

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del
cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de
Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Yale II**

Omar Giovanni Revollar Caceres

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

A Dios por haber hecho todo posible, a mi familia por ser el pilar de mi vida, a Pronabec Beca 18 por confiar en mí y por hacer cumplir mi sueño hecho realidad, a mi asesor Javier Córdova por sus enseñanzas durante todo mi proceso de formación profesional y a mi amigo James Beltrán por su ayuda durante la ejecución del proyecto de investigación.

Al proyecto Toro Negro de Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Yale II, por las facilidades brindadas, para poder desarrollar el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mi papá Nemesio Revollar, a mi mamá Hermelinda Caceres, porque fueron y serán siempre los mejores forjadores de sueños, porque sus palabras fueron el pilar para cumplir este objetivo personal. A mis Hermanos Erik y Raúl y para toda mi familia, en especial a mi abuelita Elvira Peña por su cariño durante todos estos años y a mi abuelito Angelino Caceres que me acompaña día a día desde el cielo.

ÍNDICE

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación social - práctica	18
1.3.2. Justificación académica	18
1.3.3. Justificación económica	19
1.4. Hipótesis de la investigación	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Operacionalización de las variables	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema	21
2.2. Situación actual del proyecto	23
2.3. Generalidades del proyecto minero Toro Negro	24
2.3.1. Ubicación y accesibilidad	24
2.3.2. Historia	25

2.4. Geología -----	26
2.4.1. Geología regional -----	26
2.4.2. Geología local -----	27
2.4.3. Geología estructural -----	28
2.4.4. Tipo de depósito -----	30
2.5. Geoquímica -----	31
2.6. Geofísica -----	33
2.6.1. Topografía -----	33
2.6.2. Magnetometría -----	34
2.6.3. Polarización inducida – resistividad -----	39
2.6.4. Interpretación de mapas de niveles -----	40
2.6.5. Modelo de inversión -----	44
2.7. Bases teóricas -----	50
2.7.1. Ubicación -----	50
2.7.2. Forma -----	51
2.7.3. Tamaño -----	52
2.7.4. Topografía superficial -----	54
2.7.5. Profundidad del cuerpo mineral -----	55
2.7.6. Tipo de mineral -----	55
2.7.7. Distribución de la calidad de mineralización -----	57
2.7.8. Características del macizo rocoso -----	58
2.7.9. Selección del método de minado -----	58
2.7.10. Relación estéril/mineral -----	68
2.7.11. Parámetros operacionales -----	69
2.7.12. Dimensionamiento de flota de extracción -----	74
2.7.13. Evaluación económica -----	80
2.7.14. <i>Capex</i> y <i>opex</i> -----	84
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	86
3.1. Método y alcances de la investigación -----	86
3.1.1. Método de la investigación -----	86
3.1.2. Alcances de la investigación -----	87
3.1.3. Diseño de la investigación -----	87

3.1.4. Tipo de diseño de investigación-----	87
3.1.5. Población y muestra-----	88
3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	88
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	90
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información -----	90
4.1.1. Resultados de las condiciones del yacimiento -----	90
4.1.2. Análisis del plan de minado -----	99
4.1.3. Análisis del Capex -----	100
4.1.4. Análisis del Opex-----	101
4.1.5. Análisis financiero-----	102
4.1.6. Diseño operacional del proyecto-----	103
CONCLUSIONES-----	111
RECOMENDACIONES-----	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	114
ANEXOS -----	115

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Operacionalización de variables.....	20
Tabla N° 2. Ruta geográfica.....	24
Tabla N° 3. Análisis geoquímico.....	32
Tabla N° 4. Plantilla de selección del método de minado según Nicholas.....	59
Tabla N° 5. Ranking de puntuación para cada método de explotación.....	60
Tabla N° 6. Los métodos de minado más recomendados.....	62
Tabla N° 7. Reporte de recursos totales zona Petra – Toro Negro.....	62
Tabla N° 8. Reservas a minar.....	64
Tabla N° 9. Dimensionamiento.....	64
Tabla N° 10. Variables geomecánicas de la zona Petra.....	64
Tabla N° 11. Métodos de minado recomendado para la zona Petra.....	65
Tabla N° 12. Parámetros de minado.....	65
Tabla N° 13. Costos por proyecto.....	65
Tabla N° 14. Costos por proyecto.....	66
Tabla N° 15. Resumen de Cut Off para el método de minado.....	66
Tabla N° 16. Análisis económico del método de minado.....	66
Tabla N° 17. Resumen de Cut Off para el método de minado.....	67
Tabla N° 18. Cut Off y NSR.....	68
Tabla N° 19. Relación estéril mineral a una profundidad de Pit final.....	68
Tabla N° 20. Parámetros de diseño.....	70
Tabla N° 21. Resumen de dimensionamiento de flota Toro Negro sector Petra...78	
Tabla N° 22. Determinación de costo horario de equipos de Toro Negro sector Petra.....	79
Tabla N° 23. Plan de producción mina Toro Negro sector Petra.....	80
Tabla N° 24. Plan de producción planta Toro Negro sector Petra.....	81
Tabla N° 25. Flujo de caja con NSR.....	82
Tabla N° 26. Capex global del proyecto Toro Negro para zona Petra.....	84
Tabla N° 27. Opex global del proyecto Toro Negro para zona Petra.....	85
Tabla N° 28. Propiedades físicas y mecánicas del área del estudio.....	94
Tabla N° 29. Calidad del macizo rocoso del área de estudio.....	94
Tabla N° 30. Balance metalúrgico.....	95

Tabla N° 31. Plantilla de selección del método de minado según Nicholas.....	96
Tabla N° 32. Análisis económico del método de minado.....	97
Tabla N° 33. Resumen de dimensionamiento de flota para el proyecto Toro Negro sector Petra.....	98
Tabla N° 34. Resumen de costo horario de flota de equipos para el proyecto Toro Negro sector Petra.....	99
Tabla N° 35. Plan de minado.....	100
Tabla N° 36. Capex global del proyecto Toro Negro para zona Petra.....	101
Tabla N° 37. Opex global del proyecto Toro Negro para zona Petra.....	102
Tabla N° 38. Resumen del flujo de caja.....	102
Tabla N° 39. Parámetros de diseño operacional.....	103
Tabla N° 40. Evaluación económica del método de minado tajo abierto vs subterráneo.....	105
Tabla N° 41. Valor presente del método de minado tajo abierto vs subterráneo.	106
Tabla N° 42. Resumen de la evaluación económica a una tasa de descuento de 12%.....	108
Tabla N° 43. Resumen del análisis de sensibilidad del proyecto.....	109
Tabla N° 44. Matriz de consistencia del diseño conceptual de la explotación de Petra de S.M.R.L. Yale II.....	117
Tabla N° 45. Matriz de operacionalización de las variables.....	118
Tabla N° 46. Propiedades físicas y mecánicas del área de estudio.....	125
Tabla N° 47. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del área de estudio.....	131
Tabla N° 48: Mapeo geomecánico aplicando el tabla de clasificación de Bieniawski del grupo estructura (mineral).....	129
Tabla N° 49: Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) del grupo estructura (mineral)	130
Tabla N° 50. Mapeo geomecánico aplicando el tabla de clasificación de Bieniawski de la estación Este.....	131
Tabla N° 51. Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) de la estación Este...	132
Tabla N° 52: Mapeo geomecánico aplicando la tabla de clasificación de Bieniawski de la estación Oeste.....	133

Tabla N° 53. Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) de la estación Oeste.....	134
Tabla N° 54. Dimensionamiento de flota de equipos de perforación, carguío y acarreo.....	136
Tabla N° 55. Evaluación económica del método de minado tajo abierto vs subterráneo a una tasa de descuento de 10%.....	137
Tabla N° 56. Valor presente del método de minado tajo abierto vs subterráneo.	138
Tabla N° 57. Resumen de la evaluación económica a una tasa de descuento de 10%.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del proyecto.....	25
Figura N° 2: Geología local del proyecto.....	27
Figura N° 3: Estructuras regionales, asociados al proyecto Toro Negro, mostrando rumbos definidos NS a NW.....	28
Figura N° 4: Control estructural primarios y secundarios.....	29
Figura N° 5: Presencia importante de Cu, asociados a los lineamientos (rojo) y los bordes de las anomalías.....	30
Figura N° 6: Contenido de % Fe por muestra.....	33
Figura N° 7: Topografía del proyecto.....	34
Figura N° 8: Líneas de magnetometría.....	35
Figura N° 9: Mapa de perfiles magnéticos.....	36
Figura N° 10: Mapa total de campo magnético.....	37
Figura N° 11: Mapa de señal analítica.....	38
Figura N° 12: Mapa de interpretación magnética.....	39
Figura N° 13: Mapa de nivel a una profundidad de 5 metros.....	41
Figura N° 14: Mapa de nivel a una profundidad de 10 metros.....	42
Figura N° 15: Mapa de nivel a una profundidad de 30 metros.....	43
Figura N° 16: Mapa de nivel a una profundidad de 50 metros.....	44
Figura N° 17: Línea 700.....	46
Figura N° 18: Línea 750.....	47
Figura N° 19: Línea 800.....	48
Figura N° 20: Plano de la geofísica en contorno a la topografía del proyecto (vista en planta).....	49
Figura N° 21: Plano de la geofísica en contorno a la topografía del proyecto (vista tridimensional).....	49
Figura N° 22: Ubicación del proyecto Toro Negro.....	50
Figura N° 23: Forma del yacimiento en una vista en planta.....	51
Figura N° 24: Forma del yacimiento en una vista tridimensional.....	51
Figura N° 25: Tamaño del yacimiento en una vista en planta (largo).....	52
Figura N° 26: Tamaño del yacimiento en una vista en planta (ancho).....	53

Figura N° 27: Tamaño del yacimiento en una vista frontal (profundidad).....	53
Figura N° 28: Topografía superficial del yacimiento en una vista en planta.	54
Figura N° 29: Topografía superficial del yacimiento en una vista tridimensional..	54
Figura N° 30: Profundidad del yacimiento en una vista frontal.....	55
Figura N° 31: Sigmoide presente en el cuerpos de magnetita con presencia de Cu en forma de diseminados y relleno de fracturas.	56
Figura N° 32: Presencia de Cu en ambientes metamórficos, presente en forma distal al este de los cuerpos de hierro.....	56
Figura N° 33: Modelo de bloques del yacimiento en una vista en planta.	57
Figura N° 34: Modelo de bloques del yacimiento en una vista tridimensional.....	57
Figura N° 35: Modelo geomecánico tridimensional.	58
Figura N° 36: Distribución de recursos.....	63
Figura N° 37: Distribución de recursos.....	63
Figura N° 38: Formula para determinar el VOE.....	63
Figura N° 39: Relación estéril mineral vs la profundidad del pit final.....	69
Figura N° 40: Bermas de seguridad.	70
Figura N° 41: Diseño de rampa.....	71
Figura N° 42: Diseño de camino mina tipo A.....	71
Figura N° 43: Diseño de camino mina tipo B.....	72
Figura N° 44: Diseño de configuración de extracción por fases.....	73
Figura N° 45: Parámetros de diseño para el tajo abierto final.	73
Figura N° 46: Índice de AsarcoToro Negro para perforadoras.	74
Figura N° 47: Índice de Asarco Toro Negro para palas.....	75
Figura N° 48: Índice de Asarco Toro Negro para camiones.	76
Figura N° 49: Plan de producción mina Toro Negro sector Petra.....	81
Figura N° 50: Modelo geológico en 2D del proyecto Toro Negro.	91
Figura N° 51: Modelo geológico en 3D del proyecto Toro Negro.	92
Figura N° 52: Modelo geológico en 3D del proyecto Toro Negro.	93
Figura N° 53: Diseño del pit en 3D.....	104
Figura N° 54: Planificación en tajo abierto a una tasa de descuento de 12%. ...	108
Figura N° 55: Análisis de sensibilidad del proyecto.....	109
Figura N° 56: Comparación de VAN tajo abierto y VAN subterráneo.....	110

Figura N° 57: Plano en planta del pit.....	120
Figura N° 58: Plano en planta y topografía superficial.	121
Figura N° 59: Plano isométrico del pit.	122
Figura N° 60: Flow Sheet del proyecto Toro Negro.....	123
Figura N° 61: Trade Off.....	136
Figura N° 62: Planificación en tajo abierto a una tasa de descuento 10%.	139

RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad, el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.

Para ello se ha empleado el método científico y el experimental, este trabajo tiene un carácter descriptivo. La investigación fue no experimental, de forma que se observó los resultados del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra. La técnica de la recolección de datos fue la revisión del informe interno del proyecto, trabajo de campo y gabinete y el análisis de los resultados del proyecto Toro Negro. Se concluye con el análisis técnico económico del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto y el plan de producción de acuerdo a la profundidad.

La realización de los modelos geológicos, geomecánicos, geometalúrgicos, operacional y económico permiten la viabilidad, factibilidad y rentabilidad del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra.

Se ha programado una producción de 50'000.00 tpd y 18,3 M tpa, con una ley media de Fe 23.86% con una ley de corte de Fe 20%. Para cumplir la planificación a largo plazo se requiere un Capex global MUS \$ 1'557. 19 y un Opex global de MUS \$11.92 con un NSR de 29.98 US\$/t. Se realizó una evaluación técnica económica y un análisis financiero según las características descritas.

De acuerdo a la evaluación técnica económica y el análisis financiero, el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II genera un VAN de 6'606.10 MUS \$, un TIR de 25.95%, un PAYBACK de 3.8 años y un IVAN de 4.24, considerando una tasa de descuento anual del 12%. Según el análisis económico y los indicadores financieros es rentable la inversión en el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra.

Palabras clave: Diseño conceptual, Tajo Abierto, Capex, Opex, VAN, TIR, IVAN, PAYBACK, producción.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the conceptual design of the open pit mining of the Toro Negro iron body, Petra de S.M.R.L. Yale II.

For this, the scientific and experimental method has been used; this work has a descriptive character. The research was non-experimental, so that the results of the conceptual design of the open pit mining of the Toro Negro iron body, Petra sector, were observed. The technique of data collection was the review of the internal project report, fieldwork and cabinet and the analysis of the results of the Toro Negro project.

In the end, it is concludes, with the technical economic analysis of the conceptual design of the open pit mining, the same analysis is carried out with the production plan according to the depth.

The realization of geological, geomechanical, geometallurgical, operational and economic models allow the viability, feasibility and profitability of the conceptual design of the open pit mining of the Toro Negro iron body, Petra sector

A production of 50'000.00 tpd and 18.3 M tpa has been scheduled, with an average Cut Off 23.86% of Fe@ with a cut-off Fe@ 23.86%. To fulfill the long-term planning a global CAPEX MUS \$ 1'557.19 is required. And a global OPEX of MUS \$ 11.92, with an NSR of US \$ 29.98 / ton according to these characteristics, an economic technical evaluation and a financial analysis were performed.

According to the economic technical evaluation and the financial analysis, the conceptual design of the open pit mining of the Toro Negro iron body, Petra sector of S.M.R.L. Yale II generates a NPV of 6,606.10 MUS \$, an IRR of 25.95%, a PAYBACK of 3.8 years and an IVAN of 4.24, considering an annual discount rate of 12%. According to the economic analysis and the financial indicators, the investment in the conceptual design of the open pit mining of the Toro Negro iron body, Petra sector, is profitable.

Keywords: Conceptual design, Open Pit, CAPEX, OPEX, VAN, TIR, IVAN, PAYBACK, production.

INTRODUCCIÓN

La minería en el Perú es el sector que cumple mayor importancia en la economía del país, no solo por crear un valor agregado en el producto bruto interno (PBI) del país sino también entrega los mayores ingresos fiscales por las divisas y aportes monetarios concebidos por los impuestos, regalías y el canon minero. Asimismo, genera empleos directos e indirectos conllevando el desarrollo socioeconómico y estructural del gobierno central y los gobiernos locales cercanos al proyecto en ejecución. Según estudios e informes económicos de inversiones en nuestro país, el Perú es uno de los destinos más atractivos para la inversión minera esto se debe a su alto nivel de reservas, la promoción de la inversión privada, la disponibilidad de información catastral y geológica.

En la actualidad existen muchos proyectos mineros a cielo abierto que se encuentran en diversas fases de la ingeniería como: ingeniería de perfil, ingeniería conceptual o prefactibilidad, ingeniería básica, ingeniería de detalle, construcción, puesta en marcha y *ramp up*. Cada fase de la ingeniería cumple un papel importante en el desarrollo de un proyecto. Así, en el método de explotación de un proyecto minero, la fase de la ingeniería conceptual o prefactibilidad (*prefeasibility*) permite analizar las opciones de explotación con informaciones más relevantes y parámetros de operación hasta definir el tipo de explotación que se va a realizar en el proyecto de estudio.

El proyecto Toro Negro de la S.M.R.L. Yale II cuenta con tres zonas de mineralización como Estrella, Petra y Cholita. Estas tres zonas cubren un área de 2 km de largo por 1.2 km de ancho, en dirección Norte-Sur. La zona de estudio de interés es Petra que aflora en la parte central del área mineralizada. Presenta como ensamble mineralógico magnetita, con cantidades menores de calcopirita (bornita), calcita y cuarzo en relleno de fracturas y diseminados, controlados estructuralmente en pequeños sigmoides, el eje principal tiene una orientación NE – SO. La longitud del eje principal es de 1,200 m con un ancho máximo de 600 m.

La información que se tiene del proyecto es el estudio geoquímico y el geofísico donde se muestra la susceptibilidad magnética de 81 muestras y las relaciones cuantitativas de las anomalías magnéticas proporcionadas en las zonas de mineralización. El objetivo de este trabajo de investigación es realizar un diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II empleando esta información como también los parámetros geológicos, geomecánico, operacionales y económicos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La minería constituye uno de los pilares en la economía nacional de los países, generando grandes ingresos al fisco por conceptos de impuestos y regalías. Las empresas mineras contribuyen con el desarrollo del país y del área de influencia de los proyectos a desarrollar con inversiones en infraestructura de vías de comunicación, electrificación y educación. Generando empleos directos e indirectos en las faenas mineras.

Uno de los grandes efectos que genera la disminución de ingresos al fisco producto de los impuestos y regalías generadas por las ventas de mineral son el constante incremento de costo de operación y su consecuente disminución en la productividad operacional. Este descenso en la productividad, tiene un efecto directo en el incremento de costos de operación disminuyendo en un 4% promedio anual en los países de la región.

En los últimos años, el Perú ha sido objeto de inversiones en exploraciones mineras, generando la presencia de nuevos proyectos en explotación en las siguientes décadas, esto ha permitido el incremento de recursos minerales en nuestro país. Esta nueva perspectiva en el futuro de la minería en los próximos años, permitirá el incremento de ventas de concentrados de diversos *commodities*

y el desarrollo sostenible del país. La evaluación inicial de un proyecto minero lleva a tener una visión del nivel de rentabilidad en inversiones mineras, por lo que el diseño conceptual de minas a tajo abierto es la base preliminar e importante en el dimensionamiento de las distintas áreas unitarias de la operación minera. El diseño de minas a tajo abierto a diferencia de operaciones subterráneas tiene un mayor Costo de Inversión (*Capex*) por lo que la sensibilidad en los costos de operación (*Opex*) incidirán en el nivel de rentabilidad económica.

1.1.2. Formulación del problema

a) Problema general

¿Cómo se realizaría el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?

b) Problemas específicos

¿Cómo sería el modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?

¿Cómo sería el modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?

¿Cómo sería el modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?

¿Cómo sería el modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar un diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.

1.2.2. Objetivos específicos

a) Realizar un modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.

- b) Realizar un modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.
- c) Realizar un modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.
- d) Realizar un modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social - práctica

La investigación proporcionará grandes beneficios en el sector minero, como sustentar la inversión de proyectos mineros y establecer un ambiente favorable al incremento de utilidades bajo parámetros de diseño operacional conceptual.

En la actualidad, el incremento de la rentabilidad de inversiones en minería será en función de un diseño óptimo inicial asociado a su capacidad de planta y nivel de ventas de concentrado, el cual generará un desarrollo sostenible en comunidades aledañas al proyecto minero. El diseño óptimo de una mina a tajo abierto está asociado directamente a las variables geológicas, geomecánicas, geo metalúrgicas y económicas, los cuales permitirán viabilizar la mejor rentabilidad económica y diseño óptimo de una operación minera.

1.3.2. Justificación académica

La investigación generará con su desarrollo un nuevo modelo de establecer el diseño conceptual de una mina a tajo abierto incorporando variables de diseño geológicas, geomecánicas, geometalúrgicas y económicas, generando parámetros operacionales de explotación, concentración y comercialización de la operación minera.

Se espera que las empresas mineras en colaboración con el estado y la sociedad busquen el desarrollo sostenible y progresivo, cumpliendo con las normas ISO 9001, ISO 14001 Y OHSAS 18001.

Las variables a trabajar serán evaluadas para determinar su comportamiento y su relación con la otra variable a estudiar (consecuencia de logros).

1.3.3. Justificación económica

La presente investigación pretende generar el diseño óptimo de una mina a tajo abierto incorporando variables geológicas, geomecánicas, geometalúrgicas y económicas, lo cual buscará la sostenibilidad de inversiones a futuro.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

La realización del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La realización del modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.
- b) La realización del modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.
- c) La realización del modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.
- d) La realización del modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.

1.5. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión	Indicadores	Fuentes	Instrumento
Diseño conceptual de la explotación a tajo abierto	Son vías o procedimientos utilizados en una excavación a cielo abierto y que se emplea para la extracción de sustancias de interés económico como minerales metálicos o rocas y minerales industriales y materiales estériles o sin valor económico en forma de franjas horizontales llamados bancos, esta depende fundamentalmente de las características o variables del yacimiento y del terreno. Estas variables están asociados a las condiciones geológicas y geomecánicas, económicas y operacionales del yacimiento entre otros.	Condiciones del yacimiento	Modelo geológico	Dominios geológicos	Observación de campo	Ficha de registro
			Modelo geomecánico	Parámetros geomecánicos	Observación campo	Ficha de registro
			Modelo operacional	Parámetros operacionales	Informe técnico	Reporte operacional
			Modelo económico	Parámetros económicos	Informe técnico	Reporte económico, flujo de caja de escenarios

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

- En la tesis para optar el grado de Magíster en Minería titulada “*Una investigación crítica sobre los principios de valor agregado para realizar un estudio conceptual a cielo a cielo abierto*” se tuvo como objetivo principal investigar los principios de valor agregado para realizar un estudio conceptual. Se concluyó que, para una mina a cielo abierto, un estudio de optimización de *pit* proporciona un proceso estructurado y repetible para determinar el límite económico opcional combinado con la programación de producción posterior y el modelado de flujo de caja. Una optimización de *pit* garantizará una economía comparable. (1)
- En la tesis para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Civil de Minas titulada “*Planificación minera a cielo abierto considerando diseño óptimo de rampas*”, se tuvo como objetivo principal establecer una comparación en la evaluación técnica y económica al diseñar la geometría de rampas de acceso, mediante el estado del arte actual y una metodología apoyada en un modelo matemático de optimización económica. Se concluyó que para entender a cabalidad el problema de planificación en el diseño geométrico de rampas de transporte, se generó una revisión del estado del arte actual. En esta revisión, quedó expuesto que no existe una metodología definitiva para el arte del diseño, dependiendo en gran medida de la experiencia del planificador y del tiempo dedicado al proceso. Por ello, se introdujo sin problemas un modelo matemático a través de una herramienta computacional, que permitió obtener

un prediseño óptimo de la geometría de la rampa, el cual a su vez sirve como guía para la mejor ubicación de la rampa en términos técnico-económicos para el caso de estudio. (2)

- En la tesis de pregrado titulada “*Análisis técnico-económico explotación yacimiento Amancaya*”, se tuvo como objetivo principal determinar un diseño apropiado de explotación para Amancaya. Se concluyó que debido a las características geométricas y geomecánicas del yacimiento, los métodos mineros a implementar fue una explotación superficial por open pit por medio de tres pit pequeños, con bancos de 5 metros. (3)
- En la tesis de pregrado titulada “*Diseño de rajo y planes mineros para los minerales sulfurados de Compañía Minera del Norte (CMDN)*”, se tuvo como objetivo principal buscar el envolvente que entregue el mejor valor presente neto y extensión de la vida de la compañía, asegurando la viabilidad del proyecto en su desarrollo futuro. Se concluyó que a través de la utilización de herramientas computacionales (Software de diseño minero) y software de optimización basados en la teoría de rajo anidados, fue posible la creación de modelos de optimización que buscaban combinar lo mejor de los parámetros técnicos económicos y las variables de diseño que afectan directamente la estabilidad del proyecto, considerado en el análisis variable geotécnicas, económicas, geológicas, metalúrgicas, operacionales y ambientales. (4)
- En la tesis para optar el grado de Magister titulada “*Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos*” se tuvo como objetivo principal determinar cuál es el impacto que se produce en la envolvente del rajo final, en el diseño minero de fases, en el plan de producción, y en la valorización de los planes, al variar el factor de seguridad aceptable de los taludes pertenecientes a un rajo abierto. Se concluyó que las variaciones de altura de las envolventes económicas al considerar distintos factores de seguridad aceptables no fueron significativas. En efecto, en uno de los dos dominios geotécnicos considerados la variación de altura entre un escenario y otro fue nula, mientras que en el otro dominio geotécnico la diferencia entre el escenario asociado a un FS aceptable de 1.2 y el escenario asociado a un FS aceptable de 1.4 fue de 20 metros, lo que resultó ser una variación inferior a un 10% con respecto a la altura de la envolvente para este último escenario.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el ejemplo conceptual, se pudo concluir que las diferencias de altura de las envolventes económicas al considerar distintos factores de seguridad aceptables van a estar relacionadas con las características del modelo de bloques. (5)

- En la tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería de Minas titulada "*Efecto de aplicación de leyes de corte en el cálculo de un programa de producción*" se tuvo como objetivo principal analizar el efecto de la aplicación de leyes de corte en el cálculo de programas de producción en minas a cielo abierto. Se concluyó que la vida útil de la mina con el programa de producción con ley de corte variable es de nueve años; en cambio, la vida útil de la mina con el programa de producción con ley de corte constante es de diez años. (6)
- En la tesis de pregrado titulada "*Investigación geotécnica de diseño conceptual de tajos - Proyecto Rondoni*" se tuvo como objetivo principal determinar los parámetros geotécnicos y caracterizar el macizo rocoso, aprovechando las actividades del mapeo geomecánico superficial y logeo de sondajes destinados a la exploración minera. Se concluyó que la clasificación del macizo rocoso basado en el RMR'76 sugiere que el tajo abierto propuesto sería excavado en una masa de roca Buena a Muy buena. (7)

2.2. Situación actual del proyecto

El proyecto Toro Negro de la de la S.R.L Yale II cuenta con estudios de exploración superficial, geoquímica y geofísica. Los estudios realizados identificaron tres zonas o sectores de mayor mineralización de Hierro (Fe) como Cholita, Petra y Estrella. Estas tres zonas cubren un área de 2 kilómetros de largo y 1.2 kilómetros de ancho con una dirección de norte a sur, con un potencial geológico de 87 millones de toneladas, con una ley promedio de 47.51% Fe. Estas zonas se encuentran emplazados en un contacto de pórfido granodiorítico, sedimentos molasicos continentales del grupo Mitu.

El proyecto se encuentra en estudios de ingeniería conceptual (prefactibilidad) con todos los estudios que cuenta busca definir el modelo geometalúrgico, el modelo geomecánico, método de explotación, consolidar el

proceso metalúrgico, indicadores económicos, definir la infraestructura minera, etc.

2.3. Generalidades del proyecto minero Toro Negro

2.3.1. Ubicación y accesibilidad

El proyecto minero Toro Negro de la S.R.L Yale II se encuentra ubicado dentro de la jurisdicción de la comunidad campesina de *Huaripampa*, perteneciente al distrito de Tapo, provincia de Tarma y departamento de Junín, ubicado entre 3500 a 4800 m s.n.m.

Tabla 2. Ruta geográfica.

Ruta	Kilómetros	Tipo de vía
Lima - Tarma	244	Asfaltado
Tarma - Palca	20	asfaltado
Palca - Huaripampa	8	afirmado
Huaripampa – Proyecto Toro Negro	14	trocha

Fuente: Elaboración propia

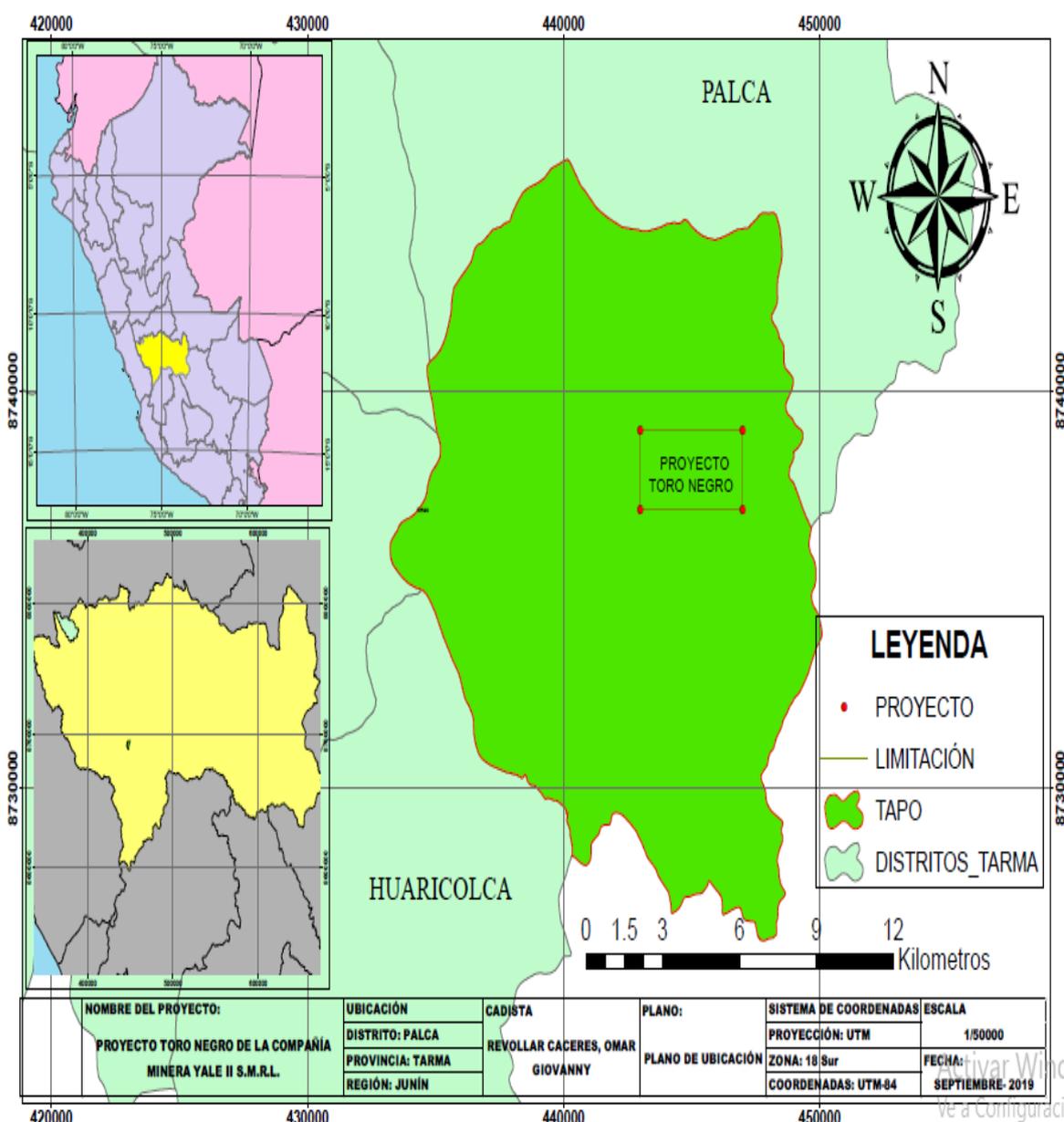


Figura 1. Ubicación del proyecto
Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Historia

La historia del proyecto minero ferrífero Toro Negro data de 1945. Ese año, se exploró la zona donde se encuentra el yacimiento, en ese momento se buscaba plata, oro, cobre con resultados negativos, pero se comentaba de la existencia de grandes cuerpos mineralizados de hierro. Mas adelante, por los años de 1990 la empresa minera “SIMSA” (San Ignacio de Morococha) decide construir una fundición de “Ferro aleaciones de manganeso” en la ciudad de Tarma. Proyecto que no se concreta por los problemas sociales de la época.

Conociendo estos antecedentes Minera Yale decide petitionar 800 ha (8 km²), donde se encuentran las zonas mineralizada de Cholita, Petra y Estrella.

En el año 2013 el Ing. Juan Beltrán realiza un reconocimiento geológico de la propiedad, luego en 2015 el Ing. Manuel Paz realiza otro reconocimiento geológico. Por último, en 2015 la S.R.L Yale II realiza un levantamiento geofísico de magnetometría y test de polarización inducida y resistividad.

2.4. Geología

2.4.1. Geología regional

El proyecto Toro Negro se ubica en el límite oeste de la cordillera oriental donde afloran las unidades litológicas metamórficas, intrusivos y rocas sedimentarias.

A. Complejo *Maraynioc*

Este corresponde a las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio. Litológicamente está constituido de esquistos, mica-esquistos y en poca proporción gneis y migmatitas. Este complejo se encuentra delimitado por una falla de rumbo NO–SE, estas rocas se localizan en el extremo noreste del área.

La edad que se asigna está comprendida en el intervalo del Meso al Neoproterozoico. El proyecto Toro Negro se ubica en el límite oeste de la cordillera oriental donde afloran las unidades litológicas metamórficas, intrusivos y rocas sedimentarias.

B. Grupo *Mitu*

El grupo *Mitu* en la zona central del Perú comprende una secuencia de areniscas y conglomerados rojizos que superponen al grupo *Pucara*. Las rocas de este grupo cubren más del 90% del área de la concesión. El grupo *Mitu* se caracteriza por una composición litológica variada, constituida por conglomerados, areniscas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastos de color verdoso a violáceo.

C. Rocas Intrusivas

Está conformado por granodiorita *Sucllamachay*. Hacia el extremo central este de la concesión aflora un cuerpo de color gris claro de grano medio, holocristalino con alto porcentaje de plagioclasas, biotitas y feldespatos potásicos. El cuarzo se presenta en forma anhedral. De acuerdo a dataciones radiométricas se le asigna una edad correspondiente al Permo –Triásico.

2.4.2. Geología local

La geología local está conformada por rocas metamórficas como gneis y esquistos del complejo *Maraynioc* que afloran al lado noreste. Hacia la parte central y sur aflora un intrusivo que conforma rocas ígneas como granodiorita y tonalita. Al lado oeste está aflorando las rocas sedimentarias como areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas del grupo *Mitu*.

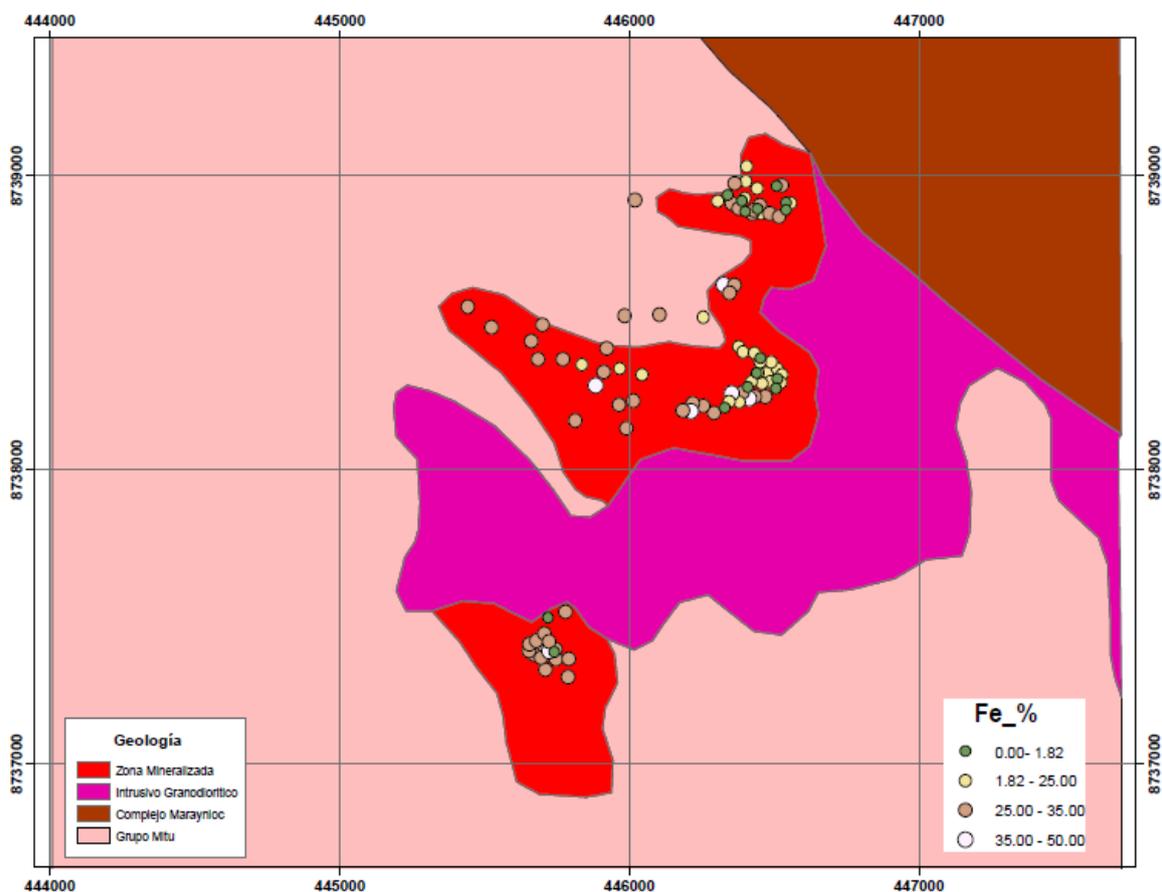


Figura 2. Geología local del proyecto
Fuente: Departamento de Geología

2.4.3. Geología estructural

El proyecto minero Toro Negro de la de la S.R.L Yale II está asociado a un control estructural importante NS y NE, generando sigmoides a escala regional y local como se muestra en la figura N°2. También los controles estructurales regionales NS y NW, que estaría asociado a la mineralización del proyecto Toro Negro, estarían generando sigmoides regionales y locales, lo que permitiría el ascenso y circulación de soluciones mineralizantes como se observa en el área de Petra esto se puede visualizar en la figura N°3.

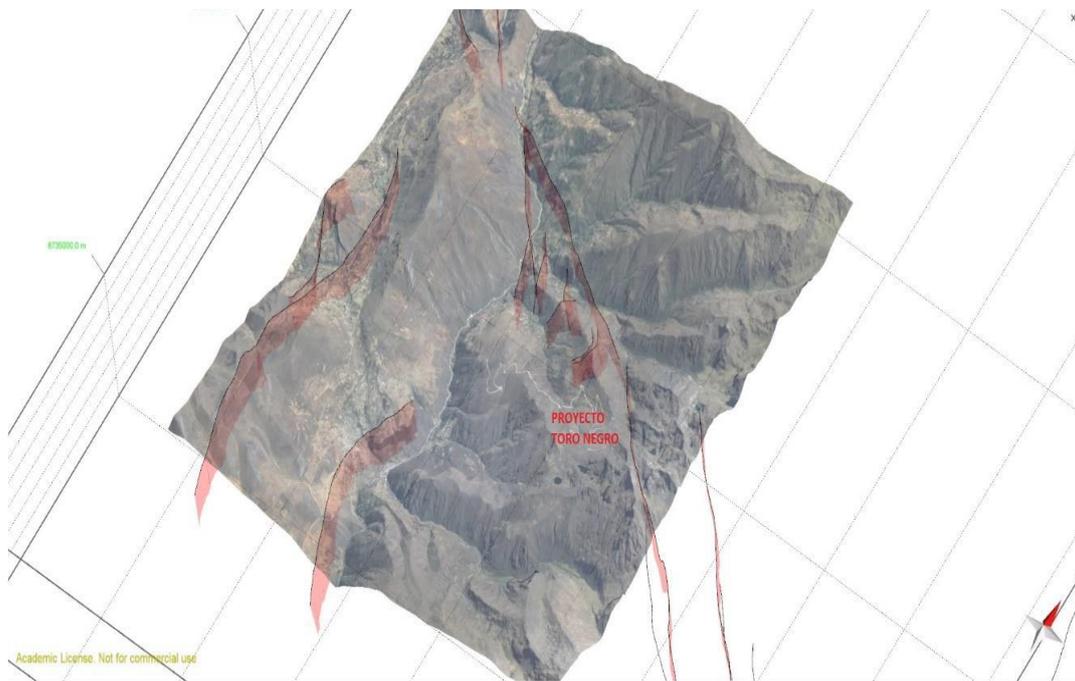


Figura 3. Estructuras regionales asociados al proyecto Toro Negro
Fuente: Departamento de Geología

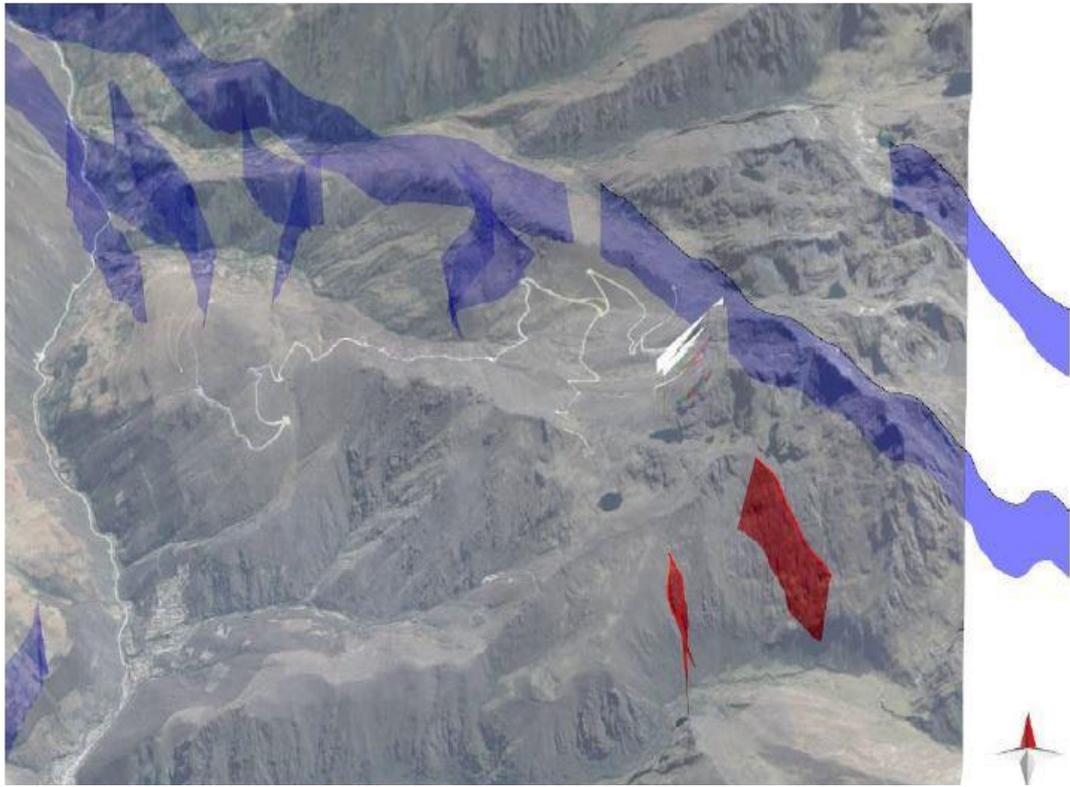


Figura 4. Control estructural primaros y secundarios
Fuente: Departamento de Geología

De otro lado, la relación de los estudios geofísicos con los controles estructurales se asocia de una forma en particular con la presencia de cobre. Es interesante ver como las mayores anomalías de Cu están en los bordes de las anomalías y siguiendo los lineamientos (en rojo). Es interesante testear esta hipótesis con más estudios y concentrarse tal vez en la relación anomalías con lineamientos y ver si los bordes de anomalías tienen niveles de mineralización más relevantes.

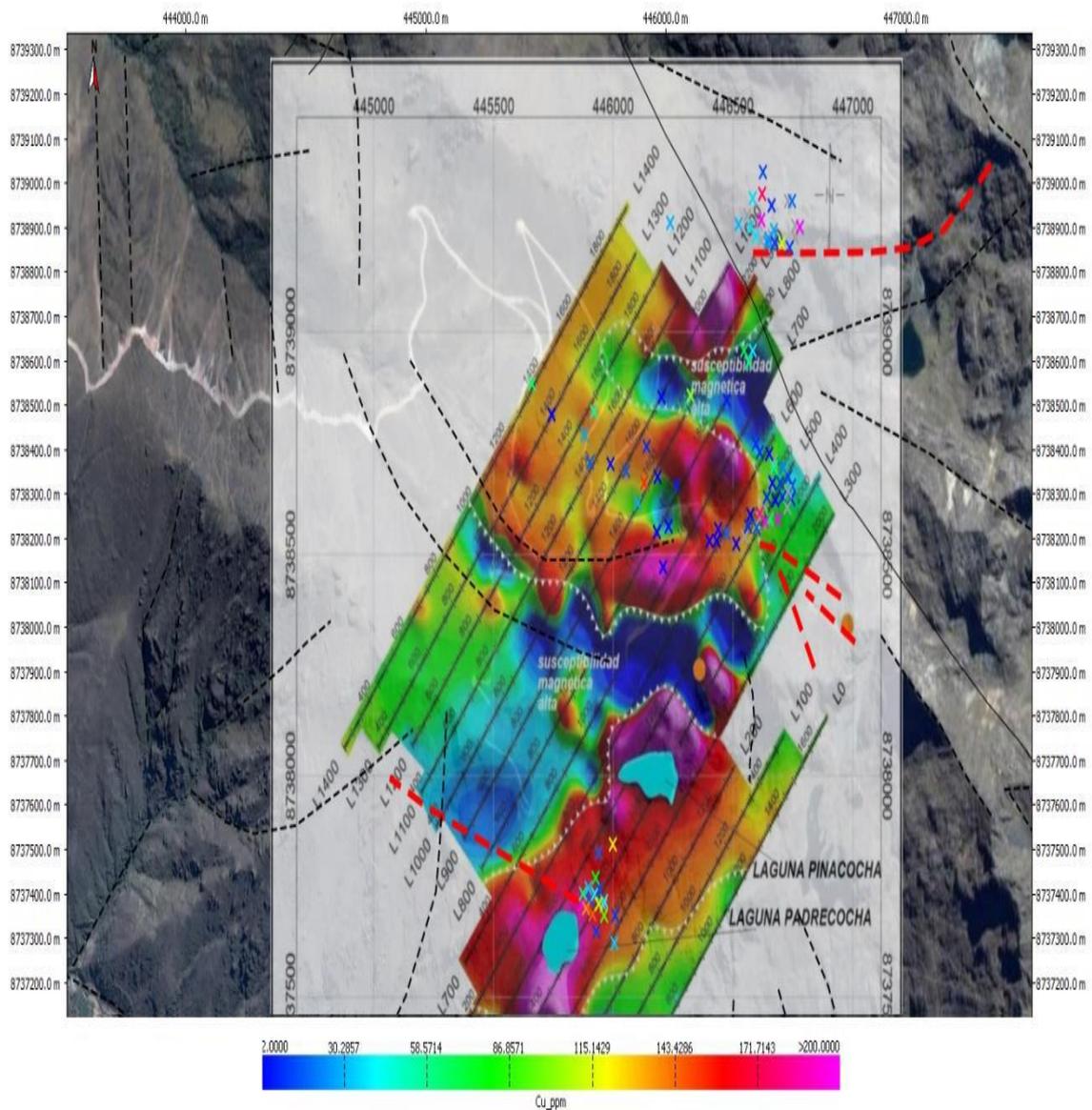


Figura 5. Presencia importante de Cu, asociados a los lineamientos (rojo) y los bordes de las anomalías.

Fuente: Departamento de Geología.

2.4.4. Tipo de depósito

Los depósitos más grandes de hierro relacionados a intrusiones, principalmente en magnetita, se pueden separar en dos grandes categorías posiblemente transicionales: *skarn* ferríferos convencionales, como Marcona en Perú y los cuerpos hospedados por rocas ígneas como *Kirunavaara* en Suecia o los depósitos magnetita-apatita de la franja ferrífera chilena.

El tipo de depósito no está bien definido, ya que para ello se tiene que hacer un estudio de inclusiones fluidas para definir el tipo de depósito y hacer otros estudios adicionales.

Solo por el contenido mineralógico se puede aproximar que es un yacimiento tipo IOCG (*Iron Cupper and Gold*) ya que presenta minerales de hierro, cobre y oro.

2.5. Geoquímica

Las muestras tomadas han sido en las zonas de Cholita, Petra y Estrella, sobre una malla sistemática entre 50-100 metros con un total de 81 muestras de *rock chip* en agosto del 2016. Donde 47 muestras fueron de la zona de Petra, arrojando los valores que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Análisis geoquímico

MUESTRA	ESTE	NORTE	COTA	Analyte	Wgt_kg	Au_ppm	Ag_ppm	Cu_ppm	Fe_%	Fe2O3_%	FeO_%
PT1	446327	8738627	4326	Rock	1.05	0.011	0.2	71	>50.00	90.27	81.18
PT11	446478	8738328	4468	Rock	4.31	<0.005	<0.2	10	19.3	26.83	24.13
PT12	446512	8738342	4476	Rock	4.97	<0.005	<0.2	11	22.3	30.77	27.67
PT14	446528	8738321	4494	Rock	5.31	<0.005	<0.2	12	21.11	29.3	26.35
PT15	446525	8738294	4497	Rock	5.06	0.005	<0.2	5	23.12	32.47	29.2
PT17	446488	8738297	4485	Rock	5.22	<0.005	<0.2	7	21.19	29.01	26.09
PT18	446459	8738291	4473	Rock	3.64	<0.005	<0.2	<2	24.94	35.91	32.29
PT19	446445	8738328	4465	Rock	4.88	<0.005	0.2	<2	19.46	27.83	25.03
PT2	446364	8738626	4336	Rock	5.24	<0.005	<0.2	40	27.51	39.59	35.6
PT20	446423	8738297	4458	Rock	3.26	<0.005	<0.2	8	22.54	32.03	28.8
PT21	446470	8738247	4476	Rock	6.16	<0.005	2	2881	26.72	38.22	34.37
PT22	446435	8738247	4466	Rock	5.44	0.014	0.3	63	32.6	47.5	42.72
PT23	446415	8738240	4463	Rock	6.08	0.006	0.5	264	>50.00	76.43	68.74
PT25	446393	8738261	4450	Rock	3.07	0.005	0.4	183	26.46	38.6	34.71
PT26	446381	8738227	4457	Rock	3.49	0.005	<0.2	15	21.13	30.21	27.17
PT27	446354	8738258	4432	Rock	6.72	<0.005	<0.2	<2	47.72	68.21	61.34
PT28	446346	8738230	4424	Rock	6.22	0.006	0.2	9	23.95	34.45	30.98
PT3	446347	8738600	4332	Rock	5.68	<0.005	<0.2	62	26.88	38.86	34.95
PT30	446294	8738191	4403	Rock	4.81	<0.005	<0.2	<2	27.82	40.48	36.41
PT31	446257	8738215	4387	Rock	5.64	<0.005	0.2	18	32.18	46.42	41.74
PT32	446220	8738224	4373	Rock	3.67	<0.005	0.3	<2	32.63	46.27	41.61
PT33	446213	8738197	4355	Rock	8.23	<0.005	<0.2	<2	43.33	63.81	57.38
PT34	446185	8738199	4351	Rock	4.97	<0.005	<0.2	<2	29.59	44.24	39.78
PT4	446378	8738417	4376	Rock	4.95	<0.005	0.2	9	20.86	30.22	27.18
PT5	446394	8738399	4405	Rock	4.37	0.01	<0.2	8	21.32	30.26	27.21
PT6	446433	8738395	4417	Rock	6.8	<0.005	0.2	<2	22.44	32.49	29.22
PT8	446490	8738365	4451	Rock	3	<0.005	<0.2	23	16.14	23.24	20.9
PT9	446452	8738364	4449	Rock	4.08	<0.005	<0.2	57	19.67	26.3	23.65
PTB1	424814	8738165	4310	Rock	7.96	0.006	<0.2	14	33.11	47.73	42.92
PTB10	445771	8738373	4280	Rock	4.61	<0.005	0.2	4	32.33	43.31	38.94
PTB11	445686	8738374	4255	Rock	5.54	<0.005	<0.2	16	25.78	33.77	30.37
PTB12	445662	8738436	4239	Rock	5.54	0.01	0.4	28	29.5	40.28	36.22
PTB13	445525	8738483	4217	Rock	6.71	<0.005	<0.2	<2	26.71	38.2	34.35
PTB14	445444	8738553	4196	Rock	6.21	<0.005	<0.2	61	31.58	45.17	40.62
PTB15	445702	8738491	4210	Rock	6.84	<0.005	<0.2	54	28.71	41.06	36.92
PTB16	445985	8738522	4268	Rock	5.14	<0.005	<0.2	2	25.43	36.36	32.7
PTB17	445923	8738410	4281	Rock	5.18	<0.005	<0.2	9	29.8	42.61	38.32
PTB18	446106	8738526	4280	Rock	4.66	<0.005	<0.2	104	27.81	39.77	35.76
PTB19	446257	8738517	4318	Rock	5.76	<0.005	<0.2	6	24.26	34.69	31.2
PTB2	445991	8738138	4307	Rock	6.27	0.005	0.3	<2	28.98	39.93	35.91
PTB3	445966	8738218	4318	Rock	5	<0.005	0.2	<2	28.12	40.69	36.59
PTB4	446015	8738232	4326	Rock	6.44	<0.005	<0.2	<2	26.78	38.25	34.4
PTB5	446045	8738322	4329	Rock	6.87	<0.005	<0.2	7	18.84	24.26	21.82
PTB6	445968	8738342	4316	Rock	7.29	<0.005	<0.2	2	21.55	27.72	24.93
PTB7	445912	8738330	4304	Rock	6.36	0.005	0.3	153	33.8	46.08	41.44
PTB8	445885	8738284	4299	Rock	6.43	<0.005	<0.2	29	36.14	48.72	43.81
PTB9	445837	8738356	4295	Rock	5.17	<0.005	<0.2	15	23.29	30.82	27.72

LEYENDA	
PT	Petra
PTB	Petra B

Fuente: Departamento de Geología

La presencia del elemento o *commodity* con mayor rentabilidad es el hierro (Fe). Se puede apreciar en la siguiente figura que el 89% de todas las muestras contienen leyes mayores de corte de 20% Fe.

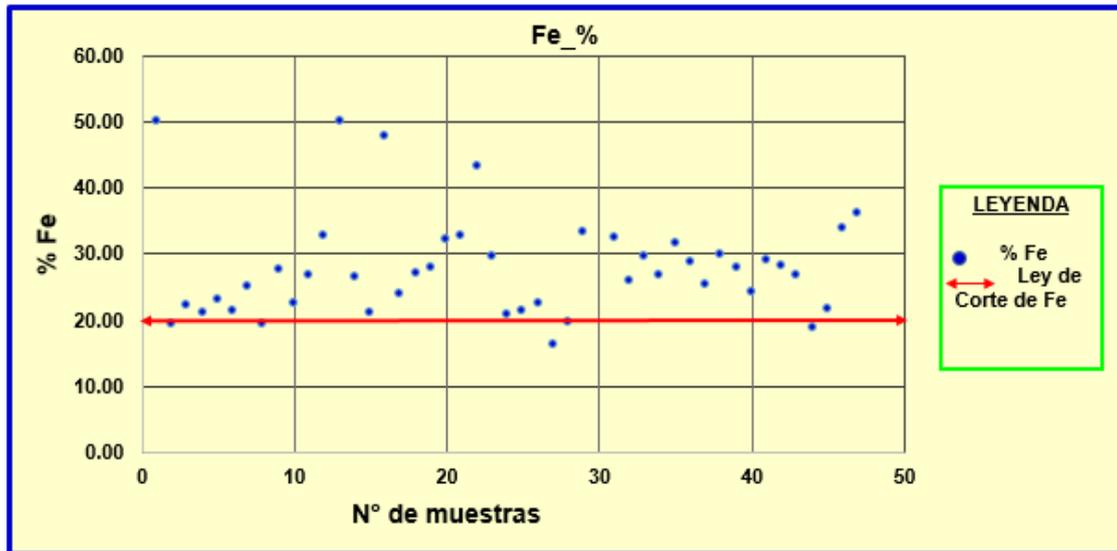


Figura 6. Contenido de % Fe por muestra
Fuente: Elaboración propia

Las anomalías altas de Fe se encuentran en las zonas de Petra y Estrella y concuerda con los altos magnéticos determinado con la geofísica.

2.6. Geofísica

El estudio geofísico fue realizado por GC GROUND S.A.C. en setiembre del 2015. Se realizaron 25.9 km de magnetometría y levantamiento del test de polarización inducida y resistividad que comprendió de tres líneas de 310 metros aproximadamente con un espaciamiento de 50 metros entre las mismas, haciendo un total de 930 m.

Las líneas geofísicas fueron diseñadas específicamente para establecer la correlación de las estructuras geológicas, procesos de alteración y mineralización como función de los contrastes en la respuesta de los parámetros físicos presentes en el área de estudio.

2.6.1. Topografía

Se realizaron diversos métodos de levantamiento topográfico que contienen las lecturas de coordenadas de los puntos visados, las curvas de nivel, las triangulaciones del área de estudio.

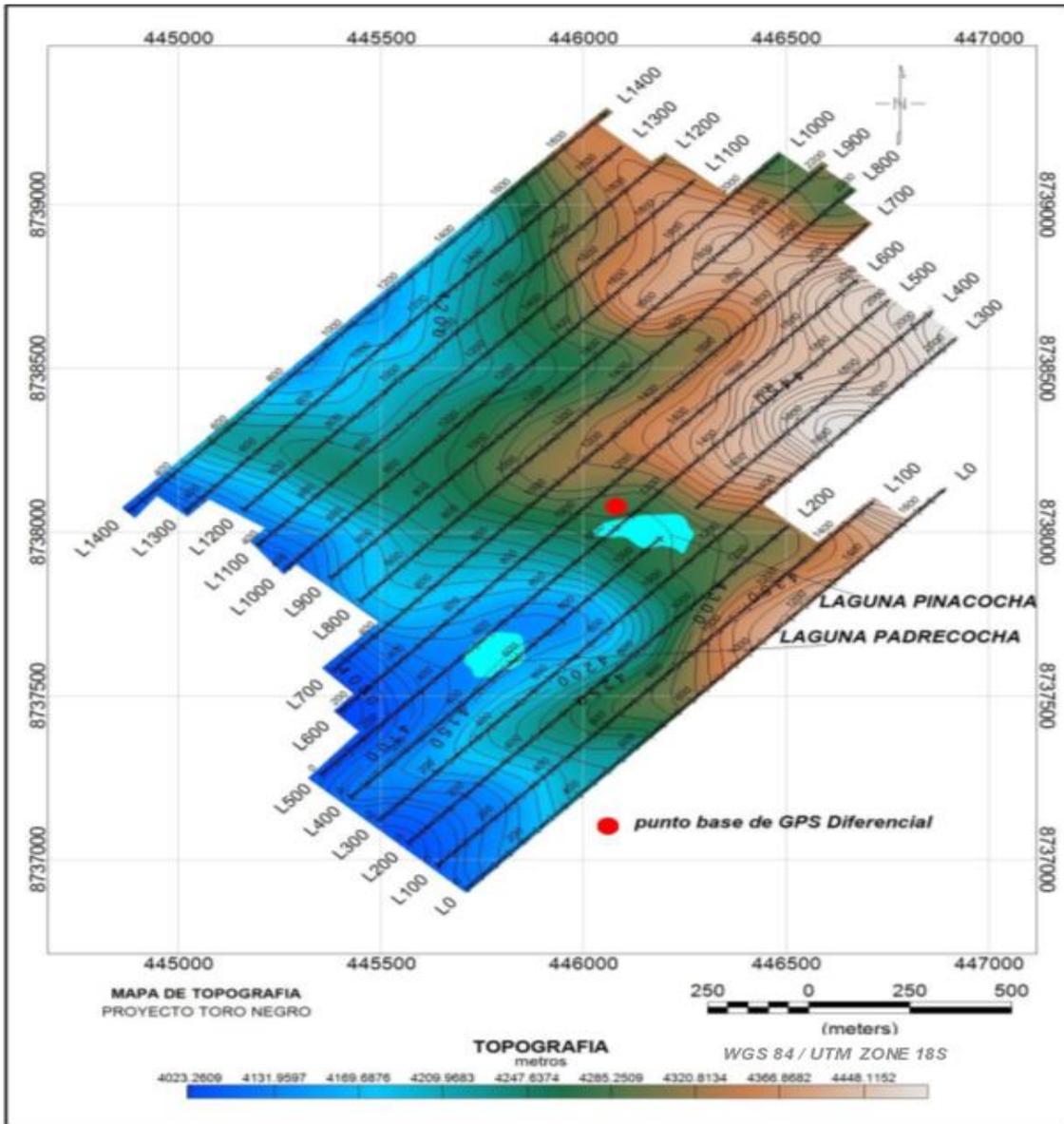


Figura 7. Topografía del proyecto
Fuente: Departamento de Geología

2.6.2. Magnetometría

Las lecturas magnéticas del campo total resaltan las anomalías profundas que corresponden a longitudes de onda mayores causados por los cuerpos someros, las variaciones fueron corregidas referidas a un punto base.

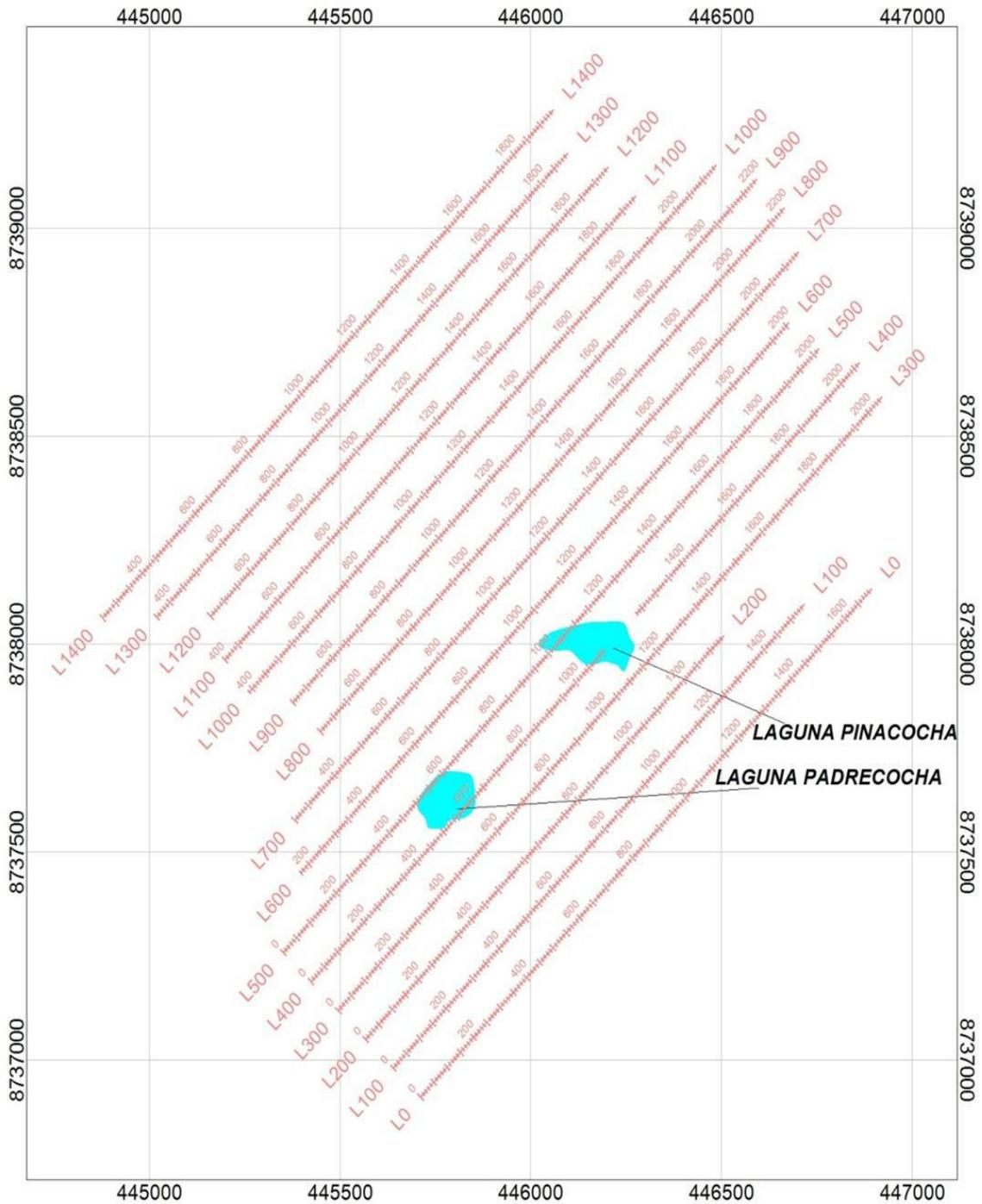


Figura 8. Líneas de magnetometría
Fuente: Departamento de Geología

El mapa de perfiles magnéticos indica la amplitud y frecuencia de las variaciones del campo magnético, lo que permite distinguir y delimitar zonas magnéticamente disturbadas de las zonas magnéticamente tranquilas.

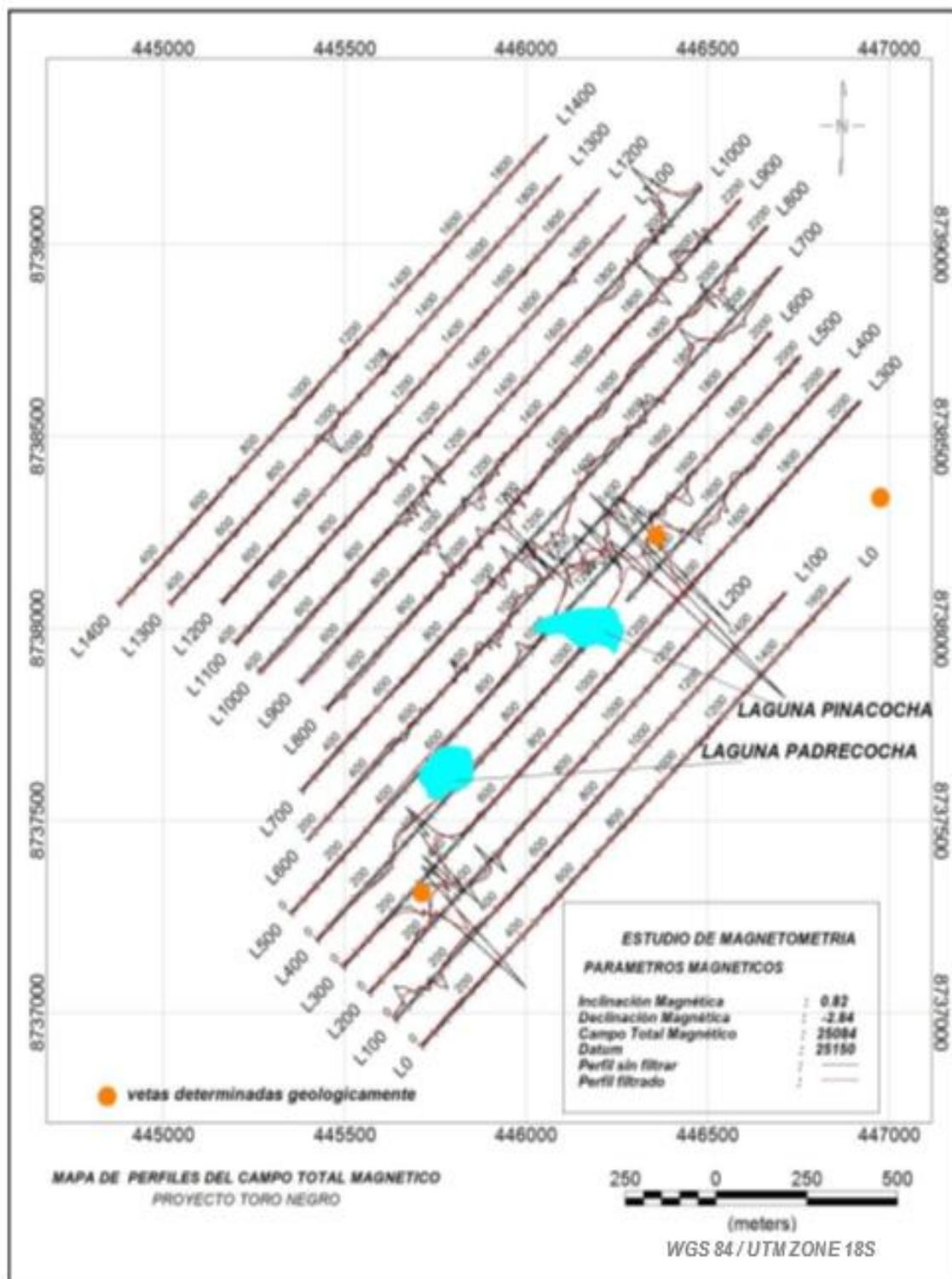


Figura 9. Mapa de perfiles magnéticos
Fuente: Departamento de Geología

La distribución del gradiente magnético se mantiene en un rango de 300nT. Este contraste moderado demuestra la presencia y ausencia de minerales ferromagnéticos en el área de estudio. Esto ayudó a definir las zonas de Susceptibilidad Magnética Baja (SMB) y zonas de Susceptibilidad Magnética Alta (SMA).

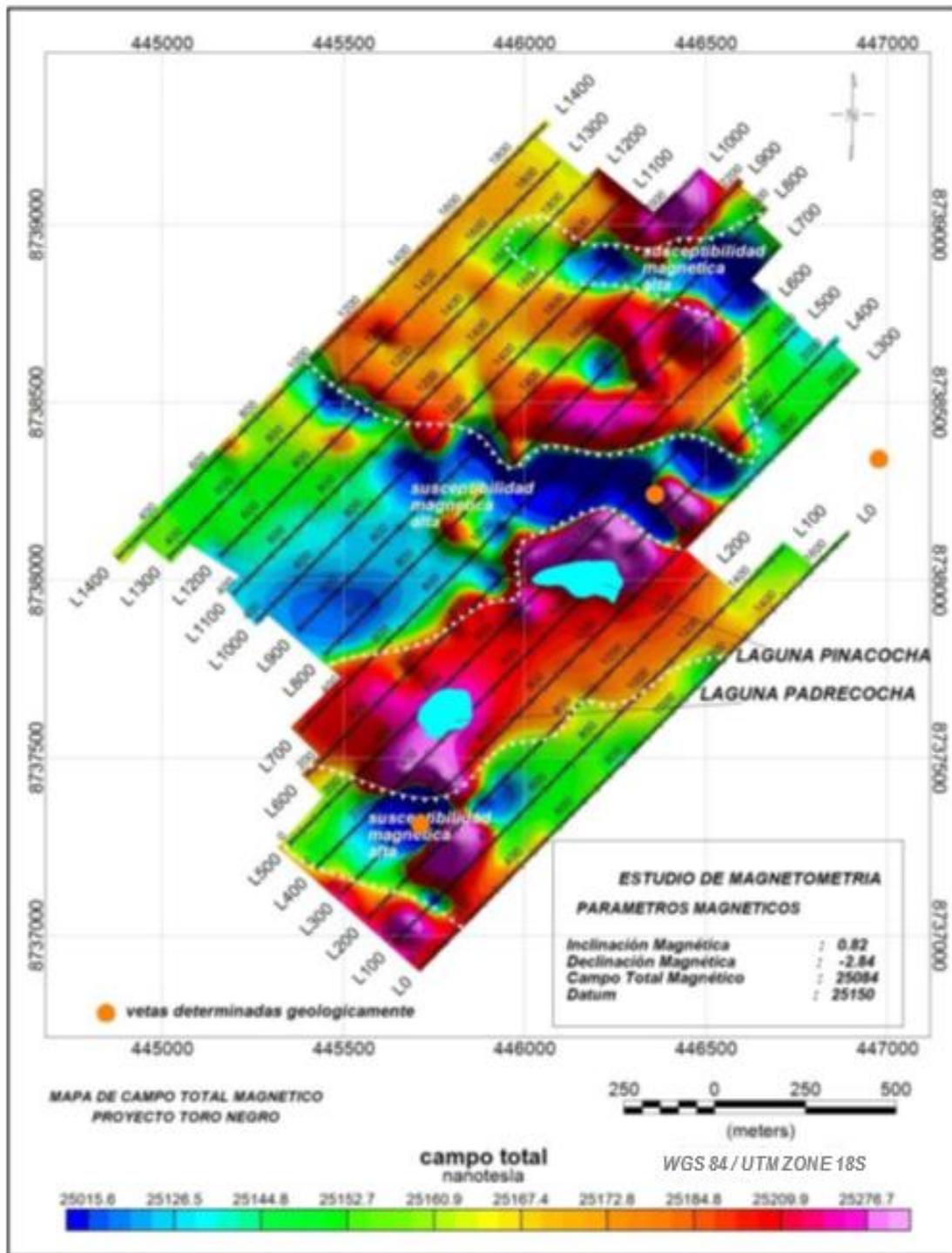


Figura 10. Mapa total de campo magnético
Fuente: Departamento de Geología

El mapa de señal analítica ha permitido definir las principales fuentes magnéticas asociadas a la presencia de minerales ferromagnéticos. En tres zonas principales como el sector Norte, Central y Sur y que corresponden a ensamble de magnetita y hematita.

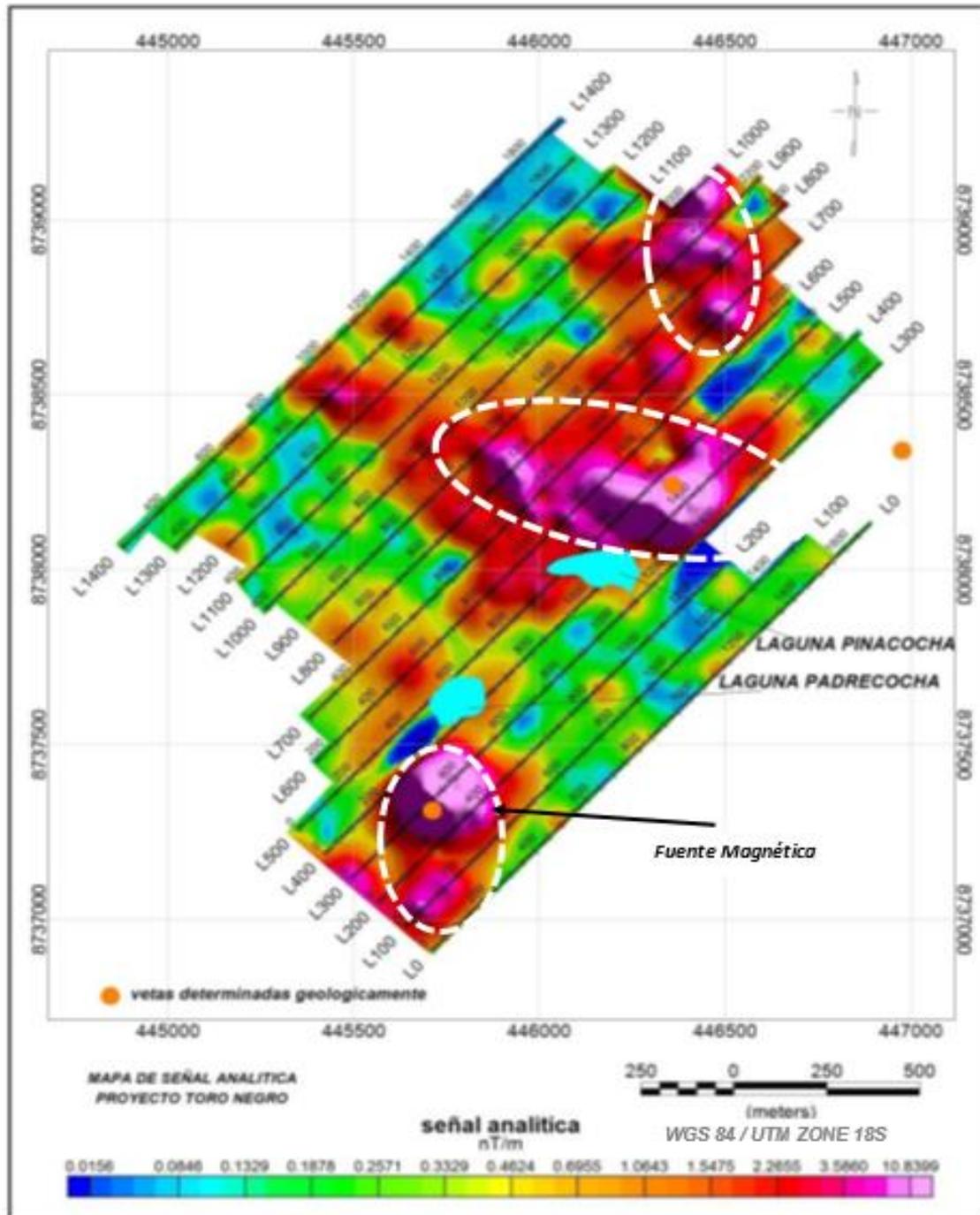


Figura 11. Mapa de señal analítica
Fuente: Departamento de Geología

Los resultados de magnetometría muestran los aspectos más significativos en cuanto a la presencia o ausencia de minerales ferromagnéticos, donde los lineamientos magnéticos pueden estar relacionados a sistemas de fallas locales o estructuras que sirven de controles estructurales para la inyección de sistemas de mineralización.

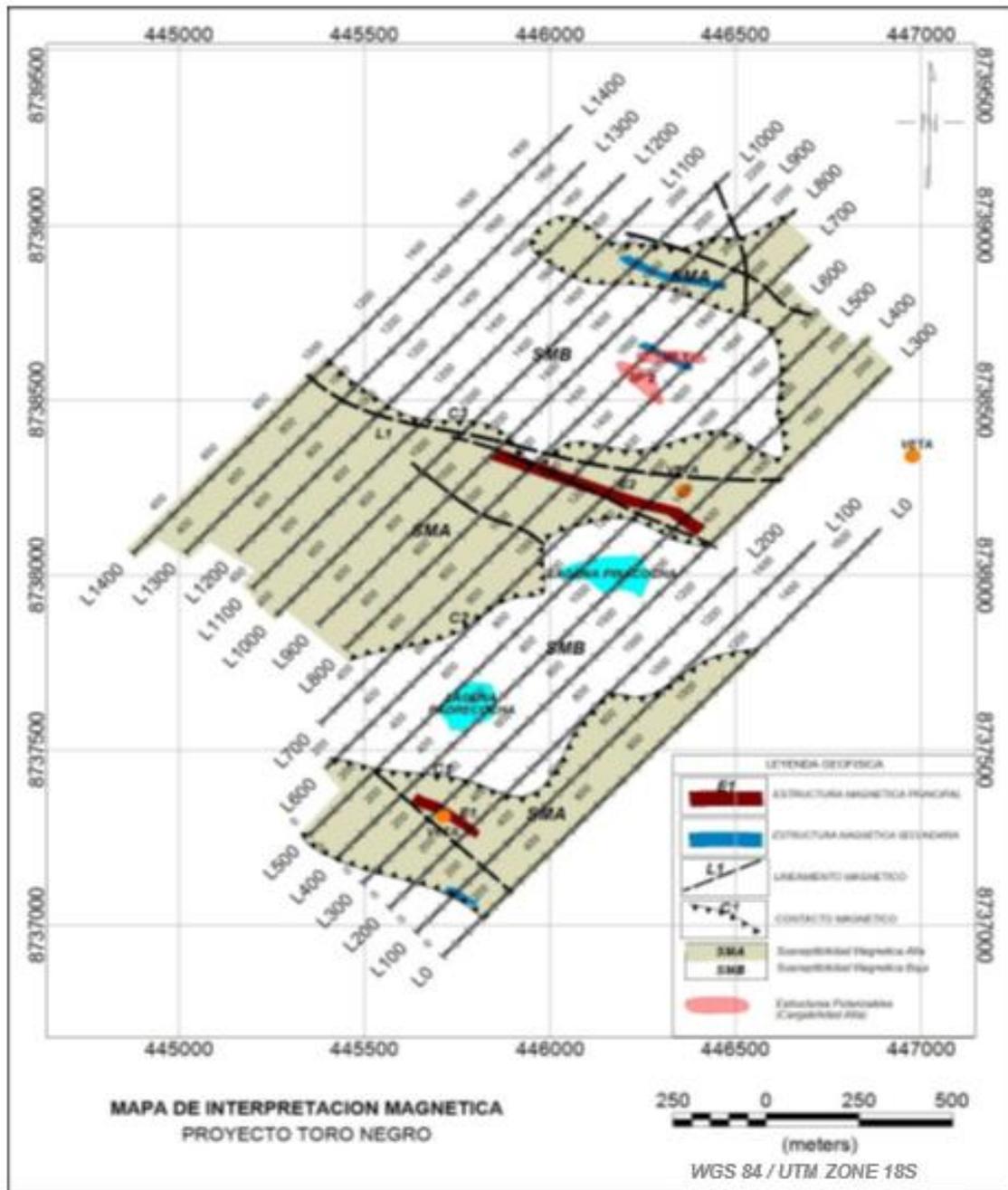


Figura 12. Mapa de interpretación magnética
Fuente: Departamento de Geología

2.6.3. Polarización inducida – resistividad

El test realizado en el área de estudio ha determinado dos parámetros físicos. Primero, el parámetro de la resistividad, que varía en función de la porosidad, nivel de saturación en agua, grado de litificación y composición mineralógica. En segundo lugar, el parámetro de la cargabilidad, cuya anomalía se debe a la mayor o menor concentración de sulfuros u óxidos presentes en las rocas, donde los valores son función de su naturaleza, volumen del cuerpo anómalo y cantidad

de granos polarizables, los cuales ayudan a delimitar focos anómalos posiblemente relacionados a las zonas de contacto o que estén emplazados en las fracturas.

2.6.4. Interpretación de mapas de niveles

Por medio de la distribución de la resistividad y cargabilidad en diferentes profundidades se han elaborado mapas de niveles donde se puede observar el comportamiento físico de las anomalías polarizables.

A. Mapa de nivel a una profundidad de 5 metros

En este nivel se muestra una zona de resistividad alta en el sector norte. El mapa de cargabilidad presenta dos sectores anómalos con valores mayores de 4mV/V.

Esta anomalía coincide con la veta indicado con una distribución de pirita de moderada a baja.

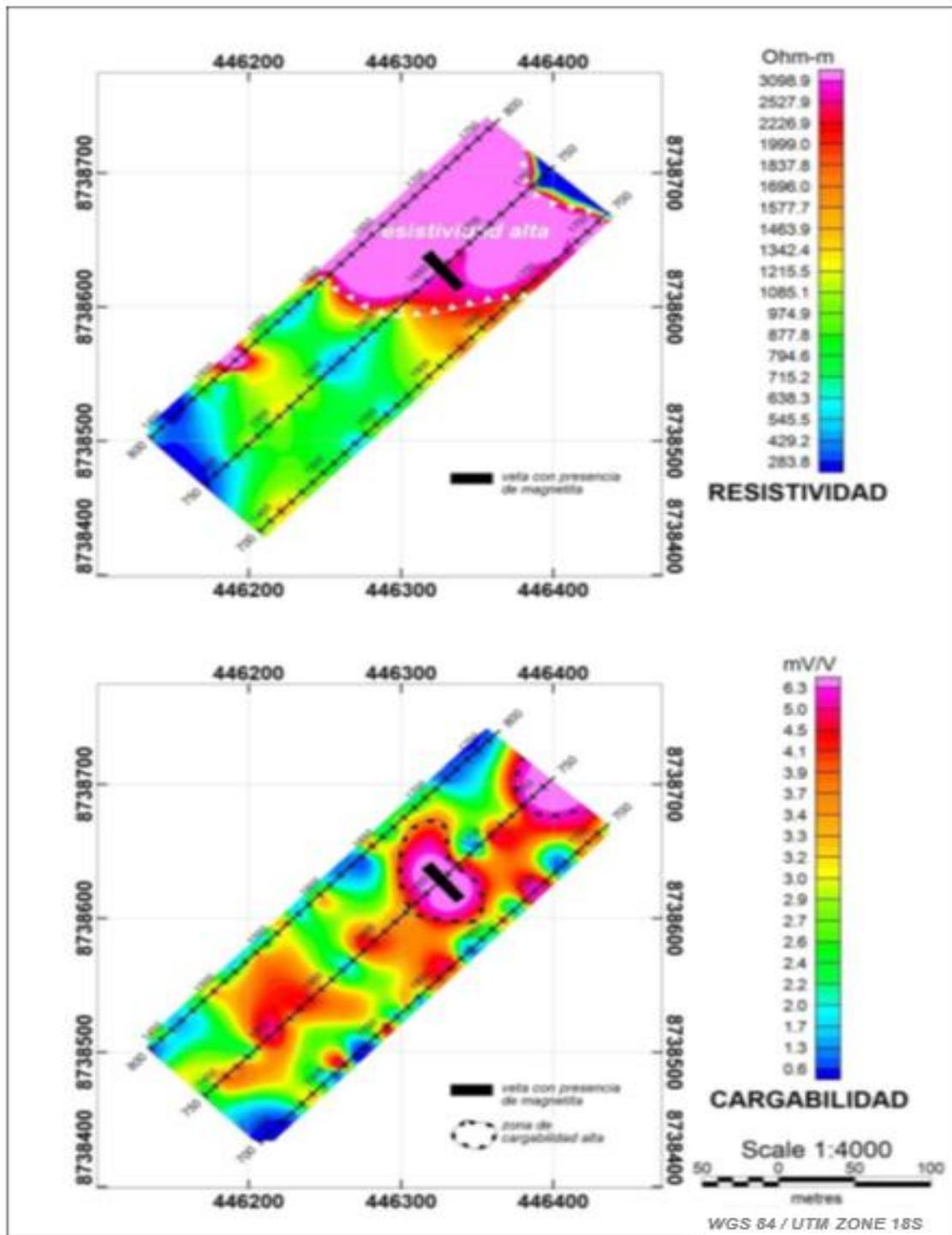


Figura 13. Mapa de nivel a una profundidad de 5 metros
Fuente: Departamento de Geología

B. Mapa de nivel a una profundidad de 10 metros

A esta profundidad se encuentran las zonas de resistividades altas que muestran la presencia de roca intrusiva. Además, la cargabilidad mantiene las anomalías observadas a una profundidad de 5 metros.

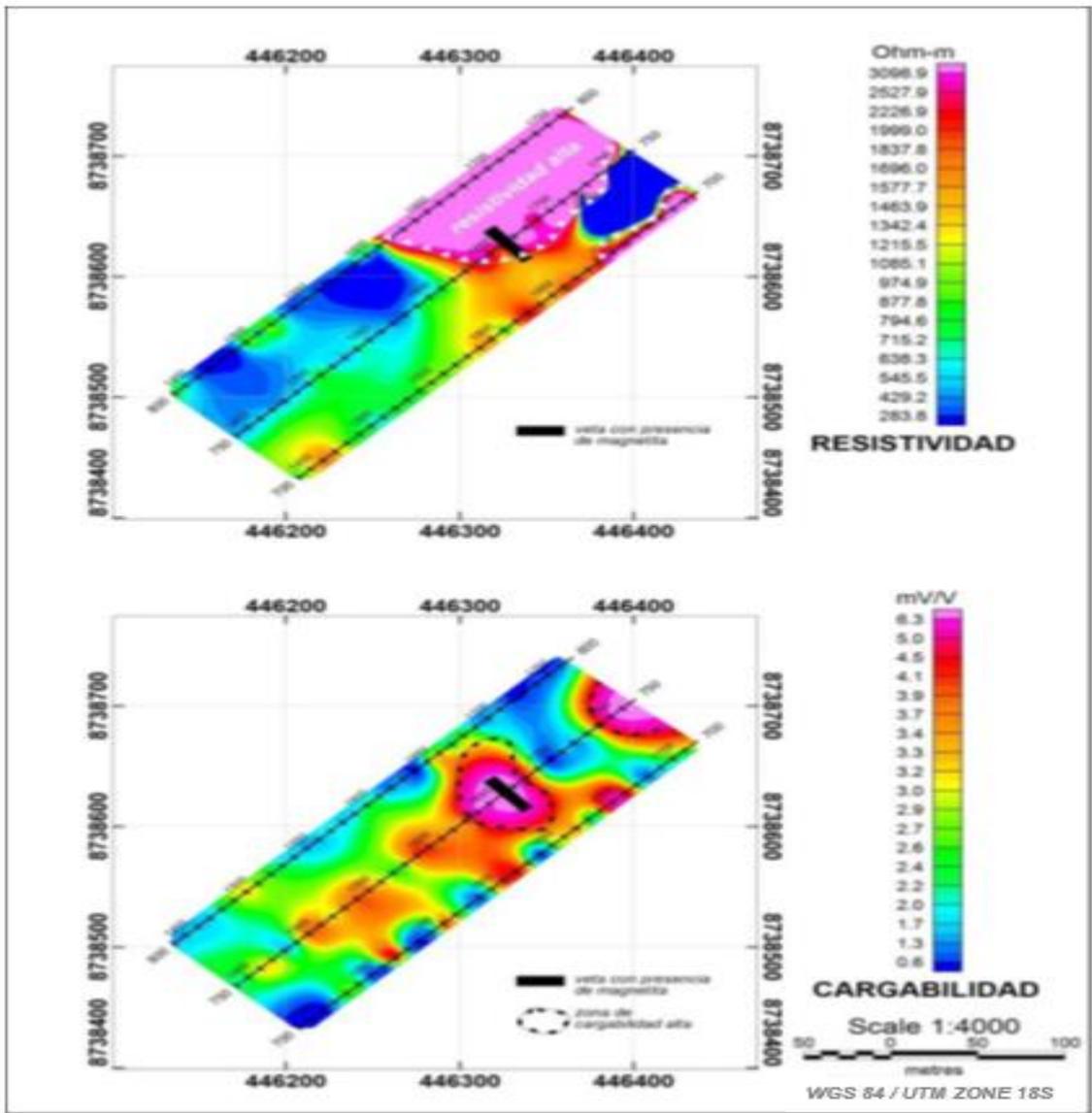


Figura 14. Mapa de nivel a una profundidad de 10 metros
Fuente: Departamento de Geología

C. Mapa de nivel a una profundidad de 30 Metros

En este nivel, las resistividades altas se mantienen en la zona norte de las líneas, aunque con una leve diferencia en cuanto a su emplazamiento. Por otro lado, los sectores anómalos de cargabilidad a esta profundidad se ubican principalmente en la línea 700 con valores de mayores que los determinados en los anteriores mapas de niveles.

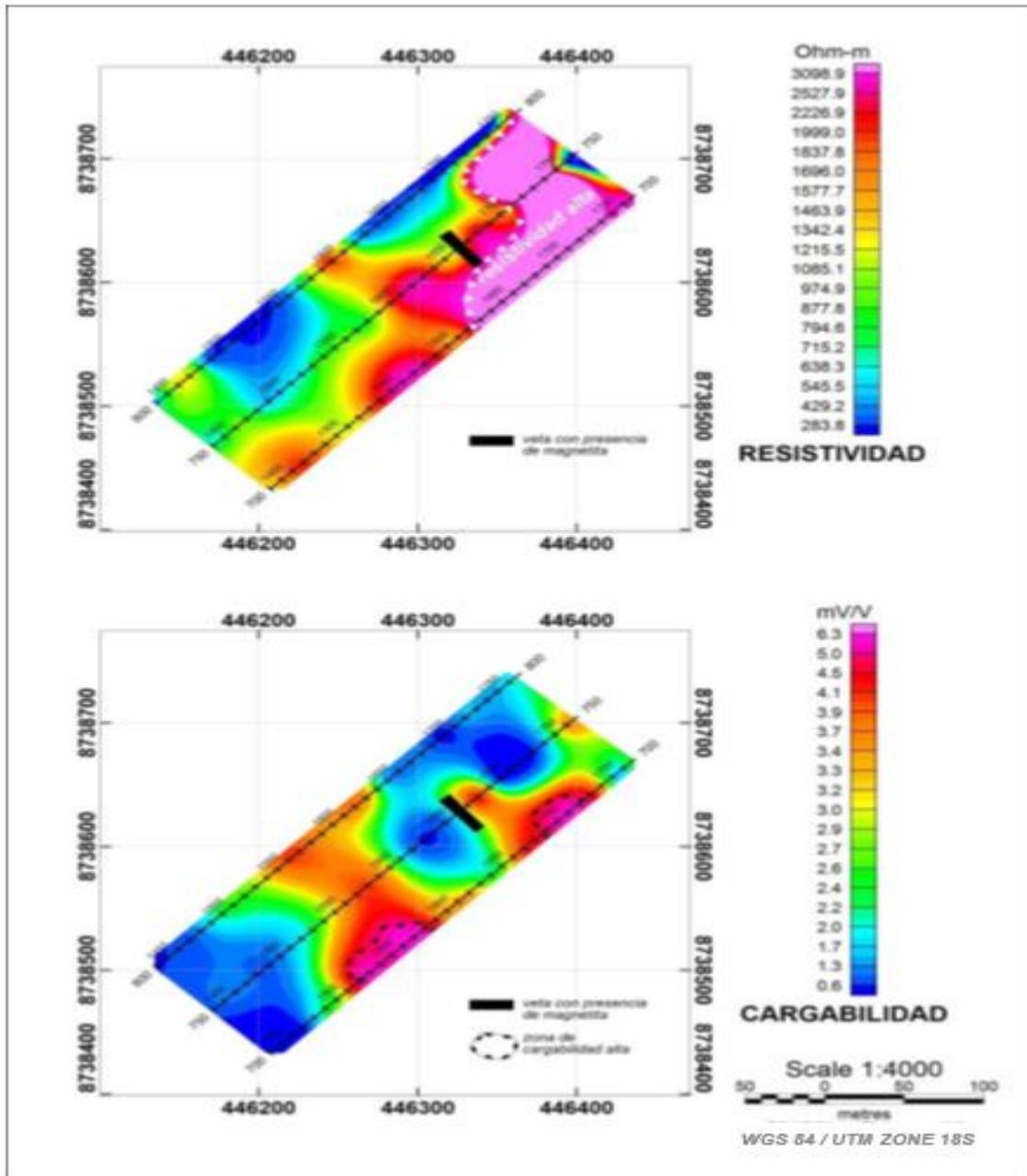


Figura 15. Mapa de nivel a una profundidad de 30 metros
Fuente: Departamento de Geología

D. Mapa de nivel a una profundidad de 50 metros

La anomalía de resistividad alta presenta una mayor extensión, cubriendo casi todas las líneas geofísicas. En cuanto a la cargabilidad la línea 700 es la que presenta los valores más importantes.

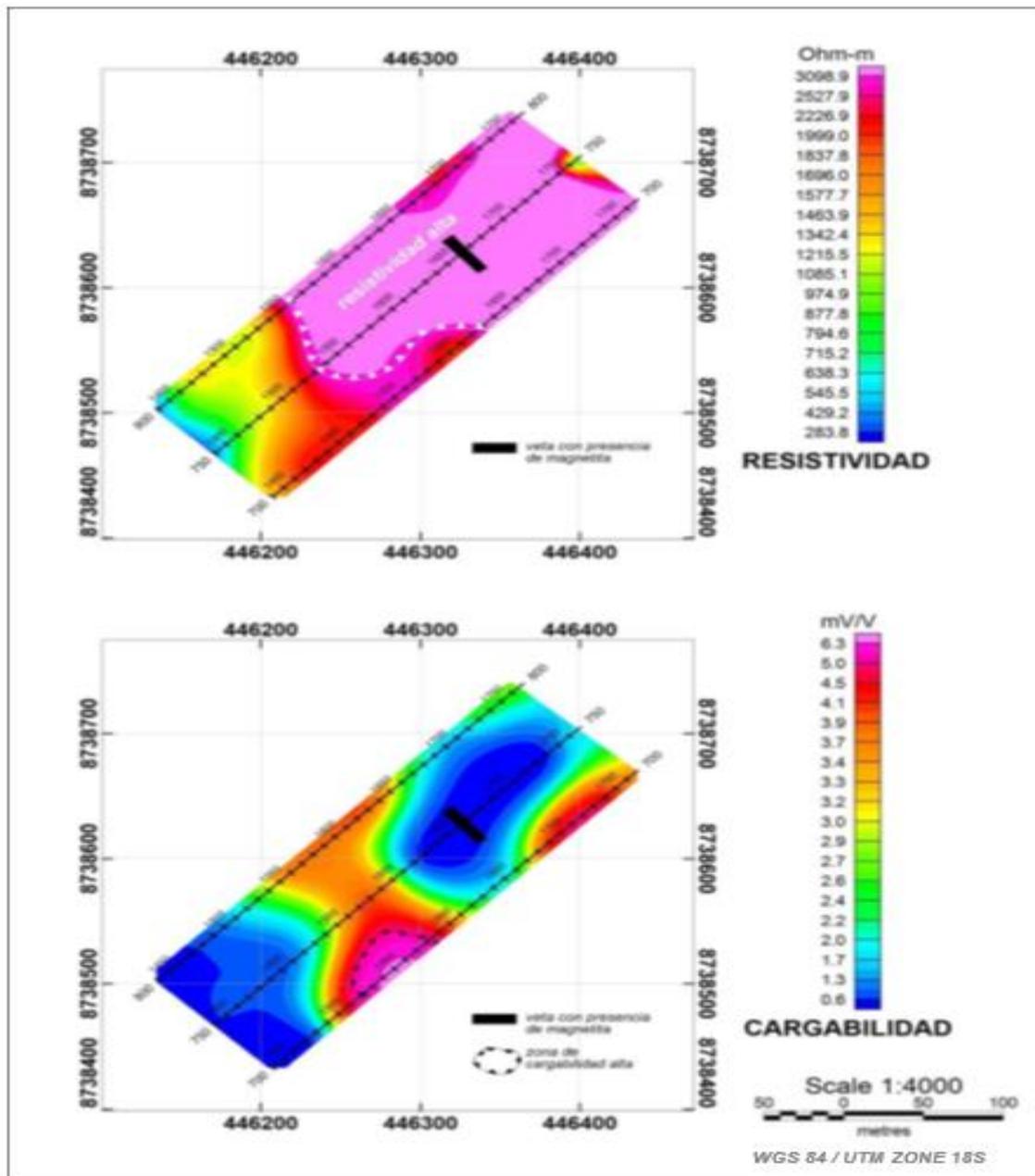


Figura 16. Mapa de nivel a una profundidad de 50 metros
Fuente: Departamento de Geología

2.6.5. Modelo de inversión

El método de inversión intenta encontrar un modelo de la subsuperficie terrestre que responda a datos medidos en el terreno. En la aplicación del método existe un problema bien conocido que es de la no unicidad, es decir, la presencia de amplio rango de modelos capaces de responder datos similares de la IP/ resistividad aparente. Para reducir este rango se utiliza las supuestas

características sobre la naturaleza de la subsuperficie como la geología, esto ayuda a establecer un modelo más apropiado.

Los modelos de resistividad y cargabilidad que a continuación se presenta son más representativos del área de estudio. El *background* de resistividad y cargabilidad es resultado de las 3 líneas medidas con la finalidad de establecer los contactos geoelectricos (resistividad) y cuerpos polarizables (cargabilidad alta) asociados a sulfuros presente en cada sección.

A. Línea 700

Lo más resaltante de esta sección es la zona de resistividades altas por encima de los 2,000 ohm-m, que muestra una roca resistiva compacta como la intrusiva, y están en concordancia con dos cuerpos polarizables indicando la posible presencia de pirita en porcentaje bajo.

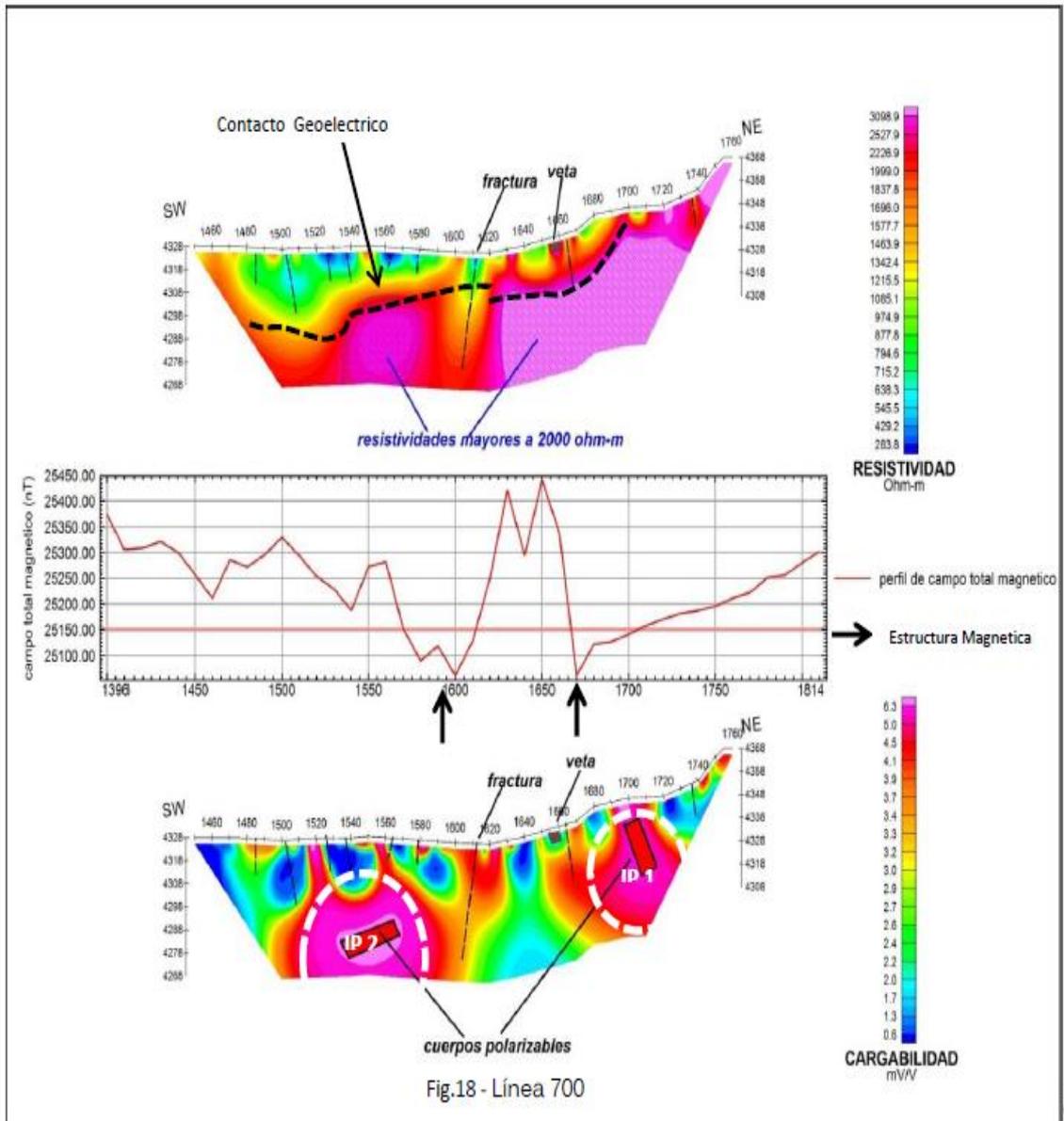


Figura 17. Línea 700
Fuente: Departamento de Geología

B. Línea 750

Se pueden apreciar dos aspectos importantes en esta sección. En primer lugar, la presencia de resistividades altas que se ubican casi desde la superficie entre las estaciones 1,650 a 1,740 para luego extenderse en profundidad. En segundo lugar, en cuanto a la cargabilidad se denota una zona anómala en superficie coincidiendo con una veta presente en el sector. Entre las estaciones 1,560 a 1,580 se observa un cuerpo en profundidad.

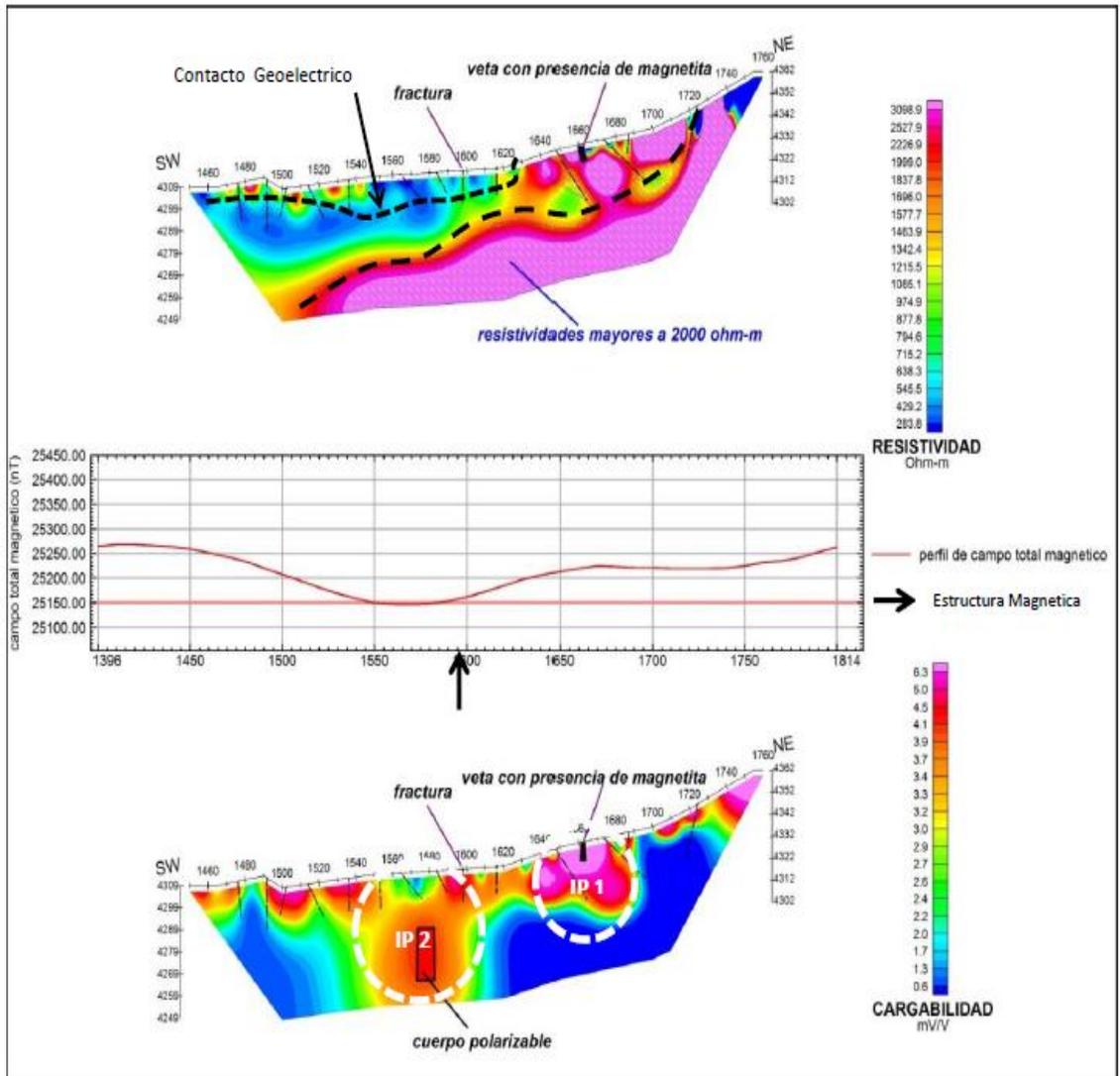


Figura 18. Línea 750
Fuente: Departamento de Geología

C. Línea 800

En esta sección observamos dos zonas de resistividades altas muy marcadas. En superficie estaría relacionada a la presencia de material coluvial y a profundidades estaría relacionada a la presencia de una roca muy resistiva. Por otro lado, la cargabilidad nos muestra dos cuerpos polarizables en profundidad relacionados con resistividades altas.

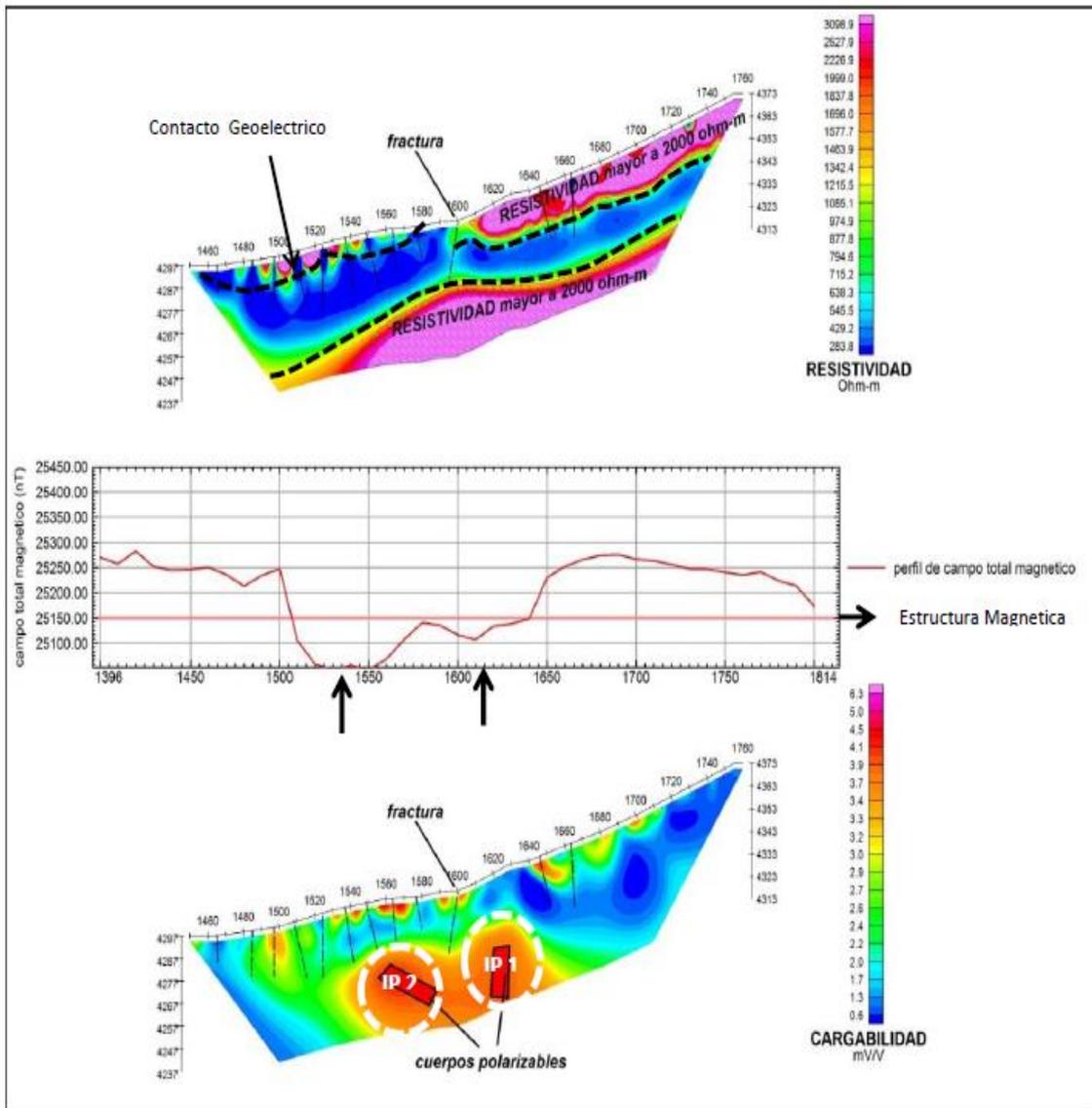


Figura 19. Línea 800
Fuente: Departamento de Geología

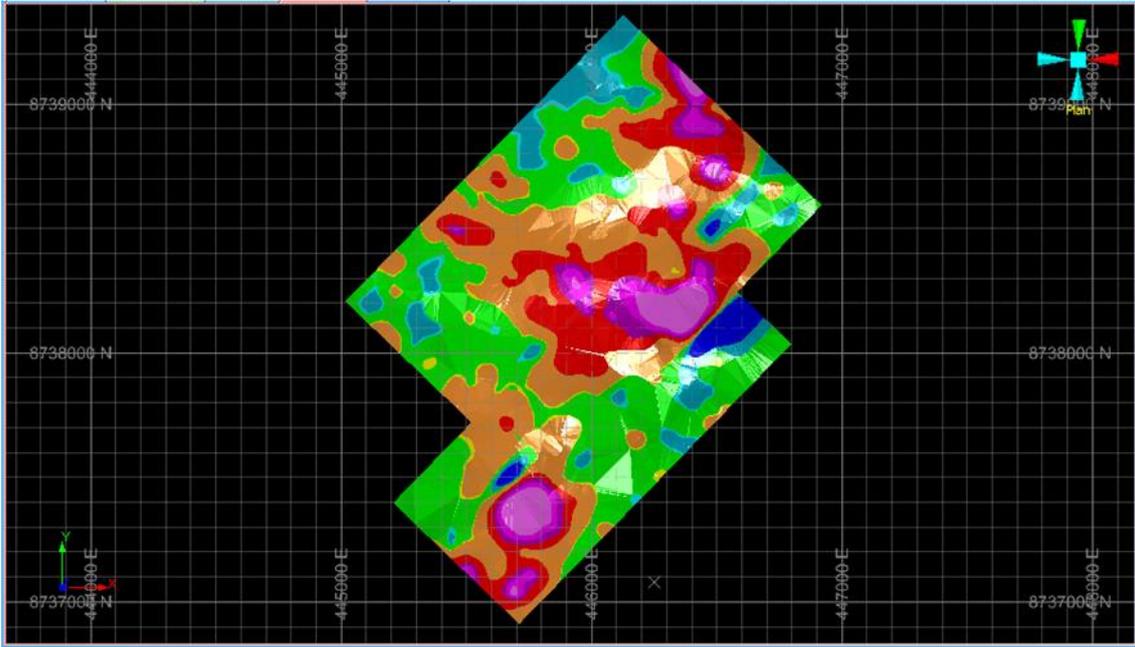


Figura 20. Plano de la geofísica en contorno a la topografía del proyecto (vista en planta)
Fuente: Elaboración propia

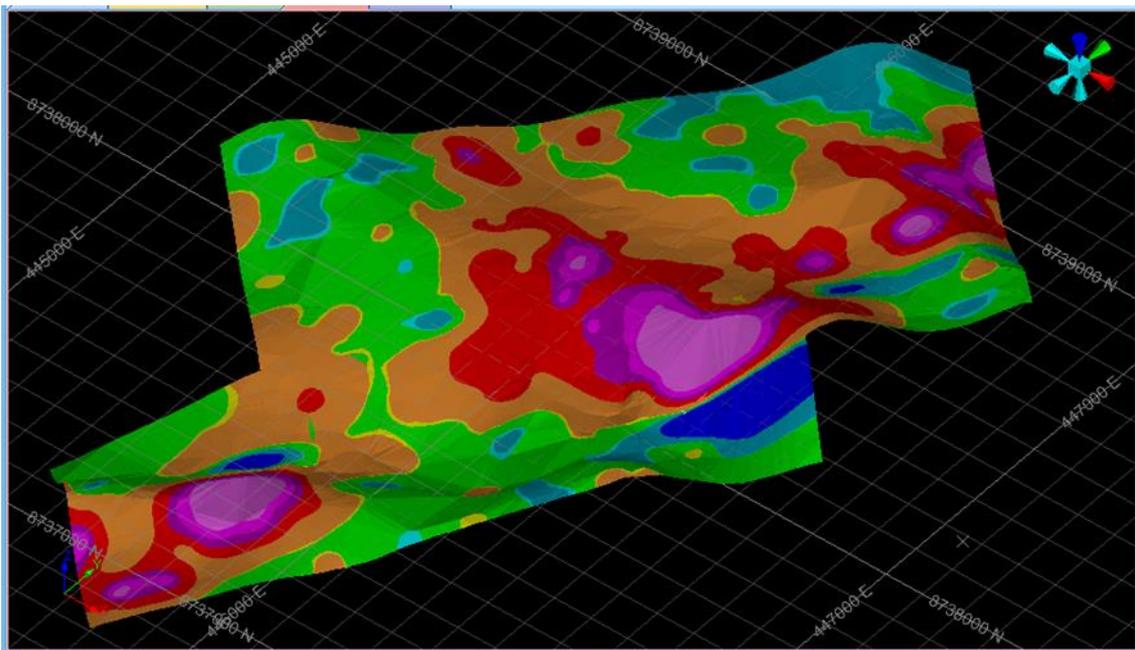


Figura 21. Plano de la geofísica en contorno a la topografía del proyecto (vista tridimensional).
Fuente: Elaboración propia

2.7. Bases teóricas

La elección de un método de explotación de un determinado yacimiento de mineral está relacionada principalmente a la viabilidad económica como NPV (*Net Present Value* o *Valor Presente Neto*); es decir, $B = I - C$ (beneficios, ingresos, costos, etc.). También se consideran los diversos factores propios que presenta el yacimiento como: ubicación, forma, tamaño.

2.7.1. Ubicación

El proyecto Toro Negro de 1,500 hectáreas, se encuentra ubicado en el distrito de Tapo, provincia de Tarma y departamento de Junín, corresponde geográficamente al lado este de la cordillera Oriental de los Andes del Perú yace entre las altitudes de 4,100 a 4,650 m s.n.m.



Figura 22. Ubicación del proyecto Toro Negro
Fuente: Elaboración propia

2.7.2. Forma

El yacimiento del proyecto Toro Negro del sector Petra tiene una forma irregular con dimensiones considerables tanto en orientación horizontal y vertical, en esta la mineralización está distribuida en forma relativamente uniforme.

Estas características mencionadas describen a un depósito masivo como se puede apreciar en las figuras.

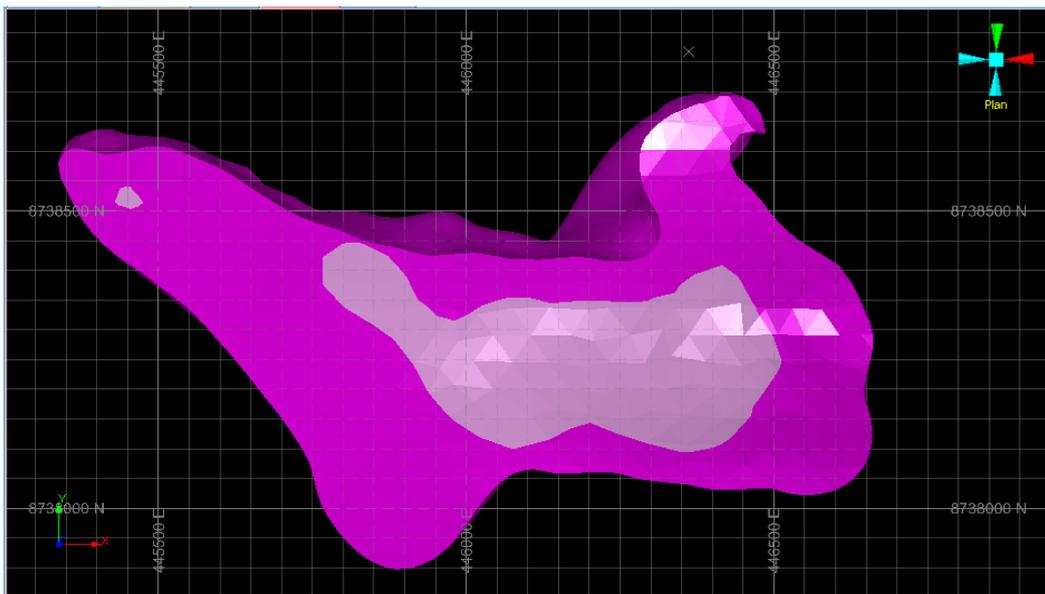


Figura 23. Forma del yacimiento en una vista en planta
Fuente: Elaboración propia

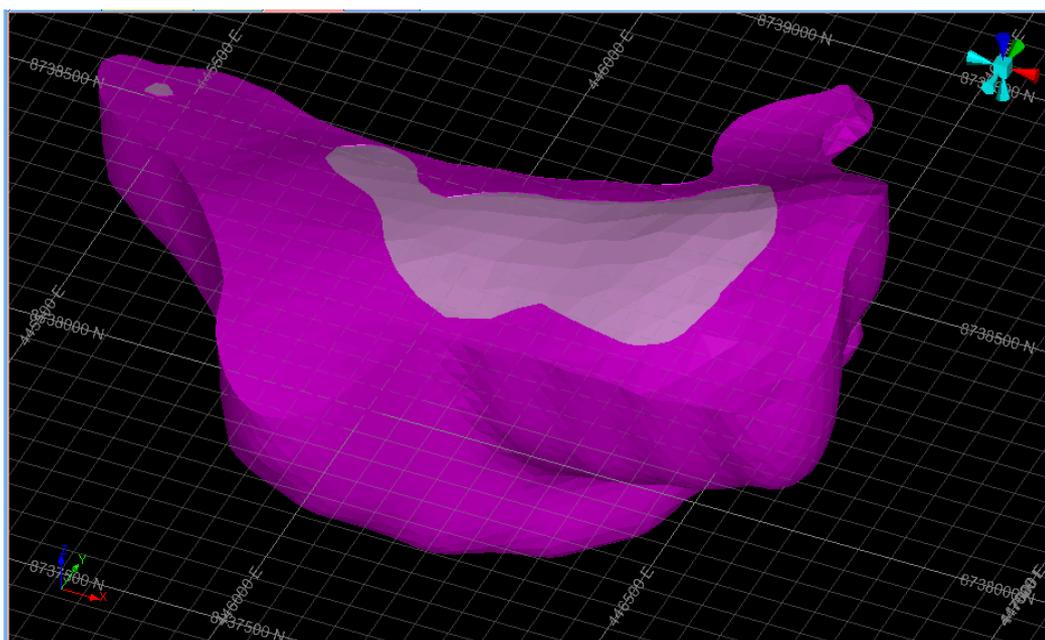


Figura 24. Forma del yacimiento en una vista tridimensional
Fuente: Elaboración propia

2.7.3. Tamaño

El yacimiento del proyecto Toro Negro del sector Petra presenta un tamaño irregular con dimensiones considerables. Muestra un largo de 1,200 metros, ancho de 700 metros y una profundidad aproximado de 500 metros para el caso de estudio geofísico.

Las dimensiones mencionadas se pueden apreciar en las siguientes figuras.



Figura 25. Tamaño del yacimiento en una vista en planta (largo)
Fuente: Elaboración propia

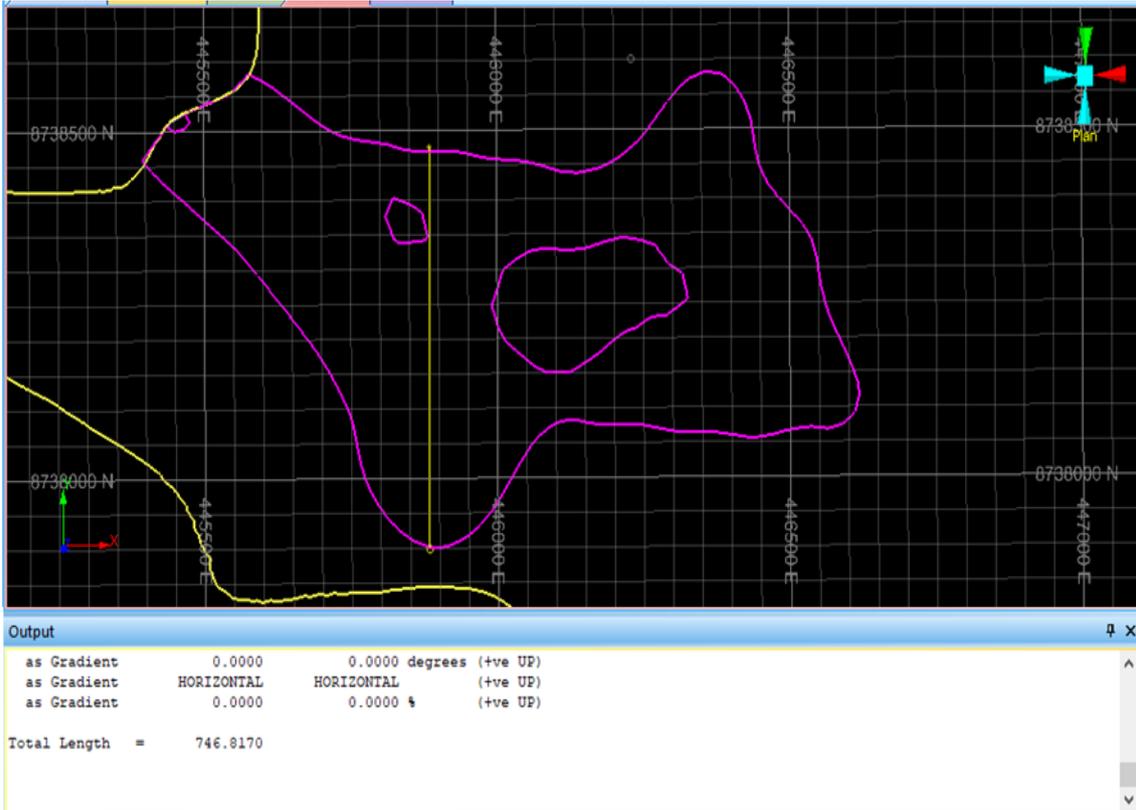


Figura 26. Tamaño del yacimiento en una vista en planta (ancho)
Fuente: Elaboración propia

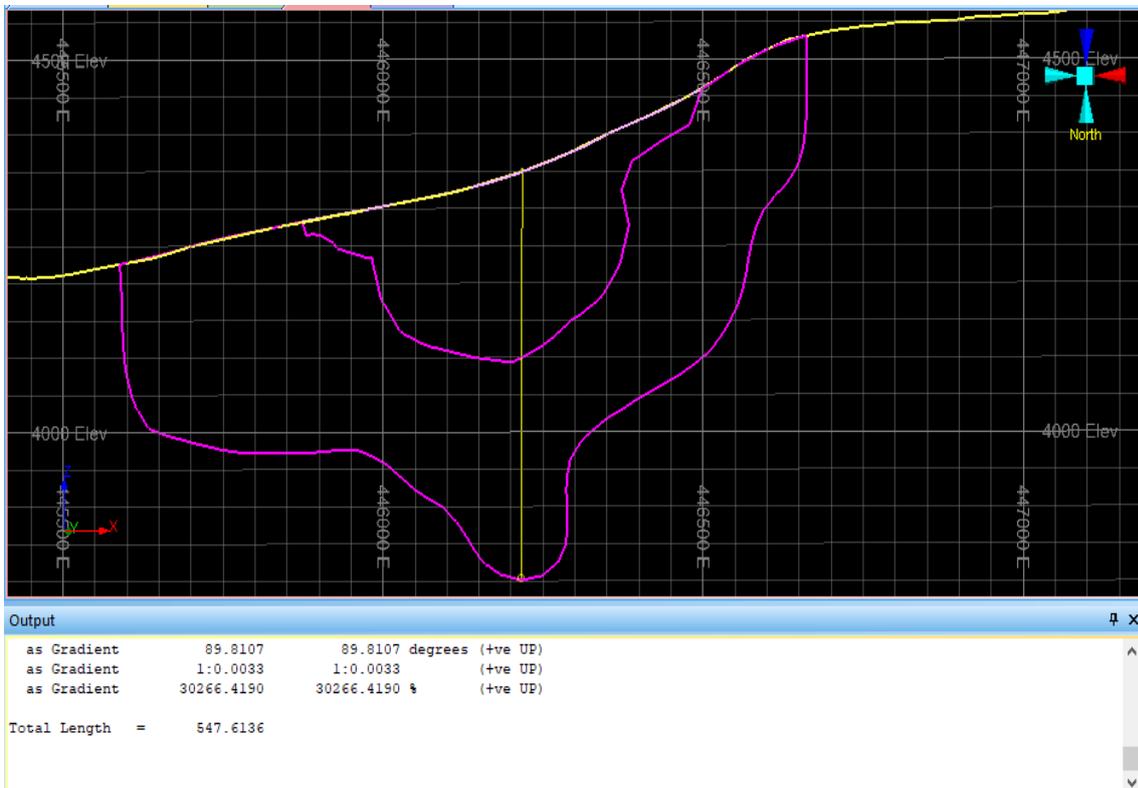


Figura 27. Tamaño del yacimiento en una vista frontal (profundidad)
Fuente: Elaboración propia

2.7.4. Topografía superficial

Para su estudio se realizaron varios métodos de levantamiento topográfico que contienen las lecturas de coordenadas de los puntos visados, las curvas de nivel, las triangulaciones del área de estudio.

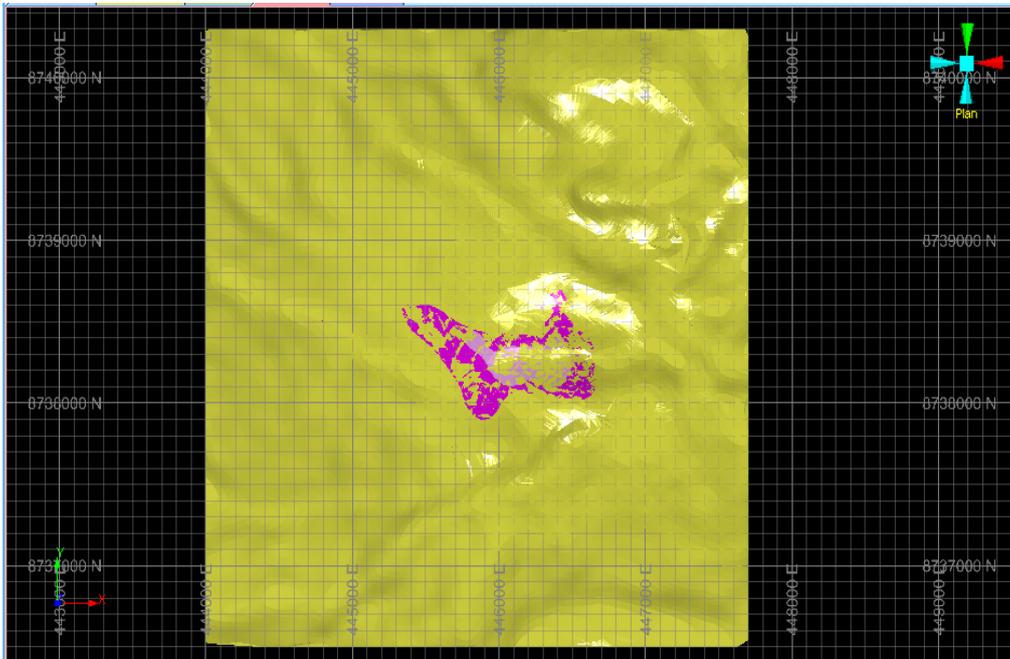


Figura 28. Topografía superficial del yacimiento en una vista en planta
Fuente: Elaboración propia

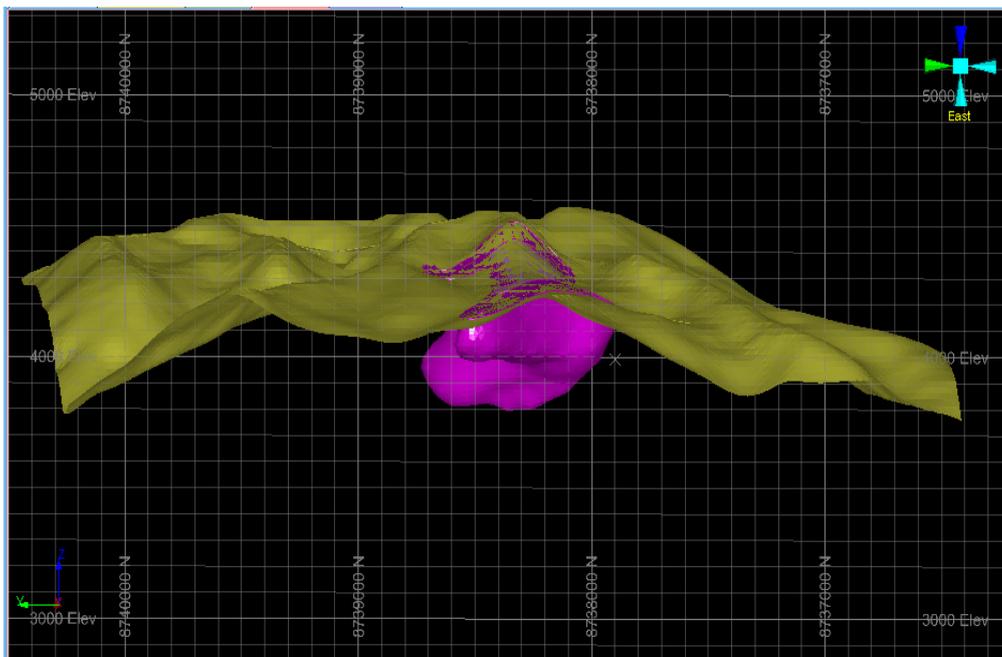


Figura 29. Topografía superficial del yacimiento en una vista tridimensional
Fuente: Elaboración propia

2.7.5. Profundidad del cuerpo mineral

El yacimiento del proyecto Toro Negro del sector Petra es un yacimiento superficial ya que el material estéril tiene menor de 20 a 30 metros de espesor y en algunas zonas presenta afloramiento de mineral. La profundidad es irregular con una dimensión aproximado de 500 metros como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

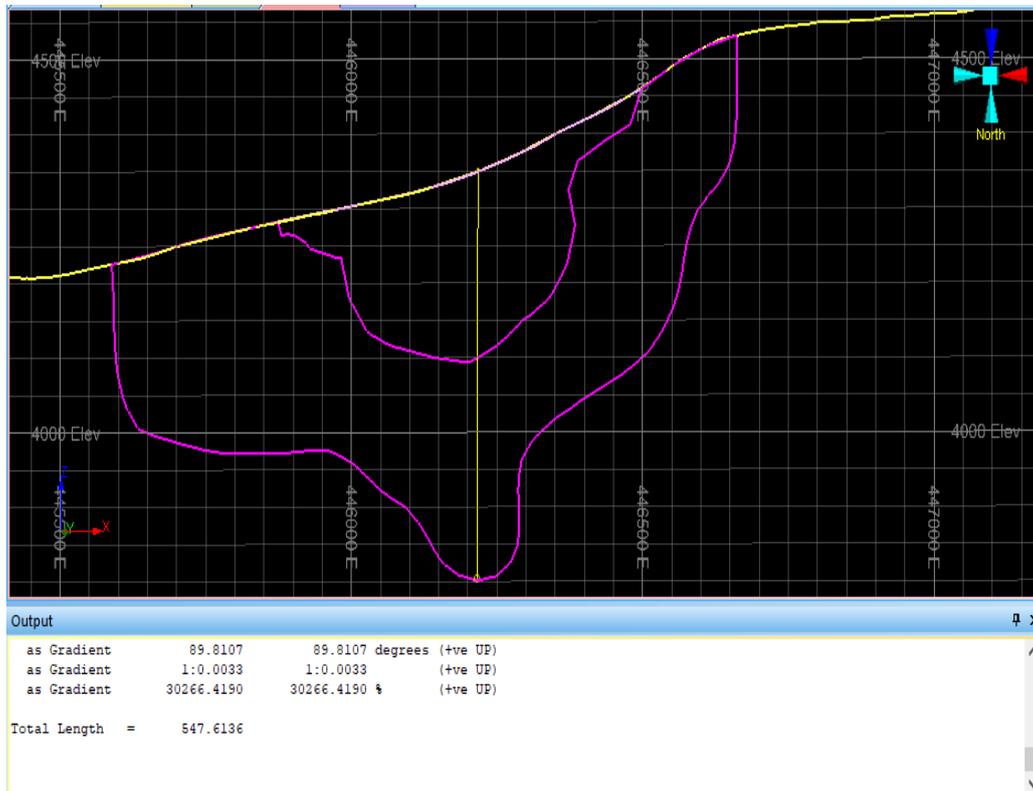


Figura 30. Profundidad del yacimiento en una vista frontal
Fuente: Elaboración propia

2.7.6. Tipo de mineral

En el área del proyecto, la mineralización es compleja ya que contiene masas de mineral pobre o con bajas leyes. En el área de estudio se puede apreciar en forma predominante, en el cuerpo masivo, la mineralización de Hierro (Fe). Asimismo, en la parte central y sur de este cuerpo afloran estructuras mineralizadas de cobre con rellenos de fracturas y diseminado asociado a estructuras sigmoide emplazado en el cuerpo de hierro.



Figura 31. Sigmoide presente en el cuerpo de magnetita con presencia de Cu en forma de diseminados y relleno de fracturas.
Fuente: Departamento de Geología



Figura 32. Presencia de Cu en ambientes metamórficos presente en forma distal al este de los cuerpos de hierro
Fuente: Departamento de Geología

2.7.7. Distribución de la calidad de mineralización

La distribución de la calidad de mineralización no es uniforme ya que el depósito mineral presenta calidades distintas de leyes a nivel superficial o en profundidad como se puede apreciar en el modelo de bloques del proyecto.

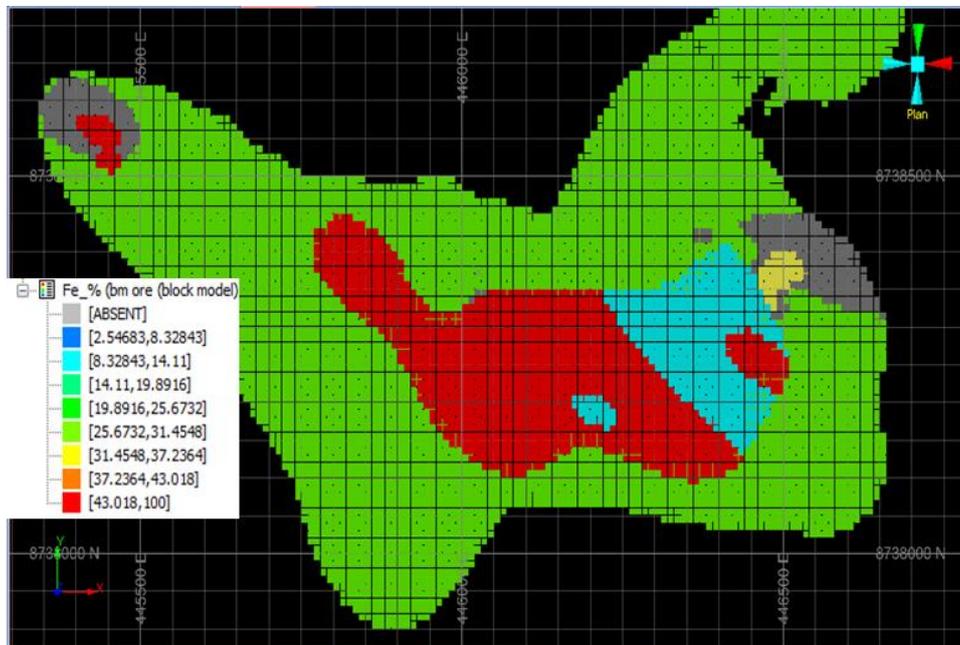


Figura 33. Modelo de bloques del yacimiento en una vista en planta
Fuente: Departamento de Geología

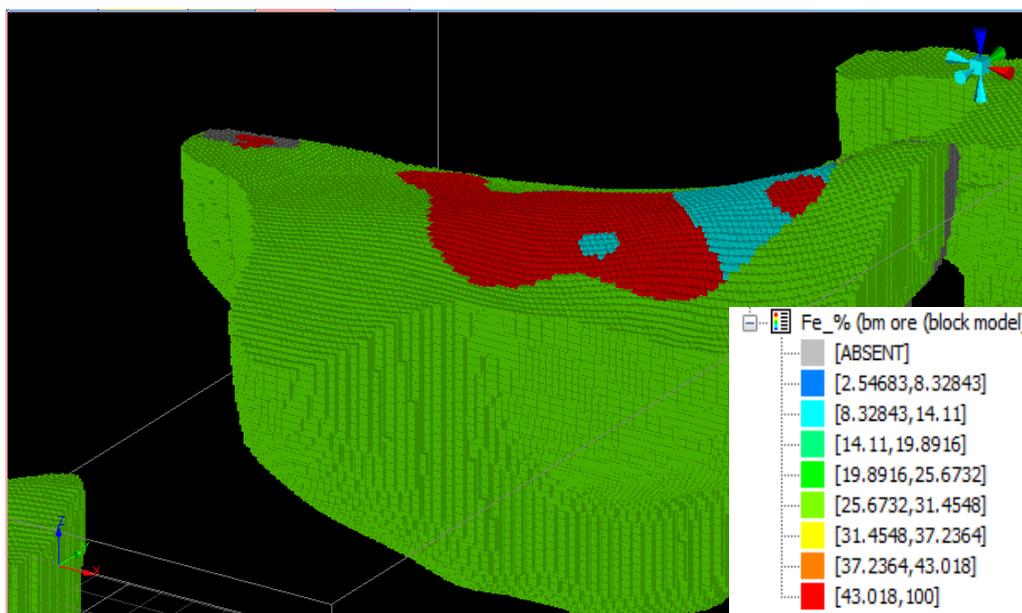


Figura 34. Modelo de bloques del yacimiento en una vista tridimensional
Fuente: Departamento de Geología

2.7.8. Características del macizo rocoso

De los estudios realizados, se observa que las características del macizo rocoso presentan ocurrencias de contactos del intrusivo con los sedimentos molásticos, hacia el lado oeste del área de estudio, probablemente asociados a diques y al lado este, rocas metamórficas tipo esquistos y filitas.

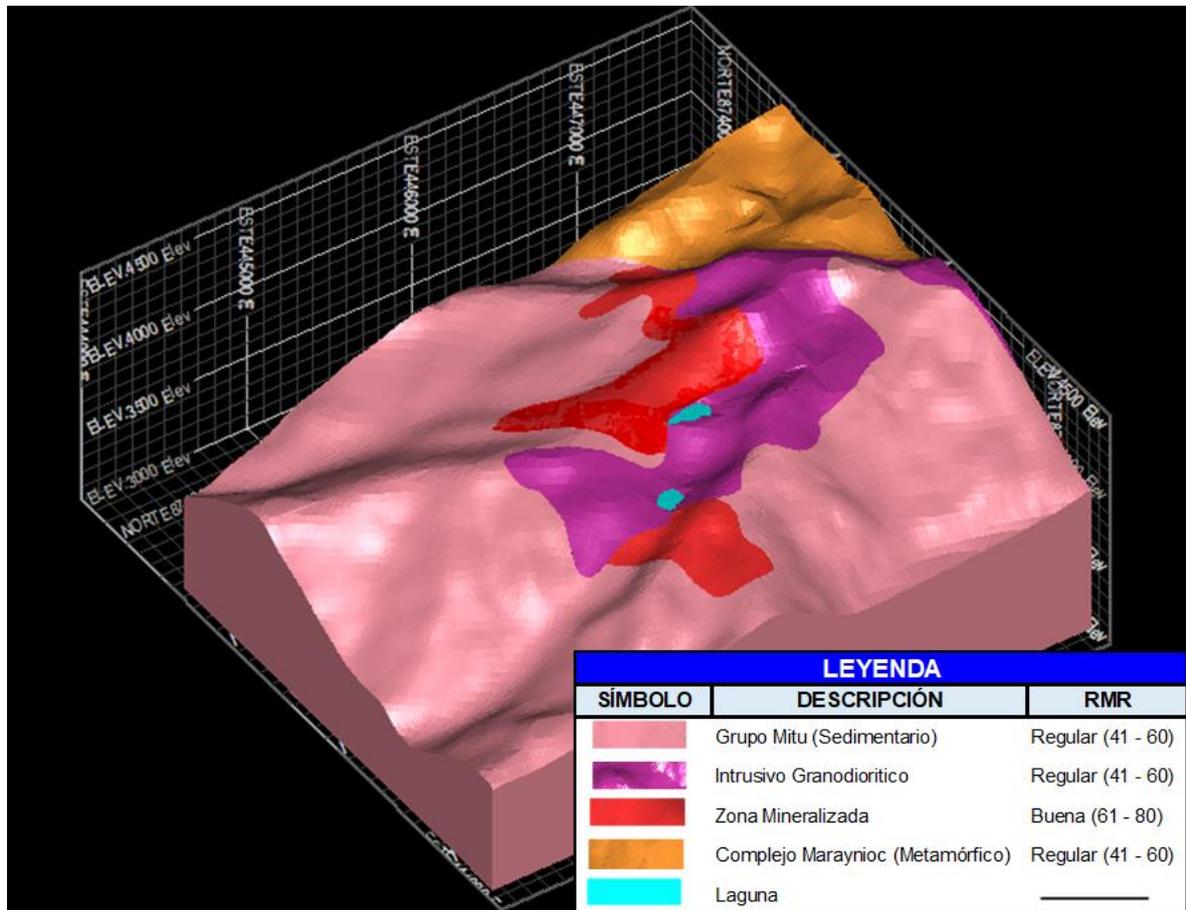


Figura 35. Modelo geomecánico tridimensional

Fuente: Elaboración propia

2.7.9. Selección del método de minado

A. Evaluación geológica y geomecánica (Nicholas)

Se utilizó una plantilla en excel para determinar el método de minado o explotación del yacimiento de Hierro de la zona Petra del proyecto Toro Negro.

Tabla 4. Plantilla de selección del método de minado según Nicholas

Selección del método de minado (Nicholas)						
Geometría del yacimiento y distribución de leyes				BORRAR		
1. Forma:						
Equidimensional o masi	M	Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.	<input type="text" value="1"/>			
Tabular:	T	Dos de las dimensiones son mucho mayores que la tercera.	<input type="text"/>			
Irregular:	I	Las dimensiones varían a distancia muy pequeñas.	<input type="text"/>			
2. Potencial mineral:						
Muy estrecho	ME	(< 3 m)	<input type="text"/>			
Estrecho	E	(3 – 10 m)	<input type="text"/>			
Intermedio	I	(10 – 30 m)	<input type="text"/>			
Potente	P	(30 -100 m)	<input type="text"/>			
Muy potente	MP	(> 100 m)	<input type="text" value="1"/>			
3. Inclinación:						
Echado/tumbado	T	(< 20°)	<input type="text" value="1"/>			
Intermedio	IT	(20 — 55°)	<input type="text"/>			
Inclinado	IN	(> 55°)	<input type="text"/>			
4. Distribución de leyes						
Uniforme:	U	La ley media del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto de este.	<input type="text"/>			
Gradual o diseminado:	D	Las leyes tiene una distribución zonal, identificándose cambios graduales de unos puntos a otros.	<input type="text" value="1"/>			
Errático:	E	No existe una relación espacial entre las leyes, ya que éstas cambian radicalmente de unos puntos a otros en distancias muy pequeñas.	<input type="text"/>			
5. Profunndidad de la superficie						
Superficial	S	(0 — 100m)	<input type="text" value="1"/>			
Intermedio	I	(100 — 600m)	<input type="text"/>			
Profundo	P	(> 600m)	<input type="text"/>			
Características geomecánicas						
1.- RMR				ZONA MINERAL	CAJA TECHO	CAJA PISO
Muy débil	MD	0 - 20	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Débil	D	20 - 40	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Moderado	M	40 - 60	<input type="text"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	
Fuerte	F	60 – 80	<input type="text" value="1"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Muy fuerte	MF	80 – 100	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
2.- Esfuerzo de subducción de roca (RSS) - Esfuerzo uniaxial/esfuerzo principal						
Muy pobre	MP	(< 5)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pobre	P	(5 - 10)	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	
Moderado	M	(10 - 15)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Fuerte	F	(> 15)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Ranking de puntuación para cada método de explotación

Orden	Método de explotación	Geometría y distribución de leyes	Características geomecánicas de las rocas				Total
			Mineral	Techo	Piso	Subtotal	
1	Open Pit Mining	18	6	7	7	20	38
2	Block Caving	15	2	6	6	14	29
3	Sublevel Stoping	15	6	4	3	13	28
3	Sublevel Caving	13	4	6	5	15	28
5	Cut & Fill Stoping	7	4	9	5	18	25
5	Bench and Fill Stoping (Con Relleno)	12	6	4	3	13	25
5	Sublevel Stoping Longitudinal (Con Relleno)	12	6	4	3	13	25
8	Top Slicing	9	3	4	3	10	19
9	Square Set Stoping	4	3	3	2	8	12
13	Room and Pilar	-40	5	3	0	8	-32
14	Longwall Mining	-91	7	9	0	16	-75
15	Shrinkage Stoping	-93	4	3	4	11	-82
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Usando la metodología de Nicholas se puede concluir que los métodos de minado con mayor puntuación son *Open Pit* (1°), *Block Caving* (2°) y *Sublevel Stopping* (3°). Como se puede apreciar en la siguiente tabla, para el trabajo de investigación se optó por método de minado *Open Pit* o Tajo Abierto.

Tabla 6. Los métodos de minado más recomendados

Método de minado	Puntuación
<i>Open Pit Mining</i>	38
<i>Block Caving</i>	29
<i>Sublevel Stopping</i>	28

Fuente: Elaboración propia

B. Trade Off

Para realizar el *Trade Off* se emplearon plantillas *excel* que se pueden apreciar en los anexos del presente trabajo de investigación.

I. Reporte de recursos

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se realizó un reporte de los recursos (ver anexo C) donde se muestra el detalle de los reporte y cálculos. Según la tabla muestra un total 586´429´120.00 de toneladas entre recursos medido, indicado e inferido.

Tabla 7. Reporte de recursos totales zona Petra – Toro Negro.

Descripción	Toneladas	Fe (%)
Medido	119,976,486	22.50
Indicado	406,632,442	27.96
Inferido	59,820,192	28.47
Total	586,429,120.0	26.89

Fuente: Elaboración propia

La distribución de los recursos geológicos totales (medido, indicado) obtenidos para el trabajo de investigación representan el 79% del recurso total de la zona Petra del proyecto Toro Negro.

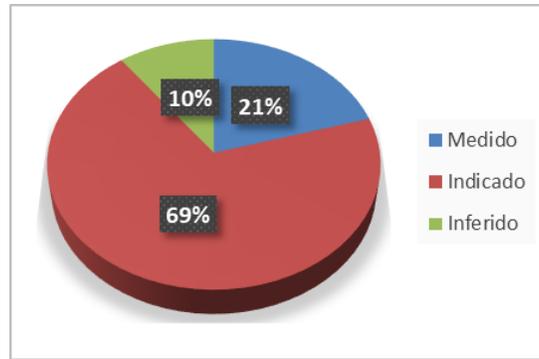


Figura 36. Distribución de recursos
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la curva tonelaje vs ley del total de recursos de la zona Petra del Proyecto Toro Negro.

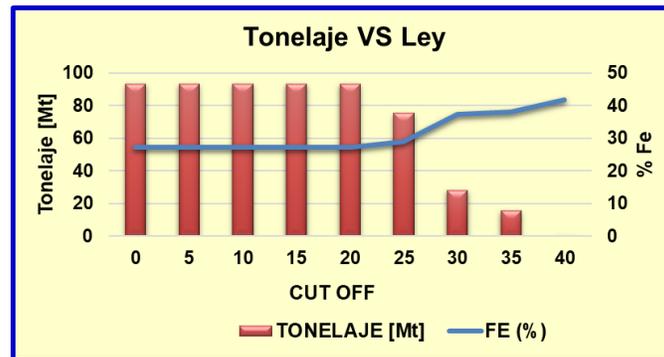


Figura 37. Distribución de recursos
Fuente: Elaboración propia

II. Dimensionamiento de producción

Para el dimensionamiento de producción para el caso de estudio está en función de las reservas estimadas que consideran explotables.

$$VOE(\text{años}) = 6.5(\text{reservas} - Mt)^{0.25} (1 \pm 0.2)$$

Figura 38. Formula para determinar el VOE
Fuente: Taylor (1976)

- VOE (años): Vida óptima de explotación
- (Reservas Mt): Reservas expresadas en millones de toneladas

Para calcular el ritmo en toneladas por día (tpd) el único método que se acondiciona a las características del yacimiento es el método *Open Pit* como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Reservas a minar

Método de minado	unidad	OP
Ley de corte	%	20.00%
Recurso descontado	T	586 429 120
Dilución	%	5%
Recuperación	%	93%
Reservas	t	572 648 036

Fuente: Elaboración propia

Días de Trabajo por año = 360 (se considera 5 a 6 días para parada de Planta)

*Ley de corte Fe: Leyes de corte estimadas

** Reporte de recursos

Tabla 9. Dimensionamiento

Método de minado	unidad	OP
VOE	años	[25.4;38.2]
VOE promedio	Años	31.8
tpa	kt	[22 500; 15 000]
tpa promedio	kt	18 760
tpd	t	[42 000; 63 000]
tpd promedio	t	52 500

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda para esta etapa del proyecto que la producción sea de 50´000.00 tpd y en los posteriores estudios a realizarse determinar la producción estimada con mayor confiabilidad.

III. Clasificación del método de minado

Los cálculos del método de minado están basados por la información recopilada en las visitas y el informe interno del proyecto.

Tabla 10. Variables geomecánicas de la zona Petra

Zona	Intrusivo	Estructura	Metamórfico
RMR	40-60	60-80	40-60
UCS	63.33	79.71	48.61
N. fracturas/metro	10	5	8
Condición de la estructura	Estructura con relleno suave, superficie ligera, rugosa	Estructura con relleno suave, superficie ligera, rugosa	Estructura con relleno suave, superficie ligera, rugosa

Fuente: Elaboración propia

En función a las variables geológicas y geomecánicas se definió el método de minado para la zona Petra del proyecto Toro Negro.

Tabla 11. Métodos de minado recomendado para la zona Petra

Método de minado	Puntuación
<i>Open Pit Mining</i>	38
<i>Block Caving</i>	29
<i>Sublevel Stopping</i>	28

Fuente: Elaboración propia

IV. Benchmarking del método de explotación

Este proceso consiste en comparar aquellos indicadores claves como la producción (tpd), la recuperación metalúrgica, la dilución, el *Cut Off*, los costos, etc. que pertenezcan a operaciones similares.

Tabla 12. Parámetros de minado

Método	Proyecto	K TPD	Elemento	Cut-Off	Dilución	Rec. Met.
OPEN PIT	Pampa de Pongo	720	Fe, Au, Cu	15.00%	0%	93%
	Toro Negro	50.00	Fe, Au, Cu	20.00%	5.00%	93%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Costos por proyecto

Método	Mina	K TPD	Mina	Procesamiento
OPEN PIT	Pampa de Pongo	720	1.17	5.69
	Toro Negro	50.00	1.40	5.93

Fuente: Elaboración propia

V. Cálculo de *Cut Off*

Una vez definido los costos de minado por método se obtuvo los costos de producción para el método de *Open Pit* (Tajo Abierto).

Tabla 14. Costos por proyecto

Descripción	Unidad	OP
Planta	US\$/t	5.93
Administración	US\$/t	1.49
Transporte	US\$/t	12.32
Costo Mina	US\$/t	1.40
Costo Total	US\$/t	21.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resumen de Cut Off para el método de minado

Método	K TPD	Cut - Off
OP	50	20%

Fuente: Elaboración propia

VI. Selección del método de minado

Para determinar la viabilidad del método de minado se analizaron los datos obtenidos como el *Cut Off*, la producción, la recuperación metalúrgica y los costos de minado. El resultado se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 16. Análisis económico del método de minado

Ítem	unidad	Open Pit
Producción	tpd	50 000
Ley corte Fe %	%	20.000
Costo de operación (Opex)		
Mina	US\$/t	1.40
Planta	US\$/t	5.93
Administración	US\$/t	1.49
Transporte	US\$/t	12.32
Total	US\$/t	21.14
Ley corte Fe %	%	20.000
Tipos de mineral		Medido,
Clase de recursos		Indicado
Recursos	t	93,373,780
Fe	%	27.33
Fe%	%	20.00
NSR	US\$/t	29.98
Recuperación	%	93
Dilución	%	5
Reservas minables (*)	t	91,179,496
Fe	%	26.031

Fe%	%	26.031
NSR	US\$/t	28.56
Costo total	US\$/t	21.14
Margen	US\$/t	7.42
Utilidad bruta	US\$ MM	676.19

Fuente: Elaboración propia

* Este *Cut Off* se calculó con los costos de planta, administración y transporte.

**Estas reservas son preliminares, solo para la determinación del método de minado.

VII. *Cut Off* y el NSR

Para determinar la el *Cut Off* se analizaron los datos obtenidos como: la producción de 50'000.00 TPD, la recuperación metalúrgica de 93%, la dilución de 5% y los costos de operación total de 21.14 US\$/t.

Tabla 17. Resumen de *Cut Off* para el método de minado

Ítem	unidad	Open Pit
Producción	tpd	50 000
Ley corte Fe %	%	20.000
Costo de operación (Opex)		
Mina	US\$/t	1.40
Planta	US\$/t	5.93
Administración	US\$/t	1.49
Transporte	US\$/t	12.32
Total	US\$/t	21.14
Ley corte Fe %	%	20.000

Fuente: Elaboración propia

Para calcular el *Cut Off*, primero se realizó el cálculo del valor punto de cada elemento, donde se consideró la obtención de un solo concentrado de hierro o pellets de hierro, contando el valor del concentrado. Con ello se obtuvo los parámetros de entrada para el cálculo del NSR (*net smelter return* o retorno neto de fundición) y ley de hierro (fe equivalente). Los resultados finales se pueden apreciar en la siguiente tabla.

$$NSR = (Ley Fe * Punto Mineral)$$

$$Fe Eq = (Ley Fe * 1)$$

$$Cut Off = Costo Total * (Ley Fe * 1) / NSR$$

Tabla 18. Cut Off y NSR

Método de minado	Cut - Off Fe%	NSR US\$/t
Open Pit (Tajo Abierto)	20	29.98

Fuente: Elaboración propia

C. Elección del método de explotación para el proyecto

Para el trabajo de investigación según las condiciones geológicas, geomecánicas y económicas del yacimiento se optará por el método de minado *Open Pit* (Tajo Abierto) en base a las evaluaciones geológicas y geomecánicas (Nicholas) y el *Trade Off*.

2.7.10. Relación estéril/mineral

La relación estéril mineral (REM) se calculó de acuerdo a la profundidad y a un ángulo de 45° de *pit* final. Esta varía de acuerdo a la profundidad del *pit* como se puede apreciar en el grafico siguiente. Asimismo, se relacionó con la producción de mineral a una profundidad determinada del yacimiento. Se puede apreciar en la tabla que a una profundidad de 200 metros se obtiene una REM de 0,29 y con 509,04 M toneladas. Además, según el informe interno del proyecto esta presenta un valor de REM de 0,15 incluido las 3 zonas que alberga el proyecto.

Tabla 19. Relación estéril mineral a una profundidad de Pit final

Profundidad (m)	Tonelaje [Mt]	REM
50.00	127.26	0.07
100.00	254.52	0.14
150.00	381.78	0.21
200.00	509.04	0.29
250.00	636.30	0.36
300.00	763.56	0.43
350.00	890.82	0.50
400.00	1018.08	0.57
450.00	1145.34	0.64
500.00	1272.60	0.71

Fuente: Elaboración propia

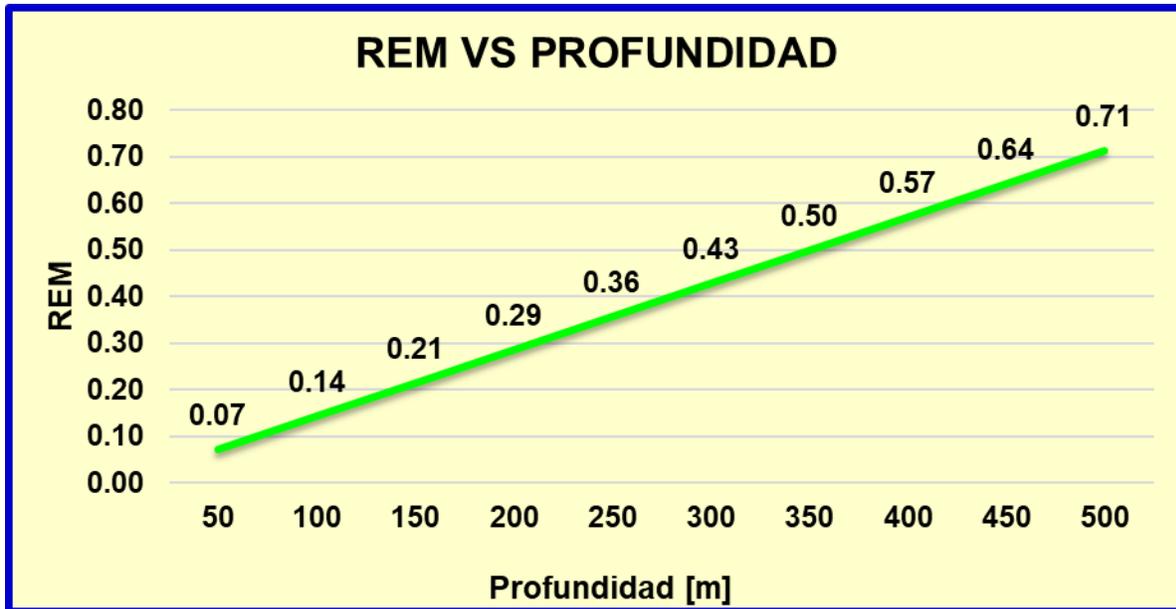


Figura 39. Relación estéril mineral vs la profundidad del Pit final
Fuente: Elaboración propia

2.7.11. Parámetros operacionales

El diseño de tajo se encuentra a un nivel conceptual y los *inputs* se tomaron de operaciones similares existentes y realizando un *benchmarking*.

De acuerdo con los criterios de diseño y regulaciones peruanas, el ancho de la rampa (de una vía) es 25 m incluyendo las bermas de seguridad para permitir una operación segura de camiones con capacidad de 150 toneladas. El plan asume el uso de los modelos CAT 785D.

A. Configuración de Accesos

La configuración de los accesos es un parámetro fundamental para el diseño operacional de una mina a tajo abierto. Asimismo, define las condiciones de seguridad (la mina debe contar con dos accesos al frente de trabajo), la productividad en la extracción. La configuración de los distintos tipos de acceso se observa en las siguientes figuras. También, se puede evidenciar los parámetros de diseño que se utilizaron.

Tabla 20. Parámetros de diseño

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Ángulo Global del <i>pit</i> / <i>overall</i>	45	°
2	Altura de banco	10	m
3	Ángulo interrampa	45	°
4	Ángulo de cara de banco	75	°
5	Altura de berma	3	m
6	Ancho de banco / berma	8.3	m
7	Ancho de berma de seguridad	6.8	m
8	Ancho de rampa	25	m
9	Gradiente máxima de rampa	10	%
10	Ancho de la cuneta	3	m
11	Gradiente mínima de carretera de alivio	13	%
12	Gradiente máxima de camino de acceso al botadero	10	%
13	Altura de banco del estéril	30	m

Fuente: Elaboración propia

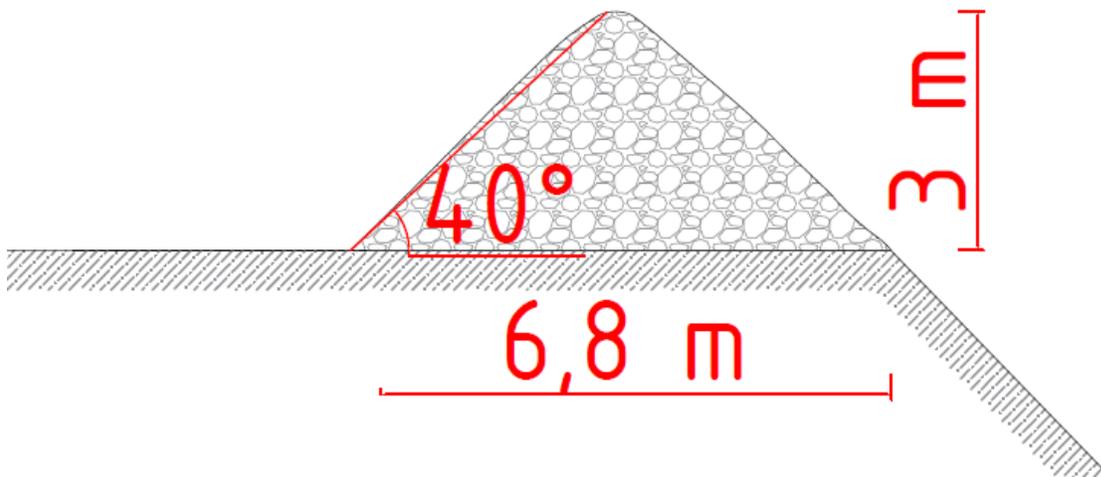


Figura 40. Bermas de seguridad

Fuente: Elaboración propia

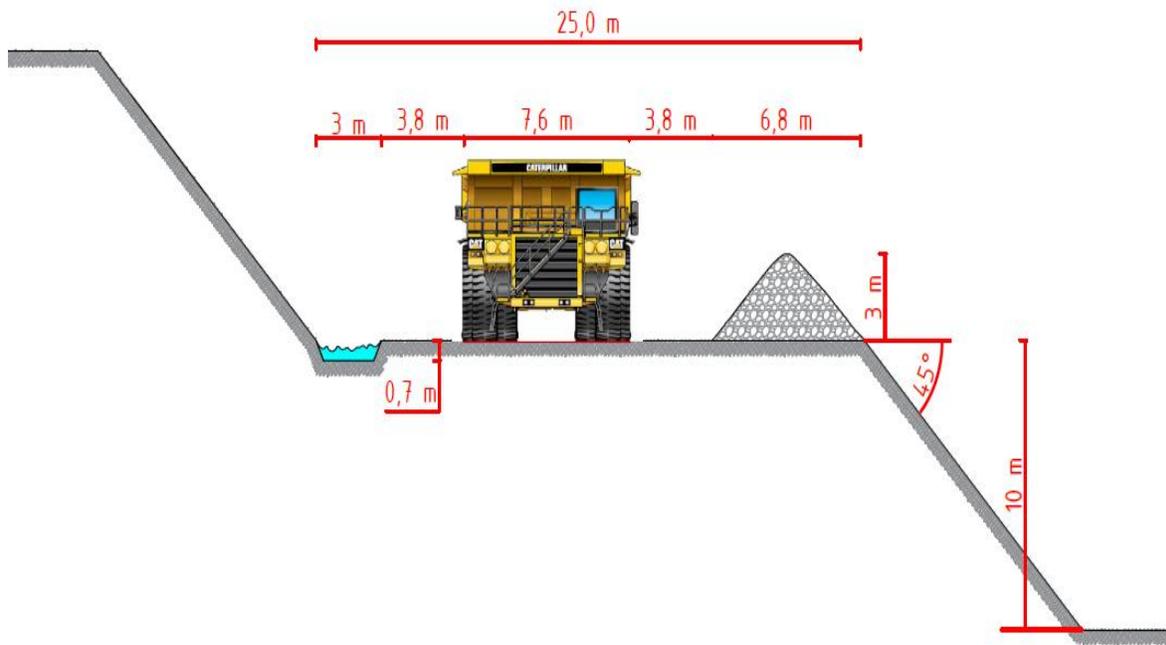


Figura 41. Diseño de rampa
Fuente: Elaboración propia

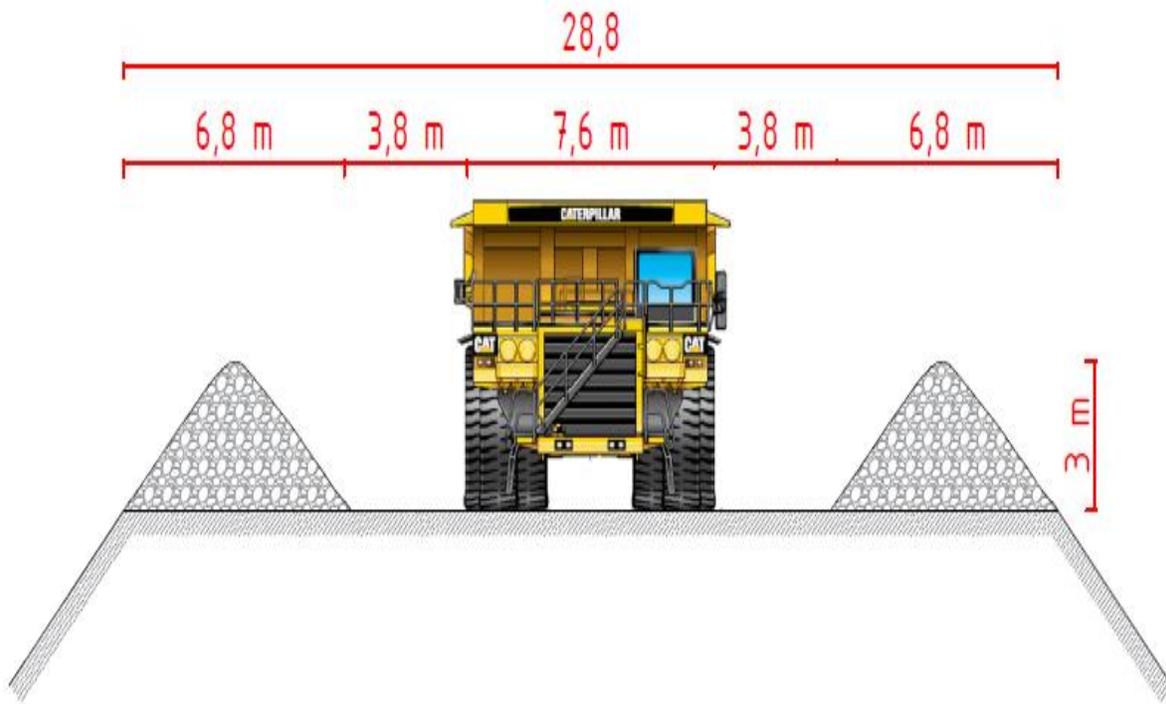


Figura 42. Diseño de camino mina tipo A
Fuente: Elaboración propia

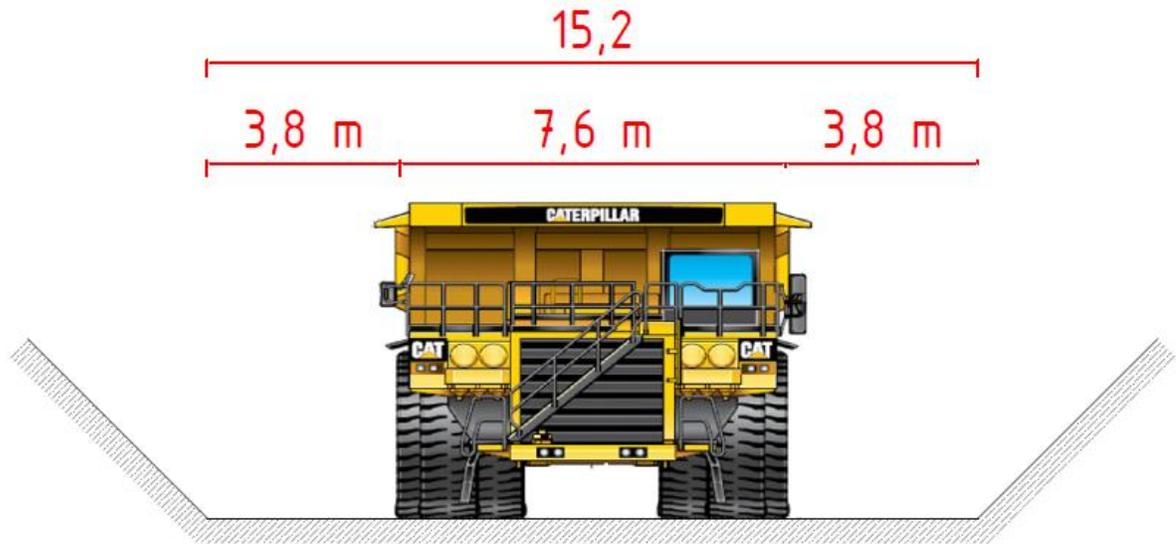


Figura 43. Diseño de camino mina tipo B
Fuente: Elaboración propia

B. Configuración de Extracción

La configuración comprende uno de los parámetros críticos para la operación y este influye en una explotación eficiente con condiciones de seguridad óptimas. La configuración de extracción de carguío doble busca mejorar los ciclos de acarreo y mejorar el desempeño de los equipos. La configuración de extracción se observa en la siguiente figura.

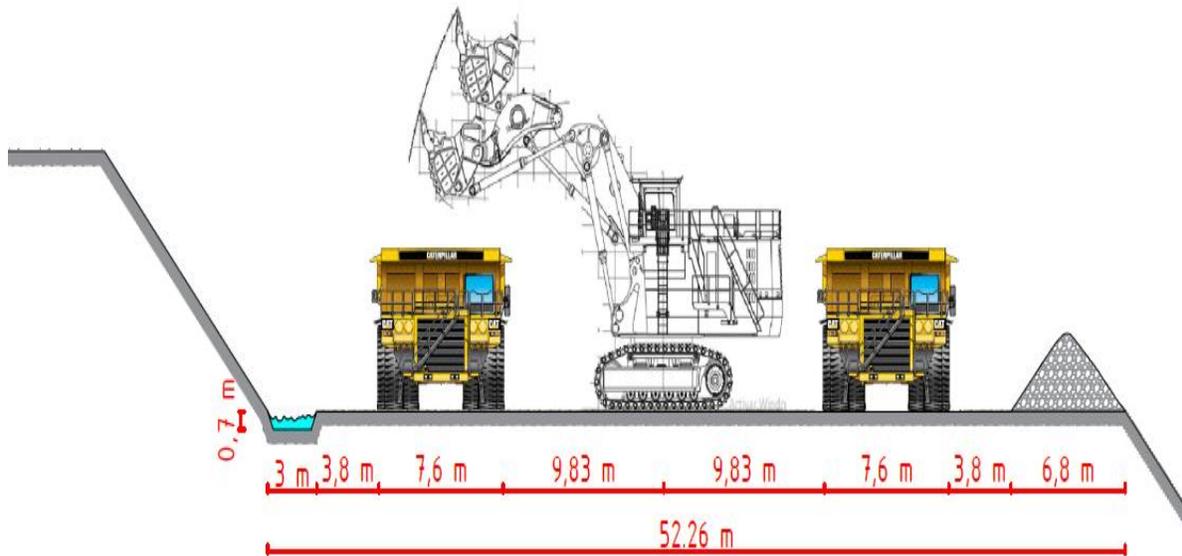


Figura 44. Diseño de configuración de extracción por fases
Fuente: Elaboración propia

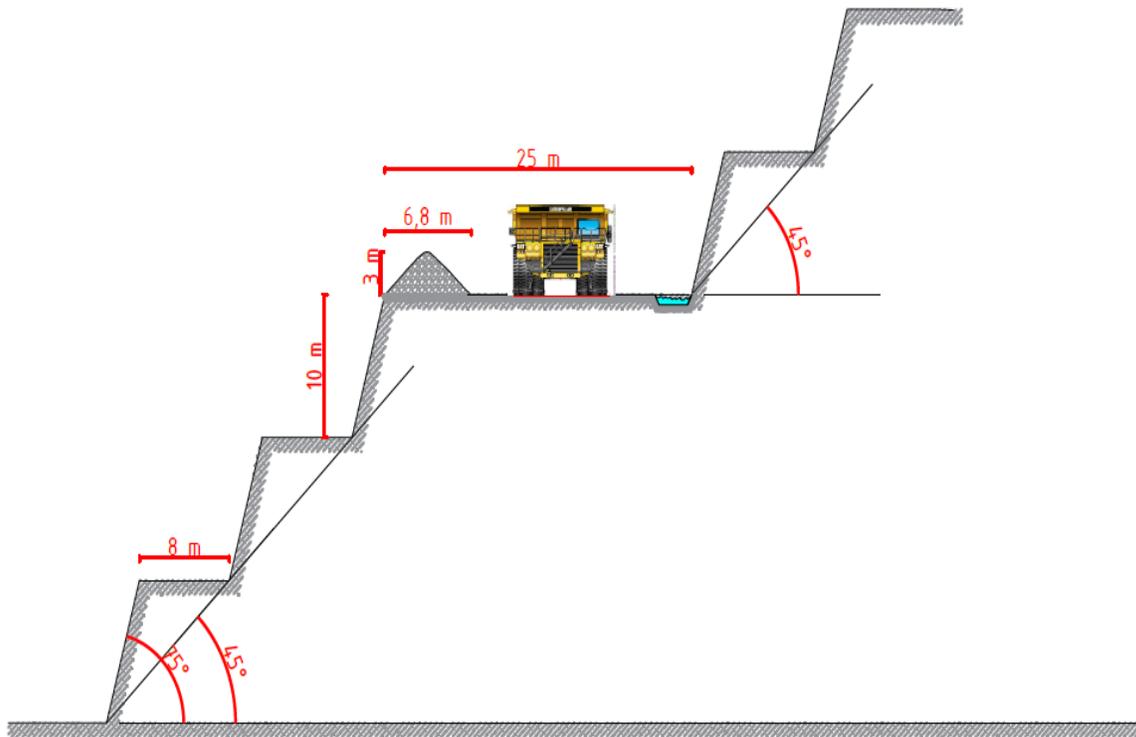


Figura 45. Parámetros de diseño para el tajo abierto final
Fuente: Elaboración propia

2.7.12. Dimensionamiento de flota de extracción

A. Índice de Asarco

En los últimos años, las operaciones mineras emplean la metodología de la gestión de flota (índice de Asarco) que considera los parámetros operativos para buscar los parámetros efectivos de una maquinaria. A través de esta gestión se busca la optimización de tiempo efectivo en la operación y con ello determinar los indicadores de performance como disponibilidad, utilización y el rendimiento. El índice de Asarco para el equipo de carguío, acarreo y perforación se observan en las siguientes figuras.

Asarco Toro Negro (perforadoras)					
Tiempo cronológico TC					
Tiempo programado (TP)					TNP
Tiempo cronológico (TC)					
Tiempo disponible (TD)					TM
Tiempo operativo (TO)				TR	
Tiempo Efectivo (TE)	DP	DNP	PO		
DNP: Demoras no programadas	39 min/turno	Calculada			
PO : Pérdidas operacionales	48 min/turno	Dato			
DP : Demoras programadas	27 min/turno	Dato			
TR : Tiempo de reservas	36 min/turno	Calculada			
TM : Tiempo mantención	90 min/turno	Calculada			
TNP: Tiempo no programado	5 días al año	Dato			
TO : Tiempo operativo	10.92 horas/turno	Dato			
TE : Tiempo efectivo	8.0 horas/turno	Dato			
N° Turnos	2 turnos/día				
365 días/año					
360 días/año					5 días/año
24.00 h/día					
21.00 h/día				3.00 h/día	
19.80 h/día			1.20 h/día		
16.00 h/día	0.90 h/día	1.30 h/día	1.60 h/día		
Disp. física (calculada)	87.50%				
Utilización	76.19%				
Factor operacional	80.81%				
Aprovechamiento	66.67%				
Horas efectivas al año	5,760				

Figura 46. Índice de Asarco Toro Negro para perforadoras
Fuente: Elaboración propia

Asarco Toro Negro (palas)						
Tiempo cronológico TC						
Tiempo programado (TP)						TNP
Tiempo cronológico (TC)						
Tiempo disponible (TD)					TR	TM
Tiempo operativo (TO)				TR	TM	
Tiempo Efectivo (TE)	DP	DNP	PO	TR	TM	
DNP: Demoras no programadas	18 min/turno	Calculada				
PO : Pérdidas operacionales	30 min/turno	Dato				
DP : Demoras programadas	24 min/turno	Dato				
TR : Tiempo de reservas	36 min/turno	Calculada				
TM : Tiempo mantención	90 min/turno	Calculada				
TNP: Tiempo no programado	5 días al año	Dato				
TO : Tiempo operativo	10.92 horas/turno	Dato				
TE : Tiempo efectivo	8.7 horas/turno	Dato				
N° Turnos	2 turnos/día					
365 días/año						
360 días/año						5 días/año
24.00 h/día						
21.00 h/día					3.00 h/día	
19.80 h/día				1.20 h/día		
17.40 h/día	0.80 h/día	0.60 h/día	1.00 h/día			
Pala de 23.5 yd ³						
Disponibilidad física (DF)	87.50%		(TD/TP)			
Utilización (UT)	82.86%		(TO/TD)	Dato		
Factor operacional (FO)	87.88%		(TO/TE)			
Aprovechamiento (A)	72.50%					
Horas efectivas al año	6,264					
Reservas	5.00%			Calculada		
Disponibilidad Año 1	91.00%			Dato Chuquicamata		
Utilización operativa	86.45%			Aprovechamiento - Reservas		
Utilización efectiva Chuqui	79.97%		<==>	UO x (1 - (DNP+DP)/(TO))		

Figura 47. Índice de Asarco Toro Negro para palas
Fuente: Elaboración propia

Asarco Toro Negro (camiones)

Tiempo cronológico TC					
Tiempo programado (TP)					TNP
Tiempo cronológico (TC)					
Tiempo disponible (TD)				TM	
Tiempo operativo (TO)				TR	
Tiempo efectivo (TE)	DP	DNP	PO		

DNP: Demoras no programadas	27 min/turno	Calculada
PO : Pérdidas operacionales	36 min/turno	Dato
DP : Demoras programadas	33 min/turno	Dato
TR : Tiempo de reservas	36 min/turno	Calculada
TM : Tiempo mantención	90 min/turno	Calculada
TNP: Tiempo no programado	5 días al año	Dato
TO : Tiempo operativo	10.92 horas/turno	Dato
TE : Tiempo efectivo	8.3 horas/turno	Dato
N° Turnos	2 turnos/día	

365 días/año					
360 días/año					5 días/año
24.00 h/día					
21.00 h/día				3.00 h/día	
19.80 h/día			1.20 h/día		
16.60 h/día	1.10 h/día	0.90 h/día	1.20 h/día		

Disp. física (calculada)	87.50%
Utilización	79.05%
Factor operacional	83.84%
Aprovechamiento	69.17%
Horas efectivas al año	5,976

Disponibilidad mecánica año 1	87.50%	Dato Chuquicamata
Utilización operativa	83.13%	Aprovechamiento - Reservas
Utilización efectiva	76.20%	<==> UO x (1 - (DNP+DP)/TD))

Figura 48. Índice de Asarco Toro Negro para camiones
Fuente: Elaboración propia

B. Determinación de equipo de perforación

Se estima que la tasa media de penetración de perforación para el material mineralizado es 49,6 m/h según el *benchmarking* realizado para el trabajo de investigación. El diseño de patrón más usado es el de *Atlas Copco*, mientras que el modelo *Pit Viper 271* es requerido para la perforación. Según el índice de Asarco tiene una disponibilidad física de 87.5%, una utilización de 76.19% y con una hora efectiva de 16 horas por día.

C. Determinación de equipo carguío

La flota de carguío de producción de mineral y estéril consiste en una pala hidráulica de 23.5 m³. Para los propósitos de evaluación del proyecto, se asumió que la pala sería modelo CAT 6030FS y un cargador frontal Fel 994 CAT. Según el índice de Asarco tiene una disponibilidad física de 87.5%, una utilización de 82.86% y con una hora efectiva de 17.4 horas por día.

D. Determinación de equipo acarreo

Los requerimientos de acarreo se basan en los perfiles de transporte anuales medidos en el *pit*. Todo el desmonte es entregado a la desmontera por camiones. Los camiones de transporte tienen capacidad de 150 toneladas y se utilizan para transportar la alimentación a planta y el desmonte. El plan asume el uso de los modelos CAT 785D. Según el índice de ASARCO tiene una disponibilidad física de 87.5%, una utilización de 79.05% y con una hora efectiva de 16.6 horas por día.

E. Determinación de Equipos Auxiliares

Los equipos de producción principal que fueron seleccionados anteriormente requieren de condiciones de operación para cumplir con la planificación de corto, mediano y largo plazo.

Las condiciones de operación de cada empresa minera o proyectos de explotación minera a tajo abierto frecuentemente no cumplen con los estándares de operación, por lo que se requieren de la asistencia de otros equipos auxiliares para que las condiciones de operación se materialicen.

El dimensionamiento de equipos auxiliares o de apoyo estará en función de las actividades que estas tienen que realizar en la operación minera.

Los equipos principales seleccionados para este trabajo de investigación corresponden a Bulldozer CAT D11, Wheeldozer K D600, Motoniveladora CAT 120M, Compactador CAT CB54B, Camión Aljibe, Camioneta administrativa.

Para este trabajo de investigación se considera el dimensionamiento de flota en base a un plan de minado de tipo LOM.

Tabla 21. Resumen de dimensionamiento de flota Toro Negro sector Petra
Resumen de dimensionamiento de flota a partir del tercer año de producción

Equipo	Modelo	Cantidad
Pala hidráulica	CAT 6030 FS.	2.00
Cargador frontal	CAT 994F	2.00
Camión	CAT 785D	17.00
Perforadora	PIT VIPER 271	2.00
Bulldozer	CAT D11	2.00
Wheeldozer	K D600	2.00
Motoniveladora	CAT 120M	2.00
Compactador	CAT CB54B	2.00
Camión aljibe		2.00
Camioneta administrativa		2.00

Fuente: Elaboración propia

F. Determinación de costo horario de equipos

Una vez definido los equipos seleccionados para la operación, se realizó el análisis de costos con las mejores alternativas de evaluación económica de la flota de equipos de tipo LOM, ya que en función a la magnitud de producción puede haber una nueva evaluación y diseño con un modelo más real.

Tabla 22. Determinación de costo horario de equipos de Toro Negro sector Petra

MÁQUINA O EQUIPO	MARCA	MODELO	AÑO	VALOR ADQUISICIÓN US\$		VALOR RESCATE		VALOR DEPRECIABLE	PERIODO DE DEPRECIACIÓN		
				Completo	Sin Llantas	%	\$	US\$	Años	Hrs	
EQUIPO MINA				Vt	Va= Vt-CII	Pr	Vr= Vt*Pr	Vd= Va-Vr	N	Ve= 2400*N	
PALA HIDRÁULICA	CAT	CAT 6030 FS	2019	2,000,000	2,000,000	15%	300,000	1,700,000	7.20	17,280	
CARGADOR FRONTAL	CAT	CAT 994F	2019	1,200,000	1,188,000	15%	180,000	1,008,000	4.50	24,300	
CAMIÓN	CAT	CAT 785D	2019	1,300,000	1,266,000	15%	195,000	1,071,000	5.40	29,160	
PERFORADORA	CAT	PIT VIPER 271	2019	850,000	850,000	15%	127,500	722,500	5.40	29,160	
BULLDOZER	CAT	CAT D11	2019	25,000	25,000	8%	2,000	23,000	6.30	34,020	
WHEELDOZER	CAT	K D600	2019	33,000	13,000	9%	2,970	30,030	6.30	47,628	
MOTONIVELADORA	CAT	CAT 120M	2019	150,000	132,000	10%	15,000	135,000	6.30	12,965	
COMPACTADOR	CAT	CAT CB54B	2019	150,000	141,000	10%	15,000	126,000	6.30	34,020	
CAMIÓN ALJIBE			2019	35,000	17,000	10%	3,500	13,500	6.30	34,020	
CAMIONETA ADMINISTRATIVA			2019	25,000	24,400	9%	2,250	22,150	4.50	24,300	
COSTO CAPITAL (US\$/HR)			COSTO OPERACIÓN (US\$/HR)							COSTO TOTAL US\$/HR	
Posesión	Intereses	Seguro	Mant-Rep	Combust.	Lubric.	Filtros	Grasas	Llantas	Operador	Sin Personal	Con Personal
Vd/Ve	Vt*K*i	Vt*K*s	M	C	L	(C+L)*0.15	G	LI			
98.38	75.93	11.86	98.38	42.00	5.12	2.36	1.57	0.00		335.59	
41.48	21.73	3.40	39.51	24.50	5.12	5.92	1.29	0.33		143.28	
36.73	22.83	3.57	28.98	21.00	7.79	5.76	1.26	0.10		128.02	
24.78	14.92	2.33	20.40	15.75	5.57	4.26	1.04	0.00		89.05	
0.68	0.43	0.07	0.44	38.50	5.12	8.72	0.96	0.00		54.92	
0.63	0.40	0.06	0.42	35.00	5.12	8.02	0.96	0.13		50.75	
10.41	6.76	1.06	6.94	21.00	5.12	5.22	0.96	0.14		57.61	
3.70	2.57	0.40	2.65	14.00	5.12	3.82	0.96	0.26		33.49	
0.40	0.60	0.09	0.62	14.00	5.12	3.82	0.72	0.16		25.53	
0.91	0.45	0.07	0.62	7.00	0.02	1.40	0.01	2.50		12.98	
MÁQUINA O EQUIPO	VALOR K	TASA DE INTERÉS	TASA DE SEGURO	MANTENIMIENTO Y DEPRECIACIÓN	CONSUMOS				Vida Útil		
					COMBUSTIBLE	LUBRICANTES	GRASAS	LLANTAS			
		i			gl/hr	gl/hr	lb/hr	Hrs			
PALA HIDRÁULICA	0.00024	16.00%	2.50%	85%	12.00	0.230	0.520	0			
CARGADOR FRONTAL	0.00011	16.00%	2.50%	80%	7.00	0.230	0.430	4000			
CAMIÓN	0.00011	16.00%	2.50%	65%	6.00	0.350	0.420	3500			
PERFORADORA	0.00011	16.00%	2.50%	70%	4.50	0.250	0.345	0			
BULLDOZER	0.00011	16.00%	2.50%	60%	11.00	0.230	0.320	0			
WHEELDOZER	0.00008	16.00%	2.50%	60%	10.00	0.230	0.320	2500			
MOTONIVELADORA	0.00028	16.00%	2.50%	60%	6.00	0.230	0.320	2500			
COMPACTADOR	0.00011	16.00%	2.50%	60%	4.00	0.230	0.320	2300			
CAMIÓN ALJIBE	0.00011	16.00%	2.50%	60%	4.00	0.230	0.240	2,800			
CAMIONETA ADMINISTRATIVA	0.00011	16.00%	2.50%	60%	2.00	0.001	0.002	1,500			
COSTOS											
COMBUSTIBLE	LUBRICANTES	GRASAS	LLANTAS								
US\$/gl	US\$/gl	US\$/lb	UAS/jgo								
			CII								
3.50	22.26	3.01	0								
3.50	22.26	3.01	12000.00								
3.50	22.26	3.01	34,000								
3.50	22.26	3.01	0.00								
3.50	22.26	3.01	0.00								
3.50	22.26	3.01	20000.00								
3.50	22.26	3.01	18000.00								
3.50	22.26	3.01	9,000								
3.50	22.26	3.01	18,000								
3.50	22.26	3.01	600								

Fuente: Elaboración propia

2.7.13. Evaluación económica

A. Plan de producción mina

Según el plan de producción se generó una producción de 18´000,000.00 toneladas para un año determinado y con una producción de diaria de 50´000.00 toneladas con la aplicación del método de minado tajo abierto a partir del tercer año. La planificación en el siguiente trabajo de investigación es de tipo LOM (largo plazo).

Tabla 23. Plan de producción mina Toro Negro sector Petra

PLAN DE MINADO TORO NEGRO SECTOR PETRA				
TON MX	572.65	Mton		
LEY MEDIA	0.27	% FE		
TOTAL MATERIAL	979.23	Mton		
REM = (MAT-MX)/MX	0.71			
RECUPERACIÓN	0.93	%		
PRODUCCIÓN PLANTA X DÍA	25	40	50	KTPD
AÑO	1	2	3	
PRODUCCIÓN PLANTA X AÑO	9	14.4	18	MTPA
MOVIMIENTO ESTÉRIL = TPA*REM	6.39	10.224	12.78	MTPA
MOVIMIENTO TOTAL MINA	15.39	24.624	30.78	MTPA

PLAN DE PRODUCCION PLANTA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MINERAL (MTON)	9	14.4	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
LEY (% FE)	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
RECUPERACION (%)	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
FE CONTENIDO (MTON)	2.4	3.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
PELLETS (MTON recuperado)	2.3	3.6	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	TOTAL	
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	9.25	257.4
0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.65
93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.5	69.21
4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.3	4.3

Fuente: Elaboración propia

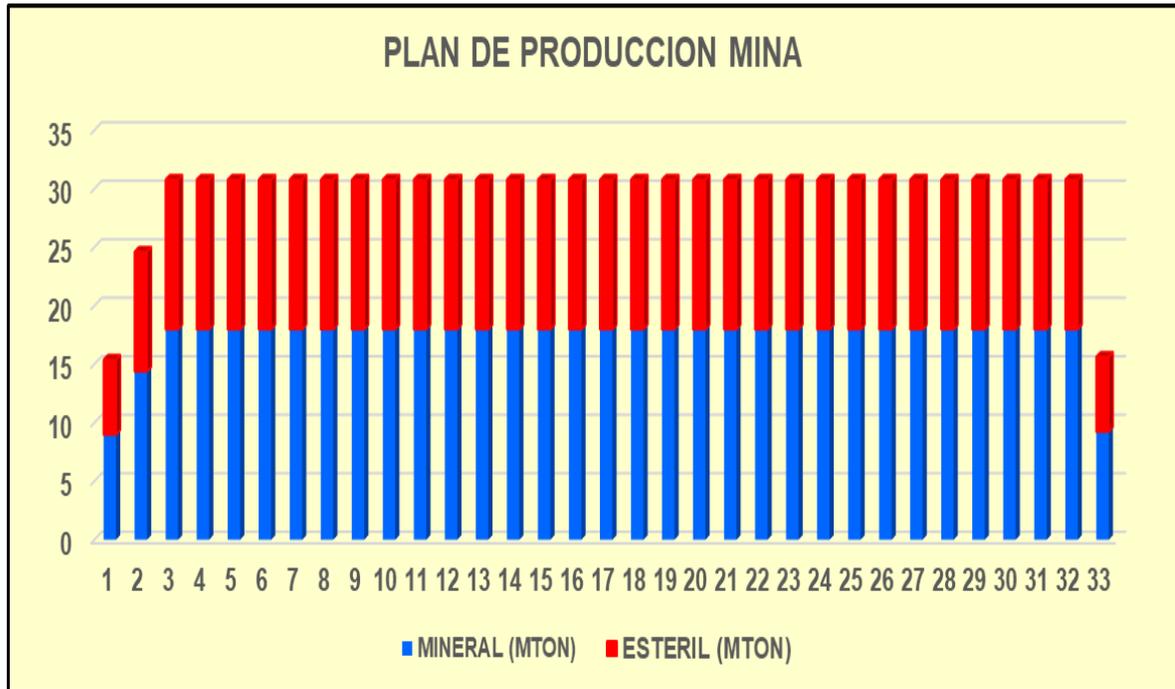


Figura 49. Plan de producción mina Toro Negro sector Petra
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Plan de producción planta Toro Negro sector Petra

PLAN DE PRODUCCION MINA																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
MINERAL (MTON)	9	14.4	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
ESTERIL (MTON)	6.4	10.2	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8		
MOVIMIENTO TOTAL (MTON)	15.4	24.6	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8		
STRIPPING RATIO	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7		
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	TOTAL
	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	9.25	572.65
	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	6.4	93.29
	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	15.6	224.69
	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.71

Fuente: Elaboración propia

2.7.14. Capex y opex

Los costos de inversión y los costos de producción del proyecto se pueden apreciar en las siguientes tablas.

El *capex* global para la zona de estudio contiene los costos directos, los costos indirectos, costos de propietario, contingencias y el capital de sostenimiento que equivale a un *capex* total de US\$ 1'557'187'723.00.

Tabla 26. *Capex global del proyecto Toro Negro para zona Petra*

CAPEX SCOPING STUDY - TN PROJECT

WBS	Descripción	Costo Total US\$
	INITIAL CAPITAL	
	Direct Costs	
1000	Mining	\$146,330,666
2000	Tailings	\$34,744,937
3000	Process Plant	\$536,407,500.00
3000	Site Infrastructure	\$67,164,294
7000	Off Site Infrastructure	\$10,157,541
	Total Direct Costs	\$794,804,938
9000	Indirect Costs	\$150,621,387
8000	Owners Costs	\$40,000,000
	Total Capex Base	\$985,426,325
10000	Contingency	\$302,901,676
	Total Initial Capital	\$1,288,328,001

SUSTAINING CAPITAL

Sustaining Mina	\$66,124,724
Sustaining Tailings	\$202,734,997
Total Sustaining Capital	\$268,859,721
Total Capex	\$1,557,187,723

Fuente: Departamento de Geología

El opex para toda la vida de la mina contiene los costos de mina, costos de proceso, costos generales y administrativos y los costos de transporte y marketing con un total de US\$ 11'914'912.28.

Tabla 27. Opex global del proyecto Toro Negro para zona Petra

Summary of Cash Costs	Cost per tonne milled (US\$/t)	Per ton pellet Fe payable (US\$/ton)	LOM total (US\$)
Cash Costs			
Mining	1.40	3.65	824979.4492
Process	5.93	15.45	3494722.897
G&A	0.57	1.49	335917.7158
Smelter deductions			0
Treatment charges			0
Refining charges			0
Transport & Marketing	12.32	32.09	7259292.216
Sub-total	20.22	52.68	11914912.28
Credits			
Au			
Ag			
Sub-total			
Adjusted cash costs			
Total	20.22	52.68	11914912.28

Fuente: Departamento de Geología

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

Se desarrolló en el siguiente trabajo de investigación con el método científico.

A. Método General

El método científico es el conjunto de principios, criterios y estrategias que permiten desenvolver de manera sistemática y eficiente un proceso de investigación, para un óptimo ajuste a la realidad y la representación de ella. (8).

En el presente trabajo de investigación que se va a desarrollar es mediante el método científico.

B. Métodos Específicos

El método de investigación es experimental ya que implica de alguna forma la manipulación de la variable. (9)

En el presente trabajo de investigación que se va a desarrollar es mediante el método experimental.

- Recopilación de informes internos del proyecto,
- Trabajo de campo.

- Trabajo de gabinete:
- Resultados.

3.1.2. Alcances de la investigación

A. Tipo de Investigación

El tipo de investigación aplicada se preocupa por la aplicación del conocimiento científico producto de la investigación básica que tiene como propósito dar solución a problemas prácticos. (10)

El tipo de investigación del presente trabajo de investigación es aplicada ya que se busca aplicar propósitos prácticos para solucionar problemas en un objeto o situación de estudio.

B. Nivel de Investigación

El nivel de investigación descriptiva tiene como propósito describir las características y propiedades del objeto de estudio de forma sistemática, completa, cualitativamente y cuantitativamente. (10)

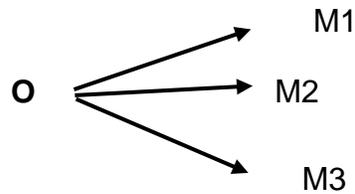
El nivel de investigación del presente trabajo de investigación es explicativo ya que busca describir las situaciones de los elementos estudiados.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño no experimental son estudios que se realiza sin la manipulación de variables donde solo se observan los fenómenos en su ambiente natural. (11).

3.1.4. Tipo de diseño de investigación

Para este trabajo de investigación se empleará el diseño no experimental de tipo transversal descriptivo donde vamos a indagar la incidencia de las variables en una población.



O: Observación que se hace a la población.

M: Muestras de la población

3.1.5. Población y muestra

A. Población

La población es la totalidad de sujetos o elementos que comparten las mismas características comunes o la totalidad de los miembros de la unidad de análisis. (12)

Para la presente investigación la población estará constituida por todo el proyecto Toro Negro con los tres sectores del depósito como Estrella, Petra y Cholita de Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Yale II.

B. Muestra

La muestra es un sub conjunto de toda la población y esta debe ser representativa, es decir, debe tener las mismas características generales de la población. (12)

El método de muestreo no probabilístico de tipo juicio de expertos es cuando el investigador por las características de su estudio necesita incorporar sujetos o elementos en su muestra deseadas por él. (12)

Para la presente investigación, la muestra estará constituida la zona de depósito llamado Petra de Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Yale II.

3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la actualidad la investigación científica tiene una diversidad de técnicas de recolección de datos que está relacionado al método y tipo de investigación a realizar.

La investigación cuantitativa utiliza generalmente los siguientes instrumentos y técnicas para la recolección de información: encuestas, entrevistas, observación sistemática, fichas de cotejo, etc. (13)

Para el trabajo de investigación se utilizó una ficha de registro, ficha de mapeo geomecánico en la cual se recolecta los datos de las condiciones del macizo rocoso; además, se empleó una ficha de flujo de caja para la evaluación económica y financiera del proyecto Toro Negro del sector Petra de la S.M.R.L. Yale II.

Para ello, se realizó una recopilación de información histórica y actual de la S.M.R.L. Yale II del sector Petra con estos datos se realizó un análisis interno y externo con el enfoque operacional.

Para el diseño conceptual del tajo abierto, se utilizó un software minero denominado Datamine Studio 5D Planner, para la evaluación económica se empleó el Microsoft Excel 2016, etcétera.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

A continuación, se presentan los resultados de la investigación, mostrando el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.

4.1.1. Resultados de las condiciones del yacimiento

A. Diseño conceptual de la explotación a Tajo Abierto

En base a los datos, la prueba de hipótesis y figuras que se muestran en el subcapítulo siguiente se puede determinar los siguientes resultados.

B. Modelo geológico

Según las interpretaciones de los planos geofísicos como: el mapa de señal analítica que permitió definir la presencia y/o ausencia de minerales ferromagnesianos, el parámetro de resistividad permitió describir la composición mineralógica, grado de litificación, nivel de saturación de agua, etc. del área de estudio y finalmente el parámetro de cargabilidad mostro la mayor o menor concentración de sulfuros y óxidos presentes en las rocas. Gracias a la interpretación de estos planos, a la identificación de zonas de fallas y diferentes litologías permitieron realizar el modelo geológico tridimensional así mismo del cuerpo mineralizado.

El yacimiento del sector Petra del proyecto Toro Negro presenta dominios geológicos principales como grupo *Mitu* con secuencia de areniscas y conglomerados rojizos. El grupo Intrusivo que está formado por granodiorita. Además, el complejo *Maraynioc* constituido por esquistos, mica-esquistos y poca proporción de gneis y migmatitas, el cual ha sido emplazado entre el grupo *Mitu*, el complejo *Maraynioc* y el grupo Intrusivo.

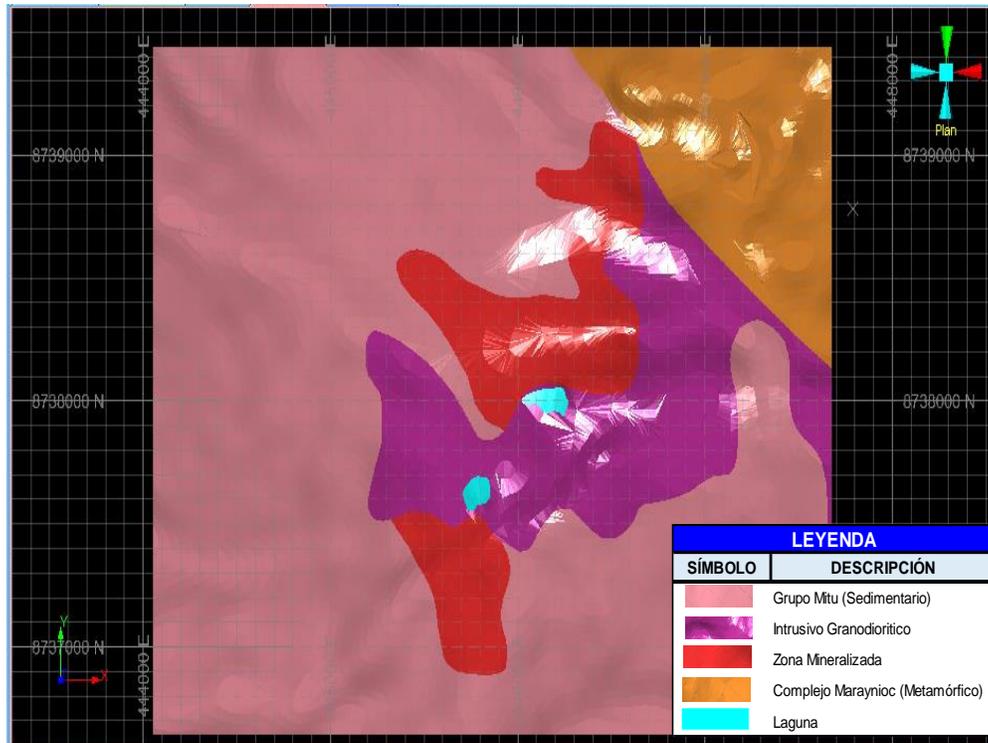


Figura 50. Modelo geológico en 2D del proyecto Toro Negro
Fuente: Elaboración propia

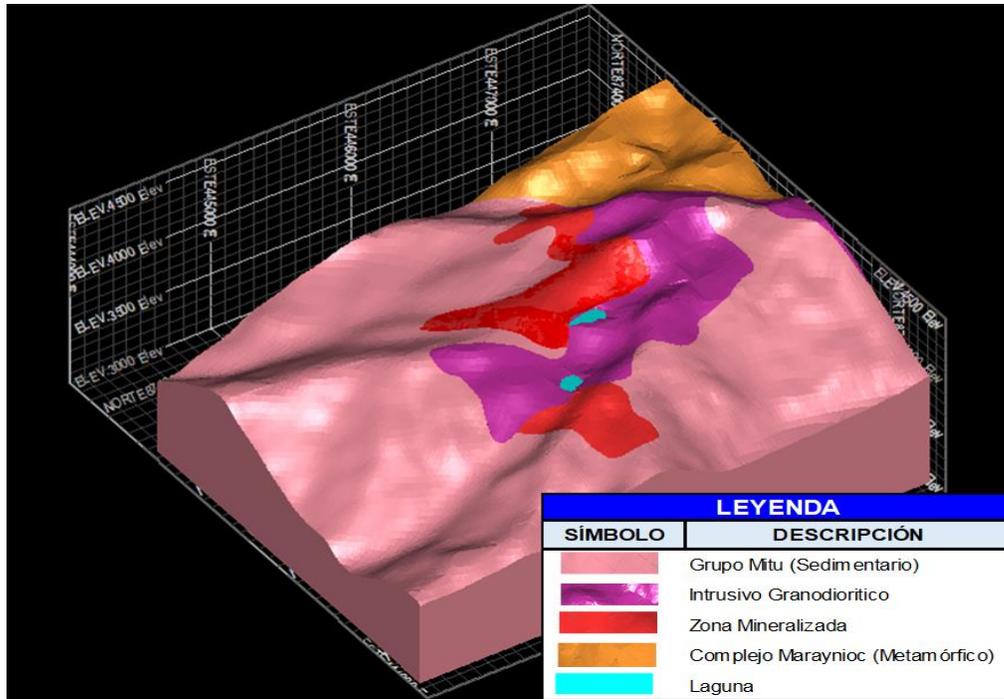


Figura 51. Modelo geológico en 3D del proyecto Toro Negro
Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ En el estudio realizado no se pudo definir el tipo de yacimiento si es IOCG o SKARN, ya que el proyecto no cuenta con sondajes diamantinos, tampoco con estudios de inclusiones fluidas y con dataciones radiométricas.
- ✓ La geofísica permitió definir un modelo geológico en 2D y 3D; por eso, fue posible definir los dominios geológicos.
- ✓ La zona Petra se encuentra emplazado entre los dominios geológicos como grupo *Mitu* y el grupo Intrusivo al 90% y a un 10% del complejo *Maraynioc*.

C. Modelo geomecánico

I. Interpretación del modelo geomecánico

Los dominios geológicos presentes en el área de investigación están considerados las rocas areniscas y conglomerados rojizos del grupo *Mitu*; asimismo, tenemos el dominio geológico del grupo Intrusivo formado por granodiorita.

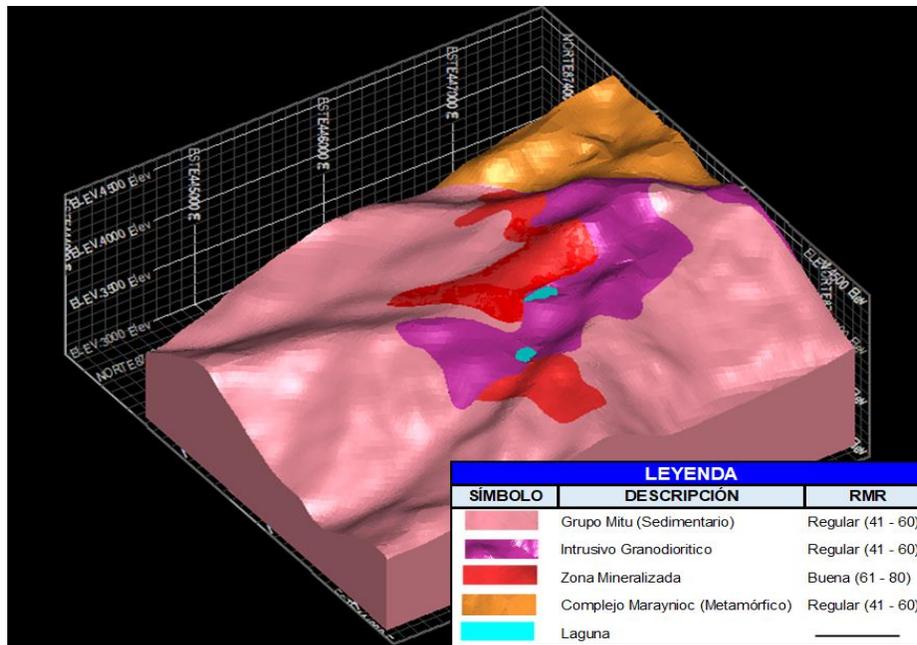


Figura 52. Modelo geológico en 3D del proyecto Toro Negro
Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El área de investigación del proyecto Toro Negro está emplazado entre los dominios geológicos del grupo *Mitu* y el grupo Intrusivo.
- ✓ Las dos zonas como Petra y Estrella están emplazadas con los dominios geológico del grupo *Mitu*, el grupo Intrusivo y la zona Cholita. Además, presenta tres dominios geológicos como grupo *Mitu*, el grupo Intrusivo y el complejo *Maraynioc*.

II. Propiedades del macizo rocoso

Las propiedades físicas y mecánicas principales del macizo rocoso del área de investigación son la densidad, el índice de carga puntual y la resistencia de compresión uniaxial, estas junto a las condiciones de las discontinuidades presentes ayudan a definir el RMR (valoración del macizo rocoso).

Tabla 28. Propiedades físicas y mecánicas del área del estudio

Ítem	Densidad (t/m ³)	Is(50) (MPa)	σ_{UCS} (MPa)
Estructura	3.03	3.08	73.95
Oeste	2.72	0.84	20.18
Este	2.47	3.37	80.83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Calidad del macizo rocoso del área de estudio

Ítem	% RQD	RMR
Estructura	92.9%	Buena (61 - 80) IIB
Oeste	74.5%	Regular (41 - 60) IIIB
Este	81.2%	Regular (41 - 60) IIIB

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ Del estudio realizado de las propiedades físicas del macizo rocoso y el mineral se determinó que la densidad del lado oeste, lado este y de la estructura mineral es de 2.72 t/m³, 2.47 t/m³ y 3.03 t/m³ sucesivamente.
- ✓ El índice de resistencia de la carga puntual (Is (50)) de la zona oeste es de 0.84 Mpa, lado este de 3.37 Mpa y de la estructura mineral de 3.08 Mpa.
- ✓ Según los cálculos del índice de calidad de roca (%RQD) se obtiene que la zona oeste es de 74.5%, la estructura mineral de 92.9% y el lado este de 81.2%.
- ✓ Del estudio de las propiedades mecánicas, según la clasificación de *Bieniawski* o clasificación RMR (*Rock Mass Rating*), se determinó que el lado oeste-este tienen una calidad de macizo rocoso regular y el estructural mineral tiene una calidad buena.

D. Modelo geometalúrgico

El *Flow Sheet* de la planta de procesamiento consta de la alimentación de las UGMs (Unidades Geo-Metalúrgicas) este material pasa por la etapa de chancado primario y secundario; luego, por la etapa de separación magnética o concentración magnética seca, seguidamente la etapa húmeda. El material no recuperado pasa a la etapa de disposición de relave.

Tabla 30. Balance metalúrgico

Balance Metalúrgico		
ÍTEM	UNIDAD	VALOR
Mineral	Kdmt	589,329
Fe Ley	%	26.65%
Fe Recuperación	%	93.00%
Fe_Ley Pellets	%	64.50%
Fe Contenido	Kdmt	157,030
FE_Recuperación	%	93.00%
Fe Recuperado	Kdmt	146,038
Humedad	%	3.00%
Fe_Ley de Pellets	%	65.00%
Pellet Seco	Kdmt	226,415
Pellet Húmedo	Kdmt	233,418

Fuente: Departamento de Geología

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El mineral que ingresa a la planta tiene una ley de Fe de 26.65% y el *pellet* que sale contiene una ley de Fe igual a 65%.
- ✓ El mineral que ingresa a la planta es 589'329.00 toneladas y el *pellet* seco recuperado es 226'415.00 toneladas y el *pellet* húmedo es de 233'418.00 toneladas con un total de 459'833 toneladas de *pellets*.
- ✓ La recuperación metalúrgica es de 93% con una humedad de 3%.

E. Modelo operacional

I. Selección del método de minado

Para la selección del método de minado de la zona Petra del proyecto Toro Negro se utilizó los parámetros geológicos, geomecánicos y la evaluación técnica y económico a nivel conceptual.

Tabla 31. *Plantilla de selección del método de minado según Nicholas*

Selección del método de minado (Nicholas)			
Geometría del yacimiento y distribución de leyes			BORRAR
1. Forma:			
Equidimensional o masi	M	Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.	1
Tabular:	T	Dos de las dimensiones son mucho mayores que la tercera.	
Irregular:	I	Las dimensiones varían a distancia muy pequeñas.	
2. Potencial mineral:			
Muy estrecho	ME	(< 3 m)	
Estrecho	E	(3 – 10 m)	
Intermedio	I	(10 – 30 m)	
Potente	P	(30 -100 m)	
Muy potente	MP	(> 100 m)	1
3. Inclinación:			
Echado/tumbado	T	(< 20°)	1
Intermedio	IT	(20 — 55°)	
Inclinado	IN	(> 55°)	
4. Distribución de leyes			
Uniforme:	U	La ley media del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto de este.	
Gradual o diseminado:	D	Las leyes tiene una distribución zonal, identificándose cambios graduales de unos puntos a otros.	1
Errático:	E	No existe una relación espacial entre las leyes, ya que éstas cambian radicalmente de unos puntos a otros en distancias muy pequeñas.	
5. Profundidad de la superficie			
Superficial	S	(0 — 100m)	1
Intermedio	I	(100 — 600m)	
Profundo	P	(> 600m)	
Características geomecánicas			
1.- RMR			
Muy débil	MD	0 - 20	ZONA MINERAL
Débil	D	20 - 40	CAJA TECHO
Moderado	M	40 - 60	CAJA PISO
Fuerte	F	60 – 80	
Muy fuerte	MF	80 – 100	
2.- Esfuerzo de subducción de roca (RSS) - Esfuerzo uniaxial/esfuerzo principal			
Muy pobre	MP	(< 5)	
Pobre	P	(5 - 10)	1
Moderado	M	(10 - 15)	
Fuerte	F	(> 15)	

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 32. Análisis económico del método de minado

Ítem	unidad	Open Pit
Producción	TPD	50 000
Ley corte Fe %	%	20.000
Costo de operación (Opex)		
Mina	US\$/t	1.40
Planta	US\$/t	5.93
Administración	US\$/t	1.49
Transporte	US\$/t	12.32
Total	US\$/t	21.14
Ley corte Fe %	%	20.000
Tipos de mineral		Medido, Indicado
Clase de recursos		
Recursos	t	93,373,780
Fe	%	27.33
Fe%	%	20.00
NSR	US\$/t	29.98
Recuperación	%	93
Dilución	%	5
Reservas minables (*)	t	91,179,496
Fe	%	26.031
Fe%	%	26.031
NSR	US\$/t	28.56
Costo total	US\$/t	21.14
Margen	US\$/t	7.42
Utilidad bruta	US\$ MM	676.19

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ Una vez definido los parámetros geológicos y geomecánicos y el *trade off* se consolidó que para zona de estudio se empleará el método de explotación *open pit* (tajo abierto).
- ✓ Las condiciones geológicas permiten el afloramiento de la estructura mineral.
- ✓ La relación estéril y mineral (REM) varía de acuerdo a la profundidad del *pit* obteniendo el valor más alto igual a 0.71 a una profundidad de 500 metros.

II. Dimensionamiento de flota

Para el dimensionamiento de flota de equipos para la zona Petra del proyecto Toro Negro se definió el plan de producción, parámetros de diseño, la tecnología disponible en el mercado, factores operacionales, índices operacionales, características de la mina y los equipos. La característica principal del estudio es de tipo LOM a nivel conceptual.

Tabla 33. Resumen de dimensionamiento de flota para el proyecto Toro Negro sector Petra

Resumen de dimensionamiento de flota		
Equipo	Modelo	Cantidad
Pala hidráulica	CAT 6030 FS.	2.00
Cargador frontal	CAT 994F	2.00
Camión	CAT 785D	17.00
Perforadora	PIT VIPER 271	2.00
Bulldozer	CAT D11	2.00
Wheeldozer	K D600	2.00
Motoniveladora	CAT 120M	2.00
Compactador	CAT CB54B	2.00
Camión aljibe		2.00
Camioneta administrativa		2.00

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ Para el ritmo de producción de 50 KTPD se necesita una flota de dos palas hidráulicas para mineral, dos cargadores frontales para estéril.
- ✓ La distribución de camines es de ocho camiones para mineral y nueve camiones para estéril.
- ✓ El requerimiento de los equipos auxiliares son dos unidades por equipo ya que están en función del número de palas, calidad y número de accesos en la operación minera.

III. Costo horario de equipos

Para el cálculo de costo horario de cada equipo se realizó el análisis de costos con las mejores alternativas de evaluación económica de tipo LOM, ya que en función a la magnitud de producción puede haber una nueva evaluación y diseño con un modelo más real.

Tabla 34. Resumen de costo horario de flota de equipos para el proyecto Toro Negro sector Petra

Resumen de costo horario de equipos		
Equipo	Modelo	Costo US\$/h
Pala hidráulica	CAT 6030 FS.	335.59
Cargador frontal	CAT 994F	143.28
Camión	CAT 785D	128.02
Perforadora	PIT VIPER 271	89.05
Bulldozer	CAT D11	54.92
Wheeldozer	K D600	50.75
Motoniveladora	CAT 120M	57.61
Compactador	CAT CB54B	33.49
Camión aljibe		25.53
Camioneta administrativa		12.98

Fuente: Elaboración Propia.

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El costo horario de los equipos principales de perforación, carguío y carreo es de 89.05 US\$/h para la perforadora, para la pala hidráulica es de 335.59 US\$/h, el cargador frontal tiene un costo de 143.28 US\$/h y por último el camión tiene un costo de 128.02 US\$/h.
- ✓ El costo horario para los equipos auxiliares es menor que los principales ya que la utilización de estas tiene poca influencia en la producción y el cumplimiento de la planificación.

4.1.2. Análisis del plan de minado

En base a los modelos geológico, geomecánico, geometalúrgico definimos los parámetros operacionales en la explotación del yacimiento del proyecto Toro Negro de la zona Petra, definiendo los recursos minables, el tonelaje a extraer, leyes de corte, la relación estéril mineral, etc.

Tabla 35. Plan de minado

		PROGRAMA DE PRODUCCIÓN						
Resumen de Plan de Producción	Valores	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre	Total
	TM	1,550,000	1,550,000	1,550,000	1,550,000	1,500,000	1,500,000	18,300,000
	% Fe	24.00	24.50	21.25	21.40	23.60	26.80	23.86
	Valores	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	
	TM	1,450,000	1,500,000	1,500,000	1,550,000	1,550,000	1,550,000	
	% Fe	23.38	21.40	24.34	20.67	29.30	25.70	

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e Interpretación de Resultados

- ✓ El ritmo óptimo de producción (ROP) para el área de estudio es de 50'000.00 toneladas por día.
- ✓ La producción total para el primer año es de 18'300'000.00 toneladas con una ley de Fe promedio de 23.86%.
- ✓ Las condiciones geológicas permiten el afloramiento de la estructura mineral.

4.1.3. Análisis del Capex

Si definimos como gran minería el área de estudio se tendría una producción mayor de 10 millones de toneladas al año y esta condición es favorable ya que según el plan de minado se obtiene más de 18 millones de toneladas por año, para esta magnitud de producción todo estudio a materializar necesitan una inversión inicial.

Tabla 36. Capex global del proyecto Toro Negro para zona PetraFuente: Departamento de

CAPEX SCOPING STUDY - TN PROJECT

WBS	Descripción	Costo Total US\$
INITIAL CAPITAL		
Direct Costs		
1000	Mining	\$146,330,666
2000	Tailings	\$34,744,937
3000	Process Plant	\$536,407,500.00
3000	Site Infrastructure	\$67,164,294
7000	Off Site Infrastructure	\$10,157,541
Total Direct Costs		\$794,804,938
Indirect Costs		
9000		\$150,621,387
Owners Costs		
8000		\$40,000,000
Total Capex Base		\$985,426,325
Contingency		
10000		\$302,901,676
Total Initial Capital		\$1,288,328,001

SUSTAINING CAPITAL

Sustaining Mina	\$66,124,724
Sustaining Tailings	\$202,734,997
Total Sustaining Capital	\$268,859,721
Total Capex	\$1,557,187,723

Geología

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El Capex global para la zona de estudio contiene los costos directos, los costos indirectos, costos de propietario, contingencias y el capital de sostenimiento que equivale a un Capex total de US\$ 1'557'187'723.00.

4.1.4. Análisis del Opex

La selección del método de explotación está basado en las buenas prácticas de diseño de método de minado *Open Pit* (Tajo Abierto), así como el uso de equipos para las operaciones unitarias, costos de mano de obra y los distintos rendimientos del proyecto.

Tabla 37. Opex global del proyecto Toro Negro para zona Petra

Summary of Cash Costs	Cost per tonne milled (US\$/t)	Per ton pellet Fe payable (US\$/ton)	LOM total (US\$)
Cash Costs			
Mining	1.40	3.65	824979.4492
Process	5.93	15.45	3494722.897
G&A	0.57	1.49	335917.7158
Smelter deductions			0
Treatment charges			0
Refining charges			0
Transport & Marketing	12.32	32.09	7259292.216
Sub-total	20.22	52.68	11914912.28
Credits			
Au			
Ag			
Sub-total			
Adjusted cash costs			
Total	20.22	52.68	11914912.28

Fuente: Departamento de Geología

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El Opex para toda la vida de la mina contiene los costos de mina, costos de proceso, costos generales y administrativos y los costos de transporte y marketing con un total de US\$ 11'914'912.28.

4.1.5. Análisis financiero

El análisis financiero tiene por objeto calcular la rentabilidad económica del proyecto tomando en consideración las diversas alternativas de financiamiento.

La construcción del modelo financiero está en base al *cash flow*, ingresos, estimado del capital y costo operativo. La tasa de descuento en base al *benchmarking* aplicado para obtener el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Tabla 38. Resumen del flujo de caja

Summary Cash Flow		
VAN	M US\$	6606.10
TIR	%	25.95
IVAN	US\$	4.24
PAYBACK	Años	3.80

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El modelo económico/financiero para el área de estudio alcanzó parámetros financieros positivos a una tasa de descuento de 12% con un VAN= 6´606.10 US\$ millones, TIR de 25.95%, IVAN igual a 4.24 US\$ y un *payback* = 3,8 años.
- ✓ Se puede apreciar que el proyecto es rentable ya que el TIR es mayor a la tasa de descuento.

4.1.6. Diseño operacional del proyecto

A. Diseño operacional

De acuerdo al modelo geológico, geomecánico y económicos se definió un modelo operacional realizando un *benchmarking* de proyectos similares generando parámetros geométricos para el diseño del tajo.

Para efectuar este diseño fueron tomados como datos de entrada los antecedentes que consideran las características del yacimiento, como las condiciones geotécnicas, características de los equipos de explotación, configuraciones de accesos y los requerimientos operacionales mínimos de los equipos, en esta etapa se consideran los anchos de operación.

Tabla 39. *Parámetros de diseño operacional*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Ángulo Global del <i>pit / overall</i>	45	°
2	Altura de banco	10	m
3	Ángulo interrampa	45	°
4	Ángulo de cara de banco	75	°
5	Altura de berma	3	m
6	Ancho de banco / berma	8.3	m
7	Ancho de berma de seguridad	6.8	m
8	Ancho de rampa	25	m
9	Gradiente máxima de rampa	10	%
10	Ancho de la cuneta	3	m
11	Gradiente mínima de carretera de alivio	13	%
12	Gradiente máxima de camino de acceso al botadero	10	%
13	Altura de banco del estéril	30	m

Fuente: Elaboración propia

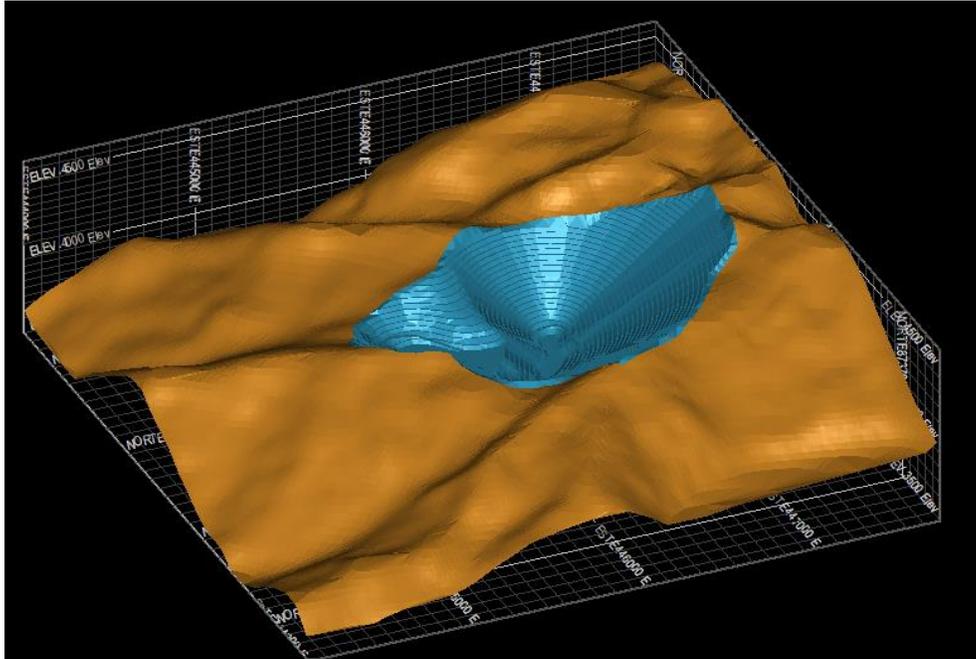


Figura 53. Diseño del pit en 3D

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El área de investigación no cuenta con estudios respecto a la calidad del macizo rocoso, por ello se consideró uno de los ángulos más bajos; considerándose un ángulo global del *pit* de 45° y configuraciones de ancho de berma para adquirir esta condición del *pit*.
- ✓ El valor de 45° al ser uno de los ángulos más bajos posibles de utilizar, sirve como medida de seguridad en el caso conceptual, por lo que cualquier análisis o estudio posterior que recomiende variar el ángulo global del *pit*. Este cambio será beneficioso para el proyecto.
- ✓ En base a los parámetros descritos, se estableció el diseño de rampas a partir de la topografía inicial y tajo, con el fin de poder tener un acceso libre al sector de tratamiento y extracción del mineral.

B. Modelo económico

En base al análisis financiero, *Capex*, *Opex*, y en general al plan de minado definimos un modelo económico que permita evaluar el método de minado a tajo abierto con una explotación subterránea del yacimiento del proyecto Toro Negro de la zona Petra, definimos el VAN de acuerdo la profundidad, planificación del método, el análisis de sensibilidad del proyecto que de este modo teniendo los nuevos flujos de caja y el nuevo VAN podremos calcular y mejorar nuestras estimaciones sobre el proyecto que se está evaluando y la comparación del VAN de ambos métodos.

Tabla 40. Evaluación económica del método de minado tajo abierto vs subterráneo

Evaluación económica del método tajo abierto en comparación con el subterráneo			
Yacimiento			
Total mineral	350000	m ²	
Largo	1200	m	
Ancho	700	m	
Profundidad	500	m	
Ley Fe	20	%	
Costos operacionales			
Costo estéril	1.4	US\$/t estéril	
Costo mineral <i>Open Pit</i>	1.39	US\$/t mineral	
Costo subterráneo	7.7	US\$/t mineral	
Costo planta	5.93	US\$/t mineral	
Costo Fund. Ref.	0	US\$/t Fe fino	
Inversiones			
Inversión inicial cielo abierto	1557.72	MUS \$	
Inversión subterránea	403	MUS \$	
Producción mineral			
Producción tajo abierto	50000	tpd	18 Mt/año
Producción subterránea	50000	tpd	18 Mt/año
Tasa de descuento			
r			12%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Valor presente del método de minado tajo abierto vs subterráneo

Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Área min. Acumulada	35000	70000	105000	140000	175000	210000	245000	280000	315000	350000
Estéril acumulada	2500	10000	22500	40000	62500	90000	122500	160000	202500	250000
Estéril (M ton)	8.1	32.4	72.9	129.6	202.5	291.6	396.9	518.4	656.1	810
Mineral (M ton)	127.26	254.52	381.78	509.04	636.3	763.56	890.82	1018.08	1145.34	1272.6
Razón estéril / mineral										
Razón E/M medio	0.07	0.14	0.21	0.29	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71
Producción anua (M ton)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Vida Mina	7.1	14.1	21.2	28.3	35.4	42.4	49.5	56.6	63.6	70.7
Stripping (M ton/año)	1.1	2.3	3.4	4.6	5.7	6.9	8.0	9.2	10.3	11.5
Subterránea [m2]	315,000	280,000	245,000	210,000	175,000	140,000	105,000	70,000	35,000	-
Reservas mineral (M ton)	1,145.34	1,018.08	890.82	763.56	636.30	509.04	381.78	254.52	127.26	-
Producción anual (M ton)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Años	63.6	56.6	49.5	42.4	35.4	28.3	21.2	14.1	7.1	0.0

Valor presente neto excavaciones a Tajo Abierto										
Precio Fe	110	US\$/ton								
Recuperación metal	93%									
Toneladas Fe	3348000	ton								
Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Ingresos MUS\$	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Costos operación stripping	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16
Costo op. Mineral	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Costo Planta	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7
Fundición y refinación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos Totales	133	135	137	138	140	141	143	145	146	148
Beneficio Anual	235	233	232	230	229	227	225	224	222	220
factor NPV	4.6	6.7	7.6	8.0	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
NPV	1079	1553	1756	1840	1870	1875	1871	1861	1849	1837
VAN T. A. [M US\$]	-479	-5	199	282	312	318	313	303	292	279

Valor presente neto excavaciones subterráneas										
Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Ingresos Anual [MUS\$]	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Costos operación [MUS\$]	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139
Costo Planta [MUS\$]	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Fundición y refinación [MUS\$]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos totales anual [MUS\$]	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
Beneficio Anual [MUS\$]	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
Factor NVP	8.3	8.3	8.3	8.3	8.2	8.0	7.6	6.7	4.6	0.0
VAN	621	620	618	613	603	580	529	415	162	-403
Factor de actualización	0.51	0.26	0.13	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
VAN SUBTERRÁNEA [M US\$]	316	161	82	41	21	10	5	2	0	0

TAJO ABIERTO + SUBTERRÁNEA [M US\$]	-162	156	280	323	333	328	318	305	292	279
--	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Resumen de la evaluación económica a una tasa de descuento de 12%

PROFUNDIDAD (m)	TONELAJE [Mt]	REM	VAN [M US\$]
50	127.3	0.07	\$ -479
100	254.5	0.14	\$ -5
150	381.8	0.21	\$ 199
200	509.0	0.29	\$ 282
250	636.3	0.36	\$ 312
300	763.6	0.43	\$ 318
350	890.8	0.50	\$ 313
400	1018.1	0.57	\$ 303
450	1145.3	0.64	\$ 292
500	1272.6	0.71	\$ 279

Fuente: Elaboración propia

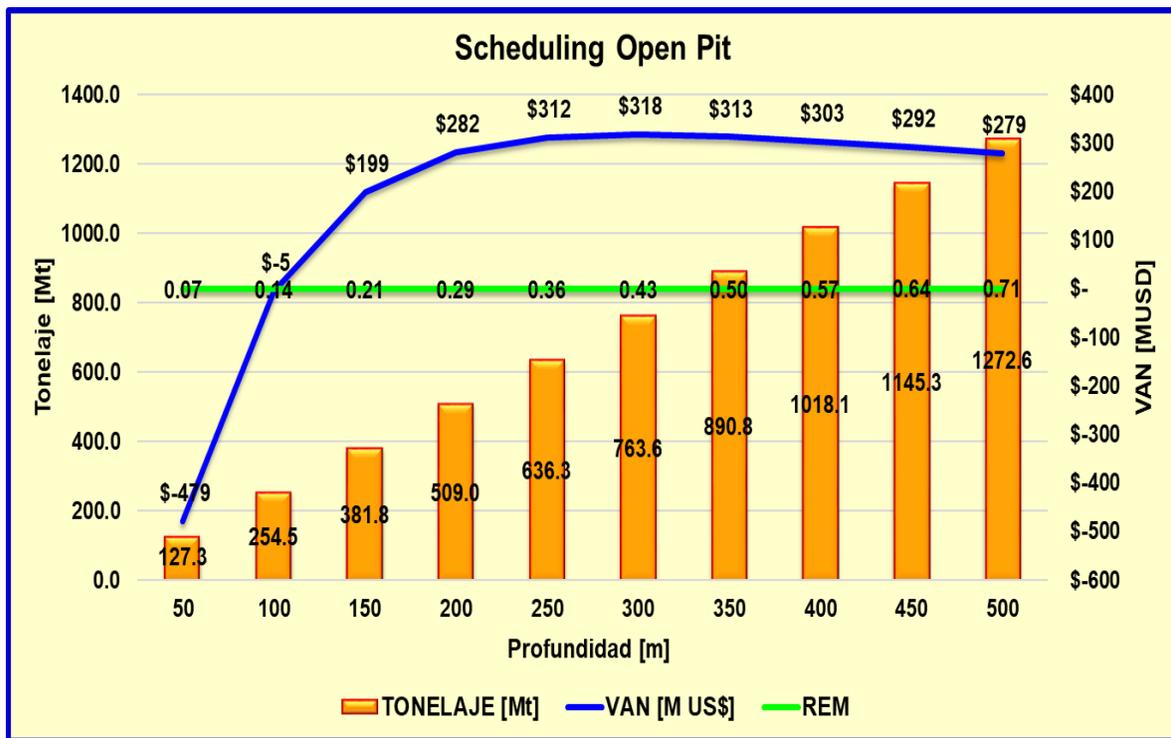


Figura 54. Planificación en tajo abierto a una tasa de descuento de 12%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Resumen del análisis de sensibilidad del proyecto

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD							
TASA DE DESCUENTO [%]	VAN (M US\$)	PRECIO (US\$/TON)	VAN (M US\$)	REC. MET. [%]	VAN (M US\$)	CUT OFF (%Fe)	VAN (M US\$)
19%	\$-4,102	145	\$10,783	100%	\$3,935	34%	\$21,548
18%	\$-3,513	140	\$9,502	99%	\$3,632	32%	\$18,729
17%	\$-2,860	135	\$8,221	98%	\$3,329	30%	\$15,909
16%	\$-2,134	130	\$6,939	97%	\$3,026	28%	\$13,090
15%	\$-1,322	125	\$5,658	96%	\$2,723	26%	\$10,271
14%	\$-408	120	\$4,376	95%	\$2,419	24%	\$7,452
13%	\$629	115	\$3,095	94%	\$2,116	22%	\$4,632
12%	\$1,813	110	\$1,813	93%	\$1,813	20%	\$1,813
11%	\$3,179	105	\$532	92%	\$1,510	18%	\$-1,006
10%	\$4,770	100	\$-750	91%	\$1,207	16%	\$-3,825
9%	\$6,644	95	\$-2,031	90%	\$904	14%	\$-6,644
8%	\$8,879	90	\$-3,313	89%	\$601	12%	\$-9,464
7%	\$11,583	85	\$-4,594	88%	\$297	10%	\$-12,283
6%	\$14,910	80	\$-5,876	87%	\$-6	8%	\$-15,102
5%	\$19,077	75	\$-7,157	86%	\$-309	6%	\$-17,921
4%	\$24,407	70	\$-8,439	85%	\$-612	4%	\$-20,741
3%	\$31,382	65	\$-9,720	84%	\$-915	2%	\$-23,560

Fuente: Elaboración propia

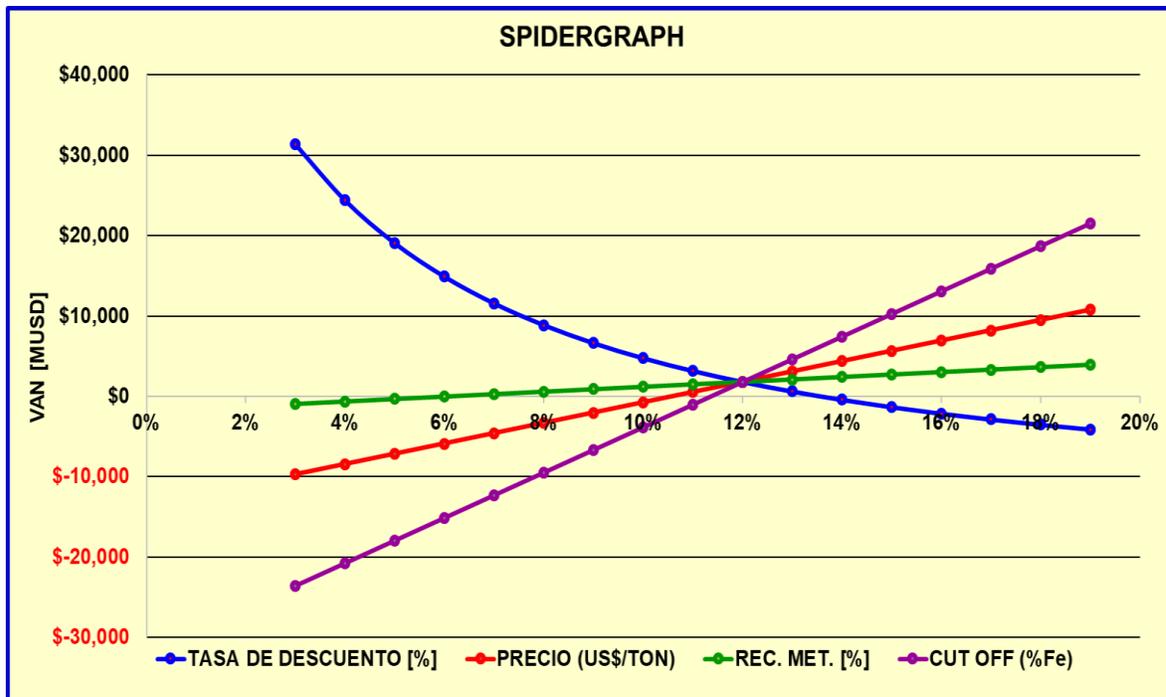


Figura 55. Análisis de sensibilidad del proyecto

Fuente: Elaboración propia

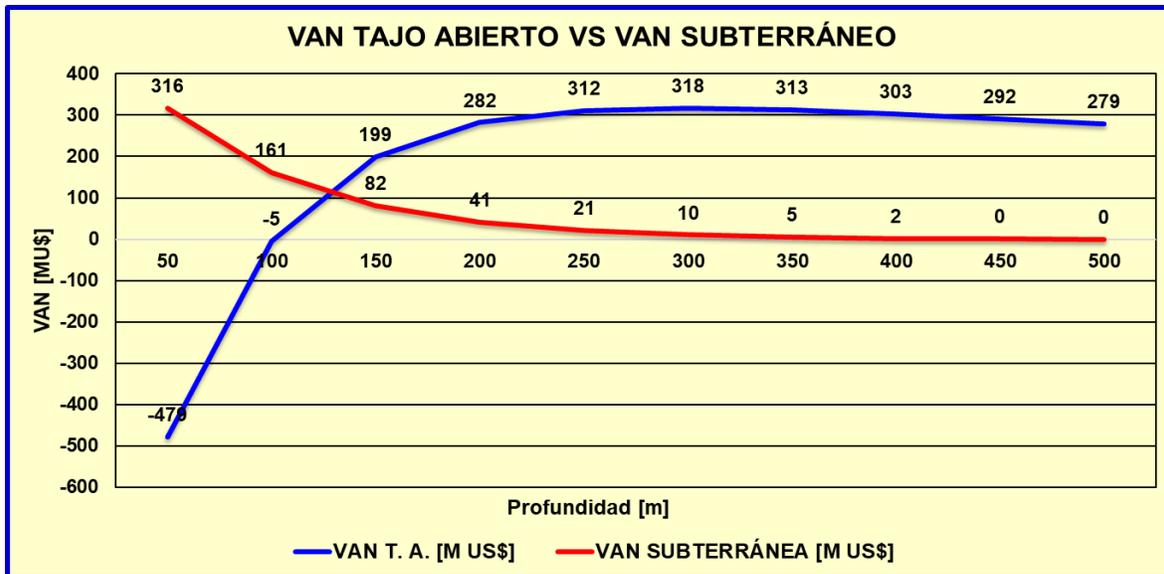


Figura 56. Comparación de VAN tajo abierto y VAN subterráneo
Fuente: Elaboración propia

a) Análisis e interpretación de resultados

- ✓ El cálculo de *Cut Off* para el método de explotación de tajo abierto desde 20% con una dilución conceptual de 5% para un ritmo de producción de 50´000.00 toneladas por día.
- ✓ Para el trabajo de investigación se realizó un análisis de sensibilidad con diferentes escenarios como es el caso de la varianza del precio del *commodity*, la tasa de descuento, la recuperación metalúrgica y la ley de corte (*Cut Off*) de %Fe con una producción de las unidades geometalúrgicas constante. Estos escenarios se analizaron en función al VAN del proyecto.
- ✓ Del estudio realizado de la evaluación económica del método de minado de tajo abierto y subterráneo se puede definir que, de acuerdo a las condiciones económicas, geomecánicas y geológicas, el yacimiento no tendría una transición de una mina superficial a subterránea.
- ✓ Según el análisis de la variación del VAN subterráneo y VAN a tajo abierto, es más viable la explotación a tajo abierto porque el VAN asciende de acuerdo a la profundidad y para el caso subterráneo el VAN desciende.

CONCLUSIONES

1. Según la investigación elaborada, la realización del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.
2. Según del modelo geológico y geomecánico aplicado a la metodología de *Nicholas* y el *Trade Off* se puede concluir que los métodos de minado con mayor puntuación son *Open Pit* (primero), *Block Caving* (segundo) y *Sublevel Stoping* (tercero). Esto demuestra que estas variables son factibles y viables para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.
3. Con la realización del modelo geomecánico se definió tres dominios geológicos en el área de estudio como intrusivo granodiorítico (formado por rocas ígneas como granito y granodiorita), complejo *Maraynioc* (formado por rocas metamórficas de tipo esquisto y filitas) y el grupo *Mitu* (formado por rocas sedimentarias como areniscas y conglomerados rojizos).
4. Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso y con ello se definió el RMR del área de estudio dando origen a una calidad regular (58.1-III B) al lado oeste. Mientras que el lado este tiene una calidad regular (48 – III B) y la estructura mineralizada con una calidad buena (71.5 – II B).
5. De acuerdo a los parámetros operacionales, geológicos, geomecánicos, geometalúrgico y el *Trade Off* se consolidó que para zona de estudio se empleará el método de explotación *Open Pit* (Tajo Abierto).
6. El plan de minado conceptual tipo LOM definió un ritmo óptimo de producción (ROP) de 50'000.00 toneladas por día (50 Ktpd) con una ley de Fe promedio de 23.86%.
7. Para cumplir el plan de producción conceptual de tipo LOM se necesita una flota de dos palas hidráulicas para mineral, dos cargadores frontales para estéril con una capacidad de balde de 18 m³, con una distribución de ocho camiones para mineral y nueve camiones para estéril de 150 toneladas de capacidad de tolva.
8. Según el modelo económico realizado para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de

S.M.R.L. Yale II es factible y viable porque según el flujo de caja se obtiene un VAN de MUS\$ 6'606.10, un IVAN de 4.24 que indica el VAN logrado por unidad monetaria que se invierte en el proyecto, un TIR de 25.95% que muestra que el proyecto es rentable y un *payback* 3.8 que describe un promedio de 4 años se demora en recuperar el *Capex* invertido en el proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la confiabilidad del modelo de bloques se sugiere realizar un programa de perforación con una malla de 100x100 con el objetivo de estimar recursos indicados y que sirva para realizar un estudio de ingeniería básica e ingeniería de detalle.
2. Realizar mejor la estimación de recursos para cuantificar los recursos disponibles con las cuales se puede planificar con mayor confiabilidad la vida de una operación minera y definir el envolvente económico.
3. Definir el modelo de yacimiento con las consideraciones de yacimiento tipo *Skarn* y/o IOCG.
4. En base al tipo de yacimiento mineral, definir en mayor detalle los modelos geomecánicos, geometalúrgicos y económicos, para generar la ingeniería de detalle en la explotación del yacimiento Toro Negro.
5. Se recomienda realizar un *Trade Off* para el diseño del botadero y de la planta para su construcción y ubicación de estas, ya que la ubicación del botadero y de la planta influye en el rendimiento y dimensionamiento de la flota de equipos a emplear.
6. Finalmente definir en mayor detalle el diseño de fases (*Pushbacks*) para que no exista un gran cambio en las leyes de estas; asimismo, que no existe una gran diferencia del REM de la zona estadia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OCKERT JOHANNES, Buys. *A critical investigation into value adding principles for conducting an open pit conceptual study*. Tesis (Magister en Minería). Pretoria: Universidad de Pretoria, 2017, 180 pp.
2. DÍAZ PIZARRO, Cristopher. *Planificación minera a cielo abierto considerando diseño óptimo de rampas*. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2017. 89 pp.
3. RAMÍREZ ZAMORA, Rodrigo. *Análisis técnico - económico explotación yacimiento Amancaya*. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2017. 106 pp.
4. VIEJO MONTENEGRO, Carlos. *Diseño de rajo y planes mineros para los minerales sulfurados de Compañía Minera del Norte (CMDN)*. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). La Serena: Universidad de la Serena, 2013. 212 pp.
5. PARRA RETI, Andrés. *Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos*. Tesis (Magister en Minería). Santiago: Universidad de Chile, 2015, 127 pp.
6. ALFARO CORTES, Marco Antonio. *Efecto de aplicación de leyes de corte en el cálculo de un programa de producción*. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2009. 96 pp.
7. ROSALES HURTADO, Daniel Marcelino. *Investigación geotécnica de diseño conceptual de tajos - proyecto Rondón*. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. 114 pp.
8. CRITTO SHAW, Adolfo. *El método científico en las ciencias sociales*. Barcelona: Paidós, 1982. ISBN: 9501236668.
9. ZINSER, Otto. *Psicología experimental*. Bogotá: McGraw Hill, 1987. PP. ISBN: 9684220405.
10. CASTRO LEÓN, Eusebio. *Teoría y práctica de la investigación científica*. Huancayo: Perugraph SRL, 2016. ISBN: es propiedad del autor.
11. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 2010. ISBN: 9781456223960.
12. MEJÍA MEJÍA, Elías. *Técnicas e instrumentos de investigación*. Lima: Fondo Editorial UNMSM, 2005. ISBN: 99738340805.
13. MUÑOZ, J. et al. *Cómo desarrollar competencias investigativas en educación*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 2001. ISBN: 9789582006198.

ANEXOS

ANEXO A

**MATRIZ CONSISTENCIA Y DE OPERACIONALIZACIÓN DE
VARIABLES**

Tabla 44. Matriz de consistencia del diseño conceptual de la explotación de Petra de S.M.R.L. Yale II

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Método de explotación a tajo abierto	Método de investigación: Método científico Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Descriptiva	La población estará constituida por todo el proyecto Toro Negro con los tres sectores del depósito: Estrella, Petra y Cholita de S.M.R.L. Yale II.
¿Cómo se realizaría el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?	Realizar un diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.	La realización del diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.			
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿Cómo sería el modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?	Realizar un modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.	La realización del modelo geológico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.			
¿Cómo sería el modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?	Realizar un modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.	La realización del modelo geomecánico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.			
¿Cómo sería el modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?	Realizar un modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.	La realización del modelo operacional para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.			
¿Cómo sería el modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II?	Realizar un modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II.	La realización del modelo económico para el diseño conceptual de la explotación a tajo abierto del cuerpo de hierro Toro Negro, sector Petra de S.M.R.L. Yale II es factible y viable.			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión	Indicadores	Fuentes	Instrumento
Diseño conceptual de la explotación a Tajo Abierto	Son vías o procedimientos utilizados en una excavación a cielo abierto y que se emplea para la extracción de sustancias de interés económico como minerales metálicos o rocas y minerales industriales y materiales estériles o sin valor económico en forma de franjas horizontales llamados bancos, esta depende fundamentalmente de las características o variables del yacimiento y del terreno. Estas variables están asociados a las condiciones geológicas y geomecánicas, económicas y operacionales del yacimiento entre otros.	Condiciones del yacimiento	Modelo geológico	Dominios geológicos	Observación de campo	Ficha de registro
			Modelo geomecánico	Parámetros geomecánicos	Observación campo	Ficha de registro
			Modelo operacional	Parámetros operacionales	Informe técnico	Reporte operacional
			Modelo económico	Parámetros económicos	Informe técnico	Reporte económico, flujo de caja de escenarios

Fuente: Elaboración propia

ANEXOS B
PLANOS EN SECCIÓN PLANTA E ISOMÉTRICO

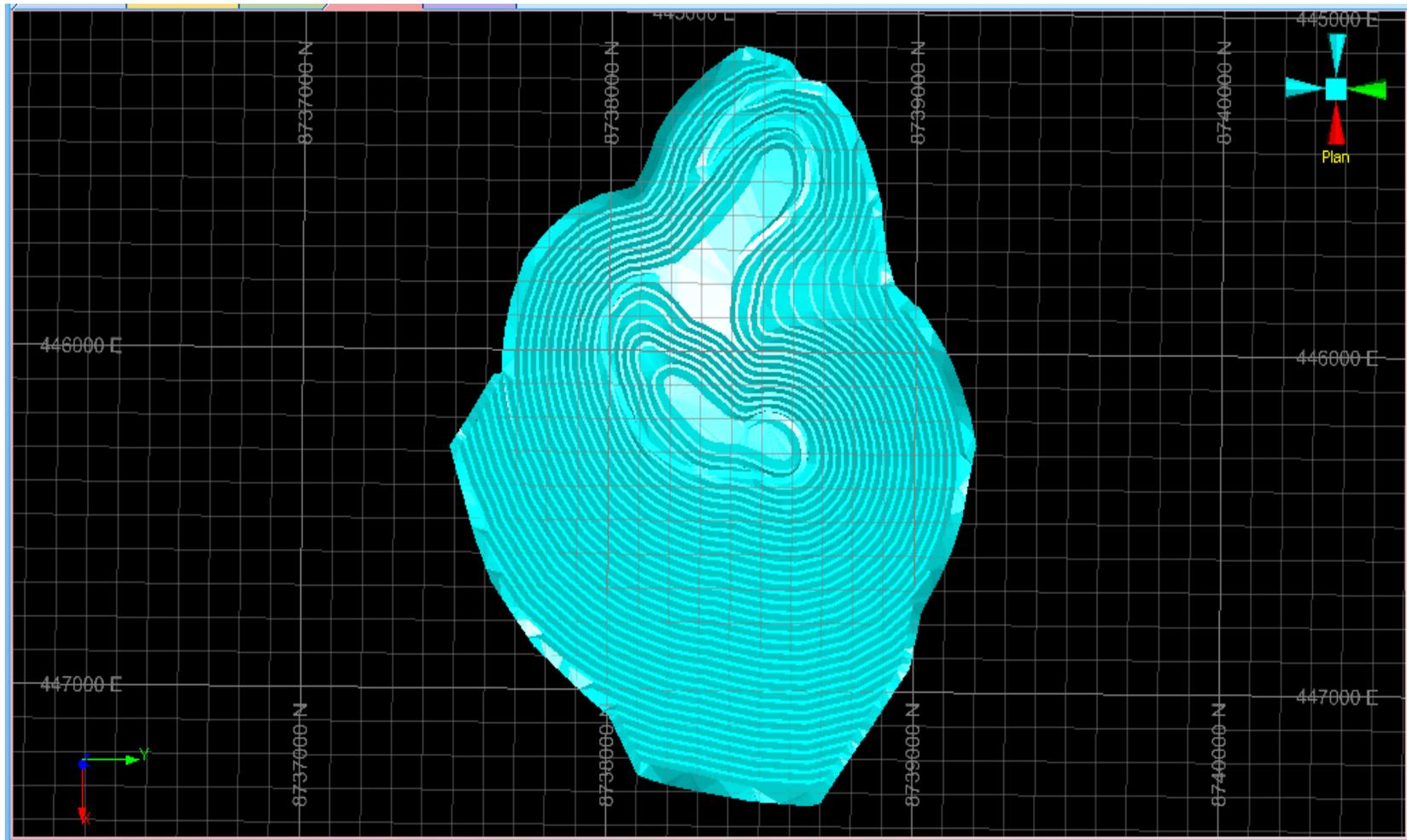


Figura 57. Plano en planta del pit
Fuente: Elaboración propia

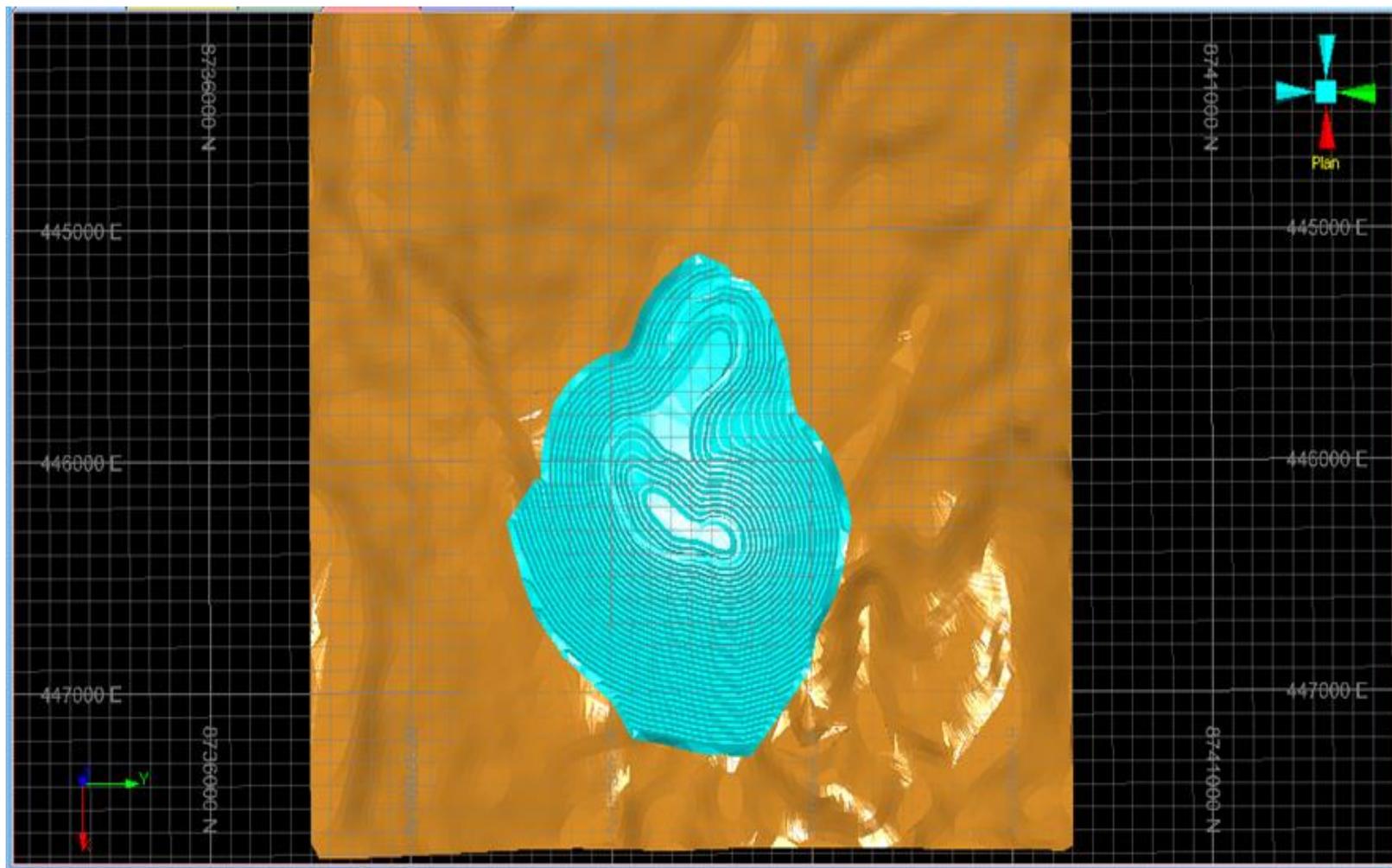


Figura 58. Plano en planta y topografía superficial
Fuente: Elaboración propia

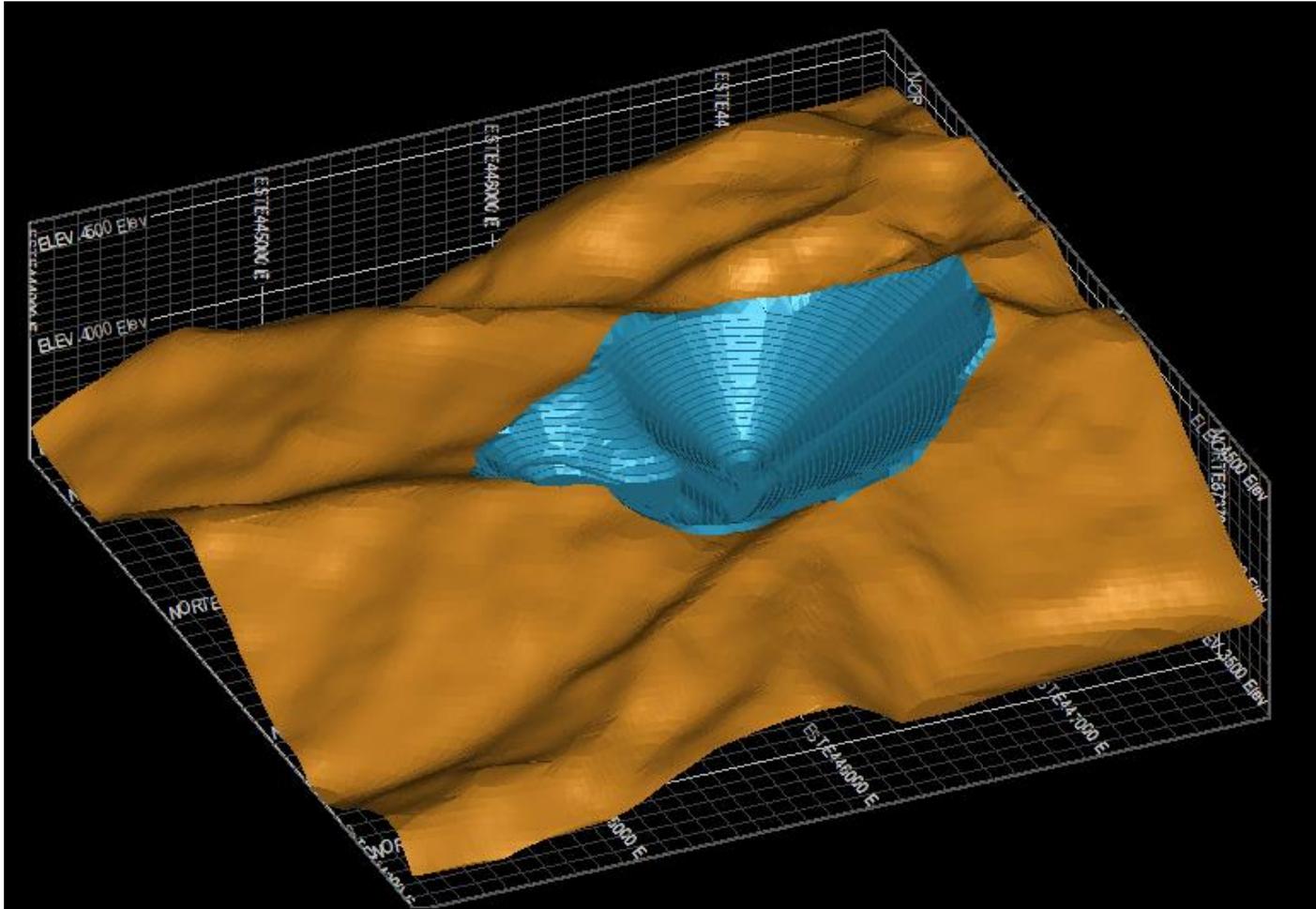


Figura 59. Plano isométrico del pit
Fuente: Elaboración propia

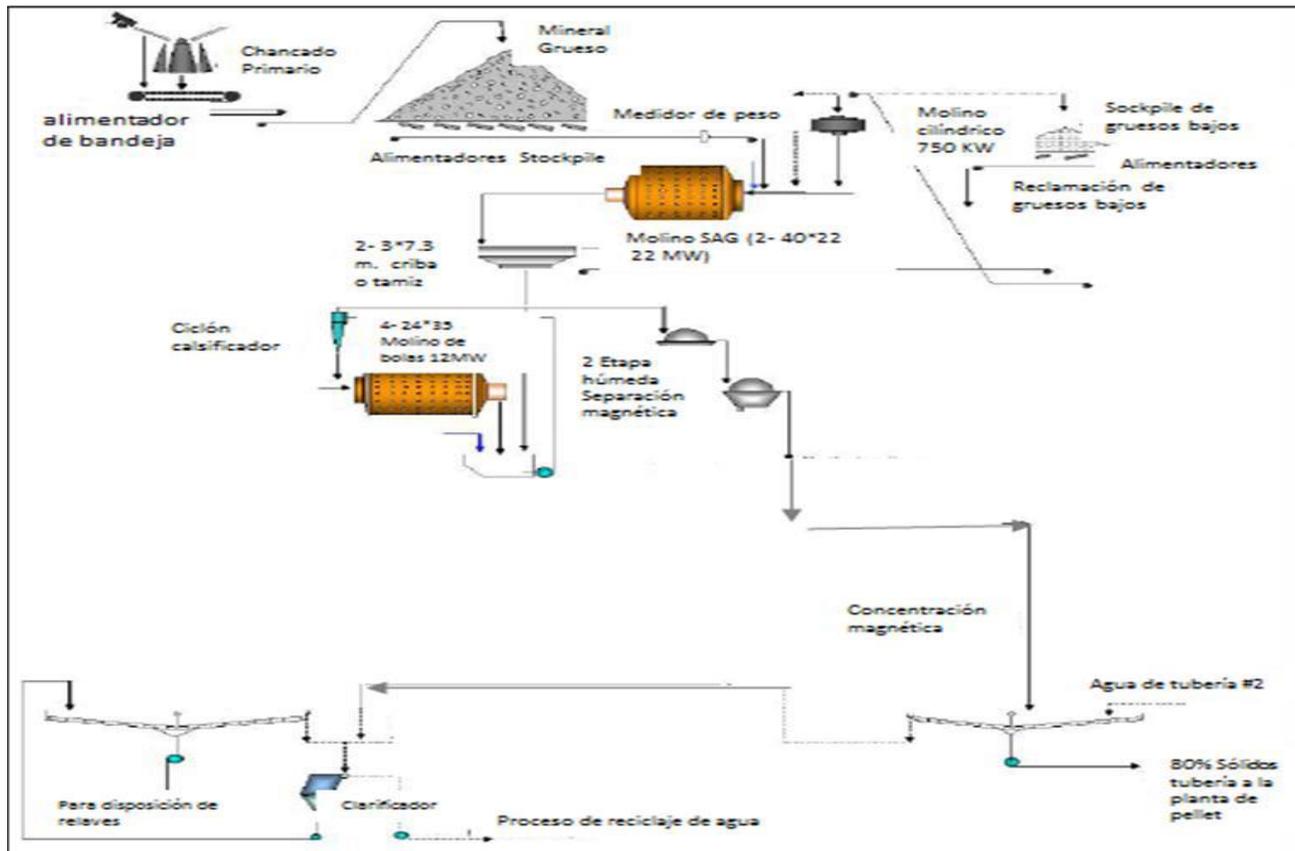


Figura 60: Flow Sheet del proyecto Toro Negro
Fuente: Informe interno

ANEXOS C
GEOMECÁNICA

Tabla 46. Propiedades físicas y mecánicas del área de estudio

	ENSAYO: MÉTODOS SUGERIDOS PARA DETERMINAR CONTENIDO DE AGUA, POROSIDAD, DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PROPIEDADES RELACIONADAS Normas de referencia: ASTM D-2216 – 98														
PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑÍA MINERA YALE II S.M.R.L.															
LOCALIZACIÓN:	E 446,114.00 N 8,738,261.00 Z 4335 m														
MUESTRA:	GEST-01														
DESCRIPCIÓN:	ESTRUCTURA MINERALIZADA (MINERAL - MAGNETITA)														
	FECHA DE MUESTREO	05 / 09 / 2019													
	FECHA DE ENSAYO	05 / 09 / 2019													
DATOS															
CÁLCULO DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA ROCA															
ITEM	M1	M2	M3												
1.00 M(masa in situ, kg)	0.30	0.50	0.28												
2.00 Msub (masa sumergida, Kg)	0.21	0.35	0.20												
3.00 Msat(masa saturada, Kg)	0.31	0.50	0.29												
4.00 Ms(masa seca, Kg)	0.30	0.50	0.28												
5.00 V(volumen, m3)	0.00	0.00	0.00												
DENSIDAD DEL AGUA															
$\rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} \quad \rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ Donde: V = Volumen Msat = Masa saturada Msub = Masa sumergida ρw = Densidad de agua															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">800.24</td> <td style="text-align: center;">801.99</td> <td style="text-align: center;">806.88</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">803.04</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	800.24	801.99	806.88	PROMEDIO			803.04		
M1	M2	M3													
800.24	801.99	806.88													
PROMEDIO															
803.04															
VOLUMEN DE VACÍOS															
$V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w} \quad (m^3)$ Donde: Vv = Volumen de vacíos Msat = Masa saturada Ms = Masa seca ρw = Densidad de agua															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.0000033</td> <td style="text-align: center;">0.0000052</td> <td style="text-align: center;">0.000003</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.0000039</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.0000033	0.0000052	0.000003	PROMEDIO			0.0000039		
M1	M2	M3													
0.0000033	0.0000052	0.000003													
PROMEDIO															
0.0000039															
CONTENIDO DE AGUA O HUMEDAD															
$\omega = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%)$ Donde: ω = Contenido de agua o humedad M = Masa in situ Ms = Masa seca															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.01</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.00	0.01	0.01	PROMEDIO			0.01		
M1	M2	M3													
0.00	0.01	0.01													
PROMEDIO															
0.01															
GRADO DE SATURACIÓN															
$S_r = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (\%) \quad S_r = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (\%)$ Donde: Sr = Grado de saturación Vv = Volumen de agua V = Volumen															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">36.43</td> <td style="text-align: center;">35.91</td> <td style="text-align: center;">32.31</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">34.88</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	36.43	35.91	32.31	PROMEDIO			34.88		
M1	M2	M3													
36.43	35.91	32.31													
PROMEDIO															
34.88															
POROSIDAD															
$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (\%)$ Donde: n = Porosidad Vv = Volumen de vacíos V = Volumen															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.03</td> <td style="text-align: center;">0.03</td> <td style="text-align: center;">0.03</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.03</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.03	0.03	0.03	PROMEDIO			0.03		
M1	M2	M3													
0.03	0.03	0.03													
PROMEDIO															
0.03															
ABSORCIÓN															
$\text{Absorción} = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (\%)$ Donde: Msat = Masa saturada Ms = Masa seca															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.01</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> <td style="text-align: center;">0.01</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.01</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.01	0.01	0.01	PROMEDIO			0.01		
M1	M2	M3													
0.01	0.01	0.01													
PROMEDIO															
0.01															
VOLUMEN DE LA ROCA															
$V_{roca} = V - V_v \quad (m^3)$ Donde: Vroca = Volumen de roca V = Volumen Vv = Volumen de vacíos															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.00	0.00	0.00	PROMEDIO			0.00		
M1	M2	M3													
0.00	0.00	0.00													
PROMEDIO															
0.00															
RELACIÓN DE VACÍOS															
$e = \frac{V_v}{V_{roca}}$ Donde: e = Relación de vacíos Vv = Volumen de vacíos Vroca = Volumen de roca															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.03</td> <td style="text-align: center;">0.03</td> <td style="text-align: center;">0.03</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">0.03</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	0.03	0.03	0.03	PROMEDIO			0.03		
M1	M2	M3													
0.03	0.03	0.03													
PROMEDIO															
0.03															
DENSIDAD MÁSCA "BULK"															
$\rho = \frac{M}{V} \quad (kg/m^3)$ Donde: ρ = Densidad máscA "bulk" M = Masa in situ V = Volumen															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2,471.14</td> <td style="text-align: center;">2,621.62</td> <td style="text-align: center;">2,613.12</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">2,568.63</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	2,471.14	2,621.62	2,613.12	PROMEDIO			2,568.63		
M1	M2	M3													
2,471.14	2,621.62	2,613.12													
PROMEDIO															
2,568.63															
DENSIDAD SECA															
$\rho_d = \frac{M_s}{V_{roca}} \quad (kg/m^3)$ Donde: ρd = Densidad seca Ms = Masa seca Vroca = Volumen de roca															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2,527.70</td> <td style="text-align: center;">2,677.89</td> <td style="text-align: center;">2,676.77</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">2,627.45</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	2,527.70	2,677.89	2,676.77	PROMEDIO			2,627.45		
M1	M2	M3													
2,527.70	2,677.89	2,676.77													
PROMEDIO															
2,627.45															
DENSIDAD SÓLIDOS															
$\rho_s = \frac{M_s}{V_{roca}} \quad (kg/m^3)$ Donde: ρs = Densidad de sólido Ms = Masa in situ Vroca = Volumen de roca															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2,538.98</td> <td style="text-align: center;">2,694.63</td> <td style="text-align: center;">2,693.98</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">2,642.53</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	2,538.98	2,694.63	2,693.98	PROMEDIO			2,642.53		
M1	M2	M3													
2,538.98	2,694.63	2,693.98													
PROMEDIO															
2,642.53															
GRAVEDAD ESPECÍFICA															
$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ Donde: Gs = Densidad de sólido ρs = Densidad de sólido ρw = Densidad de agua															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M1</td> <td style="text-align: center;">M2</td> <td style="text-align: center;">M3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3.09</td> <td style="text-align: center;">3.27</td> <td style="text-align: center;">3.24</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">3.20</td> </tr> </table>				M1	M2	M3	3.09	3.27	3.24	PROMEDIO			3.20		
M1	M2	M3													
3.09	3.27	3.24													
PROMEDIO															
3.20															
OBSERVACIONES:															
Revisó: Ingeniero Encargado <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div> JAVIER CORDOVA BLANCAS															



PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑÍA MINERA YALE II S.M.R.L.
LOCALIZACIÓN: E 445953 N 8738696 Z 4338 m
MUESTRA: GO-01
DESCRIPCIÓN: ROCA IGNEA INTRUSIVO DE ZONA DE CONTACTO CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA (GRANDIORITICO)
FECHA DE MUESTREO: 05 / 09 / 2019
FECHA DE ENSAYO: 10 / 09 / 2019

DATOS

CÁLCULO DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA ROCA

ITEM	M1	M2	M3
1 M(masa in situ, Kg)	0.47334	0.47255	0.45355
2 Msub (masa sumergida, Kg)	0.29476	0.29132	0.28146
3 Msat(masa saturada, Kg)	0.4778	0.47546	0.45703
4 Ms(masa seca, Kg)	0.47006	0.46666	0.45077
5 V(volumen, m3)	0.0002	0.00109	0.00186

DENSIDAD DEL AGUA
 $\rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} \quad \rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} \quad (\frac{kg}{m^3})$
 Donde:
 V = Volumen
 Msat = Masa saturada
 Msub = Masa sumergida
 pw = Densidad de agua

M1	M2	M3
915.2	1689.3578	943.92
PROMEDIO	1182.82751	

VOLUMEN DE VACÍOS
 $V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w} \quad (m^3)$
 Donde:
 Msat = Volumen de saturación
 Ms = Masa seca
 pw = Densidad de agua

M1	M2	M3
8.457E-06	5.2091E-06	7E-06
PROMEDIO	6.76604E-06	

CONTENIDO DE AGUA O HUMEDAD
 $w = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%)$
 Donde:
 w = Contenido de agua o humedad
 M = Masa in situ
 Ms = Masa seca

M1	M2	M3
0.6978%	1.2622%	0.6167%
PROMEDIO	0.859%	

GRADO DE SATURACIÓN
 $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (\%) \quad S_r = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_s} \times 100 \quad (\%)$
 Donde:
 Sr = Grado de saturación
 Vw = Volumen de agua
 Vv = Volumen de vacíos
 V = Volumen

M1	M2	M3
2265%	1993%	2705%
PROMEDIO	2321%	

POROSIDAD
 $n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (\%)$
 Donde:
 n = Porosidad
 Vv = Volumen de vacíos
 V = Volumen

M1	M2	M3
4%	5%	4%
PROMEDIO	4%	

ABSORCIÓN
 $A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%)$
 Donde:
 Msat = Masa saturada
 Ms = Masa seca

M1	M2	M3
2%	2%	1%
PROMEDIO	2%	

VOLUMEN DE LA ROCA
 $V_{roca} = V - V_v \quad (m^3)$
 Donde:
 Vroca = Volumen de roca
 V = Volumen
 Vv = Volumen de vacíos

M1	M2	M3
0.0001915	0.00010379	0.0002
PROMEDIO	0.000158234	

RELACION DE VACÍOS
 $e = \frac{V_v}{V_{roca}}$
 Donde:
 e = Relación de vacíos
 Vv = Volumen de vacíos
 Vroca = Volumen de roca

M1	M2	M3
0.0441529	0.05018821	0.037
PROMEDIO	0.043771562	

DENSIDAD MÁSCA "BULK"
 $\rho = \frac{M}{V} \quad (\frac{kg}{m^3})$
 Donde:
 rho = Densidad máscica "Bulk"
 M = Masa in situ
 V = Volumen

M1	M2	M3
2366.7	4335.3211	2438.4
PROMEDIO	3046.820654	

DENSIDAD SECA
 $\rho_d = \frac{M_s}{V_{roca}} \quad (\frac{kg}{m^3})$
 Donde:
 rho = Densidad seca
 Ms = Masa seca
 Vroca = Volumen de roca

M1	M2	M3
2454.0725	4496.15439	2513.1
PROMEDIO	3154.442281	

DENSIDAD SÓLIDOS
 $\rho_s = \frac{M}{V_{roca}} \quad (\frac{kg}{m^3})$
 Donde:
 rho = Densidad de sólidos
 M = Masa in situ
 Vroca = Volumen de roca

M1	M2	M3
2471.1966	4552.90309	2528.6
PROMEDIO	3184.232835	

GRAVEDAD ESPECÍFICA
 $G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$
 Donde:
 Gs = Gravedad de sólidos
 rho = Densidad máscica "Bulk"
 rho = Densidad de agua

M1	M2	M3
2.5859921	2.56625394	2.5833
PROMEDIO	2.578515393	



OBSERVACIONES:

Revisó: **Ingeniero Encargado**
JAVIER CORDOVA BLANCAS

PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑIA MINERA YALE II S.M.R.L.
LOCALIZACIÓN: E 446129 N 8738253 Z 4339 m
MUESTRA: GE-01
DESCRIPCIÓN: ROCA METAMORFICA DE ZONA DE CONTACTO CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA

FECHA DE MUESTREO: 05 / 09 / 2019
FECHA DE ENSAYO: 10 / 09 / 2019

DATOS

CÁLCULO DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UNA ROCA

ITEM		M1	M2	M3
1	M(masa in situ, kg)	0.29213	0.26233	0.42657
2	Msub (masa sumergida, Kg)	0.18075	0.16183	0.26415
3	Msat(masa saturada, Kg)	0.29914	0.26789	0.43076
4	M _s (masa seca, Kg)	0.2904	0.26079	0.42407
5	V(volumen, m3)	0.000123	0.000109	0.000186

DENSIDAD DEL AGUA
 $\rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{V} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Donde:
V = Volumen
M_{sat} = Masa saturada
M_{sub} = Masa sumergida
ρ_w = Densidad de agua

M1	M2	M3
962.52033	973.027523	895.75

PROMEDIO: 943.7668454

VOLUMEN DE VACÍOS
 $V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w} \left(m^3 \right)$
Donde:
V_v = Volumen de vacíos
M_{sat} = Masa saturada
M_s = Masa seca
ρ_w = Densidad de agua

M1	M2	M3
9.08E-06	7.2968E-06	7E-06

PROMEDIO: 7.94857E-06

CONTENIDO DE AGUA O HUMEDAD
 $w = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100 \text{ (\%)} \left(\frac{\%}{\%} \right)$
Donde:
w = Contenido de agua o humedad
M = Masa in situ
M_s = Masa seca

M1	M2	M3
0.5957%	0.5905%	0.5895%

PROMEDIO: 0.592%

GRADO DE SATURACIÓN
 $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \text{ (\%)} \quad S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \text{ (\%)} \left(\frac{\%}{\%} \right)$
Donde:
S_r = Grado de saturación
V_w = Volumen de agua
V_v = Volumen de vacíos
V = Volumen

M1	M2	M3
1255%	1394%	2390%

PROMEDIO: 1680%

POROSIDAD
 $n = \frac{V_v}{V} \times 100 \text{ (\%)} \left(\frac{\%}{\%} \right)$
Donde:
n = Porosidad
V_v = Volumen de vacíos
V = Volumen

M1	M2	M3
7%	7%	4%

PROMEDIO: 6%

ABSORCIÓN
 $A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \text{ (\%)} \left(\frac{\%}{\%} \right)$
Donde:
A = Absorción
M_{sat} = Masa saturada
M_s = Masa seca

M1	M2	M3
3%	3%	2%

PROMEDIO: 2%

VOLUMEN DE LA ROCA
 $V_{roca} = \frac{M - M_{sub}}{\rho_w} \left(m^3 \right)$
Donde:
V_{roca} = Volumen de roca
V = Volumen
V_v = Volumen de vacíos

M1	M2	M3
0.0001139	0.0001017	0.0002

PROMEDIO: 0.000131385

RELACION DE VACÍOS
 $e = \frac{V_v}{V_s} \left(\frac{m^3}{m^3} \right)$
Donde:
e = Relación de vacíos
V_v = Volumen de vacíos
V_s = Volumen de sólidos

M1	M2	M3
0.0797082	0.07174616	0.0418

PROMEDIO: 0.064429246

DENSIDAD MÁSCA "BULK"
 $\rho = \frac{M}{V} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Donde:
ρ = Densidad máscas "Bulk"
M = Masa in situ
V = Volumen

M1	M2	M3
2375.0407	2406.69725	2293.4

PROMEDIO: 2358.374998

DENSIDAD SECA
 $\rho_d = \frac{M_s}{V_{roca}} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Donde:
ρ_d = Densidad seca
M_s = Masa seca
V_{roca} = Volumen de roca

M1	M2	M3
2549.1646	2564.22643	2375.3

PROMEDIO: 2496.238415

DENSIDAD SOLIDOS
 $\rho_s = \frac{M}{V_{roca} - V_v} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Donde:
ρ_s = Densidad de sólidos
M = Masa in situ
V_{roca} = Volumen de roca

M1	M2	M3
2564.3508	2579.36853	2389.3

PROMEDIO: 2511.015542

GRAVEDAD ESPECIFICA
 $G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Donde:
G_s = Densidad de sólidos
ρ_s = Densidad máscas "BULK"
ρ_w = Densidad de agua

M1	M2	M3
2.4675226	2.47341128	2.5603

PROMEDIO: 2.500408123



OBSERVACIONES:

Revisó: **Ingeniero Encargado**
JAVIER CÓRDOVA BLANCAS

PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑIA MINERA YALE II S.M.R.L.
LOCALIZACIÓN: E 446114 N 8738261 Z 4335 m
MUESTRA: GEST-01
DESCRIPCIÓN: ESTRUCTURA MINERALIZADA (MINERAL - MAGNETITA)

FECHA DE MUESTREO 15 / 08 / 2019

FECHA DE ENSAYO 30 / 09 / 2019

CONVERSIONES

De: Diámetro equivalente del espécimen, en milímetros (mm)

- Ensayo diametral $De = D$
- Ensayo no diametral $De = (4A/\pi)^{0.5}$

A: Área de la sección transversal mínima paralela a la dirección de la carga, en milímetros cuadrados (mm²) $A = W * D$

W: Ancho del espécimen perpendicular a la dirección de la carga, en milímetros (mm)

P: Carga aplicada, en Kilonewton (KN)

Is: Índice de resistencia de carga puntual no corregido, en Megapascal (MPa) $Is = \left(\frac{P}{De^2}\right) * 1000$

Is(50): Índice de resistencia de carga puntual corregido, en Megapascal (MPa) $Is(50) = \left(\frac{De}{50}\right) * 0.45 * Is$

TIPO DE ENSAYO

DIAMETRAL <input type="checkbox"/>	NO DIAMETRAL		
	AXIAL <input checked="" type="checkbox"/>	BLOQUE <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO IRREGULAR <input type="checkbox"/>
<p>L > 0.5D</p>	<p>Exquisite Core 0.3W < D < W</p>	<p>Exquisite Core 0.3W < D < W $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$</p>	<p>Exquisite Core 0.3W < D < W</p>

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL									
ENSAYO / MUESTRA	DIAMETRAL		NO DIAMETRAL				P (KN)	Is (Mpa)	Is(50) (Mpa)
	D(mm)	De(mm)	D(mm)	W (mm)	A (mm2)	De(mm)			
1	-	-	35.20	54.74	1926.85	49.53	14.59	5.95	5.92
2	-	-	28.80	54.74	1576.51	44.80	14.52	7.23	6.89
3	-	-	32.70	54.74	1790.00	47.74	16.52	7.25	7.10
4	-	-	34.60	54.74	1894.00	49.11	8.48	3.52	3.49
5	-	-	32.90	54.74	1800.95	47.89	13.68	5.97	5.85
PROMEDIO								5.98	5.85

OBSERVACIONES:

Revisó: **Ingeniero Encargado**

JAVIER CÓRDOVA BLANCAS

PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑÍA MINERA YALE II S.M.R.L.

LOCALIZACIÓN: E 445953 N 8738696 Z 4338 m

MUESTRA: GO-01

DESCRIPCIÓN: ROCA IGNEA INTRUSIVO DE ZONA DE CONTACTO CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA (GRANODIORITICO)

FECHA DE MUESTREO 15 / 08 / 2019

FECHA DE ENSAYO 30 / 09 / 2019

CONVERSIONES

De: Diámetro equivalente del espécimen, en milímetros (mm)

- Ensayo diametral $De = D$
- Ensayo no diametral $De = (4A/\pi)^{0.5}$

A: Área de la sección transversal mínima paralela a la dirección de la carga, en milímetros cuadrados (mm²) $A = W * D$

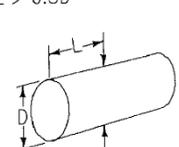
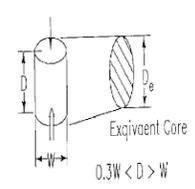
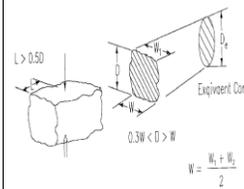
W: Ancho del espécimen perpendicular a la dirección de la carga, en milímetros (mm)

P: Carga aplicada, en Kilonewton (KN)

Is: Índice de resistencia de carga puntual no corregido, en Megapascal (MPa) $Is = \left(\frac{P}{De^2}\right) * 1000$

Is(50): Índice de resistencia de carga puntual corregido, en Megapascal (MPa) $Is(50) = \left(\frac{De}{50}\right) * 0.45 * Is$

TIPO DE ENSAYO

DIAMETRAL <input type="checkbox"/>	NO DIAMETRAL	
	AXIAL <input checked="" type="checkbox"/>	BLOQUE <input type="checkbox"/> FRAGMENTO IRREGULAR <input type="checkbox"/>
		

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL									
ENSAYO / MUESTRA	DIAMETRAL		NO DIAMETRAL				P (KN)	Is (Mpa)	Is(50) (Mpa)
	D(mm)	De(mm)	D(mm)	W (mm)	A (mm ²)	De(mm)			
1	-	-	37.00	54.74	2025.38	50.78	4.25	1.65	1.66
2	-	-	34.40	54.74	1883.06	48.97	2.61	1.09	1.08
3	-	-	32.50	54.74	1779.05	47.59	1.77	0.78	0.76
4	-	-	41.90	54.74	2293.61	54.04	2.25	0.77	0.80
5	-	-	28.70	54.74	1571.04	44.72	2.35	1.17	1.12
PROMEDIO								1.09	1.08

OBSERVACIONES:

Revisó: Ingeniero Encargado

JAVIER CÓRDOVA BLANCAS

PROYECTO: PROYECTO TORO NEGRO DE LA COMPAÑÍA MINERA YALE II S.M.R.L.
LOCALIZACIÓN: E 446129 N 8738253 Z 4339 m
MUESTRA: GE-01
DESCRIPCIÓN: ROCA METAMORFICA DE ZONA DE CONTACTO CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA

FECHA DE MUESTREO 15 / 08 / 2019

FECHA DE ENSAYO 30 / 09 / 2019

CONVERSIONES

De: Diámetro equivalente del espécimen, en milímetros (mm)

- Ensayo diametral $De = D$
- Ensayo no diametral $De = (4A/\pi)^{0.5}$

A: Área de la sección transversal mínima paralela a la dirección de la carga, en milímetros cuadrados (mm²) $A = W * D$

W: Ancho del espécimen perpendicular a la dirección de la carga, en milímetros (mm)

P: Carga aplicada, en Kilonewton (KN)

Is: Índice de resistencia de carga puntual no corregido, en Megapascal (MPa) $Is = \left(\frac{P}{De^2}\right) * 1000$

Is(50): Índice de resistencia de carga puntual corregido, en Megapascal (MPa) $Is(50) = \left(\frac{De}{50}\right) * 0.45 * Is$

TIPO DE ENSAYO

DIAMETRAL <input type="checkbox"/>	NO DIAMETRAL		
	AXIAL <input checked="" type="checkbox"/>	BLOQUE <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO IRREGULAR <input type="checkbox"/>
<p>L > 0.5D</p>			

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL									
ENSAYO / MUESTRA	DIAMETRAL		NO DIAMETRAL				P (KN)	Is (Mpa)	Is(50) (Mpa)
	D(mm)	De(mm)	D(mm)	W (mm)	A (mm2)	De(mm)			
1	-	-	39.30	54.74	2151.28	52.34	13.89	5.07	5.18
2	-	-	40.60	54.74	2222.44	53.19	3.54	1.25	1.29
3	-	-	31.90	54.74	1746.21	47.15	7.74	3.48	3.39
4	-	-	32.30	54.74	1768.10	47.45	12.79	5.68	5.55
5	-	-	40.70	54.74	2227.92	53.26	13.44	4.74	4.87
6	-	-	32.70	54.74	1790.00	47.74	4.04	1.77	1.74
PROMEDIO								3.67	3.67

OBSERVACIONES:

Revisó: **Ingeniero Encargado**

JAVIER CÓRDOVA BLANCAS

Tabla 47. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del área de estudio

PROPIEDADES DE LAS MUESTRAS GRUPO ESTRUCTURA						
ID	MUESTRAS	DESNDIDAD (T/m3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PORCENTAJE DE POROSIDAD	Is(50) (Mpa)	σ_{UCS} (MP)
1	GEST-01	2.64	0.57%	2.79%	5.92	142.12
2		2.64	0.57%	2.79%	6.89	165.24
3		2.64	0.57%	2.79%	7.10	170.38
4		2.64	0.57%	2.79%	3.49	83.71
5	GEST-02	2.64	0.57%	2.79%	5.85	140.42
6		3.08	0.39%	1.57%	6.72	161.22
7		3.08	0.39%	1.57%	7.58	181.94
8		3.08	0.39%	1.57%	2.10	50.49
9	GEST-03	3.08	0.39%	1.57%	0.79	19.02
10		3.18	0.54%	2.56%	4.44	106.44
11		3.18	0.54%	2.56%	0.44	10.67
12		3.18	0.54%	2.56%	1.55	37.22
13	GEST-04	3.18	0.54%	2.56%	4.30	103.25
14		3.18	0.54%	2.56%	3.72	89.35
15		3.30	1.09%	6.04%	0.24	5.82
16		3.30	1.09%	6.04%	0.84	20.14
17	GEST-05	3.30	1.09%	6.04%	3.32	79.65
18		3.30	1.09%	6.04%	0.33	7.91
19		3.30	1.09%	6.04%	0.07	1.64
20		2.93	0.67%	3.60%	0.90	21.62
21	GEST-05	2.93	0.67%	3.60%	0.65	15.52
22		2.93	0.67%	3.60%	1.23	29.51
23		2.93	0.67%	3.60%	2.40	57.55
PROMEDIO	ESTRUCTURA	3.03	0.01	0.03	3.08	73.95
PROPIEDADES DE LAS MUESTRAS GRUPO OESTE						
ID	MUESTRAS	DESNDIDAD (T/m3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PORCENTAJE DE POROSIDAD	Is(50) (Mpa)	σ_{UCS} (MP)
1	OESTE-01	3.18	0.86%	4.19%	1.66	39.83
2		3.18	0.86%	4.19%	1.08	25.88
3		3.18	0.86%	4.19%	0.76	18.34
4		3.18	0.86%	4.19%	0.80	19.15
5		3.18	0.86%	4.19%	1.12	26.82
6	OESTE-02	2.54	0.47%	3.76%	0.32	7.65
7		2.54	0.47%	3.76%	1.15	27.70
8		2.54	0.47%	3.76%	0.85	20.51
9		2.54	0.47%	3.76%	0.85	20.36
10		2.54	0.47%	3.76%	0.70	16.87
11	OESTE-03	2.43	2.32%	10.34%	0.96	22.98
12		2.43	2.32%	10.34%	0.54	12.85
13		2.43	2.32%	10.34%	0.77	18.49
14		2.43	2.32%	10.34%	0.92	22.15
15		2.43	2.32%	10.34%	0.13	3.12
PROMEDIO	OESTE	2.72	0.01	0.06	0.84	20.18
PROPIEDADES DE LAS MUESTRAS GRUPO ESTE						
ID	MUESTRAS	DESNDIDAD (T/m3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PORCENTAJE DE POROSIDAD	Is(50) (Mpa)	σ_{UCS} (MP)
1	ESTE-01	2.51	0.59%	6.03%	5.18	124.23
2		2.51	0.59%	6.03%	1.29	30.87
3		2.51	0.59%	6.03%	3.39	81.37
4		2.51	0.59%	6.03%	5.55	133.17
5		2.51	0.59%	6.03%	4.87	116.99
6		2.51	0.59%	6.03%	1.74	41.67
7	ESTE-02	2.40	0.43%	2.75%	4.24	101.87
8		2.40	0.43%	2.75%	1.92	46.04
9		2.40	0.43%	2.75%	2.35	56.47
10		2.40	0.43%	2.75%	3.15	75.59
PROMEDIO	ESTE	2.47	0.01	0.05	3.37	80.83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Mapeo geomecánico aplicando el tabla de clasificación de Bieniawski del grupo estructura (mineral)

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR										ESTACION																																																		
										EST.																																																		
Nombre del Proyecto:	PROYECTO TORO NEGRO S.M.R.L. YALE II					Litología	MINERAL																																																					
FASE:	1					Altura litostatica (h)	1																																																					
Labor:	BANCO					Rc / Sv	2738.89																																																					
Ejecutado por:	OMAR GIOVANNY REVOLLAR CACERES																																																											
Fecha:	10-09-2019																																																											
SISTEMA RMR																																																												
PARÁMETROS			VALOR			RANGO						VALOR																																																
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)			73.95			>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	7.5																																																	
RQD (%)			92.88			X 90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	19																																																	
Espaciamiento de discontinuidades (m)			0.23			>2m (20)	0.6-2 m (15)	X 0.2-0.6m (10)	0.06-0.2m (8)	< 0.06m (5)	10																																																	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																																												
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4																																																		
E1	48	53	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	X 0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4																																																		
E2	75	136	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	X Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	5																																																		
E3	55	160	2	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	1																																																		
E4	62	114	3	Alteración	X Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	6																																																		
Agua subterránea					Seco (15)	X Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10																																																		
Orientación					<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavacion</th> <th colspan="4">Rumbo paralelo al eje de la excavacion</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> <td>Bz 45°-90°</td> <td>Bz 20°-45°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-10</td> </tr> </table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion				Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento										Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10	0							
Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion																																																								
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																						
Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°	Bz 45°-90°	Bz 20°-45°																																																					
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable																																																					
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10																																																					
					RMR₉₉ (Basico) =						66.5																																																	
					RMR₉₉ (Corregido) =						66.5																																																	
Condiciones secas					RMR₉₉ (Condiciones Secas)=						71.5																																																	
					RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II B																																																	
					DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																																		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) del grupo estructura (mineral)

# Fract/ml	RQD (%)	PARAMETROS		S1	S2	S3	S4	PROMEDIO
1	100	NUMERO DE FRACTURAS		15	14	11	12	13.0
2	98	CONTADAS EN (m):		3	3	3	3	3.0
3	96	ESPACIAMIENTO MEDIO(m)	X	0.20	0.21	0.27	0.25	0.234
4	94	FRACTURAS / METRO	λ	5.0	4.7	3.7	4	4.3
5	91	N° DE FRACT./m3	Jv	0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	88	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	RQD (%)	91.0	92.0	94.7	93.8	92.9
7	84	DONDE:						
8	81	$\lambda = 1/ X$	$RQD = 100 \times e^{-0.1(\lambda)} (0.1\lambda + 1)$					
9	77							
10	74	MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)						
11	70	TRAMO	A	B	C	D	PROMEDIO	
12	66	E1	33	30	26	23	28.0	
13	63	E2	34	29	29	33	31.3	
14	59	E3	45	45	47	43	45.0	
15	56	E4	32	34	32	34	33.0	
16	53	PROMEDIO						34.3
17	49							
18	46	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS						
19	43	D	SISTEMA DE DIACLASA					
20	41	Fn	SISTEMA DE FALLAS					
21	38	C	CONTACTO					
22	35	MF	MICRO FALLA					
23	33	UCS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE					
24	31	Sv	ESFUERZO VERTICAL					
25	29							
26	27	RESISTENCIA DE LA ROCA						
27	25	Poco competente	UCS/Sv \leq 8					
28	23	Competencia Intermedia	8 < UCS/Sv \leq 15					
29	21	Competencia Alta	UCS/Sv > 15					
30	20							

$Sv = 0.027 * h$
 Donde: h=Altura litostatica
 Sv= Esfuerzo Vertical
 0.027=Constante Universal

Fuente: Elaboración propia

SKETCH EN DIPS

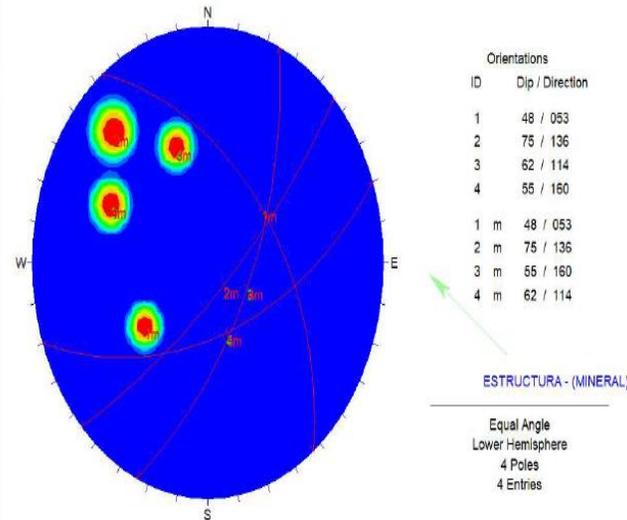


Tabla 50. Mapeo geomecánico aplicando el tabla de clasificación de Bieniawski de la estación Este

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR										ESTACION																																																								
										E																																																								
Nombre del Proyecto:					PROYECTO TORO NEGRO S.M.R.L. YALE II					Litología		MINERAL																																																						
FASE:					1					Altura litostatica (h)		1																																																						
Labor:					BANCO					Rc / Sv		2993.70																																																						
Ejecutado por:					OMAR GIOVANNY REVOLLAR CACERES																																																													
Fecha:					10-09-2019																																																													
SISTEMA RMR																																																																		
PARÁMETROS			VALOR			RANGO						VALOR																																																						
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)			80.83			>250 (15)	100-250 (12)	X 50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	8.1																																																							
RQD (%)			81.17			90-100 (20)	X 75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	16.2																																																							
Espaciamiento de discontinuidades (m)			0.13			>2m (20)	0.6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)	X 0.06-0.2m (8)	< 0.06m (5)	6.8																																																							
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																																																		
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4																																																								
M1	74	122	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	X 1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1																																																								
M2	69	186	2	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3																																																								
M3	68	166	3	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	1																																																								
M4	75	134	2	Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	X Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	3																																																								
Agua subterránea					Seco (15)	X Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10																																																								
Orientación					<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="2">Rumbo perpendicular al eje de la excavacion</th> <th colspan="2">Rumbo paralelo al eje de la excavacion</th> <th colspan="2">Buzamiento 0°-20° independent e del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> <td>Bz</td> </tr> <tr> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> <td>-5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Desfavorable</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-10</td> </tr> </table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavacion		Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independent e del rumbo		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento										Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	0	-2	-5	-10	-12	-5						Desfavorable						-10	0	
Rumbo perpendicular al eje de la excavacion		Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independent e del rumbo																																																														
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																																
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																													
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																													
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular																																																													
0	-2	-5	-10	-12	-5																																																													
					Desfavorable																																																													
					-10																																																													
					RMR₈₉ (Basico) =						53.1																																																							
					RMR₈₉ (Corregido) =						53.1																																																							
Condiciones secas					RMR'₈₉ (Condiciones Secas)=						58.1																																																							
RMR			100 - 81			80 - 61			60 - 41			40 - 21			20 - 0																																																			
DESCRIPCION			I MUY BUENA			II BUENA			III REGULAR			IV MALA			V MUY MALA																																																			
												III B																																																						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) de la estación Este

# Fract/ml	RQD (%)	PARAMETROS		S1	S2	S3	S4	PROMEDIO
1	100	NUMERO DE FRACTURAS		24	22	25	24	23.8
2	98	CONTADAS EN (m):		3	3	3	3	3.0
3	96	ESPACIAMIENTO MEDIO(m)	X	0.13	0.14	0.12	0.125	0.127
4	94	FRACTURAS / METRO	λ	8.0	7.3	8.3	8	7.9
5	91	N° DE FRACT./m3	Jv	0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	88	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	RQD (%)	80.9	83.3	79.7	80.9	81.2
7	84	DONDE:						
8	81	$\lambda = 1 / X$	$RQD = 100 \times e^{-0.1(\lambda)} (0.1\lambda + 1)$					
9	77							
10	74	MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)						
11	70	TRAMO	A	B	C	D	PROMEDIO	
12	66	M1	27	27	30	28	28.0	
13	63	M2	44	46	48	46	46.0	
14	59	M3	42	40	40	42	41.0	
15	56	M4	43	42	38	40.5	40.9	
16	53	PROMEDIO						39.0
17	49							
18	46	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS						
19	43	D	SISTEMA DE DIACLASA					
20	41	Fn	SISTEMA DE FALLAS					
21	38	C	CONTACTO					
22	35	MF	MICRO FALLA					
23	33	UCS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE					
24	31	Sv	ESFUERZO VERTICAL					
25	29							
26	27	RESISTENCIA DE LA ROCA						
27	25	Poco competente	UCS/Sv ≤ 8					
28	23	Competencia Intermedia	8 < UCS/Sv ≤ 15					
29	21	Competencia Alta	UCS/Sv > 15					
30	20							

$Sv=0.027 \cdot h$
 Donde: h=Altura litostatica
 Sv= Esfuerzo Vertical
 0.027=Constante Universal

Fuente: Elaboración propia

SKETCH EN DIPS

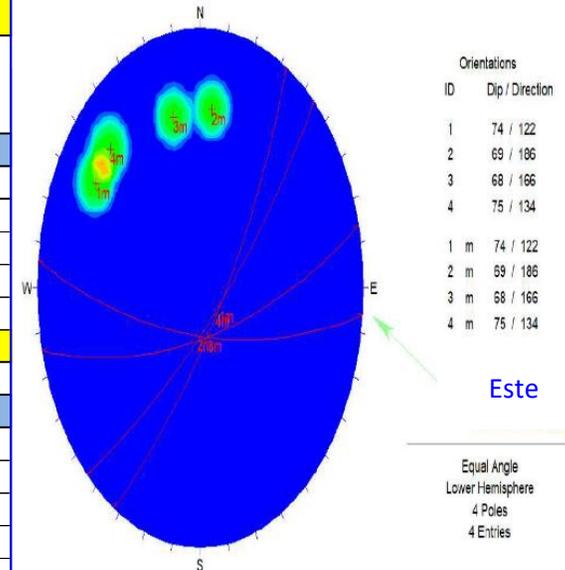
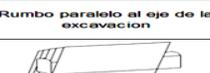


Tabla 52: Mapeo geomecánico aplicando la tabla de clasificación de Bieniawski de la estación Oeste

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR										ESTACION			
										O			
Nombre del Proyecto:					PROYECTO TORO NEGRO S.M.R.L. YALE II					Litología		IGNEO	
FASE:					1					Altura litostatica (h)		1	
Labor:					BANCO					Rc / Sv		747.41	
Ejecutado por:					OMAR GIOVANNY REVOLLAR CACERES								
Fecha:					10-09-2019								
SISTEMA RMR													
PARÁMETROS				VALOR		RANGO						VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				20.18		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	3	
RQD (%)				74.50		90-100 (20)	75-90 (17)	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	14.5	
Espaciamiento de discontinuidades (m)				0.10		>2m (20)	0,6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)	X	0.06-0.2m (8)	< 0.06m (5)	6.5	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES													
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2		
I1	68	112	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1	
I2	67	124	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3		
I3	64	243	3	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	X	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	1	
I4	57	145	5	Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (3)	X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	2	
Agua subterránea					Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10		
Orientación												0	
		Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	
		45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Desfavorable	
		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Regular	Desfavorable	Desfavorable	Desfavorable	
		0	-2	-5	-10	-10	-12	-5	-5	-10	-10	-10	
RMR₉₉ (Basico) =											43		
RMR₉₉ (Corregido) =											43		
RMR'₉₉ (Condiciones Secas)=											48		
Condiciones secas					RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III B		
					DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	III B		

Fuente: Elaboración propia

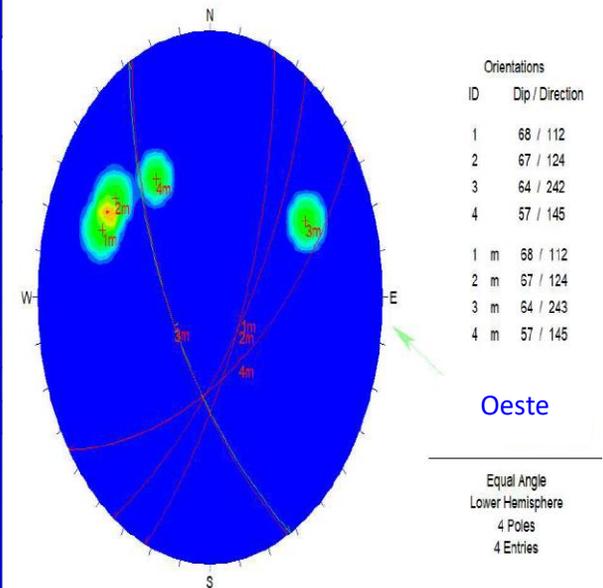
Tabla 53. Cálculo del índice de calidad de roca (RQD) de la estación Oeste

# Fract/ml	RQD (%)	PARAMETROS	S1	S2	S3	S4	PROMEDIO
1	100	NUMERO DE FRACTURAS	29	30	30	28	29.3
2	98	CONTADAS EN (m):	3	3	3	3	3.0
3	96	ESPACIAMIENTO MEDIO(m)	X	0.10	0.10	0.10	0.10714
4	94	FRACTURAS / METRO	λ	9.7	10.0	10.0	9.33333
5	91	N° DE FRACT./m3	Jv	0	0.0	0.0	0.0
6	88	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	RQD (%)	74.8	73.6	73.6	76.0
7	84	DONDE:					
8	81	$\lambda = 1 / X$					
9	77	$RQD = 100 \times e^{-0.1(\lambda)} (0.1\lambda + 1)$					
10	74	MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)					
11	70	TRAMO	A	B	C	D	PROMEDIO
12	66	I1	41	44	39.5	41	41.4
13	63	I2	34	28	32	29.5	30.9
14	59	I3	32	35	36	35.5	34.6
15	56						
16	53	PROMEDIO					
17	49						35.6
18	46	ABREVIATURAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS					
19	43	D	SISTEMA DE DIACLASA				
20	41	Fn	SISTEMA DE FALLAS				
21	38	C	CONTACTO				
22	35	MF	MICRO FALLA				
23	33	UCS	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE				
24	31	Sv	ESFUERZO VERTICAL				
25	29						
26	27	RESISTENCIA DE LA ROCA					
27	25	Poco competente	UCS/Sv ≤ 8				
28	23	Competencia Intermedia	8 < UCS/Sv ≤ 15				
29	21	Competencia Alta	UCS/Sv > 15				
30	20						

$Sv = 0.027 \cdot h$
 Donde: h=Altura litostatica
 Sv= Esfuerzo Vertical
 0.027=Constante Universal

Fuente: Elaboración propia

SKETCH EN DIPS



ANEXOS D
TRADE OFF

1.0 ALCANCE

Determinar el método de minado mas apropiado para el Diseño Conceptual de la Explotacion a Tajo Abierto del Cuerpo de Hierro Toro Negro, Sector Petra de Sociedad Minera de responsabilidad Limitada Yale II.

2.0 OBJETIVOS

Determinar el Cut-Off para el método de minado propuesto el cual permita una explotación de 5000 tpd para el metodo Open Pit.

Métodos de Minado Pre-Seleccionados

OP Open Pit (Tajo bierto)

3.0 BASES DE CÁLCULO

Los cálculos están basados en la siguiente información:

ANEXO B	Reporte de Recursos
ANEXO C	Cálculo del Dimensionamiento de Producción
ANEXO D	Benchmarking Método de Explotación
Precios de Metales	Cálculo del Cut Off
Parámetros de Cálculo	Proporcionado por la organización
Parámetros de Cálculo	Proporcionado por la organización

4.0 DESCRIPCIÓN

Para determinar el método de minado que se adecue al yacimiento se realizaron los siguientes pasos:

- 1.- Determinar el cut off y reporte de recursos por método de minado.
- 2.- Calculo de costo operativo
- 3.- Calculo del NSR por método de minado
- 4.- Determinar Margen bruto por método de minado

5.0 PROCEDIMIENTO

Costo Operativo

Descripción	Unid.	OP
Planta	US\$/t	4.7
Administración	US\$/t	0.6
Transporte	US\$/t	12.3

6.0 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Las herramientas computacionales utilizadas son las hojas de cálculos Excel.

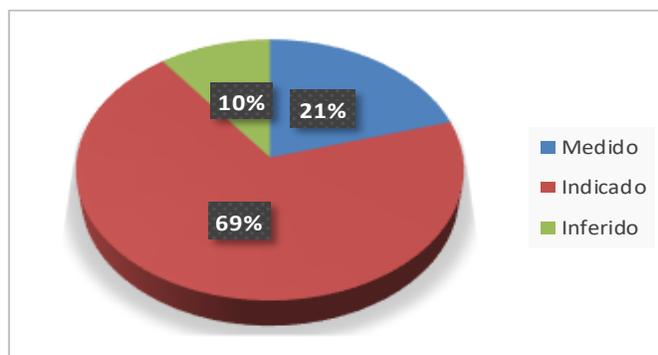
Reporte de Recursos

Cut Off %Fe	TONELAJE	FE (%)
0	93373780	27.32
5	93373780	27.32
10	93373780	27.32
15	93373780	27.32
20	93373780	27.33
25	75263603	28.84
35	15579642	38.14
40	577658	41.85

Reporte de recursos totales

Descripción	Toneladas	Fe (%)
Medido	119,976,486	22.50
Indicado	406,632,442	27.96
Potencial	59,820,192	28.47
Total	586,429,120.0	7.51

Distribución de Recursos



SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MINADO

ITEM	Unidad	Open Pit
Producción	tpd	50,000
Ley Corte Fe % - CutOff Marginal	%	20.000
<u>Recursos Minerales Marginales</u>	m	93,373,780.000
Fe	%	27.322
Fe Eq %	%	20.000
NSR	US\$/t	29.97
<u>Costo de Operación (OPEX)</u>		
Mina	US\$/t	1
Planta	US\$/t	5.93
Administración	US\$/t	1.49
Transporte	US\$/t	12.32
TOTAL	US\$/t	21
Ley Corte Fe %	%	20.000
Tipos de Mineral		Medido,
Clase de Recursos		Indicado
<u>Recursos</u>	t	93,373,780.000
Fe	%	27.333
Fe %	%	20.000
NSR	US\$/t	29.98
Recuperación	%	93
Dilución	%	5
<u>Reservas Minables (*)</u>	t	91,179,496
Fe	%	26.031
Fe %	%	26.031
NSR	US\$/t	28.56
Costo Total	US\$/t	21.14
Margen	US\$/t	7.42
Utilidad Bruta	US\$ MM	676.19

* Reservas preliminares, solo para la determinación del método de minado

Figura 61. Trade Off
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS E
DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA

Tabla 54. Dimensionamiento de flota de equipos de perforación, carguío y acarreo

DIMENSIONAMIENTO DE PERFORADORAS PIT VIPER 271		
PROGRAMADO	1	años
DENSIDAD MINERAL	3.03	Tn/m ³
DENSIDAD ESTÉRIL	2.7	Tn/m ³
MATERIAL	30780000	ton/año
E/M	0.71	
DÍAS LABORALES	360	Días
ALIMENTACIÓN PLANTA	50000	TPD
REM	0.71	
RESPECTO A LA PERFORADORA SE CONOCE LO SIGUIENTE:		
ALTURA DE BANCO	10	m
BURDEN	6.7	m
ESPACIAMIENTO	6.3	m
SOBRE PERFORACIÓN	2.7	m
DISPONIBILIDAD	88%	
UTILIZACIÓN	76%	
VELOCIDAD DE PERFORACIÓN	49.6	m/hr
HORAS EFECTIVAS	16	horas
NUMERO DE POZOS PARA PLAN MINERO		
MINERAL		
VOLUMEN DE VOLADURA DE 1 POZO	1278.963	Tn/Pozos
POZOS REQUERIDOS EN MINERAL:	40	Pozos
METROS A PERFORAR:	508	m
TIEMPO EFECTIVO DE PERFORACIÓN	10.23643	hr
NÚMERO DE MAQ. PERFORADORA:	1	Perforadora/Dia

ESTÉRIL		
VOLUMEN DE VOLADURA DE 1 POZO	2659.23	Tn/Pozos
POZOS REQUERIDOS EN MINERAL:	14	Pozos
METROS A PERFORAR:	177.8	m
TIEMPO EFECTIVO DE PERFORACIÓN	3.582751	hr
NÚMERO DE MAQ. PERFORADORA:	1	Perforadora/Dia
TOTAL DE PERFORADORAS	2	

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS DE CARGUÍO

PROGRAMADO	1 años
LARGO	1200 m
ANCHO	2500 m
ALTO	75 m
DENSIDAD MINERAL	3.03 Tn/m³
DENSIDAD ESTÉRIL	2.7 Tn/m³
MATERIAL	30780000 ton
E/M	0.71
DÍAS LABORALES	360

MINERAL

DENSIDAD MINERAL	3.03 Tn/m³
TONELADAS MINERAL	18000000 Tm
HORAS OPER	18.2 horas
MOV/DÍA	50000.00 Tn/día
MOV/HORA	2747.25 Tn/hora

OBJETIVO

PALA HIDRÁULICA 6030FS CAT

CAPACIDAD	23.5 yd³
CAPACIDAD	18 m³
FACTOR DE LLENADO	95%
DISPONIBILIDAD	88%
UTILIZACIÓN	83%
TIEMPO POR BALDADA	1 min
TIEMPO EFECTIVAS	18.2 hr/día

CAPACIDAD REAL	17.1 m³
----------------	---------

Tciclo	1 min/ciclo
ciclo/hora	60 ciclos/hora
Producción	2576 Tn/hr
Producción por Día	46880 Tn/día
Producción Anual	16876945 Tn/año

NÚMERO DE PALAS	2
-----------------	---

ESTÉRIL

DENSIDAD ESTÉRIL	2.7 Tn/m³
TONELADAS ESTÉRIL	12780000 Tn
HORAS OPER	18.2 horas
MOV/DÍA	35500.00 Tn/día
MOV/HORA	1950.55 Tn/hora

OBJETIVO

CARGADOR FRONTAL 994F CAT

CAPACIDAD	23.5 yd³
CAPACIDAD	18 m³
FACTOR DE LLENADO	95%
DISPONIBILIDAD	88%
UTILIZACIÓN	83%
TIEMPO POR BALDADA	1.25 min
TIEMPO EFECTIVAS	18.2 hr/día

CAPACIDAD REAL	17.1 m³
----------------	---------

Tciclo	1.25 min/ciclo
ciclo/hora	48 ciclos/hora
producción	1836 Tn/hr
Produccion por Día	33420 Tn/día
Producción Anual	12031089 Tn/año

NÚMERO DE CARGADORES	2
----------------------	---

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS DE ACARREO

Mineral	18000000	ton/año
Estéril	12780000	ton/año
TOTAL	30780000	ton/año
días/año	360	
Mineral	50000	ton/día
Estéril	35500	ton/día
TOTAL	85500	ton/día
hrs/día	24	
Mineral	2083	ton/hr
Estéril	1479	ton/hr
TOTAL	3563	ton/hr

	MINERAL		ESTÉRIL	
	Pala Hidráulica	Cargador Frontal	Pala Hidráulica	Cargador Frontal
Balde (yd3)	23.5	23.5	23.5	23.5
m3/yd3	0.7646	0.7646	0.7646	0.7646
Balde (m3)	18.00	18.00	18.00	18.00
Densidad (ton/m3)	3.03	3.03	2.7	2.7
Esponjamiento	0.2	0.2	0.3	0.3
Balde esponjado (Tn)	54.54	54.54	48.60	48.60
Balde (ton) insitu	45.45	45.45	37.38	37.38
F. Llenado	0.95	0.9	0.95	0.9
UT	0.8286	0.8286	0.8286	0.8286
FO	0.8788	0.8788	0.8788	0.8788
DF	0.8750	0.8750	0.8750	0.8750
T ciclo (seg)	60	75	60	75
seg/hr	3600	3600	3600	3600
Rend Ef. (ton/hr)	2727	2181.6	2243.0769	1794.462
FACTOR	0.61	0.57	0.61	0.57
REND. EFECTIVO	2727.00	2181.60	2243.08	1794.46
REND. EFICIENTE	1650.56	1250.95	1357.66	1028.96

	MINERAL		ESTÉRIL	
	Camión	Camión	Camión	Camión
Tolva (ton)	150	150	150	150
F. Llenado	0.95	0.95	0.9	0.9
UT	0.9579	0.73	0.73	0.73
FO	0.8333	0.83	0.83	0.83
DF	0.95	0.85	0.85	0.85
TOTAL FACTOR	0.72	0.49	0.46	0.46
Pasadas	3.30	3.30	4.01	4.01
Pasadas Real	3	3	4	4
T carguio (seg)	180	225	240	300
Velocidad media (km/hr)				
Distancia 1: 2100 m @10%	605	605	605	605
Distancia 2: 1000 m @0%	75	75	75	75
Distancia 3: 800 m @-10%	64	64	64	64
T transporte ida (seg)	743.8	743.8	743.8	743.8
T descarga (seg)	90	112.5	120	150
Distancia 1: 800 m @10%	101	101	101	101
Distancia 2: 1000 m @0%	72	72	72	72
Distancia 3: 2100 m @-10%	143	143	143	143
T transporte vuelta (seg)	315.7	315.7	315.7	315.7
T ciclo (seg)	1329.5	1397.0	1419.5	1509.5
seg/hr	3600	3600	3600	3600
T ciclo (hr)	0.37	0.39	0.39	0.42
REND. EFECTIVO (ton/hr)	406.17	386.54	380.42	357.74
REND. EFICIENTE (ton/hr)	292.60	189.12	176.33	165.82
NUMERO DE CAMIONES	8	12	9	9

Fuente: Elaboración propia

ANEXOS F
EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 55. Evaluación económica del método de minado tajo abierto vs subterráneo a una tasa de descuento de 10%.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MÉTODO DE MINADO TAJO ABIERTO VS SUBTERRÁNEO		
Yacimiento		
Total mineral	350000 m2	
Largo	1200 m	
Ancho	700 m	
Profundidad	500 m	
Ley Fe	20 %	
Costos operacionales		
Costo estéril	1.4 US\$/ton esteril	
Costo mineral Open Pit	1.39 US\$/ton mineral	
Costo Subterránea	7.7 US\$/ton mineral	
Costo Planta	5.93 US\$/ton mineral	
Costo Fund. Ref.	0 US\$/ton Fe fino	
Inversiones		
Inversión inicial cielo abierto	1557.72 MUS\$	
Inversión subterránea	403 MUS\$	
Producción Mineral		
Producción Tajo Abierto	50000 tpd	18 Mton/año
Producción subterránea	50000 tpd	18 Mton/año
Tasa de descuento		
r	10%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Valor presente del método de minado tajo abierto vs subterráneo

Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Área min. Acumulada	35000	70000	105000	140000	175000	210000	245000	280000	315000	350000
Estéril acumulada	2500	10000	22500	40000	62500	90000	122500	160000	202500	250000
Estéril (M ton)	8.1	32.4	72.9	129.6	202.5	291.6	396.9	518.4	656.1	810
Mineral (M ton)	127.26	254.52	381.78	509.04	636.3	763.56	890.82	1018.08	1145.34	1272.6
Razón estéril / mineral										
Razón E/M medio	0.07	0.14	0.21	0.29	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71
Producción anua (M ton)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Vida Mina	7.1	14.1	21.2	28.3	35.4	42.4	49.5	56.6	63.6	70.7
Stripping (M ton/año)	1.1	2.3	3.4	4.6	5.7	6.9	8.0	9.2	10.3	11.5
Subterránea [m2]	315,000	280,000	245,000	210,000	175,000	140,000	105,000	70,000	35,000	-
Reservas mineral (M ton)	1,145.34	1,018.08	890.82	763.56	636.30	509.04	381.78	254.52	127.26	-
Producción anual (M ton)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Años	63.6	56.6	49.5	42.4	35.4	28.3	21.2	14.1	7.1	0.0
Valor presente neto excavaciones a Tajo Abierto										
Precio Fe	110	US\$/ton								
Recuperación metal	93%									
Toneladas Fe	3348000	ton								
Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Ingresos MUS\$	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Costos operación stripping	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16
Costo op. Mineral	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Costo Planta	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7
Fundición y refinación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos Totales	133	135	137	138	140	141	143	145	146	148
Beneficio Anual	235	233	232	230	229	227	225	224	222	220
factor NPV	4.9	7.4	8.7	9.3	9.7	9.8	9.9	10.0	10.0	10.0
NPV	1152	1727	2010	2146	2206	2229	2233	2227	2216	2202
VAN T. A. [M US\$]	-406	169	452	588	649	671	675	669	658	644
Valor presente neto excavaciones subterráneas										
Profundidad rajo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Ingresos Anual[MUS\$]	368	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Costos operación [MUS\$]	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139
Costo Planta [MUS\$]	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Fundición y refinación [MUS\$]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos totales anual[MUS\$]	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
Beneficio Anual [MUS\$]	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
Factor NVP	10.0	10.0	9.9	9.8	9.7	9.3	8.7	7.4	4.9	0.0
VAN	824	821	815	805	784	743	664	507	200	-403
Factor de actualización	0.51	0.26	0.13	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
VAN SUBTERRÁNEA [M US\$]	420	213	108	54	27	13	6	2	0	0
TAJO ABIERTO + SUBTERRÁNEA [M US\$]	14	382	560	642	676	684	681	671	658	644

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Resumen de la evaluación económica a una tasa de descuento de 10%

PROFUNDIDAD (m)	TONELAJE [Mt]	REM	VAN [M US\$]
50	127.3	0.07	\$ -406
100	254.5	0.14	\$ 169
150	381.8	0.21	\$ 452
200	509.0	0.29	\$ 588
250	636.3	0.36	\$ 649
300	763.6	0.43	\$ 671
350	890.8	0.50	\$ 675
400	1018.1	0.57	\$ 669
450	1145.3	0.64	\$ 658
500	1272.6	0.71	\$ 644

Fuente: Elaboración propia

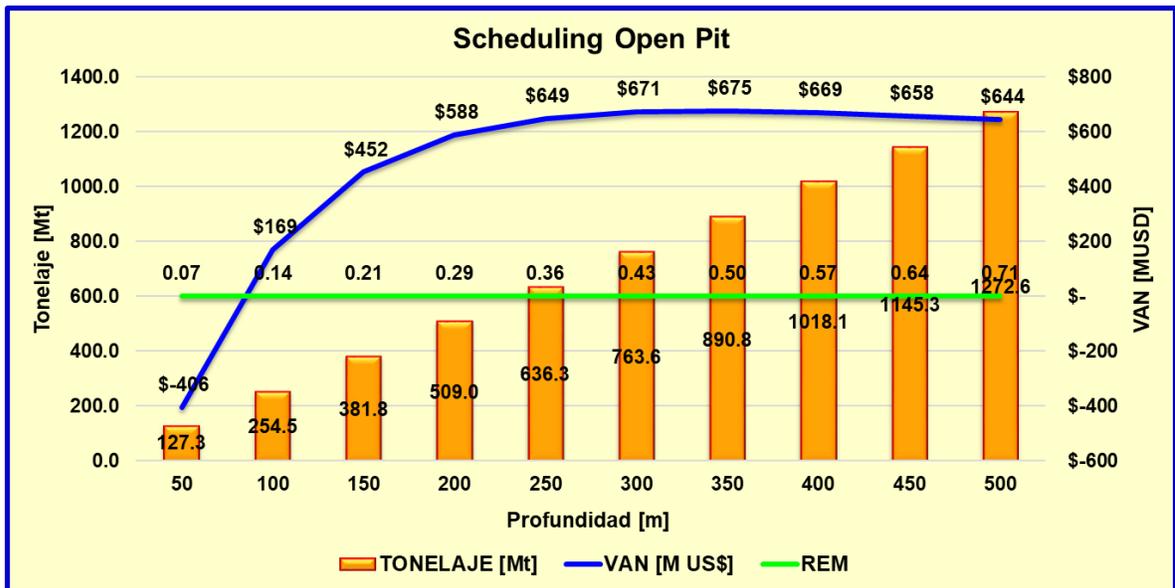


Figura 62. Planificación en tajo abierto a una tasa de descuento de 10%

Fuente: Elaboración propia