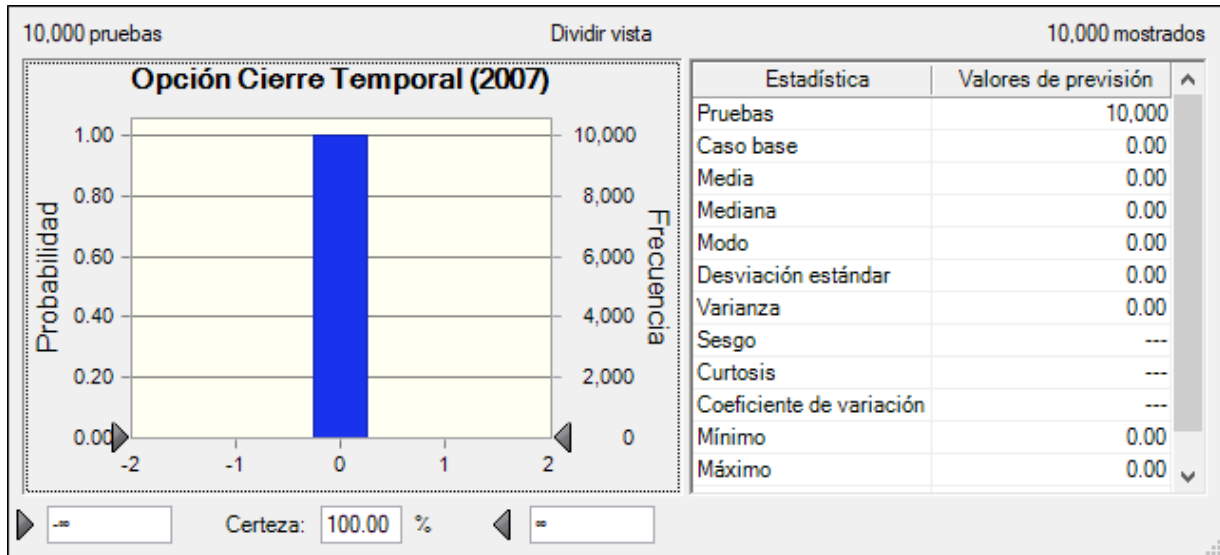
Valores en millones de dolares

	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Información</b>					
Financial Period Counter	0	1	2	3	4
<b>EBITDA</b>	<b>28.51</b>	<b>35.54</b>	<b>35.94</b>	<b>40.75</b>	<b>57.96</b>
<b>EBITDA condicionada</b>	<b>28.51</b>	<b>35.54</b>	<b>35.94</b>	<b>40.75</b>	<b>57.96</b>
Impuestos	-8.55	-9.33	-9.45	-10.89	-11.25
Capital de trabajo	-3.17	-0.63	-0.08	-0.45	-1.61
<b>FCO flexible</b>	<b>16.79</b>	<b>25.59</b>	<b>26.42</b>	<b>29.41</b>	<b>45.10</b>
<b>FCO sin opción</b>	<b>16.79</b>	<b>25.59</b>	<b>26.42</b>	<b>29.41</b>	<b>45.10</b>
<b>Valor de la opción</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Inversiones	-99.84	0.00	-400.00	0.00	0.00
<b>FLUJO DE CAJA LIBRE</b>	<b>-83.06</b>	<b>25.59</b>	<b>-373.58</b>	<b>29.41</b>	<b>45.10</b>
		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>
Montecarlo Cierre Temporal		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00

En la siguiente imagen se tiene la estructura que se empleó para valorar la serie de opciones anuales de cierre temporal a lo largo del proyecto. En este caso, los datos requeridos son los valores de las opciones de cierre temporal de los años 2007 y 2008, por lo cual se realizó la simulación de dichos valores obteniendo un promedio de cero para ambos casos.

A modo de ampliación, la simulación de los valores de las opciones de cierre temporal de los años 2009 y 2010 arrojó un promedio de 0.01 y 0.05, respectivamente. En la imagen se muestra únicamente los primeros 18 valores de 10 mil simulaciones.

### Anexo 10: Simulación empleando Crystall Ball para los valores de la opción de cierre temporal del 2007



### Anexo 11: Simulación empleando Crystall Ball para los valores de la opción de cierre temporal del 2008

