



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ESTIMACIÓN Y USO DE LA LEY DE CORTE
(CUT OFF) EN LA OPTIMIZACIÓN DE PITS PARA
MINERÍA A CIELO ABIERTO, 2019”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Elkind Carlinho Avila Cabrera

Asesor:

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A mis padres, que en todo momento me apoyaron incondicionalmente, por ayudarme a lograr mis metas y por brindarme esta fuerza de superación.

AGRADECIMIENTO

En esta oportunidad agradezco en primer lugar a Dios
por permitirme desarrollar esta Investigación.

A la Universidad Privada del Norte y sus docentes por todos los conocimientos
brindados y el apoyo brindado durante mi formación profesional.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
Tabla de contenido	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	12
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	13
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos Técnicas	17
Materiales y equipos	18
Parámetros económicos	19
Aspectos éticos	21
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
Tabla 2:	23
Tabla 3.	24
Tabla 4.	25
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
4.2 Conclusiones	33
RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de Información	14
Tabla 2. Cut Off óptimo, producción de varias unidades, ganancias y VAN en los diferentes años de la vida útil de la mina utilizando el método de Lane	22
Tabla 3. Cambios en el Cut Off óptimo	23
Tabla 4. La política de ley de corte óptima y las tasas de producción, flujos de efectivo y VAN correspondientes para una curva de tonelaje-grado.	24
Tabla 5. Plan de producción de la mina con la LCC utilizando el enfoque propuesto por Lane	27

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Cambios en el valor presente neto	22
FIGURA 2. Cambios en el Cut Off óptimo	23
FIGURA 3. Producción de cobre mínima, máxima y promedio en la política de grado de corte óptimo.	25
FIGURA 4. Curva de tonelaje - Cut Off	26
FIGURA 5. Curva típica de Cut Off - beneficio.	26

RESUMEN

La ley de corte se utiliza para discriminar el mineral de los desechos. El objetivo del presente trabajo es estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinua de Minera Yanacocha para Optimizar los Pits. El tipo de investigación es Teórica – Descriptiva, a la vez de exploratoria. La población lo constituyen 8 polígonos de explotación del Tajo La Quinua y la muestra 2 polígonos. La fundamentación metodológica consta de 4 etapas: revisión sistemática de la literatura científica, estudio de campo, trabajo en Gabinete y elaboración del Informe. Los resultados indican que el cut off con el NPV y beneficio presentan una relación directamente proporcional, en este sentido, la ley de corte óptimo comienza en 48.72% y alcanza el 40.3% al final de la vida del proyecto, la ganancia se encuentra en una ley de corte de 5.3 g / t. El beneficio total es de \$ 7150 y la ley de mina promedio es de 8.2 g / t. Se concluye que La estimación de la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinua sí será posible, la cual está en función a parámetros operativos propios de la explotación mineral.

PALABRAS CLAVES: Ley de corte, optimizar, pits, explotación minera

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La ley de corte de las minas, debido a las interconexiones con los parámetros técnicos y económicos, es uno de los parámetros más importantes para el diseño de minas a cielo abierto. Al respecto (Ahmadi, 2018) expresa que teniendo en cuenta el papel fundamental de la ley de corte de la planta en la operación económica de una mina, la selección óptima de este grado es de gran importancia (pp. 2)

La presente investigación se justifica debido a que la optimización de las explotaciones mineras a cielo abierto es en la actualidad, una herramienta que le permite a las diferentes empresas explotadoras de los recursos minerales aumentar la vida de sus diferentes proyectos mineros, explotar recursos minerales de menor tenor, incrementar las reservas probadas del mineral de interés, obtener utilidades mayores, entre otros. En los cuales un parámetro que juega un rol importante es la ley de corte (Cut Off) así lo sustenta Ahmadi y Bazzazi el grado de corte se utiliza como criterio para identificar el desperdicio de minerales en una reserva minera, además; es uno de los parámetros más sensibles que puede tener un impacto significativo en el valor presente neto (VAN) y el flujo de efectivo de los proyectos (2019). Dado que el grado de corte tiene un impacto significativo en la operación, la elección del nivel correcto de este grado es de considerable importancia. La elección del grado de corte óptimo maximiza el VAN y el beneficio total de la operación minera y el proyecto (pp.3)

Para Asad y Dimitrakopoulos la ley de corte especifica el suministro disponible de mineral metálico desde una mina a cielo abierto hasta los múltiples flujos de procesamiento de un complejo minero. Una estrategia óptima de ley de corte maximiza el valor presente

neto (VAN) sujeta a las restricciones de capacidad de extracción, procesamiento y comercialización (2013, pp.4)

La optimización de las leyes de corte con el objetivo de maximizar el valor presente neto a lo largo de la vida útil de la mina es importante debido a su dependencia de los parámetros económicos, el diseño de la minería a cielo abierto y las cuestiones fundamentales (Ahmadi, 2017, pp.2)

La ley de corte se utiliza para discriminar el mineral de los desechos, lo que indica una de las decisiones más cruciales que deben enfrentar los ingenieros de minas. De acuerdo a esto se define si la extracción del material es rentable o no, de acuerdo a Mohammadi, Kakaie, Ataei y Pourzamani (2017) mencionan que si el grado mineral es igual o superior al grado de corte, el material se clasifica como mineral y si el grado del mineral es menor que el grado de corte, el material se clasifica como residuo (pp.3)

Asimismo, dependiendo del método de extracción, los desechos se dejan in situ o se envían a los vertederos, mientras que el mineral se envía a la planta de tratamiento para su posterior procesamiento y eventual venta. Las compañías mineras calculan una ley de corte para determinar qué porción del depósito mineral se puede extraer económicamente (Birch, 2018, pp.9) la ley de corte también se utiliza para decidir si el material debe almacenarse para su procesamiento futuro o procesarse de inmediato (Rendu, 2009, pp.12)

Lane, en su libro *The Economic Definition of Ore*, describe los principios económicos de cómo se derivan las leyes de corte y cómo se pueden optimizar las leyes de corte en varias etapas de la vida de una mina (Lane, 1988). El algoritmo considera tres restricciones principales, que son la extracción, la concentración y el refinado. Los factores económicos (precio de venta y costos unitarios) y los factores técnicos (la distribución del

grado y las diversas capacidades de la mina) se incluyen en el algoritmo con el objetivo de maximizar la ganancia (pp.38)

En las actuales explotaciones de recursos minerales el diseño y planeamiento minero se lleva a cabo utilizando técnicas determinísticas que conllevan a procesos mineros en los cuales se dejan de explotar o producir una cantidad considerable de recursos minerales, que traen como consecuencia niveles de producción inadecuados, en tal sentido Franco, Branch, y Jaramillo (2012) manifiestan que un adecuado diseño y planeamiento minero utilizando herramientas de optimización estocástica logrará en el corto, y largo plazo incrementar la productividad y competitividad de dichas explotaciones, que redundará en una explotación sostenible (en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales) y en la generación de nuevos empleos en las regiones donde se lleven a cabo estos procesos productivos (pp.42)

Los procesos productivos del sector minero presentan día a día retos en cuanto a la optimización de ellos se refiere, es por esto por lo que ha sido necesaria la búsqueda de software que permitan lograr objetivos operativos y financieros mediante el aumento del valor presente neto y la disminución de riesgos (Oliveros, Hijuelos y Trespalacio, 2017, pp.15)

En el mundo hay software de planeamiento minero importantes por sus especificaciones, pero en la secuencia de sus procesos es diferente, pero la claridad y el fin de cada programa es la estrategia económicamente rentable y útil de la extracción del recurso por medio de los parámetros contenidos desde la etapa de exploración hasta su puesta en marcha. Para Franco y Gallo (2011) el uso de software permite al usuario tener el control de las operaciones realizadas sobre el yacimiento, proporcionando un nivel de confiabilidad por la proyección final de pit para su análisis económico y por medio de una secuencia de

procesos, facilitar la guía del diseño para que sea consistente con el modelo hipotético arrojado (pp.17).

Franco y Velilla (2014) en su artículo “Planeamiento Minero como Función de la Variación de la Ley de Corte Crítica Mine Planning as a Function of Variation Cutoff Grade” tuvo como objetivo determinar la LCC (Ley de Corte Crítica) óptima de un depósito mineral hipotético con la que se pretende maximizar el valor presente neto (VPN) de la operación, determinando como influye el cambio de ésta en el planeamiento de la mina. El trabajo se desarrolla haciendo uso del algoritmo propuesto por Lane (1964) como fundamento metodológico. Además, se hace una revisión bibliográfica de trabajos relacionados con el tema, que sirvieron como guía para la elaboración de este documento. Con base a la distribución tenor-tonelaje de un depósito mineral hipotético se obtiene el plan de explotación de la mina con la LCC obtenida implementando una variación del algoritmo original. Los resultados obtenidos fueron que la LCC óptima para la vida de la mina es de 0.101 (Oz/t). Un VPN de doscientos ochenta y nueve millones ochocientos ochenta y ocho mil ochenta y nueve dólares (US\$ 289,888,089) es arrojado en un tiempo de vida de la mina de 10 años, sobrepasando en treinta y siete millones trescientos ochenta y siete mil novecientos trece dólares (US\$ 37,387,913) el valor alcanzado con la LCC tradicional. Concluyendo que, la maximización del VPN de una operación minera es dependiente de la optimización de la LCC, y de la política o estrategia con la que se calcule esta ley.

En minera Yanacocha se está teniendo una baja de las leyes minerales por ende se encuentra realizando labores de exploración debido a que se está teniendo una baja en la producción, paralelo a ello se tiene un Cut Off elevado en cada una de las operaciones, en este sentido surge el presente tema para optimizar los pits en función a ley de corte, con el fin de aumentar los niveles de producción.

1.2. Formulación del problema

¿Se logrará optimizar los Pits al estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinua de Minera Yanacocha, 2019?,

1.3. Objetivos

I.3.1. Objetivo general

Estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinua de Minera Yanacocha para Optimizar los Pits.

I.3.2. Objetivos específicos

Determinar la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinua de Minera Yanacocha.

Optimizar los Pits para la extracción de material en el Tajo La Quinua de Minera Yanacocha

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Investigación Teórica - Descriptiva: En esta investigación se ven y se analizan las características y propiedades para que con un poco de criterio se las pueda clasificar, agrupar o sintetizar, para luego poder profundizar más en el tema. En la investigación descriptiva se trabaja sobre la realidad de los hechos y su correcta interpretación (Sanca, 2011). En tal sentido en la presente investigación se tomará como base la información proporcionada por las diferentes fuentes de información, respecto a ley de corte y optimización de Pits.

Exploratoria: Se realiza con el propósito de resaltar uno o más puntos de un problema determinado además de encontrar la mejor manera de cómo enfocarlo (Sanca, 2011). Se enfoca principalmente en estimar el Cut Off, analizar su posterior para la optimización de Pits.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

8 polígonos de explotación del Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha.

Muestra

2 polígonos de explotación de la Zona Noreste del Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha

Fundamentación metodológica

Primera etapa: revisión sistemática de la literatura científica

Consistió en buscar diferentes fuentes informativas en diferentes páginas online, bibliotecas virtuales de diversas Universidades nacionales

(UNI, UNMS, UNSA, UPN, UNC, etc.) e internacionales (International University of Imam Khomeini Qazvin, University of the Witwatersrand, CurtinUniversity, etc) y bases de datos: Ebsco, Redalyc, Scielo, Cybertesis, Alicia.net, Google Académico, Science Direct.

De las bases de información se han realizado búsquedas por palabras claves, a) Ley de Corte recopilándose un 25 fuentes y b) Optimización de Pits, 18. Con esta base (Tabla 1) se realizado un proceso de selección tomándose 13 y 8 por palabra clave; los cuales guardan información a fin con el problema de investigación ¿Se logrará optimizar los Pits al estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinoa de Minera Yanacocha, 2019?

El criterio de inclusión ha sido por los objetivos están enfocados a la optimización de Pits, su enfoque de la realidad es bien conciso, los resultados son claros y explícitos; además de presentar una metodología bien estructurada.

La exclusión se ha hecho porque las fuentes no presentan resultados que apuntan con lo que se quiere lograr en el presente trabajo, por su cronología, pero en algunos no está completo el informe, en estos casos solo se presenta un índice o un abstrac más no la estructura completa, lo cual dificulta poder captar información relevante. o todas las que se utilicen.

Tabla 1.

Fuentes de Información

TÍTULO	AUTOR (ES)	AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN
--------	------------	-----	-----------------------

Cutoff grade optimization in open pit mines using genetic algorithm	Mohammad Reza Ahmadi	2017	Artículo científico
Optimization Based on maximizing net present value using a computer model	Mohammad Reza Ahmadi	2018	Artículo científico
Cutoff grades optimization in open pit mines using meta-heuristic algorithms	Mohammad Reza Ahmadi y Abbas Aghajani Bazzazi	2019	Artículo científico
A heuristic approach to stochastic cutoff grade optimization for open pit mining complexes with multiple processing streams	Mohammad Waqar Ali Asad y Roussos Dimitrakopoulos	2013	Revista científica
Review of cut-off grade optimisation from Southern African mines. Student assignment based observations	Clinton Birch	2017	Artículo científico

Mine Planning as a Function of Variation Cutoff Grade	Giovanni Franco Sepúlveda Y Danilo Arturo Velilla Avilez	2014	Artículo científico
The Economic Definition of Or	Lane, K.	1988	Book
Determination of the optimum cut-off grades and production scheduling in multi-product open pit mines using imperialist competitive algorithm (ICA)	Sadjad Mohammadia, Reza Kakaie, Mohammad Ataei y Eshagh Pourzamanib	2017	Paper
Implementation of Software SimSched Direct Block Scheduler for a polymetallic deposit modifying geometric variables	David Oliveros Sepúlveda, Eliana Hijuelos Franco y Jenis Margoth Trespalacio Torresa	2017	Artículo científico
Cut-off grade estimation- old principles revisited- application to optimisation of net present value and internal rate of return	Rendu, J.	2009	Artículo científico

Segunda etapa: estudio de campo

Seguidamente se hará un **estudio de campo**, para observar y tomar datos de los parámetros utilizados durante la extracción de mineral: tipo de malla de perforación, cantidad de polígonos, longitud de taladros, Burden, espaciamiento, secuenciamiento de perforación, cantidad de explosivo, tipo de explosivo, cantidad de material volado, cantidad de mineral volado, cantidad de desmonte volado, costos operativos, costos unitarios de cada etapa de la minería, toma de muestras, ley de mineral, ley de cabeza.

Tercera etapa: Trabajo en Gabinete

En gabinete se procesarán los datos obtenidos, se hará el análisis, simulaciones e interpretación de resultados; se harán pruebas en laboratorio para corroborar la ley de mineral.

Cuarta etapa: elaborar Informe

Finalmente se procederá a elaborar el informe de investigación, con el formato de la Universidad Privada del Norte.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

Búsqueda de información (Instrumento: Fichas de laboratorio).

Revisión de documentos de la compañía minera Yanacocha
(Instrumento: Fichas de laboratorio).

Observación directa: visitas a campo para constatar los parámetros operativos en las áreas de perforación,

voladura, carguío y acarreo (Instrumento: Fichas de campo, Hojas de cálculo).

Observación indirecta: filtración de la información de operaciones anteriores, para poder establecer criterio de diseño con el fin de maximizar la extracción en los pits.

(Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Simulaciones en Gabinete (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Modelación y cubicación del modelo de bloques (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Análisis de los resultados (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Interpretación de los resultados (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Establecer estrategias que maximicen los Pits (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Establecer parámetros para minimizar la ley de corte (Instrumento: Fichas de laboratorio, Hojas de cálculo).

Materiales y equipos

Herramientas técnicas como,

JK Simblast,

Excel,

AutoCad

Sistemas de información Geográfica Mapas geológicos

GPS

Parámetros económicos

Costo de mina para mena

Costo de refinado de mineral

Recuperación del mineral

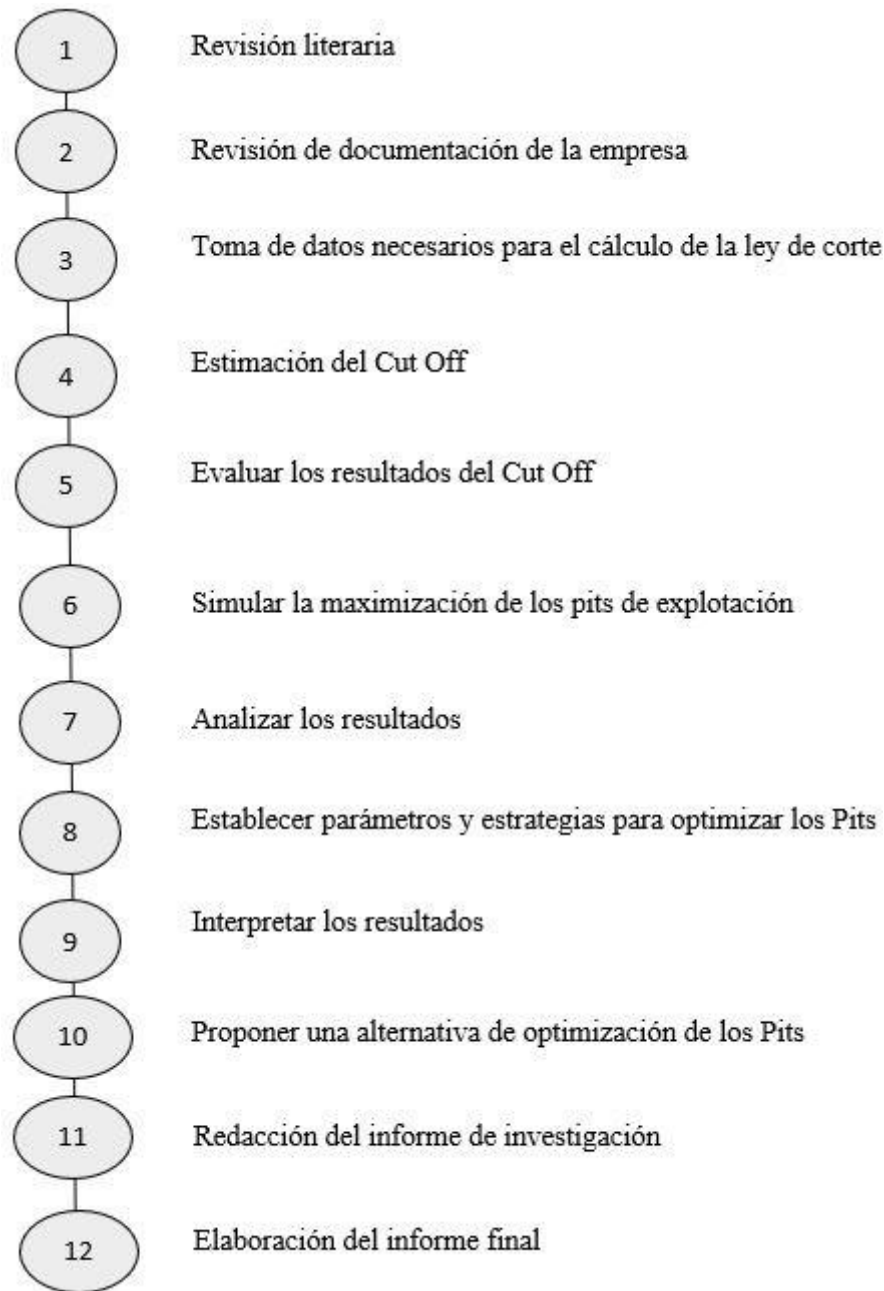
Precio de venta del metal

VAN

TIR

Tasa de descuento

2.4. Procedimiento



Matriz de Consistencia

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES $y = f(x)$	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE (y)	

Estimación y Uso de la Ley de Corte (Cut Off) en la Optimización de Pits del Tajo La Quinoa, Minera Yanacocha, 2019	¿Se logrará optimizar los Pits al estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinoa de Minera Yanacocha, 2019?	Estimar y usar la Ley de Corte, en el Tajo la Quinoa de Minera Yanacocha para Optimizar los Pits.	Luego de estimar la Ley de Corte, su utilidad sí permitirá la optimización de los Pits para la explotación de material de interés en el tajo La Quinoa de Minera Yanacocha	Optimización de Pits	Teórica Descriptiva Se tomará como base la información proporcionada por las diferentes fuentes de información, respecto a ley de corte y optimización de Pits. Exploratoria: Se enfoca principalmente en estimar el Cut Off, analizar su posterior para la optimización de Pits. POBLACIÓN Quince polígonos de explotación del Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha. MUESTRA Cuatro polígonos de explotación del Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha
PROBLEMAS ESPECÍFICOS		OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE (x)	
¿Será posible estimar la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinoa de Minera Yanacocha?		Determinar la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinoa de Minera Yanacocha	La estimación de la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinoa de Minera Yanacocha sí será posible, la cual está en función a parámetros operativos que hacen posible la explotación mineral.	Ley de Corte (Cut Off)	
¿Se logrará optimizar los Pits para la extracción de material en el Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha, usando el Cut Off?		Optimizar los Pits para la extracción de material en el Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha	Con el uso de la ley mínima de mineral sí se logrará optimizar los Pits para la extracción de material en el Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha,		

Aspectos éticos

El presente trabajo se realizará de acuerdo a los estándares y formato que maneja la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador:

- Realizará una investigación cuya finalidad será dar un alcance para tener mayor conocimiento sobre estimación y uso de ley de corte en la optimización de pits.
- Estará sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor.
- Revelará las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo, brindará información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se han elegido los resultados más afines a los objetivos e hipótesis planteadas para el proceso de inclusión de ha tomado como referencia 12 fuentes de información, de los cuales se han excluido 7, por razones de no tener el procesamiento completo o por derechos de autor que no han permitido acceder a los resultados totales, los 5 resultados se muestran en las tablas y gráficos siguientes.

Tabla 2:

Cut Off óptimo, producción de varias unidades, ganancias y VAN en los diferentes años de la vida útil de la mina utilizando el método de Lane

Año	Cut Off óptimo (%)	Mineral minado (ton)	Mineral enviado a procesamiento (ton)	Tasa de refinamiento (ton)	Beneficio (\$)	NPV (\$)
1	47.72	39,997,215	12,000,000	42004,200,000,000	25,596,000	92,660,000
2	47.14	39,970,427	12,000,000	42004,200,000,000	23,239,000	74,135,000
3	46.23	39,991,378	12,000,000	42004,200,000,000	17,836,000	53,840,000
4	45.28	39,987,153	12,000,000	42004,200,000,000	14,855,000	34,705,000
5	40.3	27,794,257	11,426,729	37533,753,126,126	2,475,000	569,000

Fuente: Ahmadi, Bazzazi (2019), pp.10

En la Tabla.1 el Cut Off óptimo de la mina de hierro de Golgohar se calculó utilizando un método basado en la teoría de Lane.

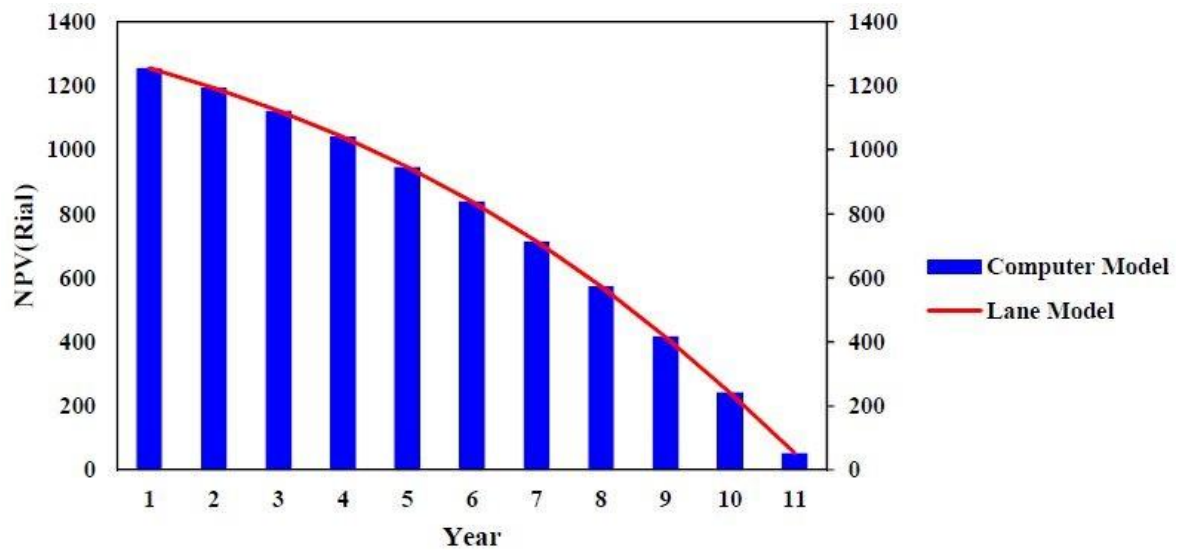


FIGURA 1. Cambios en el valor presente neto Fuente: Ahmadi (2017), pp.32

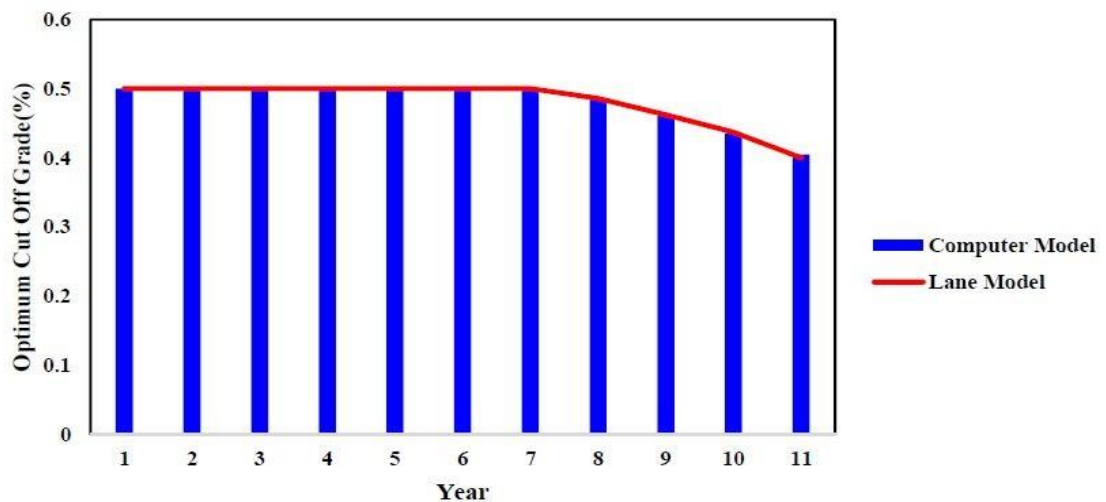


FIGURA 2. Cambios en el Cut Off óptimo Fuente: Ahmadi (2017), pp.33

En la FIGURA.2 se presenta la ley de corte óptima se obtuvo utilizando un modelo de computadora, lo que significa que el grado de corte óptimo durante la vida del proyecto es del 0,5% y al final de su vida alcanza el 0,405% (pp. 18).

Tabla 3.

Cambios en el Cut Off óptimo

Año	Cut Off óptimo (%)	Mineral minado (ton)	Mineral (ton)	Tasa de filtración (ton)	Beneficio (\$)	NPV (\$)
1	0.506	17,834,634	9,932,519	89,411	25,828,672	93,467,914
2	0.493	17,551,431	9,987,398	89,292	25,877,846	82,823,407
3	0.455	16,786,703	9,926,552	87,427	25,364,217	70,366,059
4	0.411	15,870,685	10,000,000	84,820	24,474,568	56,030,989
5	0.357	14,695,600	10,000,000	81,777	23,540,700	41,056,582
6	0.296	13,729,677	10,000,000	77,595	21,932,662	23,437,702
7	0.222	3,300,000	2,600,000	18,030	1,805,000	1,671,437

Fuente: Ahmadi (2017), pp.7

Como se puede ver en la Tabla 3, los resultados del algoritmo genético tienen un buen acuerdo con los resultados del método Lane (Tabla 2) (pp. 6)

Tabla 4.

La política de ley de corte óptima y las tasas de producción, flujos de efectivo y VAN correspondientes para una curva de tonelaje-grado.

Año	Qm (MT)	Molino de flotación A		Molino de flotación B		Planta de biolixiviación		Planta de lixiviación ácida		Qr (MT)	φ (\$M)	NPV (\$M)
		CoG (%)	Qc (MT)	CoG (%)	Qc (MT)	CoG (%)	Qc (MT)	CoG (%)	Qc (MT)			
1	157.41	0.48	22.19	0.48	8.46	1.43	11.10	0.40	44.39	0.36	772.55	3588.74
2	153.92	0.45	23.31	0.44	6.89	1.28	11.66	0.37	46.62	0.34	704.80	3041.48
3	151.00	0.42	24.47	0.41	5.46	1.12	12.23	0.35	48.94	0.33	643.42	2523.61
4	140.44	0.38	25.67	0.38	4.18	0.96	12.84	0.32	46.21	0.30	553.09	2030.61
5	112.49	0.34	26.87	0.34	3.11	0.80	13.44	0.30	31.12	0.24	413.11	1595.71
6	093.99	0.31	27.97	0.31	2.33	0.65	13.99	0.27	20.54	0.19	316.17	1277.21
7	081.56	0.28	28.96	0.28	1.73	0.51	14.48	0.25	13.07	0.16	246.67	1037.93
8	075.23	0.27	29.45	0.26	1.34	0.44	14.72	0.24	09.12	0.15	202.90	0854.56
9	070.97	0.26	29.76	0.25	1.02	0.40	14.88	0.23	06.42	0.13	174.20	0703.79

10	067.07	0.25	29.38	0.25	0.75	0.37	14.98	0.23	04.44	0.12	155.87	0571.97
11	049.86	0.25	18.50	0.25	0.50	0.36	15.02	0.23	02.92	0.09	133.45	0449.38
12	038.41	0.25	11.29	0.24	0.33	0.35	15.06	0.23	01.85	0.07	120.82	0341.21
13	030.29	0.24	06.20	0.24	0.19	0.34	15.10	0.23	01.06	0.06	112.73	0238.02
14	021.04	0.22	00.21	0.22	0.08	0.23	15.52	0.21	00.30	0.04	091.38	0135.31
15	004.90	0.20	03.79	0.20	0.01	0.14	00.31	0.19	00.03	0.02	047.45	0047.45

MT = Millones de Toneladas; CoG = ley de corte; \$ M = Millones de dólares.

Fuente: Mohammad y Roussos (2015). pp. 5

Ejemplo, formato de tabla (estilo APA):

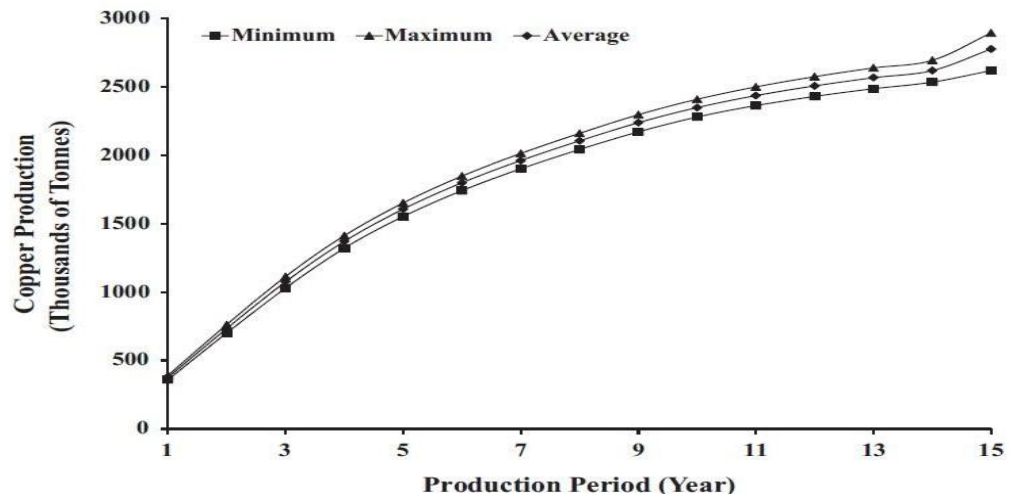


FIGURA 3. Producción de cobre mínima, máxima y promedio en la política de grado de corte óptimo.

Fuente: Mohammad y Roussos (2015). pp. 6

Como se muestra en la Tabla 3, las reservas disponibles (1,248,577,642 toneladas) y la curva de tonelaje-pendiente igualmente probable expresan que se agotan en quince (15) años. Basado en el modelo estocástico heurístico propuesto, la política de corte óptimo promete un VAN de \$ 3 588.74 millones. de efectivo y VAN, debido a la variación en las tasas de mina, proceso y mercado / refinería (pp. 7).

La FIGURA.3 presenta un perfil de riesgo en términos de cantidad acumulada mínima, máxima y promedio de metal en el concentrado que se comercializará / refinará durante la vida útil de la operación.

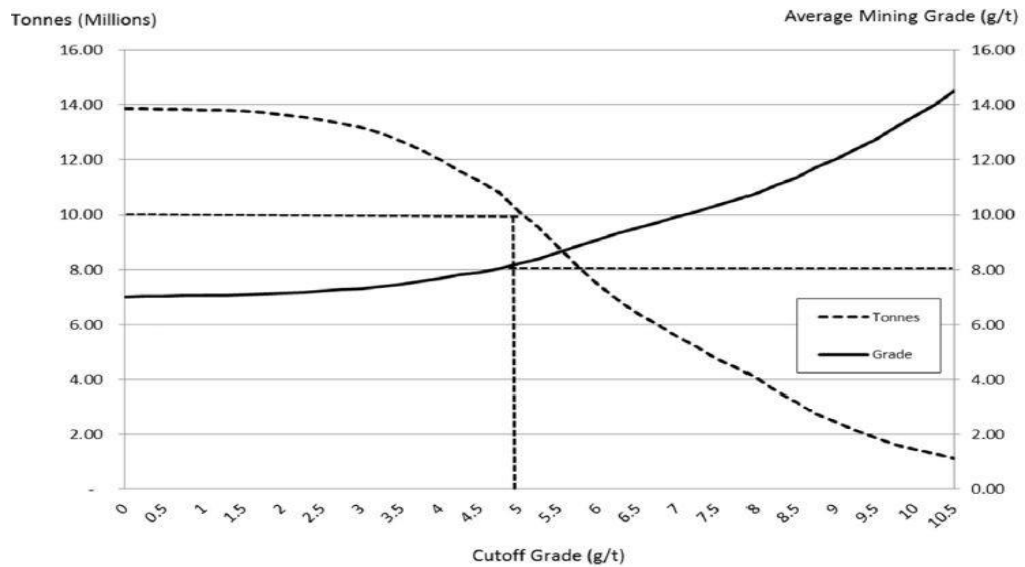


FIGURA 4. Curva de tonelaje - Cut Off

Fuente: Birch (2017), pp.3

La FIGURA 4 muestra la relación entre el tonelaje de los bloques de recursos minerales, la ley de corte y la ley promedio de los bloques por encima de la ley de corte.

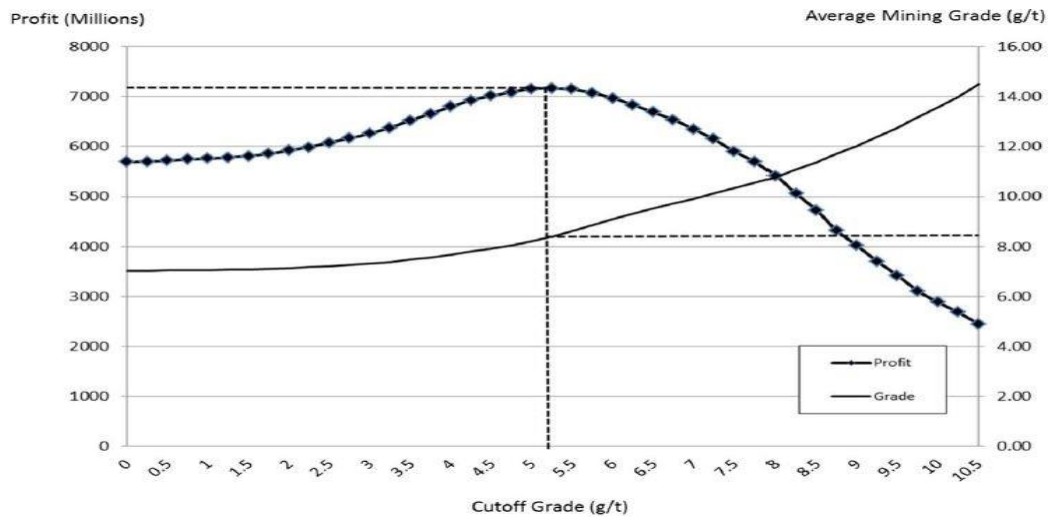


FIGURA 5. Curva típica de Cut Off - beneficio.

Fuente: Birch (2017), pp.4

Tabla 5.

Plan de producción de la mina con la LCC utilizando el enfoque propuesto por Lane

Año	Material minado (Mt)	Producto refinado (kt)	Utilidad (MUS\$)	VPN (MUS\$)	Ley media (Oz/t)
1	14,1	197,6	72,5	289,9	0.208
2	14,1	195,7	70,8	226,9	0.206
3	14,1	193,2	68,6	173,4	0.203
4	14,1	190,0	65,7	128,3	0.200
5	14,1	185,6	61,8	90,8	0.195
6	14,1	179,2	56,0	60,0	0.189
7	14,1	169,0	46,9	35,9	0.178
8	14,1	150,4	30,2	18,2	0.158
9	12,7	134,0	21,0	116,6	0.141
10	07,3	78,4	9,2	63,1	0.125
Total	133,3	1,673	502,4	289,9	

Fuente: Franco y Velilla (2014), pp. 4

La Tabla 4 proporciona el planeamiento de la mina como resultado de la implementación del enfoque propuesto por Lane en su algoritmo. La LCC óptima para la vida de la mina es de 0.101 (Oz/t). Un VPN de doscientos ochenta y nueve millones ochocientos ochenta y ocho mil ochenta y nueve dólares (US\$ 289,888,089) es arrojado en un tiempo de vida de la mina de 10 años, sobrepasando en treinta y siete millones trescientos ochenta y siete mil novecientos trece dólares (US\$ 37,387,913) el valor alcanzado con la LCC tradicional, en este resultado se está dando con la pregunta de investigación, puesto que la ley de corte (LCC) permite maximizar el VAN.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la tabla 1 se presenta la ley de corte (Cut Off), cantidad de mineral y Valor Presente Neto (NPV) como parámetros principales en un periodo de 5 años, en el primer año la ley de corte es de 47.72 %, mineral de 39 997 215 ton, un beneficio de 25 596 000 con un NPV de 92 660 000 dólares, llegando al quinto año con una ley de corte de 40.3 %, cantidad de mineral de 27 794 257 toneladas. Con el cual se obtiene un beneficio de 2 475 000 y un valor presente neto de 569 000 \$. Con los datos presentados se muestra que el cut off con el NPV y beneficio presentan una relación directamente proporcional muy independiente de la producción o mineral minado. El autor Ahmadi, Bazzazi (2019) expresa que en el método propuesto, la ley de corte óptimo comienza en 48.72% y alcanza el 40.3% al final de la vida del proyecto. Asimismo, el VAN obtenido del método propuesto es igual a 92,660 mil dólares, para tal se ha usado el método de Lane.

En la figura 1 se observa el decrecimiento del Valor presente Neto, desde 1 200 riales hasta 20 riales, cuyo valor máximo está en el primer año y e mínimo en el año 11. En la figura 2 se presenta que el valor de la ley de corte óptimo, el cual se calculó utilizando el método Lane, lo que significa que el grado de corte óptimo al comienzo de la vida del proyecto es del 0,5% y al final de su vida alcanza el 0,4%, por tanto, se dice que hay un descenso en la ley de corte. Esto garantiza y proporciona una mejor producción mineral, por el hecho de que la ley mineral es mucho mayor que el Cut Off.

La tabla 3 presenta el cut off durante un periodo de 7 años cuyo valor de inicio es de 0.506% y final de 0.222, con una cantidad de mineral de 17 834 634 toneladas hasta 3 300 000 alcanzadas en el año. Asimismo, el beneficio en el primer año es de 25 828 672 dólares, y en séptimo año de 1 805 000, el Valor presente neto indica un valor de 63 467 914 dólares en el año 1 y 1 671 437 dólares en el año 7. Visto esto, se puede afirmar la relación directa entre cut off, mineral minado, beneficio y valor presente neto. Como se indica en la Tabla 3, la calificación de corte óptima al inicio del proyecto es igual a 0.506% y al final del proyecto es igual a 0.222%, y el valor presente neto es 93,467,914 \$.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la ley de corte y Valor actual neto (VAN) para una vida útil de 15 años, en el primer año la ley de corte del molino de flotación A es de 0.48%, en molino B de 0.48%, en la planta de biolixiviación de 1.43%, en la planta de lixiviación ácida el cut off es de 0.40 y en el año 15 ley de corte del molino de flotación A es de 0.48%, en molino B de 0.2, 0.2%, en la planta de biolixiviación de 0.14%, en la planta de lixiviación ácida el cut off es de 0.19%. se puede ver los valore son mayores en el primer año, en todos los parámetros y los valores más bajos están en el año 15.

En la figura 3, se aprecia la relación existente entre el periodo de tiempo y producción del cobre, esta relación directa donde indica que a menor tiempo menor es la producción, mientras que en el año 15 la producción del mineral cuprífero está cerca de los 3000 Mill de toneladas, Durante el año 1, la planta de lixiviación con ácido procesa el mineral entre 0.40% y 0.48%, los molinos de flotación procesan el mineral entre 0.48% y 1.43%, y los procesos con lecho de lixiviación llevan un contenido de metal de 1.43% o más. Esto dicta que el material a continuación. El

0.399% se trata como residuo y se transporta a los vertederos. Debido al mayor costo de oportunidad junto con la menor recuperación de metal (35%), la plataforma de lixiviación procesa el mineral de mayor grado durante quince (15) años de producción. Sin embargo, genera una cartera de posibles flujos de efectivo y VAN

La figura 4 se presenta la relación entre el tonelaje de bloques mineralizados con una ley de corte de 5 g / t. Las toneladas resultantes por encima de 5 g / t son 10.2 millones de toneladas y la ley mina promedio es de 8.1 g / t, con ello se ve la existencia de relación cut off.

La FIGURA 5 muestra la relación entre la ley de corte y la optimización para obtener el máximo beneficio. El pico de ganancia se encuentra en una ley de corte de 5.3 g / t. El beneficio total es de \$ 7150 y la ley de mina promedio es de 8.2 g / t.

La tabla 5, se muestra el modelo de Lane, para ejemplo se tomados las categorías como material de minado, producto refinado, unidad, VNP, donde se atisba con claridad y compañero, el material de millanod 14 se mantuvo llenen, de 10 puntos claves manteniendo una riesgo de mercado, ahora bien, el cut off en su mayoría es de 14.1% la variación de, por tanto no existe observaciones.

Concerniente a las *limitaciones* para el presente trabajo se ha tenido que por la accesibilidad a diferentes puntos de interés no se ha podido tomar muestras, por la demanda de tiempo que se requiere para sacar permisos de la compañía minera Yanacocha, además de que por disponibilidad de tiempo respecto al desarrollo del corto tiempo del curso no se pudo recorrer toda la zona de estudio. Por otro lado, el acceso a la información a nivel de empresa es restringido por ser datos confidenciales, a su vez esta restricción se ha visto también en algunos artículos

científicos en su contenido; otra de las limitaciones ha sido la falta de contenido de las fuentes de información.

4.2 Conclusiones

Luego de estimar la Ley de Corte en el Tajo la Quinoa de Minera Yanacocha, su uso resultó ser efectiva en la optimización de Pits, a la vez maximizar el beneficio, NPV, y el flujo de caja efectivo; tales parámetros aducen a la toma de decisiones para extracción de un determinado pit si resulta económicamente rentable o cuya extracción no trae beneficio alguno.

La estimación de la ley de Corte en la explotación del tajo La Quinoa de Minera Yanacocha sí será posible, la cual está en función a parámetros operativos que hacen posible la explotación mineral.

Con el uso de la ley mínima de mineral sí se logrará optimizar los Pits para la extracción de material en el Tajo La Quinoa de Minera Yanacocha.

RECOMENDACIONES

A las personas dedicadas al rubro minero, lean el presente trabajo para poder tomar como antecedente, profundicen el tema y contribuyan a mejorar los estudios enfocados a optimizar Pits usando diferentes parámetros y estrategias; al igual que se determine la ley de corte y su importancia en el proceso minero.

A los investigadores futuros que ahonden un poco más el tema, para que puedan tomar mejores decisiones, realizar ensayos tanto en cantidad y calidad de tal modo que se obtenga resultados más eficaces, para poder ejecutar de manera eficiente la extracción mineral.

A la Universidad Privada del Norte publique de manera virtual mediante su página web la presente investigación para que sea base de las investigaciones venideras, con el fin de contribuir al desarrollo minero, en especial a desarrollar una minería sostenible.

REFERENCIAS

Ahmadi, M. (2017). Cutoff grade optimization in open pit mines using genetic algorithm. *Resources Policy*, 184-191. Recuperado el 18 de enero de 2019, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142071730404X>

Ahmadi, M. R. (2018). Optimization Based on maximizing net present value using a computer model. *Journal of Sustainable Mining*, 68 - 75. Recuperado el 18 de enero de 2019, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2300396017301386>

Ahmadi, M., & Bazzazi, A. (2019). Cutoff grades optimization in open pit mines using meta-heuristic algorithms. *Resources Policy*, 72 - 82. Recuperado el 18 de enero de 2019, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420718302174>

Asad, M., & Dimitrakopoulos, R. (2013). A heuristic approach to stochastic cutoff grade optimization for open pit mining complexes with multiple processing streams. *Resources Policy*, 591 - 597. Recuperado el 18 de enero de 2019, de

<https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420713000792>

Birch, C. (2018). Review of cut-off grade optimisation from Southern African mines. Studentas signment based observations. *Resources Policy*, 134 - 140. Recuperado el 2018 de Enero de 2019, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142071730342>

Franco, G., & Gallo, A. (2011). BLOCKS MODEL FOR A DEPOSIT OF MASSIVE

SULPHURS USING THE MINESIGHT SOFTWARE. *Boletín de ciencias de la tierra*, 29-38. Recuperado el 18 de Eneenero 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n30/n30a02.pdf>

Franco, G., & Velilla, D. (2014). Planeamiento Minero como

Función de la Variación de la Ley de Corte Crítica Mine Planning as a
Function of Variation Cutoff Grade. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 25 - 30.

Recuperado el 18 de Enero de 2019, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n35/n35a03.pdf>

Franco, G., Branch, J. W., & Jaramillo, P. (2012). Planning of
Open Pit Mines Through Stochastic

Optimization. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 107-113.

Recuperado el 18 de Enero de 2019, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n31/n31a08.pdf>

Lane, K. (1988). *The Economic Definition of Ore*. London: Mining
Journal Books Limited.

Mohammadi, S., Kakaie, R., Ataei, M., & Pourzamani, E. (2017).
Determination of the optimum cut-off grades and production scheduling in
multi-product open pit mines using imperialist competitive algorithm
(ICA). *Resources Policy*, 39 - 48. Recuperado el 18 de Enero
de 2019, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420716303865>

Oliveros, D., Hijuelos, E., & Trespalacio, J. M. (2017).
Implementation of Software SimSched Direct Block Scheduler for a
polymetallic deposit modifying geometric variables. *Boletín de Ciencias
de la Tierra*, 53-58. Recuperado el 18 de Enero de 2019, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n43/0120-3630-bcdt-43-00053.pdf>

Rendu, J. (2009). Cut-off grade estimation-old principles revisited-
application to optimisation of net present value and internal rate of return.
Orebody Modelling, 493 - 499.