



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“VIABILIDAD ECONÓMICA FINANCIERA PARA LA
EXPLOTACIÓN MINERA DEL YACIMIENTO DE
COBRE CERRO AURA, AREQUIPA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Oswaldo Eddie Rodríguez Barra

Junior Renato Rojas Vásquez

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme superar cada obstáculo que se me presente en cada momento.

A mis padres por haberme guiado por el buen camino y por darme las enseñanzas y consejos para seguir adelante en mi carrera profesional.

Junior

Dedico la tesis a mis padres, Magnolia Barra y Eduardo Rodríguez por su apoyo y amor incondicional que me brindaron en los años como estudiante y por qué hasta ahora siguen siendo de gran ayuda en mi vida profesional.

Oswaldo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, la salud y por guiarme por el buen camino para lograr
mis metas y objetivos.

A mis padres agradezco su apoyo incondicional, tanto moral como económico y por
apoyarme en mis estudios superiores.

Junior

Agradezco a Dios por darme la vida y las bendiciones por permitirme luchar para alcanzar
mis metas y a mis padres por el apoyo moral que me brindaron para culminar mi carrera
profesional como Ingeniero de Minas.

Oswaldo

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS	27
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costos directos – Ley corte	18
Tabla 2: Precio de metales – Cerro Aura.....	18
Tabla 3: Reserva minera - Cerro Aura.....	19
Tabla 4: Características generales de la roca.....	21
Tabla 5: Costo por selección de equipos	22
Tabla 6: Costos de perforación y Voladura	23
Tabla 7: Costos de minado	23
Tabla 8: Datos del VOE y ROP del proyecto Aura.....	27
Tabla 9: Porcentajes de leyes de los minerales	27
Tabla 10: Ley de corte del Oro (Au)	28
Tabla 11: Ley de corte del Cobre (Cu).....	28
Tabla 12: Ley de corte de la Plata (Ag).....	29
Tabla 13: Estimación del total de material removido.....	29
Tabla 14: Valorización del concentrado de Plata	29
Tabla 15: Valorización del concentrado de Oro.....	31
Tabla 16: Valorización del concentrado de Cobre	32
Tabla 17: Flujo neto - Calculo del TIR.....	34
Tabla 18: Resultados del VAN.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Data general - Ley de corte	19
Figura 2: Bosquejo del relieve y leyes del mineral - Cerro Aura	27
Figura 3: Flujo de Caja del proyecto	36

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Representación matemática del VAN.....	13
Ecuación 2: Vida óptima de la reserva	20
Ecuación 3: Ritmo de producción óptimo	20
Ecuación 4: Fórmula corta del VAN	24
Ecuación 5: Fórmula del TIR.	25
Ecuación 6: Ecuación VAN - Cerro Aura	25
Ecuación 7: Ecuación TIR - Cerro Aura	25

RESUMEN

La tesis que se presenta a continuación tiene como objetivo principal determinar la viabilidad económica financiera del yacimiento de cobre Cerro Aura en el departamento de Arequipa. La metodología presenta un análisis basado en la determinación del VOE y ROP, para posteriormente realizar el análisis de los flujos de caja en base a la vida óptima de la reserva. El cálculo de la vida óptima de la reserva (VOE) y del ritmo óptimo de producción (ROP) del proyecto Cerro Aura aplicando las fórmulas propuesta por Taylor dio como resultado un VOE de 31 años (372 meses) y un ROP de 11 años (135 meses). Al realizar el cálculo y análisis del flujo de caja y los indicadores valor actual neto (VAN) para determinar la viabilidad económica para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura, se obtuvo como resultado para el VAN \$421,454,963.54 con un flujo de caja total de \$ 4,086,889,509.76, una inversión total de \$ 525,000,000.00 y un COK (Costo de oportunidad de capital) del 15%. En el cálculo del indicador de tasa interna de retorno (TIR) se obtuvo un total del % 9.46, lo cual es un porcentaje menor al del COK, eso indica que el proyecto no es viable ya que el porcentaje del TIR es menor que el porcentaje del costo de oportunidad de capital.

Palabras clave: VOE (vida óptima de la reserva), ROP (Ritmo de producción óptimo), VAN, TIR, viabilidad, flujo de caja.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar la viabilidad económica financiera del yacimiento de cobre Cerro Aura en el departamento de Arequipa. El desarrollo de este proyecto involucra niveles elevados de inversión capital, con un alto riesgo para los inversionistas, pues multiplica los factores que intervienen y que deben ser evaluados para tomar la decisión de invertir en un proyecto minero, el cual requiere de estudios técnicos, económicos y financieros exhaustivamente evaluados antes de proceder a la inversión.

La evaluación de proyectos mineros de inversión puede definirse como el conjunto de acciones que permiten juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas e inconvenientes que presenta la asignación de recursos económicos a una iniciativa. Se trata pues de llevar a cabo una valoración sistemática de la rentabilidad comparada de diversas opciones para llevar a cabo un proyecto. Las diversas alternativas posibles pueden presentar diferencias en aspectos tales como: beneficios o ahorros en el tiempo, vida útil, recursos económicos necesarios, riesgo de no alcanzar los resultados previstos, etc. Los parámetros que determinan la rentabilidad de una inversión son tangibles y mesurables, pero, al tratarse de proyecciones a largo plazo, la información de que se dispone en el momento de decisión resulta imperfecta, y en cierto modo hasta subjetiva, ya que los datos de partida son estimaciones y previsiones. Por este motivo, los métodos de análisis, para que sean eficientes, deben considerar también aquellos factores que suponen un riesgo para la obtención de la rentabilidad impuesta para una inversión. (Condori, 2018)

Es el factor de la industria minera que quizás más la diferencia de otras actividades, ya que los recursos con que se trabaja no son renovables. En términos de necesidades humanas, los minerales no son renovables, debido a que han sido formados por procesos geológicos, con lo que la velocidad de génesis es muy inferior a la de consumo. Las consecuencias del agotamiento progresivo de las reservas en un depósito son muy variadas: por ejemplo, los ingresos en una explotación se obtienen siempre que se disponga de suficiente mineral en las diferentes etapas del proyecto, y con la calidad adecuada, y, por consiguiente, los beneficios se generan dentro de un plazo limitado por la vida de la mina, que depende de las reservas y el ritmo de extracción. (Condori, 2018)

Los riesgos evidentes asociados a la intensidad de capital y la de los plazos de maduración de los proyectos, los negocios mineros incluyen otros motivos de riesgo económico, algunos controlables por el inversor y otros no. En general, estos riesgos se pueden subdividir en: riesgos geológicos, riesgos operativos, riesgos económicos y riesgos políticos. Por parte del yacimiento, el riesgo proviene de que al ser la evaluación del mismo un proceso largo y costoso, se realizan las estimaciones llegando a un compromiso entre la información y el coste de la misma, lo que implica que el grado de imprecisión en parámetros tales como las reservas, las leyes, etc. sean mucho más altos que los de partida en otros negocios. Los riesgos técnicos se han reducido notablemente en los últimos tiempos y su incidencia se ha minimizado a través de una mayor mecanización y automatización de las instalaciones, y una mejora en la seguridad de las mismas. En el ámbito económico no cabe decir lo mismo. (Condori, 2018)

La evaluación económica del proyecto de inversión en la mina es el paso fundamental antes de la decisión definitiva sobre el mismo. El instrumento básico es el modelo económico, que refleja el movimiento de los fondos absorbidos y generados a lo largo del tiempo por el proyecto. Para la creación de dicho modelo se parte de las inversiones estimadas en capítulos anteriores. Es importante hacer un desglose de las inversiones en moneda nacional y extranjera, e indicar las paridades de las distintas monedas. Se elaborará un calendario de inversiones figurando el año en que estas se realizarán, bien para la adquisición de nuevas instalaciones o equipos, o para su sustitución; asimismo se reflejarán los valores residuales que puedan recuperarse. (Condori, 2018)

Muñoz (2012), en su tesis de investigación sobre “Modelo de costos para la valorización de planes mineros”; menciona que se recomiendan utilizarlos como una guía para entender el comportamiento de los costos de estas operaciones unitarias, y poder así definir cómo variará el costo en el tiempo. El concepto se puede extrapolar a otras minas, pero se debe analizar en particular el diseño que tenga el yacimiento, para definir de mejor manera el comportamiento del costo en el tiempo y obtener así los resultados asociados a otra mina.

León (2016), en su tesis de maestría sobre “Análisis de inversión y rentabilidad de un proyecto aurífero a nivel de estudio de factibilidad”, muestra que la actividad minera está vista como elemento contaminante y la responsabilidad social no está a las expectativas de los centros poblados alrededor de las minas. Sin embargo, la inversión minera permite desarrollar al país y en especial enfocar como medio de desarrollo sostenible. El monto de la inversión inicial asciende a US\$ 34 millones, ejecutable en

un período de dos años. El 64% del monto necesario se cubrirá con préstamo a un interés del 10%; el resto, con aporte propio. El análisis económico en el escenario medio, donde la cotización del oro es US\$ 475/oz y una tasa del 10 %, indica un VANE de US\$ 35,1 millones y una TIRE de 20,6%. En la misma medida, los resultados del análisis financiero, considerando cotización del oro a US\$ 475/oz y una tasa del 10%, se obtiene un VAN de US\$ 25,8 millones y una TIR de 11,9%.

Chávez (2017) en su trabajo de investigación “Estudió la factibilidad técnica para la explotación minera del proyecto Millo del Consorcio Minero Horizonte S.A. distrito Oropesa, provincia Antabamba, región Apurímac”, en el año 2017. Además, estimar el costo de capital (CAPEX), estimar el costo de Operación (OPEX) y realizar el análisis económico – financiero de dicho proyecto. El costo del capital (CAPEX) del proyecto minero Millo del Consorcio Minero Horizonte S.A., se ha determinado considerando el costo del capital de mina, el costo del capital de la planta metalúrgica, costo capital de la infraestructura, costo capital en medio ambiente y costo del capital de sostenibilidad; el monto total de las inversiones requeridas por el proyecto asciende a US\$ 48, 910,000. Por otro lado, el costo de Operación (OPEX), se determinado en base a dos aspectos, el primero son los costos variables de operación que comprenden el costo de operación en mina, el costo de operación de la planta metalúrgica, el costo operativo de la energía y el costo de servicios generales. El segundo comprende los costos fijos de operación. El costo total asciende a 124 \$/t. Producto del análisis financiero, el VPN del proyecto es US\$ 6' 943,380 y el TIR determinado es 24.15%, el cual se encuentra por encima del valor esperado en proyectos de este tipo.

El presente trabajo de investigación no ha tenido limitaciones ya que la Empresa, ha facilitado los cálculos de reserva de mineral, costos unitarios e inversiones, y cuadros estadísticos necesarios e indispensables, sin los cuales, no se hubiese podido realizar la presente investigación. Por lo que podemos señalar que la misma no tiene limitaciones en el proceso de su ejecución.

La evaluación económica de un proyecto es la valoración del mismo, por medio del cual se comparan los ingresos que podría generar versus los costos (inversiones y costos de operación) que exige, durante su vida útil que durará el proyecto, señala que el valor actual neto (VAN), es la diferencia entre la sumatoria de todos los ingresos actualizados menos la sumatoria de todos los costos actualizados. Para actualizar se usa una determinada tasa de descuento o tasa de actualización. (Yupanqui, 2014)

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 1: *Representación matemática del VAN*

Donde:

R = Tasa de descuento correspondiente al período tiempo

N = Número de períodos en el horizonte

c t = Costos exigidos durante el período tiempo

bt – ct = Beneficio neto del proyecto

bt = Ingresos generados durante el periodo de tiempo

t = tiempo

Pally (2017), sostiene que el valor actual neto (VAN) es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros originados por una inversión. Se lo define como la diferencia entre los ingresos y egresos (incluida como egreso la inversión) a valores actualizados o la diferencia entre los ingresos netos y la inversión inicial. En otras palabras, el valor presente neto es simplemente la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. A efectos prácticos, es la suma actualizada de los flujos netos de cada período. El valor presente neto es el método más conocido y el más aceptado. Mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer período de operación y le resta la inversión total expresada en el momento cero.

La ley de corte es la concentración mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser económicamente explotable, es decir, la concentración que hace posible pagar los costes de su extracción, su tratamiento y su comercialización. Es un factor que depende a su vez de otros factores, que pueden no tener nada que ver con la naturaleza del yacimiento como, por ejemplo, su proximidad o lejanía a vías de transporte, avances tecnológicos en la extracción, entre otros. Es la ley por debajo de la cual un yacimiento no es económicamente explotable. Contenido mínimo del metal en el mineral para que pueda ser considerado como reservas.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la viabilidad económica financiera para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura en Arequipa en el año 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la viabilidad económica financiera para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura, Arequipa 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar el cálculo de la vida de la reserva (VOE) y el ritmo de producción (ROP), utilizando el método de Taylor.

Establecer el flujo de caja y los indicadores valor actual neto (VAN) para determinar la viabilidad económica para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura.

Establecer el indicador tasa interna de retorno (TIR), para determinar la viabilidad financiera para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La tasa interna de retorno (TIR) es aproximadamente del 10% lo cual es un porcentaje menor al del COK del 15%, eso indica que el proyecto no es viable ya que el porcentaje del TIR es menor que el COK.

1.4.2. Hipótesis específicas

Con los datos obtenidos para el VOE y ROP se podrá realizar los cálculos del estado financiero para posteriormente calcular el VAN y TIR.

Al analizar el flujo de caja y el valor actual neto (VAN), se podrá determinar la viabilidad económica para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura.

Al valorar el indicador tasa interna de retorno (TIR), se podrá determinar la viabilidad financiera para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo No Experimental, descriptivo con diseño transversal; puesto que se encarga de estudiar la realidad y observar la situación, y cuya característica está en recolectar datos en un solo momento y en un tiempo único, siendo el propósito describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Vargas (2009), indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Hernández, Fernández y Baptista (2012) indican que, "La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos"

Según Tamayo (2019) La investigación descriptiva busca únicamente describir situaciones o acontecimientos; básicamente no está interesado en comprobar explicaciones, ni en probar determinadas Hipótesis, ni en hacer predicciones. Con mucha frecuencia las descripciones se hacen por encuestas (estudios por encuestas), aunque éstas también pueden servir para probar Hipótesis específicas y poner a prueba explicaciones.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Cuatro concesiones mineras que cubre un total de 20,000 Hectáreas

2.2.2. Muestra

Una concesión minera que cubre un total de 5,000 Hectáreas, donde se han realizado las exploraciones y se han determinado las reservas mineras.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Análisis documental

Con esta técnica se investigaron los antecedentes previos de trabajos de investigación, los datos de las inversiones y los costos directos e indirectos del proyecto. Los instrumentos utilizados para el estudio son los reportes de costos unitarios: reportes de costos directos y reporte de costos indirectos. Este instrumento es adaptado ya que fue extraído de la data principal de Ley de corte del proyecto minero.

Tabla 1

Costos directos – Ley corte

Costos en \$/TN		
Costo de Minado	\$	50.365
Costo de concentrado	\$	28.600
Gastos Generales	\$	2.836
Gastos de Administración	\$	3.260
Costo de Ventas	\$	3.762
Gastos Totales	\$	88.823

Fuente: Área de planeamiento.

Tabla 2

Precio de metales – Cerro Aura

Precio de los Metales en el mercado internacional		
Au (\$/Oz)	S/	1,272.40
Cu (\$/TN)	\$	5,719.761
Ag (\$/Oz-tn)	\$	16.840

Fuente: Área de planeamiento.

Tabla 3

Reserva minera - Cerro Aura

Mineral	Peso (TM)	Leyes (%)			Recuperación (TN)		
		Ag (oz/TM)	Au (%)	Cu (%)	Ag (TN)	Au (TN)	Cu (TN)
Cabeza Conc.	250000000	5.882	5.667	9.00	250000000	250000000	250000000
Au Conc.	55953936.1	10.267	11.900	3.144	25000000	117500000	52500000
Ag	62763917.3	11.714	4.843	1.152	125000000	82500000	47500000
Relave	131282146.5	4.480	2.158	10.283	100000000	50000000	150000000

Fuente: Área de planeamiento.

Figura 1: Data general - Ley de corte



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

Precio de los Metales en el mercado internacional			Costos en \$/TN		Densidad del mineral
Au (\$/Oz)	\$	1,950.00	Costo de Minado	\$	2.67
Cu (\$/TN)	\$	5,719.761	Costo de concentrado	\$	cuarzo
Ag (\$/Oz-tn)	\$	16.840	Gastos Generales	\$	
			Gastos de Administracion	\$	
			Costo de Ventas	\$	
			Gastos Totales	\$	

Mineral	Peso (TM)	Leyes (%)			Recuperación (TN)			Ratio
		Ag (oz/TM)	Au (%)	Cu (%)	Ag (TN)	Au (TN)	Cu (TN)	
Cabeza	250000000	5.882	5.667	9.00	250000000	250000000	250000000	
Conc. Au	55953936.073	10.267	11.900	3.144	25000000	117500000	52500000	4.468
Conc. Ag	62763917.336	11.714	4.843	1.152	125000000	82500000	47500000	3.983
Relave	131282146.591	4.480	2.158	10.283	100000000	50000000	150000000	1.904

Para el Au	contenido Au (TN)	Recuperación %	Se Obtiene (TN)	PRECIO en 667.5mill TN
Mineral de cabeza	5.667			
Conc. Au	6658725.000	117500000.000		
Conc. Ag	4675275.000	825000000.000		
Recuperación Au			6658725.000	\$ 417,452,117,062.500

Para el Cu	Cu	Recuperación %	Se Obtiene (TN)	PRECIO en 667.5mill TN
Mineral de cabeza	9.00			
Conc. Au	4725000.000	525000000.000		
Conc. Ag	4275000.000	475000000.000		

Fuente: Área de planeamiento.

Los instrumentos de recolección de datos son los siguientes:

Instrumento 1: Ficha de datos del VOE y ROP del proyecto AURA.

Instrumento 2: Ficha del porcentaje de leyes de los minerales.

Instrumento 3: Ficha de la ley de corte de oro, cobre, plata.

Instrumento 4: Ficha de la estimación del total de material removido.

2.3.2. Técnicas de Análisis de Datos

Para realizar el cálculo de los indicadores de vida de la reserva y ritmo de producción óptima se hizo uso de las ecuaciones propuestas por Taylor, que se citan a continuación:

$$VOE \text{ (años)} = 6.5 \times (\text{reservas (millones de ton)})^{0.25} \times (1 \pm 0.2)$$

Ecuación 2: *Vida óptima de la reserva*

$$ROP \text{ (ton/año)} = 0.15 \times (\text{reservas (millones de ton)})^{0.75} \times (1 \pm 0.2)$$

Ecuación 3: *Ritmo de producción óptimo*

2.4. Procedimiento

Se realizó una comparación con los datos actuales y los programados según el cálculo realizado, de esta manera se evaluó la rentabilidad de la explotación minera. El estudio se analizó siguiendo una metodología de evaluación de inversiones privadas. Esta metodología consta de la identificación de ingresos, costos e inversiones, así como su proyección para generar flujos de caja los que fueron descontados para obtener el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto. Para ello, se analizaron en detalles los siguientes aspectos:

2.4.1. Aspecto tecnológico

Este análisis incorporó equipos, materias primas y procesos que permitieron determinar los costos del proceso. Dada la complejidad de la minería del cobre en general y del yacimiento en particular, este elemento fue estudiado en detalle. En particular, se analizó en detalle los aspectos de la geología, de la minería y del proceso.

Tabla 4

Características generales de la roca

Tipo de Roca	Densidad
Arenisca	2,0-2,8
Basalto	2,8-3,0
Caliza	2,4-2,9
Cuarcita	2,0-2,8
Diorita	2,8-3,0
Dolomita	2,8-2,9
Esquisto	2,4-2,8
Feldespato	2,6-3,0
Gneis	2,6-2,9
Granito	2,6-2,9
Hematita	4,5-5,3
Marmol	2,1-2,9
Mica	2,5-2,9
Pirita	4.2
Cuarzo	2.67

Fuente: Área de Geología.

2.4.2. Tamaño y localización

Dadas las características topográficas de la zona y los altos costos de transporte para grandes volúmenes de mineral, este elemento fue decisivo al momento de la evaluación económica. El proyecto se encuentra ubicado en la comunidad campesina Parobamba, en el distrito de Yanatile, provincia del Calca, departamento del Arequipa.

2.4.3. Aspectos administrativos

Con esto se determinó algunos componentes de costo fijo y la organización de los recursos humanos, físicos y financieros.

Tabla 5

Costo por selección de equipos

Área	Modelo	Cantidad	Precio c/u	C. operación/h.
Acarreo	CAMION 777D CAT	7	\$ 9100000.000	5504.2
Carguío	HITACHI EX 3500	1	\$ 15000000.000	284.62
Equipos auxiliares	TRACTOR ORUGA D8	2	\$ 1087400.000	171.2
	MOTO NIVELADORA 120H	1	\$ 487967.000	79.65
	EXCAVADORA 336	1	\$ 495600.000	75.5
Transporte de personal (bus)	BUS MERCEDES BENZ 17-300F	2	\$ 340000.000	
Transporte de combustible y agua	CAMION CISTERNA	2	\$ 360000.000	
Costo de operación (us\$/h)				6115.17
Costo de operación día (us\$/día)				122303.4
Costo de operación mes (us\$/mes)				3669102

Fuente: Área de planeamiento.

Tabla 6
Costos de perforación y Voladura

Ítem descripción	Unidad	Costo directo us\$/tm	G.g %	Utilidad %	Subtotal us\$/tm	Total, us\$/tm
1.0 Producción de material	TM					
1.1 Perforación	TM	0.083	0.017	0.008		0.107
1.2 Voladura	TM	0.323	0.065	0.032		0.421
1.3 Remoción	TM	1.072	0.214	0.107		1.393
1.4 Carguío	TM	13.574	2.715	1.357		17.646
1.5 Transporte (d = 4 km)	TM	13.873	2.775	1.387		18.035
1.6 Mantenimiento de botadero	TM	6.611	1.322	0.661		8.594
1.7 Mantenimiento de vías	TM	3.206	0.641	0.321		4.168
Total, producción de material	TM	38.742	7.748	3.874		50.365

Fuente: Área de Perforación y voladura.

Tabla 7

Costos de minado

PARÁMETROS OPERATIVOS		
Relación Estéril / Mineral	TM est/TM mina	3/1
NIVEL DE PRODUCCION = GRAN PRODUCCION	TM/Dia	22390
Producción anual mineral	TM/año	2686823.57
Producción anual min + est	TM/año	8060470.70
Vida útil estimada	Años	31
Total reservas sugeridas	TM	250000000.000
COSTOS DE OPERACIÓN		
Labor	USD/TM	3.2
Suministros y materiales	USD/TM	2.1
Equipos de minado	USD/TM	3.98
Administración	USD/TM	1.1
Otros	USD/TM	0.8
Total costos operativos	USD/TM	11.18

Fuente: Área de planeamiento.

2.4.4. Aspectos financieros

Se buscó identificar indicadores financieros de proyectos similares y se estimó el valor actual neto (VAN) del proyecto descontando sus flujos de caja.

Marín (2014), señala que el valor actual neto (VAN), es la diferencia entre la sumatoria de todos los ingresos actualizados menos la sumatoria de todos los costos actualizados. Para actualizar se usa una determinada tasa de descuento o tasa de actualización.

La representación matemática del VAN es:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 4: Fórmula corta del VAN

Donde:

R = Tasa de descuento correspondiente al período tiempo

N = Número de períodos en el horizonte

C_t = Costos exigidos durante el período tiempo

B_t - C_t = Beneficio neto del proyecto

B_t = Ingresos generados durante el período tiempo

T = Tiempo

El mismo autor aclara que la tasa interna de retorno (TIR) es una tasa de descuento (tasa de interés) que cuando actualiza el beneficio neto (diferencia entre ingresos proyectados menos costos proyectados de cada período del horizonte del proyecto), éste (la sumatoria de los beneficios netos actualizados) resulta igual a cero. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{B_0 - C_0}{(1+x)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+x)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+x)^2} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+x)^n} = 0$$

Ecuación 5: Fórmula del TIR.

TIR es una tasa de descuento que para encontrarla se tiene que resolver una ecuación polinómica de grado n, donde n es el horizonte del proyecto.

De las fórmulas citadas anteriormente se emplearon las siguientes adaptándolas a los elementos financieros considerados por el proyecto Cerro Aura

$$VAN = [COK(FC)] - I$$

Ecuación 6: Ecuación VAN - Cerro Aura

$$TIR = -I + \left[\frac{FC}{(1 + COK)^n} \right] + \dots$$

Ecuación 7: Ecuación TIR - Cerro Aura

Dónde: COK (Costo de oportunidad de capital /tasa), FC (Flujo de caja), I (Inversión total) y n (Periodo de tiempo/VOE)

2.5. Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación se realizará de acuerdo con el formato establecido por la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor; en segundo lugar, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo; en tercer lugar, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones; en cuarto lugar, presentar un contenido entendible de todo el

trabajo, recalando metodología, análisis e interpretación de resultados, este trabajo de investigación no genera un riesgo al medio ambiente. Finalmente, citar acorde a la norma APA, de manera correcta.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Cálculo de la vida de la reserva (VOE) y el ritmo de producción (ROP), utilizando el método de Taylor

Se realizó el cálculo de la vida de la reserva y ritmo de producción para poder calcular los estados financieros de la empresa, para lo cual se hizo uso de las fórmulas propuestas por Taylor; obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 8

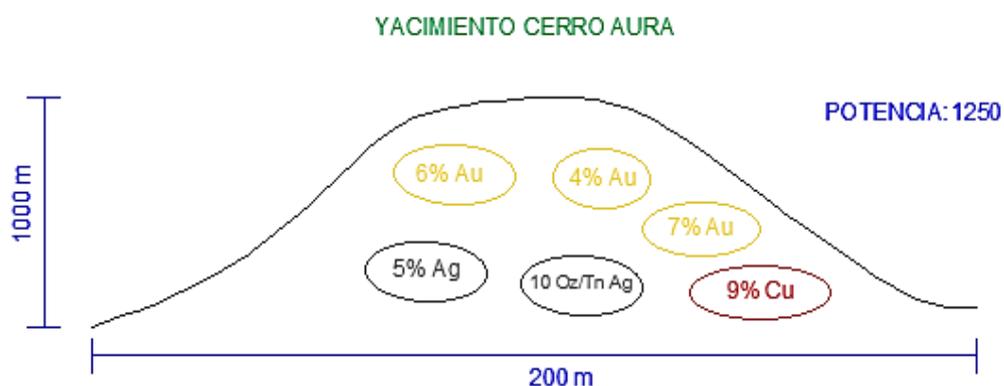
Datos del VOE y ROP del proyecto Aura

Vida de la Reserva (VOE) en:	VOE (Años)	31.0156	20.6770
	VOE (Meses)	372.1867	248.1245
	VOE (Días)	11165.6010	7443.7340
Ritmo de Producción (ROP) en:	Años	11.3169	7.54460
	Meses	135.8028	90.5352
	Días	4074.0843	2716.0562

Como resultado se obtiene que la vida de las reservas es de 31 años aproximadamente y el ritmo de producción en 11 años será 7.54 millones de dólares.

Figura 2:

Bosquejo del relieve y leyes del mineral - Cerro Aura



En base a las dimensiones del yacimiento, potencia y densidad del material se calculó el volumen total:

$$V = 1000 \text{ m} \times 200 \text{ m} \times 1250 \text{ m}$$

$$V = 250\,000\,000 \text{ m}^3$$

$$Tn = 250\,000\,000 \text{ m}^3 \times 2.67 \text{ ton/m}^3$$

$$Tn = 667\,500\,000 \text{ ton}$$

Teniendo como resultado un volumen total de 667 500 000 toneladas.

3.2. Análisis del flujo de caja y el valor actual neto (VAN) del yacimiento de cobre Cerro Aura

Para poder calcular los estados financieros del proyecto se utilizó los datos que se muestran a continuación.

Tabla 9

Leyes de los minerales

Mineral	Leyes (%)			
	Peso (TM)	Ag (oz/TM)	Au (%)	Cu (%)
Cabeza	250000000	5.882	5.667	9.00
Conc. Au	55953936.073	10.267	11.900	3.144
Conc. Ag	62763917.336	11.714	4.843	1.152
Relave	131282146.591	4.480	2.158	10.283

Fuente: Área de Geología.

Con el dato de la ley de cabeza en toneladas métricas y los datos del VOE, se calculará el total de TM de roca movida al año.

Tabla 10

Valorización de la reserva de Oro (Au)

Para el Au	contenido Au (TN)	Recuperación %	Se Obtiene (TN)	PRECIO en 667.5mill TN
Mineral de cabeza	5.667			
Conc. Au	6658725.0	117500000.0		
Conc. Ag	4675275.0	82500000.0		
Recuperación Au			6658725.0	\$ 417,452,117,062.5

Tabla 11

Valorización de la reserva de Cobre (Cu)

Para el Cu	Contenido Cu (TN)	Recuperación %	Se Obtiene (TN)	PRECIO en 667.5mill TN
Mineral de cabeza	9.00			
Conc. Au	4725000.0	52500000.0		
Conc. Ag	4275000.0	47500000.0		
Recuperación Cu			4725000.0	\$ 27,025,870,725.0

Tabla 12

Valorización de la reserva de Plata (Ag)

Para el Ag	Contenido Ag (TN)	Recuperación %	Se Obtiene (TN)	PRECIO en 667.5mill TN
Mineral de cabeza	18.822			
Conc. Au	4705480.0	25000000.0		
Conc. Ag	23527400.0	125000000.0		
Recuperación Ag			23527400.0	\$ 12,737,875,524.4

Con los datos de las leyes de cabeza de los tres minerales se procede a calcular los parámetros generales del total de TM movidas al año y durante todo el tiempo de vida útil de la mina.

Tabla 13:

Estimación del total de material removido

Total de material movido	
RESERVA MINERA	250000000.000
VOE	31
Roca movida al año	8060470.703
Total Conc. Mineral en 40 años	34911125.000
Total Conc. Mineral al año	1125600.401
Recuperación E/M	3/1

3.2.1 Estado de Ganancia y Pérdida

Se calculó el estado financiero para los 3 minerales presentes en el yacimiento.

Tabla 14

Valorización del concentrado de Plata

Concentrado del Ag:	
Peso húmedo	758568
Porcentaje de humedad	10%
Merma	0.50%
Características:	
Plata (%)	56%
Arsénico	0.5%
Peso seco del Con. Mineral	
TM	75857
TMS	682711
Peso neto del Conc. Mineral	
TMS	3414
TMNS	679297
Contenido Fino del Concentrado Ag	
TMF	377505.9173
Contenido pagable de Ag.	
TMF	343168
Valor del contenido de Ag.	
	USD
US\$	185,793,202.87
Costo Maquila	
costo maquila /tn (USD\$)	140
peso neto seco del conc. Ag	679297
	USD
US\$	95,101,629.25
Ajuste de maquila por escaladores	
base US\$	15.000
Escalador +	US\$ 0.1 por cada US\$ 1

		\$	por encima de US\$ 15
Cotización de Ag		16.840	
	US\$	1.84	
	US\$/TMNS	0.18	
		USD	
	US\$	124,990.71	
Penalidad			
Según contrato, se castigará el contenido de arsénico que esté por encima de 0.2% por tonelada			
contenido de arsénico		0.50	
penalidad US\$		1.5	por cada 0.1% de exceso
% para pagar penalidad		0.30	
relación		3	
penalidad por cada 0.1% encima de la tolerancia		4.5	
peso neto del conc. Ag		679297	
		USD	
penalidad total		3,056,838.08	
VALOR DEL CONCENTRADO DE PLATA		87,509,744.83	

 Tabla 15: *Valorización del concentrado de Oro*

Concentrado del Au:		
Peso húmedo		214690
Porcentaje de humedad		10%
Merma		0.50%
Oro (%)		16%
Arsénico		0.5%
Peso seco del Con. Au		
	TM	21469
	TMS	193221
Peso neto del Conc. Au		
	TMS	966
	TMNS	192255
Contenido Fino del Concentrado Au		
	TMF	31191
Contenido pagable de Au		

	TMF	22036	
Valor del contenido de Au			
		USD	
	US\$	897,252,449.72	
Costo Maquila			
costo maquila /tn (USD\$)		140	
peso neto seco del conc. Au		192255	
		USD	
	US\$	26,915,664.13	
Ajuste de maquila por escaladores			
base US\$		1000.000	
		US\$ 0.1 por cada US\$ 1 por encima	
Escalador +		de US\$ 1000	
		\$	
Cotización de Ag		1,272.400	
	US\$	272.40	
	US\$/TMNS	27.24	
		USD	
	US\$	5,237,019.22	
Penalidad			
según contrato, se castigará el contenido de arsénico que esté por encima de 0.2% por tonelada			
contenido de arsénico		0.50	
penalidad US\$		1.5	por cada 0.1% de exceso
% para pagar penalidad relación		0.30 / 3	
penalidad por cada 0.1% encima de la tolerancia		4.5	
peso neto del conc. Ag		192255	
penalidad total		USD 865,146.35	
VALOR DEL CONCENTRADO DE ORO		864,234,620.03	

Tabla 16

Valorización del concentrado de Cobre

Concentrado del Cu:

Peso húmedo	152343	
Porcentaje de humedad	10%	
Merma	0.50%	
Cobre (%)	28%	
Arsénico	0.5%	
Peso seco del Con. Cu		
	TM	15234
	TMS	137109
Peso neto del Conc. Cu		
	TMS	686
	TMNS	136423
Contenido Fino del Concentrado Cu		
	TMF	37793
Contenido pagable de Cu		
	TMF	30245
Valor del contenido de Cu		
		USD
	US\$	172,993,194.73
Costo Maquila		
costo maquila /tn (USD\$)		140
peso neto seco del conc. Au		136423
		USD
	US\$	19,099,228.91
Ajuste de maquila por escaladores		
base US\$		5500.000
		US\$ 0.1 por cada US\$ 1 por encima
Escalador +		de US\$ 5500
		\$
Cotización de Ag		5,719.761
	US\$	219.76
	US\$/TMNS	21.98
		USD
	US\$	2,998,046.89
Penalidad		
según contrato, se castigará el contenido de arsénico que esté por encima de 0.2% por tonelada		
contenido de arsénico	0.50	
penalidad US\$	1.5	por cada 0.1% de exceso
% para pagar penalidad	0.30	
relación	3	
penalidad por cada 0.1% encima de la tolerancia	4.5	

peso neto del conc. Ag	136423
	USD
penalidad total	613,903.79
VALOR DEL CONCENTRADO DE COBRE	150,282,015.15

El VAN del proyecto se calculó en un promedio de **\$421,454,963.54**.

3.3. Valoración del indicador tasa interna de retorno (TIR), para determinar la viabilidad financiera en la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura.

A continuación, se presenta el flujo de caja general y cálculo del TIR.

Tabla 17

Flujo neto - Calculo del TIR

AÑO	PERIODO	IMPUESTOS	FLUJO DE CAJA NETO
		\$	\$
		0.18	525,000,000.00
1	2018	-76,776,030.43	-349,757,471.96
2	2019	-90,682.43	-413,108.85
3	2020	20,238,592.53	92,198,032.62
4	2021	-4,306,781.14	-19,619,780.76
5	2022	14,307,861.31	65,180,257.08
6	2023	-4,837,531.52	-22,037,643.61
7	2024	-4,143,627.13	-18,876,523.58
8	2025	-2,850,704.90	-12,986,544.54
9	2026	-8,699,738.75	-39,632,143.20
10	2027	20,408,816.95	92,973,499.43
11	2028	46,652,352.77	212,527,384.84
12	2029	45,771,348.27	208,513,919.91
13	2030	45,544,431.30	207,480,187.02
14	2031	42,708,670.27	194,561,720.14
15	2032	42,708,866.65	194,562,614.73
16	2033	46,684,571.55	212,674,159.30
17	2034	46,732,663.36	212,893,244.21
18	2035	46,732,735.48	212,893,572.75
19	2036	45,739,096.77	208,366,996.42
20	2037	45,707,927.45	208,225,002.82

21	2038	\$	46,574,374.53	\$	212,172,150.65
22	2039	\$	48,593,439.50	\$	221,370,113.26
23	2040	\$	51,963,431.08	\$	236,722,297.14
24	2041	\$	54,445,660.57	\$	248,030,231.46
25	2042	\$	60,517,836.23	\$	275,692,365.05
26	2043	\$	56,936,433.58	\$	259,377,086.29
27	2044	\$	24,980,716.38	\$	113,801,041.31
28	2045	\$	23,272,869.81	\$	106,020,851.37
29	2046	\$	41,983,069.16	\$	191,256,203.95
30	2047	\$	40,433,499.08	\$	184,197,051.37
31	2048	\$	39,187,919.23	\$	178,522,743.14
TIR (%) =				9.46%	

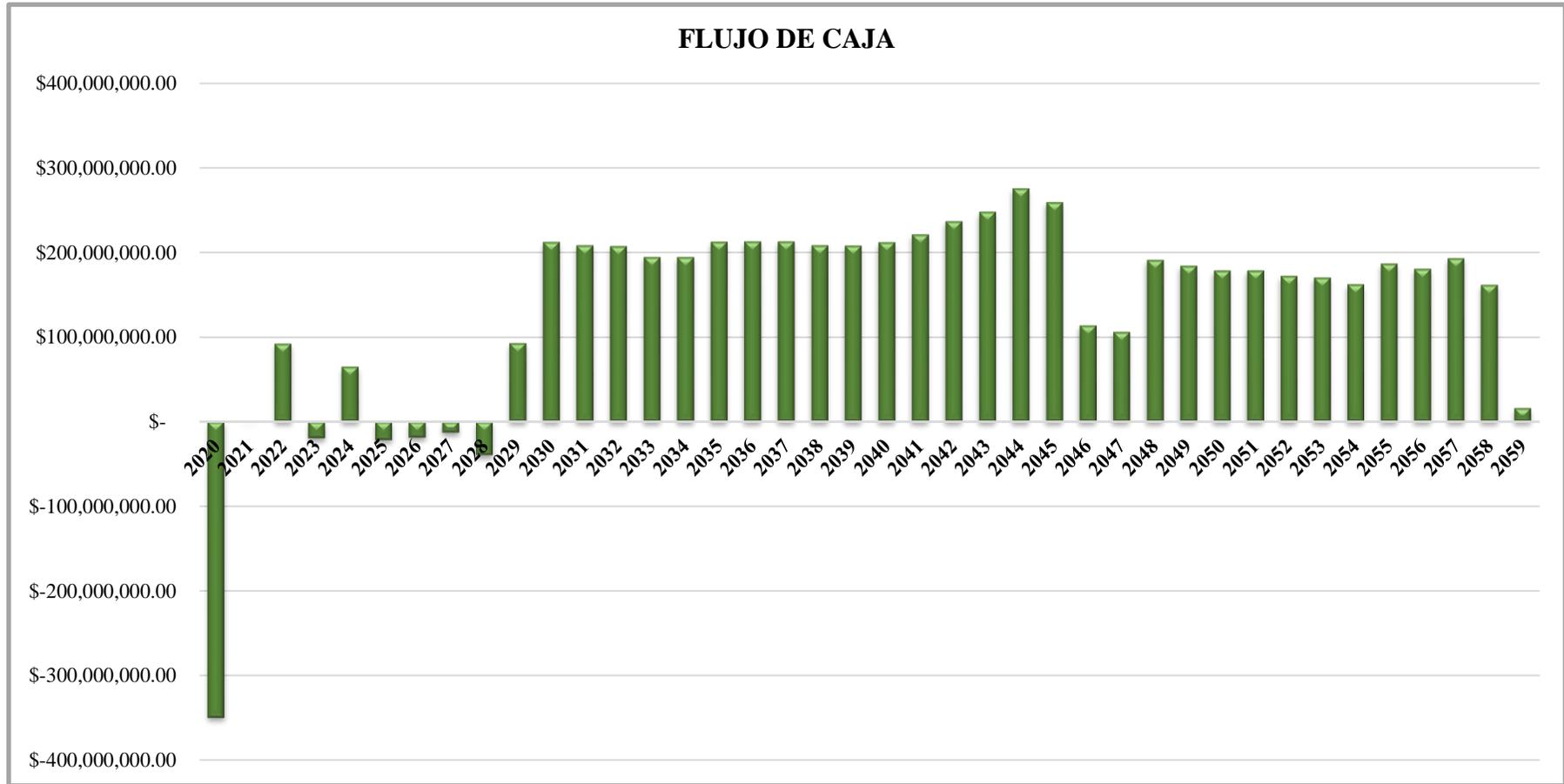
Tabla 18

Resultados del VAN

Inversión Total	\$	525,000,000.00
COK		15%
VAN	MMUS\$	(\$421,454,963.54)

Figura 3:

Flujo de Caja del proyecto



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En función a lo desarrollado en la presente investigación, con la información expuesta, procedemos a resaltar investigaciones internacionales, nacionales, y regionales, que nos permiten contrastar los resultados que obtuvimos.

Se ha obtenido que las reservas de la mina son de 31 años aproximadamente y el ritmo de producción en será de 11 millones de toneladas por año. Estos datos ayudaran a determinar el análisis de VAN y TIR que son los factores más importantes de la viabilidad de un proyecto minero. Esto reafirma lo señalado por Condori (2018) es el factor de la industria minera que quizás más la diferencia de otras actividades, ya que los recursos con que se trabaja no son renovables. En términos de necesidades humanas, los minerales no son renovables, debido a que han sido formados por procesos geológicos, con lo que la velocidad de génesis es muy inferior a la de consumo. Las consecuencias del agotamiento progresivo de las reservas en un depósito son muy variadas: por ejemplo, los ingresos en una explotación se obtienen siempre que se disponga de suficiente mineral en las diferentes etapas del proyecto, y con la calidad adecuada, y, por consiguiente, los beneficios se generan dentro de un plazo limitado por la vida de la mina, que depende de las reservas y el ritmo de extracción.

El VAN del proyecto se calculó en un promedio de \$421,454,963.54. Estos resultados apoyan lo señalado por Córdoba (2011), sostiene que el valor actual neto (VAN) es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros originados por una inversión. Se lo define como la

diferencia entre los ingresos y egresos (incluida como egreso la inversión) a valores actualizados o la diferencia entre los ingresos netos y la inversión inicial. En otras palabras, el valor presente neto es simplemente la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. A efectos prácticos, es la suma actualizada de los flujos netos de cada período. El valor presente neto es el método más conocido y el más aceptado. Mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer período de operación y le resta la inversión total expresada en el momento cero.

4.2 Conclusiones

De los resultados obtenidos en el estudio, se determina que la tasa interna de retorno (TIR) es 9.46 % lo cual es un porcentaje menor al del COK del 15%, eso indica que el proyecto no es viable ya que el porcentaje del TIR es menor que el COK.

Se realizó el cálculo de la vida óptima de la reserva (VOE) y del ritmo óptimo de producción (ROP) del proyecto Cerro Aura aplicando las fórmulas propuesta por Taylor, por lo cual se concluye que el VOE es de 31 años y el ROP será de 11 millones de toneladas por año.

Se estableció el flujo de caja y los indicadores valor actual neto (VAN) para determinar la viabilidad económica para la explotación minera del yacimiento de cobre Cerro Aura, por lo cual se concluye que se tiene un VAN \$421,454,963.54 con

un flujo de caja total de \$ 4,086,889,509.76, con una inversión total de \$ 525,000,000.00 y un COK (Costo de oportunidad de capital) del 15%.

En el cálculo del indicador de tasa interna de retorno (TIR) se obtuvo un total del % 9.46, lo cual es un porcentaje menor al del COK, esto indica que el rendimiento del proyecto es menor que ambas tasas de referencia y por lo tanto se considera al proyecto inviable, ya que no llegó al mínimo o existen mejores alternativas de inversión.

REFERENCIAS

Chávez, L. (2017). “*Estudio de factibilidad técnica para la explotación minera del proyecto Millo del consorcio Minero Horizonte S.A. distrito Oropesa, provincia Antabamba, región Apurímac, 2017*”. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Condori, J. (2018). “*Modelo de riesgo para la evaluación económica financiera de la explotación de la veta Huáscar nivel 2220 - 2296 mina Yanaquihua - Arequipa*”. (tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Hernández, R, Fernández, C. & Baptista, P. (2012). “*Diseños no experimentales*”, recuperado de: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2012/12/disenos-no-experimentales-segun.html#:~:text=Dise%C3%B1os%20no%20experimentales.-,Seg%C3%BAAn%20Hernandez%2C%20fernandez%20y%20Baptista.,variar%20intencionalmente%20las%20variables%20independientes.&text=Por%20decirlo%20de%20alguna%20manera,se%20'construye%22%20una%20realidad.>

León, G. (2016). *“Análisis de inversión y rentabilidad de un proyecto aurífero a nivel de estudio de factibilidad”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Muñoz, G. (2012). *“Modelo de costos para la valorización de planes mineros”*. (tesis pre grado). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Pally, G. (2017). *“Determinación de la rentabilidad mediante la evaluación de costos unitarios e inversiones en la explotación aurífera de la empresa minera Cori Puno S.A.C.”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Tamayo, M. (2019). *“Investigación descriptiva”*, recuperado de: <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0088963/cap03.pdf>

Vargas, R. (2009). *“La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica”*. Vol. (33), p.161.

Yupanqui, C. (2014). *“Estudio de rentabilidad de un proyecto”*, recuperado de: <https://es.slideshare.net/FranklinRamos2/cmo-hacer-la-tesis-en-economayupanqui-marn>

ANEXOS

ANEXO 1. REPORTE DE ANALISIS QUIMICO DE EXPLORACIONES

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-02174

Fecha de emisión: 15/10/2018

Página 1 de 1

Señores: PEMEP S.A.C.
 Dirección: AV. ALFREDO BENAVIDES NRO. 5031 LIMA - LIMA - SANTIAGO DE SURCO
 Atención: PEMEP S.A.C.
 Recepción: 10/10/2018
 Realización: 10/10/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

- *514 Método de Ensayo para Azufre Total por Gravimetría
- *521 Método de Ensayo para Hierro por Digestión Específica - Volumetría
- *531 Método de Ensayo para Silice por Fusión Alcalina - Gravimetría
- *557 Método de Ensayo a fuego para Oro Newmont por Absorción Atómica
- *563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES
- *598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida
- 601 Método de Ensayo para Plata por Absorción Atómica - 2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 503 Método de Ensayo para Plomo por Absorción Atómica - 2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 504 Método de Ensayo para Zinc por Absorción Atómica - 2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 601 Método de Ensayo para Cobre por Volumetría -2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*514	*521	*531	*557				*563	*598		
				S Total %	Fe %	SiO2 %	Malla +200 %#	Malla -200 g/TM	Au		As ppm	Bi ppm		
MN18012301	MUESTRA ESTEBAN CHOQUE	No proporcionado por el cliente.	Mineral Gran	2,30	25,99	45,38	2,95	0,92	97,05	0,423	0,411	0,01277	158,21	56,4

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598	601	503	504	601	
				Sb ppm	Ag g/TM	Pb oz/TC	Zn %	Cu %	
MN18012301	MUESTRA ESTEBAN CHOQUE	No proporcionado por el cliente.	Mineral Gran	8,99	293	8,55	0,191	0,178	15,55



ANEXO 2. FOTOS DEL PROYECTO



Foto 1: Afloramiento veta de cuarzo con malaquita



Foto 2: Socavón presencia de malaquita, cuprita, azurita, crisocola, hematita, limonita, Qz.



Foto 3: Detalle del mineral extraído, mayormente malaquita



Foto 4: Trincheras de explotación sobre estructura