



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL, PARA OPTIMIZAR LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EN LA CONCESIÓN MINERA CANTERA SAN RITA 2010, CAJAMARCA 2016”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Marco Antonio Soto Mestanza
Miguel Ángel Chávez Rodríguez

Asesor:

José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca – Perú
2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Marco Antonio Soto Mestanza, Miguel Ángel Chávez Rodríguez**, denominada:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE EXPLOTACIÓN DE
MÁRMOL, PARA OPTIMIZAR LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EN LA
CONCESIÓN MINERA CANTERA SAN RITA 2010, CAJAMARCA 2016”**

Ing. José Alfredo Siveroni Morales
ASESOR

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Shonel Cáceres Pérez
JURADO

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
JURADO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres María y Catalino por haberme facilitado a construir los cimientos de mi educación y a mis hijos Kevin y Ángelo quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de esta tesis.

Marco Antonio Soto Mestanza

A mis padres Andrés y Domitila, por haberme permitido llegar hasta este punto para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Miguel Ángel Chávez Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A mis familiares, principalmente a mis padres, por su apoyo en bien de mi formación personal y profesional.

A los señores Jorge Amado Delgado Torres y Erick Delgado Tinoco quienes nos facilitaron el camino para realizar el presente estudio.

Expresar también mi sincero agradecimiento a todos los docentes de la facultad de Ing. de Minas de la Universidad Privada del Norte, quienes me dejaron valiosas enseñanzas.

Marco Antonio Soto Mestanza

Primeramente a Dios, a mis padres y hermanos por ayudarme en mi formación personal. De igual manera agradecer a quienes fueron nuestros facilitadores en la consecución de nuestros conocimientos, nuestros docentes de la Universidad Privada del Norte.

Miguel Ángel Chávez Rodríguez

LISTA DE ABREVIATURAS

ADEX	: Asociación de exportadores.
BCR	: Banco Central de Reserva.
COM	: Certificado de Operación Minera
cm	: Centímetros.
DIA	: Declaración de Impacto Ambiental
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
kW	: Kilowatt.
mm	: Milímetros
lbs	: Libras.
PSAD56	: Datum Provisional Sudamericano de 1956.
RPM	: Revoluciones por minuto
t/h	: Toneladas por hora.
t/d	: Toneladas por día.
t/a	: Toneladas por año.
UTM	: Universal Transversal Mercator.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Justificación Teórica	4
1.3.2. Justificación Práctica	4
1.3.3. Justificación Valorativa.....	4
1.3.4. Justificación Académica.....	4
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Mármol: Análisis de su origen geológico	8
2.1.2. Mármol:Desmonte del estéril	9
2.2.3. El increíble proceso de extracción del mármol.....	10
2.2.4. Técnicas de arranque mecánico.....	11
2.2.5. Secuencia de la extracción de bloques.....	13
2.2.6. Clasificación de las técnicas de arranque disponible.....	14
2.2.6.1. Corte de bloques por perforación de barrenos próximos, con o sin voladura	14
2.2.6.2. Corte con hilo diamantado.....	18
2.2.6.3. Rozadoras de Brazo.....	22

	Pág.
2.2.6.4. Corte con disco	23
2.2.6.5. Corte con chorro de agua	28
2.2.6.6. Cuñas Manuales e hidráulicas	29
2.2.6.7. Técnicas actualmente obsoletas: Corte con hilo helicoidal.....	30
2.2.7. Cadena productiva del mármol en el Perú	32
2.2.8. Estudio de mercado	33
2.2.9. El mármol en la construcción civil	33
2.2.10. El mármol en la artesanía.....	34
2.2.11. Demanda nacional del mármol	35
2.2.12. Mercado internacional del mármol.....	35
2.3. Definición de términos básicos.....	37
2.3.1. Factibilidad	37
2.3.2. Rentabilidad	39
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	40
3.1. Formulación de la hipótesis.....	40
3.2. Operacionalización de variables	40
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	42
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	42
4.2. Material de estudio.....	42
4.2.1. Unidad de estudio.....	42
4.2.2. Población.....	42
4.2.3. Muestra.....	42
4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	42
4.3.1. Para recolectar datos.....	43
4.3.2. Para analizar información.....	43
CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....	44
<i>Aspectos Generales : Cantera San Rita 2010.....</i>	<i>44</i>
5.1. Ubicación.....	44
5.1.1. Ubicación geográfica.....	44
5.1.2. Ubicación política.....	44
5.2. Accesibilidad.....	45
5.3. Relieve topográfico.....	46
5.4. Propiedad minera.....	46
5.5. Geología	48
5.5.1. Geología estructural.....	48
5.5.2. Geología regional.....	48
5.5.2.1. Formación Crisnejas	49
5.5.2.2. Grupo Puylucana	49
5.5.3. Geología local.....	50

5.6.	<i>Características geomecánicas de la roca</i>	50
5.6.1.	<i>Determinación del RQD</i>	51
5.6.2.	<i>Determinación del RMR</i>	53
5.6.1.	<i>Determinación del Índice Q de Barton</i>	54
5.7.	<i>Estimación del recurso</i>	55
5.8.	<i>Estimación del recurso aplicando ArcGis 10.3</i>	58
5.9.	<i>Diseño de explotación</i>	63
5.10.	<i>Posible diseño de explotación</i>	63
5.11.	<i>Plan de minado</i>	66
5.12.	<i>Factor de seguridad del talud</i>	66
5.13.	<i>Cálculo del factor de seguridad del talud Slide 5.0</i>	67
5.14.	<i>Recursos necesarios para la explotación</i>	70
5.15.	<i>Generación de la cara libre</i>	71
5.16.	<i>Cálculo del costo de operación (US\$/m3)</i>	72
5.16.1.	<i>Primera etapa</i>	72
5.16.2.	<i>Segunda etapa</i>	76
5.17.	<i>Dimensionamiento de la cantera de mármol</i>	80
5.18.	<i>Proyección financiera</i>	81
5.19.	<i>Cálculo del VAN, Relación Beneficio/costo</i>	83
5.20.	<i>Estudio de costos de transporte</i>	84
5.20.1.	<i>Cálculo de distancias</i>	85
5.20.2.	<i>Costos de transporte</i>	85
5.20.3.	<i>Especificaciones del tracto camión</i>	86
5.20.4.	<i>Parámetros de transporte</i>	87
5.20.4.1.	<i>Factores de longitud de viaje</i>	87
5.20.4.2.	<i>Factor de corrección de estructura vial</i>	87
5.20.4.3.	<i>Factor de tasa de utilización</i>	88
5.20.5.	<i>Costo de combustible</i>	89
5.20.6.	<i>Gastos varios</i>	89
5.20.7.	<i>Costo lubricante</i>	89
5.20.8.	<i>Costo de neumático</i>	90
5.20.9.	<i>Costo de reparación y mantenimiento</i>	90
5.20.10.	<i>Costo fijo del camión</i>	91
5.20.11.	<i>Costos totales</i>	92
5.21.	<i>Evaluación del Impacto ambiental</i>	93
5.21.1.	<i>Identificación de los componentes ambientales</i>	93
CAPÍTULO 6. RESULTADOS		94
6.1.	<i>Resultados del cálculo del RQD</i>	94
6.2.	<i>Resultados del cálculo del RMR</i>	95
6.3.	<i>Resultados del índice Q de Barton</i>	95

6.4.	<i>Total de reservas mineras disponibles.....</i>	<i>95</i>
6.5.	<i>Propuesta del diseño de explotación.....</i>	<i>96</i>
6.6.	<i>Costo total por el transporte de mármol.....</i>	<i>97</i>
6.7.	<i>Identificación de los componentes ambientales del proyecto.</i>	<i>98</i>
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN		99
CONCLUSIONES		100
RECOMENDACIONES		101
REFERENCIAS.....		102
ANEXOS		104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Rendimiento de los equipos hidráulicos en los diferentes planos	16
Tabla N° 2. Características de los equipos de acuerdo a la dirección de corte.....	28
Tabla N° 3. Presión de trabajo con equipos de corte con chorro de agua	29
Tabla N° 4. Coordenadas de referencia del área de trabajo	44
Tabla N° 5. Acceso al área de estudio.....	45
Tabla N° 6. Propiedad minera 1	46
Tabla N° 7. Propiedad minera 2.....	47
Tabla N° 8. Determinación del RQD..	52
Tabla N° 9. Determinación del RMR.....	53
Tabla N° 10. Tabla de Clasificación geomecánica según Bieniawski.....	53
Tabla N° 11. Determinación del Índice Q de Barton.....	55
Tabla N° 12. Equipos necesarios en la extracción del mármol..	70
Tabla N° 13. Datos perforación primera etapa.	73
Tabla N° 14. Corte vertical primera etapa.....	74
Tabla N° 15. Perforación horizontal primera etapa.....	74
Tabla N° 16. Corte horizontal primera etapa	75
Tabla N° 17. Corte lateral primera etapa	75
Tabla N° 18. Resumen de perforación y Corte primera etapa	76
Tabla N° 19. Empuje de bloques segunda etapa	76
Tabla N° 20. Datos Perforación segunda etapa.	77
Tabla N° 21. Resumen segunda etapa	77
Tabla N° 22. Resumen Costos segunda etapa	78
Tabla N° 23. Costo de Operación Cantera San Rita 2010	79
Tabla N° 24. Costos Totales de operación	80
Tabla N° 25. Dimensionamiento de la Cantera de Mármol	80
Tabla N° 26. Estimación de la inversión	81
Tabla N° 27. Flujo de Caja Proyectoado.....	82
Tabla N° 28. Cálculo del VAN, Beneficio/costo	83
Tabla N° 29. Distancias recorridas para el transporte de mármol.....	85
Tabla N° 30. Factores de longitud de viaje	87
Tabla N° 31. Factor de corrección de estructura vial.....	87
Tabla N° 32. Factor de tasa de utilización	88
Tabla N° 33. Capacidad anual del tracto camión	88
Tabla N° 34. Costo de combustible.....	89
Tabla N° 35. Gastos Varios	89
Tabla N° 36. Costo de neumáticos	90
Tabla N° 37. Costo de reparación y mantenimiento	90

Tabla N° 38. Costo fijo del camión	91
Tabla N° 39. Costos totales.....	92
Tabla N° 40. Resultados. Determinación del RQD.....	94
Tabla N° 41. Resultados. Determinación del RMR.....	94
Tabla N° 42. Resultados. Determinación del Índice Q de Barton	95
Tabla N° 43. Cálculo cantidad de mármol gris	95
Tabla N° 44. Cálculo cantidad de mármol rosado	96
Tabla N° 45. Total reserva disponible	96
Tabla N° 46. Propuesta del diseño de explotación.....	96
Tabla N° 47. Costo total por transporte de mármol	97
Tabla N° 48. Identificación de los componentes ambientales del proyecto.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura Nº 1. Ubicación geográfica de la Concesión Minera Cantera San Rita 2010.....	2
Figura Nº 2. Muestra de mármol rosado Cantera San Rita 2010.....	13
Figura Nº 3. Ubicación de los barrenos para generar una cara libre	16
Figura Nº 4. Corte con hilo diamantado	19
Figura Nº 5. Hilo diamantado para cortar bloques de mármol y piedra caliza.....	20
Figura Nº 6. Corte vertical con hilo diamantado	21
Figura Nº 7. Corte horizontal con hilo diamantado.....	22
Figura Nº 8. Equipo de corte con disco sobre carretón desplazable	25
Figura Nº 9. Vida útil del disco en función de la velocidad transversal.....	26
Figura Nº 10. Fases por las que pasan los cristales de diamante durante el corte.....	27
Figura Nº 11. Coordenadas concesión Minera Cantera San Rita 2010.....	43
Figura Nº 12. Ubicación política de la Concesión Minera San Rita 2010	44
Figura Nº 13. Ubicación del poblado de Jorge Chávez con referencia a la cantera	46
Figura Nº 14. Catastro minero de la zona de estudio.....	47
Figura Nº 15. Determinación del RQD	51
Figura Nº 16. Determinación del área del recurso.....	57
Figura Nº 17. Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3.....	58
Figura Nº 18. Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3.....	59
Figura Nº 19. Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3.....	60
Figura Nº 20. Utilización del ArcGis 10.3.....	61
Figura Nº 21. Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3.....	62
Figura Nº 22. Sección A – A' Cantera San Rita 2010	65
Figura Nº 23. Diseño de segunda etapa de explotación de la Cantera	66
Figura Nº 24. Diálogo View Limits.....	68
Figura Nº 25. Límites ingresados al programa Slide 5.0	68
Figura Nº 26. Cálculo del factor de seguridad del talud	69
Figura Nº 27. Detalles de la primera etapa, perforación y corte	73
Figura Nº 28. Esquema del transporte de mármol Cantera San Rita 2010.....	84

RESUMEN

La presente tesis constituye una herramienta de consulta cuya finalidad es ayudar a la empresa dueña de la concesión minera Canteras San Rita, hacer posible un proyecto de inversión. En este estudio de factibilidad técnica se realiza una evaluación sobre la rentabilidad del proyecto, se analiza el método de minado que mejor se adapta a la cantera (tipo de explotación que tendrá la cantera).

El presente trabajo como estudio de factibilidad de explotación de mármol, comprende estudios de geología local y estructural, detalla el método de explotación, diseño de explotación, sistema de minado, la tecnología a emplear, determina los costos de transporte así como de una propuesta alternativa para la extracción de bloques de mayor calidad. Los puntos principales de la propuesta son: la realización de un cálculo preliminar de reservas y de un análisis económico enfocado en obtener la mayor productividad y rentabilidad de explotación.

En el proyecto en estudio no se ha realizado perforaciones diamantinas, sin embargo existen suficientes evidencias sobre la existencia de un gran volumen de recursos, definidos por las observaciones de campo, lo que ha permitido determinar un modelo geológico, realizar un análisis del mineral no metálico y posteriormente un planeamiento de minado. Finalmente se plantea que dicha materia prima (bloques de mármol) pase al proceso de comercialización al mercado local, nacional e internacional.

ABSTRACT

This thesis constitutes a consultation tool whose purpose is to help the company that owns the Cantera San Rita mining concession, to make possible an investment project. In this technical feasibility study an evaluation is made on the profitability of the project, it analyzes the method of mine that best fits the quarry (type of exploitation that the quarry will have).

The present work as a feasibility study of marble exploitation, includes studies of local and structural geology, details the method of exploitation, mining system, the technology to be used, determines transport costs as well as an alternative proposal for the extraction of Blocks of higher quality. The main points of the proposal are: the realization of a preliminary calculation of reserves and an economic analysis focused on obtaining the highest productivity and profitability of exploitation.

According to the analysis and observation in the field it has been determined that the best mining option is through the use of hydraulic wedges; Due to the geology that presents the place, it is affordable the application of the method and a lower investment cost in comparison with the other mining methods.

However, there is sufficient evidence on the existence of a large volume of resources, defined by the field observations, which has allowed to determine a geological model, to perform an analysis of the nonmetallic mineral And then a mine planning. Finally, it is proposed that this raw material (marble blocks) go to the marketing process to the local, national and international market.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú, las rocas ornamentales se explotan en tajos o canteras a cielo abierto. El valor que tiene cada una de estas rocas es por su estética, dureza, resistencia, accesibilidad y demanda en el mercado de la construcción.

La idea de realizar el presente estudio de factibilidad técnica de explotación de una cantera de mármol, surgió de observar un futuro crecimiento en este sector no metálico, en tal sentido se pretende ayudar a la empresa dueña de la concesión minera Cantera San Rita 2010, a adoptar criterios para la toma de decisiones acerca de su explotación y lograr optimizar la rentabilidad económica.

Basados en lo anterior y la premisa estética como uno de los principales puntos de valor de esta roca, resulta relevante elegir un método que permita la extracción de este tipo de rocas buscando la máxima integridad y calidad del material así como una eficiencia en el costo de explotación. La importancia del estudio es demostrar que el proyecto enmarcado en aspectos financieros, legales, técnicos y ambientales; cumpla con los requerimientos de ley y con una buena rentabilidad para los inversionistas.

El área de estudio corresponde a 2 propiedades mineras de 100 y 200 hectáreas ubicadas en el distrito de Jorge Chávez, provincia de Celendín y Departamento de Cajamarca. Los primeros estudios se realizaron en setiembre del 2014 a cargo de una brigada de geólogos de la Cía. APEXS PERU S.A.C. El área de estudio contiene un recurso importante de mármol los cuales están ubicados al Nor-Este del distrito de Jorge Chávez. A través de las visitas a campo se ha determinado que el contenido de mármol es significativo por lo que su aprovechamiento comercial y su explotación es el motivo del estudio en la presente tesis.

La zona de estudio presenta relieves abruptos con cerros que van desde la cota 1600 m.s.n.m. hasta la cota 2700 m.s.n.m. aproximadamente. Los estratos de mármol se encuentran sub horizontales y están intercalados por niveles de areniscas en el sector inferior. Se ha identificado variedades del mármol de acuerdo a su coloración y pureza; entre estos se puede definir mármoles de color rosado, amarillo, gris, blanco, pardo y colores combinados con textura marmoleada.

Se ha podido identificar un sector potencial para el aprovechamiento del mármol tomando en cuenta condiciones logísticas, de recurso y económicas los cuales se recomienda para desarrollar una actividad productiva con el mármol existente.

Se estimó el potencial de recurso contenido de mármol y sus expectativas económicas en cuanto a recurso indicado. Esta apreciación deberá corroborarse con trabajos posteriores para definir la magnitud del potencial.



Figura N° 1: Ubicación geográfica de la Concesión Minera Canteras San Rita.

Fuente: GEOCATMIN, Sistema de información geológico catastral minero.

1.1 Realidad problemática

Zegarra (2015), señala “El Perú cuenta con una superficie total de 1’285,215 km², alberga 3,970 concesiones mineras no metálicas con 1’083,908 hectáreas, de las cuales 594,700 hectáreas (55%) corresponden a mármol y travertinos”. En el Perú la mayor parte de yacimientos de mármol tienen reservas relativamente pequeñas y por falta de estudios no se logra conocer el verdadero potencial para su explotación.

En la Concesión Minera Canteras San Rita 2010, hasta el momento no se ha realizado un estudio de factibilidad técnica de explotación de mármol que ayude a tomar decisiones precisas de explotación de este mineral. A esto se suma la problemática actual de los minerales no metálicos en

nuestro país, según el informe económico sobre la exportación de mármol peruano por parte de la Asociación de Exportadores (ADEX, 2014) indicó que la carencia de un marco propio para la minería no metálica, que en la actualidad depende de la Ley General de Minería, sería uno de los factores internos que propicia la falta de inversión en este sector. Otro aspecto clave, opinaron, sería la política monetaria del Banco Central de Reserva (BCR) "que desalienta la producción nacional y alienta las importaciones".

Eso, sumado al alto costo en el transporte, resta competitividad a los envíos de este material, que nos coloca en desventaja frente a naciones productoras como México, Egipto y Turquía.

En septiembre del 2014 se realizaron los primeros estudios de la concesión minera Cantera San Rita 2010, a cargo de una brigada de geólogos de la empresa APEXS PERÚ S.A.C. concluyendo en lo siguiente: la existencia de un potencial en recurso de mármol de coloración gris y un potencial atractivo de mármol rosado. Hasta el momento no se cuenta con estudios de factibilidad que ayuden a tomar decisiones precisas de explotación y que asegure la optimización de la rentabilidad económica en esta concesión minera, evitando pérdidas en el proceso y cumpliendo con los estándares de seguridad salud y protección del medio ambiente.

La evaluación geológica y económica de (APEXS, 2014) indicó que el área de estudio ubicado al Nor-Este del distrito de Jorge Chávez posee un recurso importante de mármol y de excelente calidad, lo que nos ha motivado a realizar este estudio de factibilidad para su explotación de manera racional.

El presente estudio de factibilidad técnica de explotación de mármol comprende estudios de geología local y estructural, detalla el método de explotación, sistema de minado, la tecnología a emplear, determina los costos de transporte y la rentabilidad económica que se podría conseguir luego de comercializar el producto.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo influye la factibilidad técnica de explotación de mármol para optimizar la rentabilidad económica en la concesión minera Canteras San Rita 2010, Cajamarca 2016?

1.3 Justificación

La finalidad de este trabajo de tesis es ayudar a identificar mayores posibilidades de desarrollo en el sector de explotación del mármol con la identificación de estos yacimientos, y que justifiquen una mayor inversión, empleo e ingreso a través de la explotación de dichas formaciones geológicas de mármol.

1.3.1 Justificación Teórica

La investigación propuesta busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de estimación de recurso, componentes ambientales y estudio de costos de transporte, servir como una herramienta de consulta para posteriores estudios de explotación de mármol.

1.3.2 Justificación Aplicativa o Práctica.

El presente trabajo de investigación se justifica en la medida en que se plantea alternativas de solución en cuanto a la explotación de una cantera de mármol comercial, ayuda a la empresa dueña de la concesión minera Canteras San Rita 2010, a adoptar criterios para la toma de decisiones acerca de la explotación de mármol y lograr optimizar la rentabilidad económica.

1.3.3 Justificación valorativa

Este trabajo de investigación se justifica en la medida en que la minería no metálica necesita un marco legal propio, que ayude a tomar decisiones de explotación y que aliente al inversionista peruano cajamarquino a tomar el camino de la exportación de minerales no metálicos con fines civiles y ornamentales.

1.3.4 Justificación Académica

Para justificar los conocimientos adquiridos y su aplicación en el campo de la minería, previa la obtención del título de Ingeniero de Minas, se pretende solucionar el problema expuesto anteriormente a través de un análisis minucioso de factibilidad técnica de explotación con la finalidad de demostrar la rentabilidad del proyecto de explotación de mármol.

1.4 Limitaciones

No se ha realizado trabajos de perforación diamantina para la determinación del modelo geológico.

No se ha realizado un minucioso estudio de impacto ambiental por la falta de consentimiento de los pobladores de Jorge Chávez.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar la influencia de la factibilidad técnica de explotación de mármol para optimizar la rentabilidad económica en la concesión minera Canteras San Rita 2010, Cajamarca 2016.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Evaluar la geología y las características geomecánicas de la roca.
- ✓ Determinar las reservas de mármol y vida de la mina.
- ✓ Proponer el diseño de explotación para la cantera de mármol.
- ✓ Determinar los costos de transporte de mármol desde la cantera hasta el lugar de transformación o industrialización.
- ✓ Identificar los componentes medioambientales del proyecto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Estudio de factibilidad de un proyecto de explotación y transformación de mármol. Tesis sustentada por: Atilio Niki Zegarra Moreno para optar el título profesional de ingeniero de minas, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú 2015.

En este trabajo de tesis como estudio de factibilidad de la concesión minera de mármol se evalúa la rentabilidad del proyecto desde su análisis en explotación de cantera, procesamiento en planta y su comercialización al mercado extranjero, principalmente a Estados Unidos. La manera más común de exportar mármol o travertino es en forma de baldosas o planchas pulidas de diferentes medidas, siendo las más comerciales de: 12"x12", 18"x18", 24"x24" a 1.0 y 1.5 cm de espesor.

La finalidad de este estudio es servir como herramienta de decisión para un posible proyecto de inversión, ya sea de Volcán Compañía Minera que actualmente es dueña de la concesión minera no metálica o de otra empresa interesada en comprar dicha concesión.

El proyecto en estudio cuenta con un gran volumen de recursos, definidos por las perforaciones diamantinas, esto conllevó a un análisis del mineral no metálico y posteriormente a un planeamiento de minado, es aquí donde el presente estudio combinará el método de explotación convencional con el mecanizado. Finalmente se plantea que dicha materia prima (bloques de mármol) pase al proceso de transformación en la planta de corte o procesamiento, donde obtendremos el producto terminado en baldosas o planchas, para su exportación al mercado norteamericano principalmente.

Estudio de Impacto ambiental por la explotación de mármol en la zona de San José de minas y su plan de manejo ambiental. Proyecto previo a la obtención del título de especialista en tecnología y gestión medio ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador 2016.

El presente estudio tiene como tratado detallar las acciones necesarias para mantener el medio ambiente a través del control, la mitigación, la prevención y la compensación de los efectos negativos que la actividad minera pueda provocar

en el sector. Al mismo tiempo se establece las relaciones entre la actividad minera no metálica, explotación de mármol en San José de Minas y el medio ambiente, determinando sus impactos ambientales y presentando el plan de manejo ambiental. Se realiza el estudio de la zona con la finalidad de conocer la situación, el entorno, y su gente y de este modo saber cómo afectaría esta actividad en la población, la flora, la fauna y en general en el medio ambiente. Entre las herramientas utilizadas para este trabajo se contó con la matriz de Leopold mediante la cual se realizó el cálculo del valor de los impactos.

Manifestación de Impacto ambiental en su modalidad particular para la explotación de mármol travertino en una mina a cielo abierto en la localidad conocida como Cerro Prieto en el municipio de San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca, México. *Preparado por Gestión y Asesoría en Ingeniería Ambiental, S.C.*

El proyecto está ubicado en el estado de Oaxaca, México y el objetivo principal de este trabajo es la explotación de una mina a cielo abierto para la obtención de mármol travertino, con la finalidad de abastecer al mercado nacional e internacional.

El proyecto al que se refiere el presente estudio pretende la explotación del mármol travertino en una superficie de 7 142 hectáreas del predio, la capacidad de explotación de la mina se estima en $500m^3$. Este proyecto industrial involucra una inversión importante que generará empleo durante la operación de la mina (contratistas locales, operarios locales). Una vez iniciadas las operaciones de explotación dará empleo directo a 22 personas, en su mayoría procedentes de la zona aledaña al proyecto. La mina estará compuesta por diferentes áreas; una de producción y otras de servicio de apoyo. Dentro de las áreas de producción se encuentran las áreas de explotación, cuadreo y carga. Las áreas de servicio están conformadas por el resto de las áreas entre las que se encuentra el área de almacenamiento de materiales y equipo, una zona de maniobras, almacenes temporales de residuos, etc.

Propuesta para cambiar el sistema de minado de una cantera de mármol en el municipio de Santiago Acatlán, Puebla. *Tesis sustentada por: Rodrigo Garnica Ríos para optar el título profesional de ingeniero de minas y metalurgista, Universidad Nacional Autónoma de México, México 2015.*

El presente trabajo de tesis es un análisis del entorno actual y las condiciones presentes del sistema de minado, así como de una propuesta alternativa para la extracción de bloques de mayor calidad a la actual y potenciar la utilidad bruta. Los ejes principales de la propuesta son: la realización de un cálculo preliminar de reservas y de un análisis económico integral que se enfocó a obtener el mayor beneficio monetario. Los resultados obtenidos permitieron observar que la mejor opción de minado es a través del uso de cuñas hidráulicas; debido a la geología que presenta el lugar, la asequible aplicación del método y el reducido costo de inversión económica requerida versus otros métodos de minado.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mármol: Análisis de su origen geológico.

Rodríguez (2009), El mármol es una roca metamórfica de textura compacta y cristalina que se origina por medio de una serie de procesos geológicos que inducen cambios mineralógicos y estructurales (alto grado de cristalización) tanto en las rocas eruptivas como en las rocas sedimentarias carbonatadas (principalmente calizas). Estos cambios son consecuencia de la búsqueda del equilibrio físico químico de las rocas cuando se encuentran sometidas a ambientes diferentes de aquel en que se formaron.

Los principales agentes que producen estas transformaciones son los fluidos químicamente activos, la presión y la temperatura. Los mármoles proceden del metamorfismo de las rocas calizas tras una recristalización de sus minerales, originándose por lo general, un aumento de la compacidad y variando el resto de las características con respecto a la roca de origen.

El documento de análisis sobre el Estudio de la Cadena Productiva del Mármol en México, publicado por Coordinación General de Minería ([CG MINERÍA], 2012), define al mármol de la siguiente manera: Los mármoles son rocas sedimentarias carbonatadas (principalmente calizas) que por un proceso de metamorfismo han alcanzado un alto grado de cristalización. Sin

embargo, esta denominación se ha extendido a otras rocas semicristalinas, con o sin carbonato cálcico, que admiten el pulimento adquiriendo cierto brillo, como los “mármoles” verdes, que consisten en serpentinas con un contenido nulo de carbonato cálcico, o los travertinos que son rocas calizas sedimentarias y no metamórficas, y algún tipo de calizas. Al microscopio no presenta orientación estructural, es muy compacto. Tiene mayor dureza, resistencia y durabilidad que las calizas.

Según (Herrera, 2006). Los mármoles son rocas de origen mayoritariamente metamórfico y en algunos casos de origen ígneo alterado y con una resistencia inferior a los 1000 kg/cm^2 y superior a los 400 kg/cm^2 .

2.2.2. Mármol: Desmonte del estéril.

Siguenza (1997), El recubrimiento existente en la cantera, tiene que ser retirado para la extracción de mármol, estos recubrimientos son variables, alcanzando en algunas zonas alturas superiores a los 100 m.

El método que generalmente se sigue es semejante al que se aplica en cualquier explotación minera a cielo abierto, y consiste en un sistema de bancos con arranque y transporte del estéril a las escombreras previamente definidas (Siguenza, 1997).

Todas estas labores no se hacen de forma simultánea con la extracción de mármol, sino que en una primera fase se realiza la extracción del estéril y posteriormente se trabaja en el arranque del mármol, esta situación implica que las empresas que están desmontando deben proveerse de la materia prima de otras explotaciones o que tengan que comprarlo a otras empresas (Siguenza, 1997).

La causa de este proceso discontinuo de explotación se debe principalmente a que las dimensiones de las canteras son pequeñas y no permiten tener los dos procesos operativos (estéril y mármol) en funcionamiento. Esta circunstancia se está corrigiendo en la actualidad, con la creación de explotaciones conjuntas y la mayor superficie de las canteras (Siguenza, 1997).

Rodríguez (2009), señaló que la secuencia a seguir en los trabajos necesarios para la extracción y transformación del mármol es la siguiente:

- a. Desmonte del estéril que recubre las capas de mármol (en el caso de la comarca de Macael, pueden llegar hasta alturas de 100 metros).
- b. Extracción de las masas de mármol, llamados bloques, bolos y piedra.
 - Perforación y explosivos.
 - Rozadora de cable (hilo diamantado).
 - Rozadora de brazo.
- c. Trabajos secundarios en el mármol (puesta a dimensión).

2.2.3. El increíble proceso de extracción del mármol.

Pastor (2013), señala que los depósitos de mármol pueden explotarse en canteras a cielo abierto, pueden ser un 95% en canteras al aire libre y un 5% en cuevas o minas. El mármol se encuentra a ras de tierra o a grandes profundidades lo que hace el costo muy elevado para su extracción. Antiguamente la extracción de esta piedra se hacía de forma manual con cuñas de madera, cabestros, cuerdas, picos y palas. Hoy en día la extracción del mármol además de ser costosa es peligrosa, ya que se usan explosivos y maquinaria pesada y al trabajarse al aire libre, la persona está expuesta a la caída de alguna roca, por lo que se han perdido muchas vidas en las canteras. El material explosivo se emplea exclusivamente para aislar el mármol que se quiere extraer de los escombros y de los bloques.

Por otra parte, el corte de los bloques de mármol se ejecuta mediante la sierra de cable, sistema que permite obtener bloques de las dimensiones deseadas e intactas, sin ninguna superficie de rotura, además se usan hilos de diamante, fantini y todo tipo de maquinarias de última generación. Debemos tener en cuenta, que en una misma cantera de mármol se pueden encontrar un solo tipo o varios tipos de mármol, por ejemplo, en Macael, Almería, España se pueden extraer de una misma cantera bloques de mármol amarillo, blanco, gris y verde, los cuales al cortarse se reducen a porciones de menor tamaño y se llevan a los aserraderos y fábricas para su elaboración, además se usan máquinas especiales y láminas de distintas dimensiones, que después permiten su pulimentación. Antes de colocar las láminas de mármol en el lugar deseado, estas losas se someten a una última operación de pulido, para darles brillantez y realzar su belleza.

Las canteras más importantes se encuentran en Canadá, Italia, Alemania, España, India y China, aunque el mármol puede encontrarse en casi cualquier parte del mundo. La mayoría de los mármoles toman su nombre de la cantera en la que fueron encontrados por primera vez. Algunos de los mármoles más famosos y las canteras de procedencia son: El mármol negro de Kilkenny, Irlanda; el mármol Blanco de Macael, en España; el de Makrana, en India; el vietnamita blanco; el Carrara de Italia; el rosa de Tejas; el verde de Pakistán; el de Vermont; el blanco real, de China; el blanco de Beijing en China; el de la cantera Coyote, en México; el de Yule, Colorado.

2.2.4. Técnicas de arranque mecánico.

Después de haber definido el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte. Todas estas labores no se hacen de forma simultánea con la extracción de mármol, sino que en una primera fase se realiza la extracción del estéril y posteriormente se trabaja en el arranque del mármol.

Zegarra (2015) destaca que la selección de los equipos de arranque se lleva a cabo considerando, en primer lugar, diferentes factores intrínsecos de la roca como resistencia a compresión, dureza, tenacidad, porosidad, abrasividad, etc. Que determinan los rendimientos de corte.

La abrasividad es uno de los factores más importantes, pues es uno de los que marca en muchas técnicas el costo final de la unidad de superficie cortada. Por otro lado, se deben tener en cuenta los ritmos de producción y el grado de mecanización de las labores que se desea alcanzar.

Las diferentes técnicas de arranque en rocas ornamentales raramente se emplean de manera individualizada dentro de una explotación, siendo habitual que coexistan al menos dos. En el grupo de rocas carbonatadas (mármoles y caliza) en las primeras etapas del ciclo de explotación se utilizan fundamentalmente herramientas diamantadas (hilo diamantado, rozadoras o discos diamantados), sustituyendo a las hasta hace poco tradicionales de hilo helicoidal y corte con explosivo.

En las rocas silíceas (granitos y otras rocas eruptivas y areniscas cuarcíticas) las técnicas más ampliamente utilizadas en los cortes primarios eran la perforación y voladura y la lanza térmica, aunque están siendo sustituidas cada vez más por el hilo diamantado.

Para la división de grandes bloques secundarios y el escuadrado de los bloques comerciales se utilizan en ambos subsectores la perforación y las cuñas manuales o hidráulicas, debido a su efectividad en el corte de pequeñas superficies.

Garnica (2015). Para la selección de un método de minado es necesario conocer la forma en que se realiza la extracción, analizar la información obtenida, detectar irregularidades y proponer soluciones adecuadas para tales casos

Herrera (2006). La abrasividad es, en general el factor que en definitiva delimita, en términos económicos, la selección del sistema de corte más adecuado, aunque no es el factor único, ya que, para determinados tipos de roca como algunos mármoles, calizas, etc. escasamente abrasivos, pueden presentar algún comportamiento negativo (satinado) ante ciertas herramientas de corte como las diamantadas, debido a su escasa capacidad de desgaste de la matriz de la herramienta (cable o disco).

Las diferentes técnicas de arranque de rocas ornamentales raramente se emplean en exclusiva dentro de una explotación, y es habitual que coexistan.



Figura N ° 2. Muestra de Mármol rosado Concesión Minera San Rita
Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Secuencia de la extracción de bloques

La extracción de bloques básicamente consiste en la separación primaria del macizo rocoso de un "primer bloque" entendiendo por bloque una figura geométrica lo más cercano posible a un prisma rectangular, y con unas dimensiones tales que los equipos de carga y transporte seleccionados puedan manipularla u operar en unas condiciones de productividad óptimas. El bloque primario se somete a etapas sucesivas de subdivisión hasta alcanzar las dimensiones que sean manipulables en la planta laminadora, al mismo tiempo dentro de las gamas y tolerancias que requiere actualmente la industria de transformación (Garnica, 2015).

Los bloques de mayor tamaño son los más apreciados y por ello mejor pagados. Los mejores son de forma prismática rectangular o cubica, con el mejor acabado de las caras. Alcanzan unos volúmenes de 6 m³ y hasta 20 ton, de peso y son exportados a grandes distancias para llegar a valer cifras millonarias (Garnica, 2015).

Herrera (2006) señala que las dimensiones finales corresponden a los bloques vendibles y son mejor pagados los mayores tamaños, el mejor

escuadrado, el mejor acabado de las caras, factores todos ellos que implican un mejor rendimiento de transformación posterior.

2.2.6. Clasificación de las técnicas de arranque disponible

Herrera (2006), La fase primaria de separación está directamente relacionada con determinados factores geológicos del macizo rocoso, tales como estructura, dirección de estratificación, diaclasamiento, etc., que deben ser bien conocidas no solo por la experiencia y arte del viejo cantero, sino por unos detallados estudios geomecánicos, para poder orientar bien la secuencia de arranque. La selección de equipos de corte se debe realizar en base al conocimiento de factores geomecánicos de la roca como resistencia a la compresión, dureza, tenacidad, porosidad, etc. Y de factores mineralógicos como la abrasividad, tamaño de grano, envejecimientos, decrepitud, oxidación, etc.

La abrasividad es, en general, el factor que en definitiva delimita, en términos económicos, la selección del sistema de corte más adecuado, aunque no es el factor único, ya que para determinados tipos de rocas como algunos mármoles, calizas, etc. escasamente abrasivos, pueden presentar algún comportamiento negativo (satinado) ante ciertas herramientas de corte como las diamantadas, debido a su escasa capacidad de desgaste de la matriz de la herramienta (cable o disco).

Las diferentes técnicas de arranque de rocas ornamentales raramente se emplean en exclusiva dentro de una explotación, y es habitual que coexistan al menos varios sistemas para las distintas labores de subdivisión, tratando siempre de utilizar aquella que produce menores costos y un mejor acabado. Los sistemas o técnicas de corte más aplicados en la actualidad son los siguientes:

2.2.6.1. Técnica de corte de bloques por perforación de barrenos próximos, con o sin voladura.

Según Herrera 2006, esta técnica consiste en la apertura de barrenos muy próximos y paralelos de un pequeño diámetro para poder producir un corte a través del plano constituido por los mismos mediante la acción de una adicional presión hidráulica, mecánica o por la acción de

la pólvora o del cordón detonante. Este sistema se debe aplicar fundamentalmente sobre las rocas de mayor dureza y abrasividad, grupo de los granitos, aunque coexiste con los otros sistemas, para el resto de las rocas ornamentales, en donde se debería utilizar o abusar menos de él, para mejorar el grado de recuperación y la calidad de la roca vendible.

La figura adjunta, refleja la secuencia del arranque, que comienza con la independización del gran bloque inicial hasta la obtención del producto o bloque vendible, en el llamado sistema finlandés de explotación y subdivisión mediante la técnica de la perforación dentro de la cantera.

La importancia de su aplicación ha cobrado un mayor interés a partir de los últimos avances tecnológicos, en la línea de una mayor mecanización gracias a la sustitución de la perforación neumática por la hidráulica, con una operación centralizada de las baterías de perforadoras que permiten el control de varias en paralelo por un solo operador del equipo y con los brazos automatizados en condiciones de una mayor productividad, menores consumos energéticos, y un menor impacto ambiental derivado de los ruidos y el polvo, así como a un más perfecto paralelismo entre los barrenos.

FASE 1:

La etapa inicial consiste en la independización, en la masa rocosa, de un gran bloque cuyo volumen puede oscilar entre los 100 y 4000 m^3 . La operación de arranque comienza con la creación de dos caras libres en los laterales del gran bloque, bien a partir de las diaclasas naturales, bien mediante la perforación de unos barrenos casi secantes entre sí con unos diámetros de 2¹/₂" (63,5 mm), o bien realizándolas con la lanza térmica por unos canales de 70 mm de anchura. Posteriormente se realiza la perforación vertical sobre los planos posterior y horizontal en la base del bloque. Los barrenos son de pequeño diámetro (27 – 36 mm), y las separaciones variables de acuerdo con la resistencia a la fragmentación de la roca.

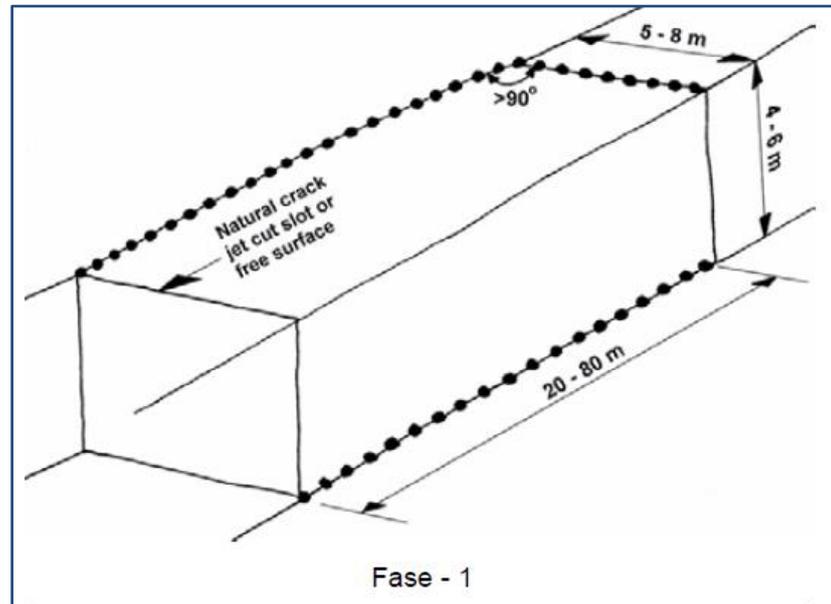


Figura N° 3. Ubicación de los barrenos para generar una cara libre.

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

La rotura entre barrenos se puede realizar mediante el empleo de algunos explosivos débiles con cargas conformadas o con un cordón detonante de bajo gramaje, o por unas cuñas de accionamiento hidráulico. Unos rendimientos de las operaciones que se pueden esperar como normales con los modernos equipos hidráulicos pueden ser los siguientes:

Tabla N° 1: Rendimiento de los equipos hidráulicos en los diferentes planos

Plano	Diámetro (mm)	Velocidad (ml/h)	Espesor (cm)	Rendimiento (m ² /h)
Lateral	63.50	15	5.70	0.90
Posterior	27-36	25-50	10-30	5-10
Horizontal	27-36	25-50	10-30	5-10

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert

El rendimiento específico de la perforación oscila entre unos 2 y 7 ml/m³ del material rocoso a producir.

FASE 2:

Esta segunda etapa ejecuta la subdivisión en bloques de un menor tamaño, todavía “in situ”, esto es, en la misma cantera. Los parámetros de perforación son similares, aunque las fases sucesivas de división del bloque, implican una calidad cada vez mejor de terminación de las caras, por lo que dentro de la gama de diámetros y espaciado entre barrenos es muy recomendable usar los menores valores. El volumen de los bloques correspondiente a esta fase oscila entre los 18 y los 100 m^3 . Los rendimientos normales de perforación son los siguientes:

Rendimiento horario..... $7m^2/h$

Rendimiento específico..... $5ml/m^3$

La rotura entre los barrenos se puede realizar, al igual que en la fase anterior, mediante unos explosivos débiles como la pólvora, el cordón detonante o mediante cuñas hidráulicas. El bloque, una vez individualizado, debe volcarse sobre el piso de la cantera, donde se puede disponer de un lecho de arena o bien un colchón de goma hinchable que logre amortiguar la caída, y evitar su rotura. Los sistemas más empleados para volcar el bloque, pueden ser:

- ✓ Tracción mediante cabrestante o grúa torre (Derrick).
- ✓ Empujadores hidráulicos en el plano posterior.
- ✓ Carga de pólvora en el plano posterior.
- ✓ Extracción con palas y/o carretillas elevadoras con un acoplamiento idóneo.

FASES 3 y 4

En esta etapa, el bloque extraíble debe subdividirse en unas dimensiones más manipulables por los equipos de la cantera, con unos volúmenes máximos de hasta $10m^3$ para su fácil manejo y transporte posterior al taller. Los diámetros de perforación recomendables son de unos 25 – 27 mm. Los rendimientos en esta etapa de subdivisiones son muy variables con los siguientes valores medios:

Rendimiento horario.....5 m²/h

Rendimiento específico.....3 – 15 ml/m³

En esta fase la rotura entre los barrenos tiene lugar, en general, mediante el empleo de cuñas, accionadas manual o hidráulicamente. Los bloques obtenidos deben alcanzar las dimensiones adecuadas para su comercialización, que puede ser directa, si el escuadrado de las caras fuera correcto, o precisa de un perfilado definitivo, en función de las calidades de la roca y la tolerancia final exigida por el mercado. La calidad del acabado en las caras del bloque final depende del correcto alineado de la perforación, así como la separación y diámetro de los barrenos, existiendo en cualquier caso imperfecciones derivadas del sistema en sí mismo que suponen unas pérdidas en detritus estimadas en el orden de unos 25 - 50 mm para cada una de las caras del bloque.

Es importante señalar que estas técnicas requieren, de manera imprescindible, distribuir lo mejor posible la energía generada por el explosivo en el plano de fractura y evitar la aparición de tensiones máximas o diferenciales que induzcan a la fracturación de la roca volada o la remanente. El éxito de la voladura se traduce en una gran precisión en la geometría del bloque y en unos daños mínimos a éste y a la roca remanente. Depende tanto del esquema de perforación, como de la calidad de los barrenos y de las cargas del explosivo.

2.2.6.2. Técnica de Corte con hilo diamantado.

Siguenza (1997), El hilo diamantado consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzados unos útiles diamantados de forma cilíndrica, con separadores constituidos por muelles. La longitud del cable depende de la superficie a cortar, pero generalmente es de 40-50 metros. Al ir progresando el corte, se van reduciendo segmentos de hilo.

Herrera (2006), señala que los avances de los materiales empleados en la moderna tecnología de corte ha supuesto la introducción del hilo diamantado, que permite con menores longitudes de cable en operación, unos rendimientos de corte muy superiores, manteniendo una calidad de acabado similar a la alcanzada con el hilo helicoidal tradicional.

Los modernos y actuales equipos de hilo diamantado están compuestos básicamente por los mismos elementos, pero con algunas diferencias de los tradicionales, de acuerdo con una nueva disposición de la máquina de trabajo según se recoge en la figura adjunta.

- Un grupo motor, con accionamiento eléctrico, y con potencia entre 30 – 50 C.V., con su correspondiente reductor que actúa sobre la polea conductora del cable y que va montado sobre un chasis móvil sobre rieles.
- Un conjunto guiador compuesto por dos carriles o vías sobre los que se desliza o mueve el sistema de accionamiento, y con una carrera de unos 6 m de desplazamiento, que se puede suplementar para su alargamiento paralelo al banco.
- Unos sistemas automáticos de control electrónicos de arranque, velocidad y tensión del cable, de paradas por rotura o final de carrera, etc.



Figura N ° 4: Corte con hilo diamantado.

Fuente: Canter Export S.A. Los maestros de la piedra.



Figura N ° 5. Hilo diamantado para cortar bloques de mármol.

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

Las velocidades lineales del cable se encuentran en la gama de 0 – 40 m/s, para unas longitudes normales en operación inferiores a 60 m.

El hilo diamantado consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzados, a modo de cuentas de rosario, unos insertos diamantados de forma cilíndrica, con separadores constituidos por muelles, y cuya disposición se ajusta como muestra la figura. Las características básicas de un cable diamantado son las siguientes:

Diámetro de cable guía	5 mm.
Diámetro del inserto diamantado	10 mm.
Longitud del inserto diamantado	8.5 mm.
Longitud útil diamantado	6 mm.

Separación entre insertos	30 mm.
Nº de insertos por ml.	33.4

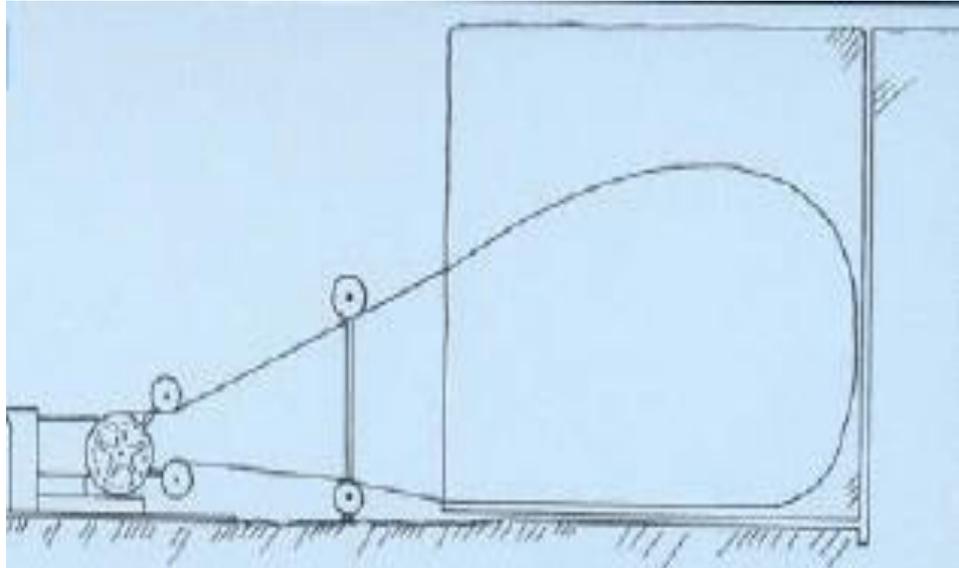


Figura N ° 6. Corte vertical con Hilo diamantado.

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

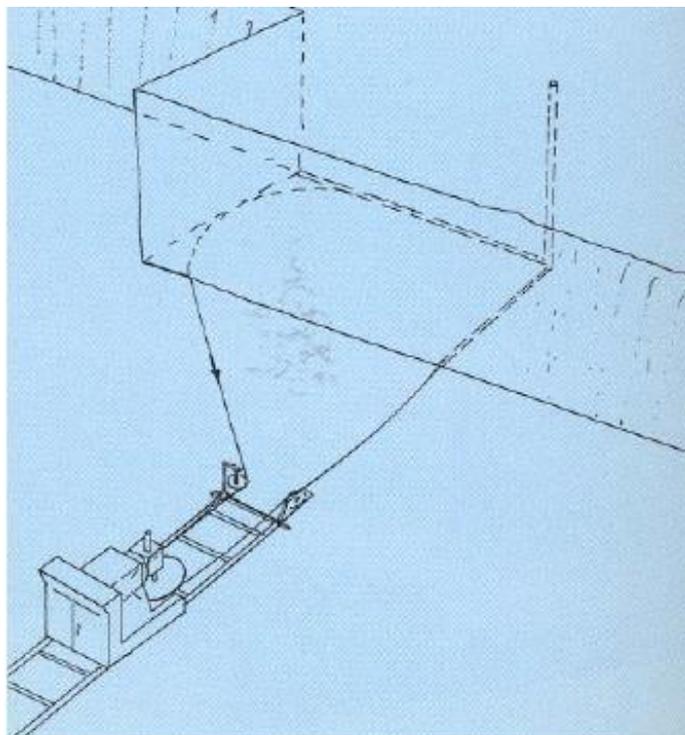


Figura N ° 7. Corte horizontal con Hilo diamantado.

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

2.2.6.3. Rozadoras de Brazo:

Dentro del contexto general de los sistemas de arranque de las rocas ornamentales, cuyo método de explotación es común, este sistema se aplica en aquellos macizos rocosos de dureza media a baja (≤ 100 MPa), y contenidos bajos en cuarzo (grupo de los mármoles). La abrasividad y resistencia a la compresión definen la capacidad de penetración en la roca, siendo preferible un mayor valor de resistencia a la compresión, ligado a un bajo contenido en sílice, que el concepto contrario que asimilaría la roca a una piedra de afilar derivando en una escasa vida de la herramienta de corte y con ello un alto costo unitario de arranque.

Para el uso de este sistema, altamente mecanizable, es necesario disponer de unas alturas de banco muy limitadas por el alcance del brazo cortador, y su uso está condicionado por la existencia y orientación de las discontinuidades naturales, así como por las exigencias en el tamaño de los bloques vendibles. Sin embargo esto permite obtener desde un principio unos bloques finales, eliminándose las sucesivas fases de subdivisión que implican los sistemas anteriormente descritos y que inevitablemente reducen la recuperación de unos tamaños comerciales.

El desarrollo de este sistema, inicialmente ligado a la minería y arranque de carbón y de las sales potásicas, se ha logrado a partir de los avances tecnológicos relacionados con la técnica de penetración en las rocas y de los nuevos materiales aplicados en las herramientas de corte, y tiene la posibilidad de ser utilizado no sólo en las canteras a cielo abierto sino también en explotaciones subterráneas de cámaras y pilares.

La rozadora consta básicamente de un brazo accionado, móvil y orientable, sobre el que se desplaza una cadena provista de unas picas como elementos de corte y de desgaste. El sistema de accionamiento del brazo es, modernamente, del tipo electro-hidráulico con unas potencias entre 10 y 60 Kw, y todo el conjunto se desliza sobre carriles en la dirección del corte con velocidades de avance de 2 a 10 cm/min y con la posibilidad de desplazarse por pendientes máximas de 15°.

El brazo es orientable para poder realizar los cortes verticales y horizontales, con una longitud variable entre 1.5 y 3 m. sobre el perímetro del brazo se desplaza la cadena que arrastra las picas, de un material altamente resistente, situadas a unos intervalos en el orden de 40 mm, con unas velocidades lineales entre 0,4 – 1,4 m/s y una anchura de corte de 4 cm.

Generalmente las picas de materiales muy duros pueden ser reemplazables in situ. El material que constituye las picas suele ser carburo de tungsteno para usar en los materiales de baja resistencia y abrasividad, y de matrices diamantadas para los valores mayores, o cualquier otro tipo de acero aleado de alta resistencia al desgaste por abrasividad.

El sistema de operación de la rozadora permite obtener directamente un bloque comercial en base a la dimensión del brazo. Las fases de operación se reflejan en el esquema adjunto y consisten en una primera fase de sucesivos cortes paralelos, de dirección perpendicular a la cara del banco, seguido del corte horizontal a lo largo del frente, y de la subdivisión vertical paralela al frente, de acuerdo con el tamaño previsto de los bloques y alcanzable por la longitud del brazo. Los rendimientos horarios de corte con esta técnica están comprendidos entre 4 y 10 m^2/h para las rocas de resistencia a la compresión inferior a 100 MPa y con abrasividades medias a bajas.

Hasta hoy este sistema ha sido más utilizado en los talleres de corte y aserrado que en la cantera, pero su desarrollo en base a montar mayores unidades de mayor potencia y longitud del brazo en bastidores de maquinaria móvil o sobre raíles ha permitido su introducción en las canteras, aunque es obvio que requieren un adecuado estudio de selección y de ensayos antes de tomar la decisión.

2.2.6.4. Equipos de Corte con Disco:

Herrera (2006) afirma que: El uso de este sistema permite obtener desde el principio, los bloques sin necesidad de recurrir a las sucesivas etapas de división y acabado, aunque presenta grandes limitaciones de

aplicación por la escasa profundidad de corte, y por tanto de reducidas dimensiones en los bloques obtenidos y por tanto obliga a un diseño previo y muy ajustado de los bancos de trabajo. Su limitación viene dada por la fórmula:

$$h = 0,5 (D-d) \text{ cm.}$$

D = diámetro exterior del disco

d = diámetro interior del disco

Las características propias de la roca influyen en su cortabilidad y, por tanto, en el rendimiento de los útiles diamantados.

Suárez, Rodríguez, Calleja y Ruiz (1998) señalan que el corte con útiles diamantados se producen dos fenómenos recíprocos: el útil diamantado corta la roca pero, a su vez, la roca desgasta el útil. Por eso, el estudio puede llevarse a cabo desde dos puntos de vista: uno, intentando determinar la influencia de las características de las rocas en su cortabilidad, y otro, estudiando las condiciones óptimas del útil y del procedimiento de corte que permitan un aprovechamiento más eficiente, sin olvidar tampoco las características técnicas del equipo o máquina de corte.

Suárez et al. (1998) afirman que, en el proceso de corte de rocas intervienen conjuntamente el equipo o sierra de corte, el útil diamantado y el material a cortar. Además, no se deben olvidar los parámetros o condiciones del corte ni quizás el factor más importante: el humano.



Figura N ° 8. Equipo de corte con disco sobre carretón desplazable.

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

Procesos de desgaste del disco

Durante el proceso de corte, el disco gira siempre en el mismo sentido produciéndose, al desgastarse la matriz ligante, el afloramiento de los cristales de diamante de los segmentos. Esto hace que se produzca una "cola" de matriz detrás de cada cristal de diamante que lo fija durante el corte, evitando que se despegue.

Cuando se corta una roca con disco diamantado, se genera en el disco (y, por tanto, en los diamantes de los segmentos) unos esfuerzos compresivos y otros de cizalla que hacen que los cristales de diamante se rompan o pulan. Los esfuerzos compresivos dependen de algunos parámetros de corte, como la profundidad del corte, sentido de giro del disco respecto a la superficie cortada, etc., mientras que los de cizalla están más condicionados por la velocidad transversal o de avance del disco.

En la figura N° 9 se explican los mecanismos de desgaste de los diamantes de la superficie del disco, en función de los parámetros de trabajo y, por tanto, de las fuerzas que actúan sobre el disco.

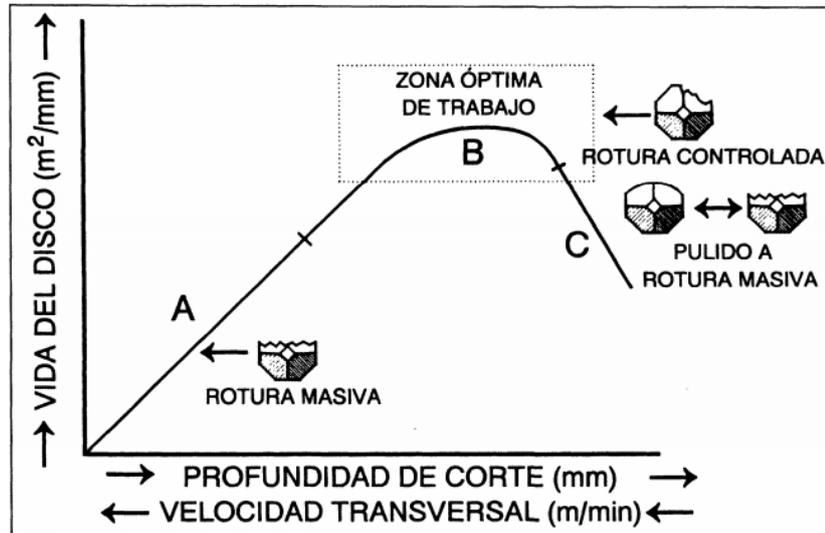


Figura N ° 9. Vida útil del disco en función de la velocidad transversal y de la profundidad de corte.

Fuente: Materiales de Construcción, Vol. 48, n° 250, abril/mayo/junio 1998.

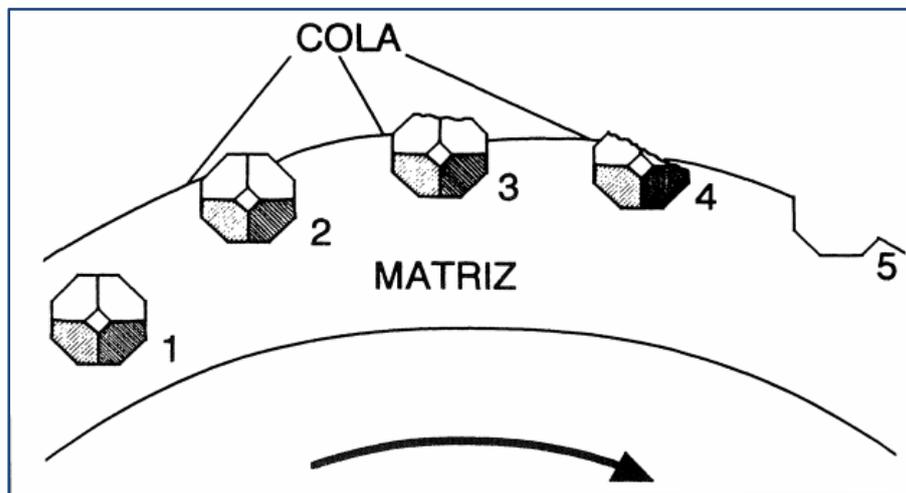


Figura N °10: Fases por las que pasan los cristales de diamante durante el corte.

Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Vol. 48, n° 250, abril/mayo/junio 1998

Herrera (2006), explica que el corte con disco es económica y técnicamente es el equipo más favorable tanto por su simplicidad como por su menor consumo energético, pero estas ventajas no logran en muchos casos, compensar las limitaciones descritas anteriormente, por lo cual su uso sigue siendo más generalizado en los talleres de aserrado que en las canteras, aunque revisando el diseño geométrico de estas podría ser más utilizado.

Otra limitación en el uso de este equipo se refiere a la configuración de la explotación por la necesidad de disponer de amplias plataformas, al menos de 200 por 200 m, de forma que se puedan realizar largos cortes sin tener que mover el equipo y que la inclinación de la misma tiene que ser menor de 10°. Su rango de aplicación son los mármoles y las piedras calizas, pero pueden aplicarse en el grupo de pizarras de techar o para losas de pizarras y de areniscas. El equipo a utilizar consiste básicamente en un disco giratorio cortador con el filo de acero diamantado y que puede desplazarse montado sobre un carretón móvil que se mueve paralelamente, sobre carriles.

Las características básicas de los equipos se recogen en el cuadro siguiente, de acuerdo con la dirección de los cortes y la abrasividad de la roca:

Tabla N° 2: Características de los Equipos de acuerdo a la dirección de corte

	Corte Planos Verticales			Corte Plano Horizontal
	2.50	2.70	3.00	2.70
Diámetro Disco (m)	2.50	2.70	3.00	2.70
Velocidad Periférica (m/s)	40 - 55	40 - 55	40 - 55	40 - 55
Profundidad de Corte (m)	1.00	1.10	1.25	1.10
Anchura de corte (m)	12	12	12	12
Consumo de Agua (l/min.)	80 -140	80 -140	80 -140	80 -140
Potencia (Kw)	60	75	75	75

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

La calidad de acabado de las caras del bloque es, al igual que las obtenidas con la rozadora de brazo, excelente, sin necesidad de escuadrados finales, pero con limitadas dimensiones, y por tanto para aplicaciones comerciales muy concretas.

Los rendimientos de corte pueden variar entre 5 y 8 m^2/h .

Existen en el mercado algunos equipos con multibrazo, que permiten realizar 2 o 3 cortes simultáneamente, incluso uno vertical y otro horizontal al mismo tiempo y con un solo operador, lo cual puede y debe aumentar la productividad.

2.2.6.5. Equipos de Corte con Chorro de Agua.

El empleo del chorro de agua a alta presión y velocidad, se ha usado tradicionalmente en la minería del estaño, del carbón, de los caolines, de las arcillas cerámicas, etc.

La aplicación de esta tecnología en las rocas ornamentales está ligada al desarrollo de unos equipos hidráulicos de potencia adecuada, más robustos y fiables. Existen hoy en día aplicaciones para el corte de vidrio, cerámicas, papel, y otros materiales más resistentes como el aluminio y el acero (Herrera, 2006).

El equipo consiste básicamente en una pequeña central hidráulica iniciada por un motor eléctrico, y acoplada a una bomba hidráulica de alta presión, que a su vez acciona un intensificador de presión constituido por un pistón de doble efecto y un movimiento alternativo, capaz de realizar entre 60 y 80 ciclos por minuto. El efecto intensificador se consigue por la diferencia relativa de superficies activas del pistón, uno de los cuales impulsa finalmente el agua a través de una fina boquilla inyectora de zafiro sintético y con unos diámetros entre 0.1 y 1 mm.

El mecanismo de rotura de la roca debido al finísimo chorro de agua a alta presión, se produce por efecto del choque del mismo, y las micro-fracturas creadas en consecuencia. A una velocidad de 300 m/s, la presión creada es del orden de 150 MPa, superior a la resistencia a la compresión de muchas rocas. Con 500 m/s, se pueden alcanzar valores

de 300 MPa, superiores a la resistencia de la mayoría de los materiales rocosos.

Los datos operativos alcanzados con equipos en prueba han sido los siguientes:

Tabla N° 3: Presión de trabajo con equipos de corte con chorro de agua.

Relación de Multiplicación	Presión de Trabajo (Mpa)	Caudal (l/min.)
4:1	0 – 83	19 – 57
13:1	0 – 275	5.5 – 23
20:1	0 – 378	3.8 – 15

Fuente: Métodos de minería a cielo abierto de Juan Herrera Herbert.

En pruebas realizadas sobre granito muy abrasivo, de 110 MPa de resistencia a la compresión, empleando una presión de trabajo de 240 MPa, caudal de 11.4 l/min, diámetro de boquilla de 0.4 mm, con abrasivo de granate fino y con velocidad de agua de 680 m/s, se han alcanzado unos rendimientos de corte de 2 m/min con un avance en profundidad de 2 cm por pasada, equivalentes a $2,40 \text{ m}^2 / h$, que supone en el orden de 40/50 % de los obtenidos realizando el corte con disco diamantado. La aplicación de esta técnica puede suponer un avance importante en los sistemas de corte, investigándose actualmente el uso de mayores presiones y la respuesta frente a diferentes tipos de roca (Herrera, 2006).

2.2.6.6. Utilización de Cuñas Manuales e Hidráulicas

Esta técnica es la más clásica, siendo ya utilizada en la antigua Grecia y actualmente es complementaria a la citada de perforación con barrenos. Se aplica tanto en el sector del mármol como en el del granito, para la puesta a dimensión comercial de los bloques, aprovechando casi siempre grietas y fisuras del material o direcciones preferenciales de fractura respectivamente (Herrera, 2006).

Su utilización se basa en el efecto que producen una serie de cuñas de acero introducidas en unos taladros perforados con este objetivo, provocándose la rotura de los bloques por tracción.

Las cuñas hidráulicas están constituidas por una bomba hidráulica de alta presión y por varios cilindros hidráulicos, cada uno unido a la bomba por una manguera flexible reforzada. Cada cilindro se compone de un gato hidráulico de doble efecto funcionando bajo una presión a máxima de 50 MPa y de un conjunto cuña-contracuña en su parte inferior. El vástago del pistón empuja con fuerza a la cuña que se encuentra entre las dos contracuñas.

Se utilizan dos tipos de cuñas hidráulicas:

Entre las cuñas manuales se distinguen:

- ✓ Los pinchotes, constituidos por tres elementos, la propia cuña y dos pletinas metálicas con sección longitudinal en ángulo para transmitir la tensión y corte en un extremo. Su puesta en tensión se consigue golpeando repetidamente con un mazo.
- ✓ Los tirafondos, indicadas para el corte de bloques de gran altura o que presentan dificultades a la separación según el plano previsto. Estas contracuñas se introducen a cierta profundidad de tal manera que los esfuerzos de tracción no se generen sólo en las proximidades de la superficie.
- ✓ El tipo estándar (ángulo muy agudo) para las rocas más duras y que proporcionan una separación relativamente pequeña pero con una alta fuerza de rotura.
- ✓ El tipo destinado a las rocas medias (ángulo obtuso), que proporciona una separación mayor, con una fuerza lateral proporcionalmente más pequeña.

2.2.6.7. Técnicas Actualmente Obsoletas

Equipos de Corte con Hilo Helicoidal

Hasta su sustitución por la técnica de corte con hilo diamantado, de la que fue su precursora, este sistema se aplicaba a rocas de dureza media a baja, fundamentalmente a los mármoles-, travertinos, piedras calizas, pizarras, etc. Fue desarrollado en Italia a principios del siglo XIX, y supuso, en su momento, un extraordinario avance en la técnica del

arranque de las rocas ornamentales, que hasta entonces continuaba con los mismos sistemas manuales de la antigüedad y dio a los productores italianos una posición de dominio en el mercado mundial, que han sabido conservar comercialmente hasta estas fechas. Actualmente prácticamente ha desaparecido su utilización (Herrera, 2006).

La secuencia del sistema de arranque de rocas ornamentales con hilo, era similar al expuesto anteriormente con la técnica de perforación y consistía en la independización y sucesivas etapas de división hasta obtener un bloque escuadrado de unas dimensiones comerciales. La utilización de esta técnica permitía un excelente aprovechamiento de la roca, reduciéndose la producción del detritus en base a un acabado plano de las caras, que eliminaba una gran parte de las labores del escuadrado final, y permitía una normalización de las etapas de elaboración posterior. Por contra, el corte con hilo obtenía unos rendimientos y productividades más bajas, lo que obligaba a que las labores de subdivisión ulteriores se realizaran casi siempre con otros sistemas más eficaces.

La técnica de penetración en la roca se llevaba a cabo con unos equipos cuya herramienta de corte era un hilo de acero, que actuaba como conductor de los materiales abrasivos y refrigerantes, y que corría a una velocidad determinada sobre la superficie del macizo rocoso a independizar. La implantación general de un equipo de corte con hilo se refleja en las figuras.

El equipo estaba compuesto, básicamente, de los siguientes elementos principales:

- ✓ **Un Grupo Motor**, constituido por un motor de accionamiento eléctrico o diesel (entre 25 – 40 CV), que a través de un embrague reductor, y una caja de cambios, transmitía el movimiento a un cable que pasa por una polea motriz. La velocidad lineal del cable solía estar comprendida entre 6 y 14 m/s.
- ✓ **Una batería de poleas de reenvío y alineación**, enfrentadas al grupo motor, y cuya función era concentrar en un corto espacio o longitud (50 – 100 m) la mayor parte del cable en operación.

- ✓ **Una serie de columnas**, que permitían guiar el hilo desde su salida de la batería de reenvío hasta aquella zona del macizo rocoso que se deseaba cortar.
- ✓ **Una serie de columnas con poleas móviles de avance automatizado**, ubicadas en los extremos de la superficie de corte.
- ✓ **Un equipo de almacenamiento y dosificación de la mezcla** de abrasivo y agua, con alimentación directa al punto de entrada del hilo en el macizo rocoso en corte.

El sistema descrito permitía disponer el plano de corte en cualquier orientación, aunque operativamente las más habituales son las posiciones horizontales y verticales. La longitud del cable en operación debía estar calculada de acuerdo con el principio de que se pudiera realizar todo el corte de una cara, dentro de la vida útil del mismo. La operación con hilo implicaba un desgaste y una continua reducción del diámetro del hilo, lo que llegaría finalmente a dificultar su necesario cambio en el curso de un corte debido a la mayor sección del nuevo cable. La vida útil del hilo era y es muy variable, dependiendo fundamentalmente de los contenidos en sílice y abrasividad del material a cortar.

El rendimiento del hilo se puede establecer entre 20 y 50 ml/m^2 de superficie en operación, con longitudes totales comprendidas entre 1000 y 2000 ml. Ambos parámetros definen los valores máximos de las dimensiones de la superficie de corte en operación.

2.2.7. Cadena Productiva de Mármol en Perú.

Dentro del sub sector minero no metálico se determina la importancia de la industria del mármol travertino principalmente debido a que el Perú posee grandes reservas de esta extraordinaria roca ornamental que es ahora el principal producto minero no metálico exportado. Este producto no tradicional se puede extraer en la serranía peruana encima de los 3500 msnm, por lo que Sierra Exportadora cumple un papel crucial en otorgar el apoyo necesario. Un ejemplo tangible o intento de apoyo a la industria del mármol fue la creación de CEMACAN (2008) como centro promotor del

mármol y canteras del Perú, que reúne a las principales empresas exportadoras de mármol y travertino. Lamentablemente aún falta lograr un mayor apoyo al sector de parte del gobierno central, sin olvidarnos que el Perú continuará su crecimiento sostenido si fortalecemos los productos no tradicionales como el mármol.

2.2.8. Estudio de Mercado

Haciendo un análisis de la demanda las principales industrias que utilizan el mármol son la construcción civil y la artesanía.

2.2.9. El mármol en la construcción civil:

La arquitectura actual y su tendencia a la simplificación y a la necesidad por su gusto, por la utilización de los materiales en su aspecto natural, encuentra en el mármol un material que satisface casi todas las exigencias técnicas y estéticas que requieren los modernos sistemas constructivos.

La expansión del mármol y similares, se han ido imponiendo por sí misma y deber ser ayudada por una adecuada política de propaganda, orientada a una forma más general para interesar al público y proyectándola hacia el exterior, tal como viene haciéndose en otros países que se dedican a esta industria: ello contribuir a un mayor consumo en el interior y abrir nuevos mercados en el exterior.

Uso del mármol en los aplacados:

Los aplacados exteriores por una serie de factores (puertas, ventanas, cornisas, alturas entre piso y piso, etc.) determinan el uso más indicado en cada caso y las dimensiones de altura y anchura de las piezas.

El uso del mármol en pavimentos, son los que mayormente se utilizan, en la manera más elemental de pavimento es la utilizada en forma de un mosaico, que pueden ser colocados en forma tradicional. En las cocinas, ningún material como el mármol refine las condiciones necesarias de estáticas y resistencia, además de su agradable aspecto, el mármol se porta perfectamente, el contacto con recipientes calientes.

La utilización del travertino en chimeneas es muy acertada, puesto que soporta temperaturas altas, además por su innegable belleza ornamental.

2.2.10. El mármol en la artesanía

En artesanía el mármol, se conoce desde la antigüedad se ha utilizado para construir estatuas, tales ejemplos observamos en las obras de Miguel Ángel, Leonardo Da Vinci y otros; de igual forma en la actualidad se viene utilizando en la fabricación de lapidas y otras artesanías pequeñas.

El mármol es muy fácil de ser labrado pudiéndose reducir a 1 mm. De espesor, sin llegar a romperse, lo que facilita la obra de artesanía.

2.2.11. Demanda nacional del mármol

El mercado nacional principalmente se concentra en la ciudad de Lima donde se encuentra las más importantes compañías dedicadas a la industrialización y comercialización del mármol, travertinos y similares.

El mármol en bruto dentro del mercado nacional se comercializa en las dimensiones de 3 a 5 m³ con un peso específico de 2.5 TM/m³. En la industria nacional para la obtención de lozas losetas, teselas, se requiere cortar los blocks en planchas con la maquina corta bloque de 1 m³ se obtiene 35 planchas. Los mármoles de mayor demanda son los de colores claros como blanco, crema, marfil, romano, dorado.

Los principales compradores son:

- Cia. Nacional de Mármoles S.A.
- Cia. Marmex S.A.
- Cia. Minera Agregados Calcáreas S.A.
- Cia. Minera Deysi
- Cia. Minera MYGSA
- Cia. Minera Destro.
- Cia. Minera Mármoles de Exportación – MARMEX

2.2.12. Mercado internacional del mármol

El mercado internacional del mármol, es un mercado muy exigente, con características peculiares, donde prima el trato personal y el convencimiento, mediante el efecto demostrativo.

El mercado del mármol requiere variar muestras de prueba para verificar las bondades del producto, sus características en el mercado, ver si tienen aceptación en el público usuario o no, así mismo los importadores prefieren verificar en las mismas canteras, si la producción futura tendrá las mismas características peculiares de la muestra enviada y si el volumen potencial abastece los requerimientos futuros.

La exportación del mármol peruano en los 3 últimos años ha sufrido una baja constante, debido principalmente a factores internos y externos. Según informó la Asociación de Exportadores ([ADEX], 2014). Las exportaciones de mármol siguen afectadas por factores externos e internos. La contracción de 13% en la exportación de mármol y travertinos, que en los primeros cinco meses del año 2014 sumó US\$ 7.2 millones, responde básicamente a factores negativos.

Según (ADEX, 2014), la carencia de un marco propio para la minería no metálica, que en la actualidad depende de la Ley General de Minería, sería uno de los factores internos que habrían propiciado la contracción. Otro aspecto clave, opinaron, sería la política monetaria del Banco Central de Reserva (BCR) "que desalienta la producción nacional y alienta las importaciones".

Eso, sumado al alto costo en el transporte, resta competitividad a los envíos de este material, que nos coloca en desventaja frente a naciones productoras como México, Egipto y Turquía.

Pero no solo los factores internos le restan competitividad a la minería no metálica. También existen factores internacionales como la menor demanda por el deterioro en la economía de los países desarrollados, desde la crisis económica mundial del 2008. Según cifras del Sistema de Inteligencia Comercial, Adex Data Trade, entre enero y mayo del 2014, el Perú exportó mármol en cuatro partidas. La más demandada y que

representa el 98% del total fue “mármol, travertinos y alabastro, simplemente talladas o aserradas, con superficie plana” (US\$ 7.1 millones) que registró una caída de -12% respecto a similar periodo del año 2013.

De acuerdo a las estadísticas, los envíos de mármol llegaron a un total de 24 países, los cuales fueron liderados por EE.UU. con US\$ 4.1 millones. Cabe precisar que los despachos a este destino cayeron en -28% en comparación con los primeros cinco meses del 2013.

Otros destinos fueron Ecuador con US\$ 2.2 millones, registrando un crecimiento de 87%. Le siguieron Panamá (crecimiento de 278%), Corea del Sur y Canadá.

Según (ADEX, 2015). Menores envíos a Estados Unidos y Ecuador impactaron en la exportación de mármol en enero del 2015, La exportación de mármol y travertinos sumó US\$ 630 mil en enero de este año, lo que significó una caída de 32,9% en comparación al mismo mes del 2014, debido a los menores envíos a Estados Unidos y Ecuador.

Precisó que el principal mercado destino fue Estados Unidos, que registró envíos por US\$ 418 mil, un 20,5% menos con respecto a enero del año 2014, concentrando el 66,3% de las exportaciones.

En segundo lugar estuvo Ecuador que redujo sus compras en 53% y concentró el 24,9% de los envíos de mármol.

ADEX recordó que nuestro socio andino del norte impuso medidas proteccionistas a fines del 2013 para productos de varios sectores, y desde el 11 de marzo del 2015 entró en vigencia la salvaguardia (derecho aduanero) a la importación de 2,800 productos, entre ellos el mármol al que se le aplicó una tasa arancelaria de 45%.

Franco Serra, gerente general de Gallos Marmolería, comentó que esta salvaguardia sin duda afectará gravemente a ese rubro.

“No solo tendrá un fuerte impacto en las exportaciones, sino que también impactará considerablemente los márgenes de las empresas que se verán obligadas a descontar sus precios para evitar perder la totalidad de ese mercado o a cerrar”, dijo.

Serra afirmó que lo más preocupante es que la posición de nuestro gobierno sobre las salvaguardias ecuatorianas ha sido muy débil y aún no hay un pronunciamiento oficial al respecto, ni sobre las acciones que tomará el Estado para apoyar a los exportadores y aminorar el impacto en los envíos.

El gremio exportador señaló que otros destinos del mármol peruano fueron Chile, Países Bajos, Bolivia y Grecia.

2.3. Definición de términos básicos.

2.3.1. Factibilidad

Luna (1999), sostiene que: El estudio de factibilidad es el análisis de una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo, y en cuales condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso.

Si el negocio propuesto contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el ambiente.

Factibilidad es el grado en que lograr algo es posible o las posibilidades que tiene de lograrse. Iniciar un proyecto de producción o fortalecerlo significa invertir recursos como tiempo, dinero, materia prima y equipos. Como los recursos siempre son limitados, es necesario tomar una decisión; las buenas decisiones sólo pueden ser tomadas sobre la base de evidencias y cálculos correctos, de manera que se tenga mucha seguridad de que el negocio se desempeñará correctamente y que producirá ganancias. Antes de iniciar el estudio de factibilidad es importante tener en cuenta que cualquier proyecto, individual o grupal, es una empresa. Comprender e incluir esto en el concepto de proyecto es muy importante para el desarrollo de criterios y comportamientos, principalmente si se trata de propiciar cambios culturales y de mentalidad.

2.3.2. Rentabilidad

Gitman (1997) dice que la rentabilidad es la relación entre ingresos y costos generados por el uso de los activos de la empresa en actividades productivas. La rentabilidad de una empresa puede ser evaluada en referencia a las ventas, a los activos, al capital o al valor accionario.

Aguirre (1997) considera a la rentabilidad como un objetivo económico a corto plazo que las empresas deben alcanzar, relacionado con la obtención de un beneficio necesario para el buen desarrollo de la empresa.

Para Sánchez (2002) la rentabilidad es una noción que se aplica a toda acción económica en la que se movilizan medios materiales, humanos y financieros con el fin de obtener ciertos resultados.

En la literatura económica, aunque el término se utiliza de forma muy variada y son muchas las aproximaciones doctrinales que inciden en una u otra faceta de la misma, en sentido general se denomina rentabilidad a la medida del rendimiento que en un determinado periodo de tiempo producen los capitales utilizados en el mismo.

En términos más concisos, la rentabilidad es uno de los objetivos que se traza toda empresa para conocer el rendimiento de lo invertido al realizar una serie de actividades en un determinado período de tiempo. Se puede definir, además, como el resultado de las decisiones que toma la administración de una empresa.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

El estudio de factibilidad técnica de explotación de mármol, podrá optimizar la rentabilidad económica del proyecto en la concesión minera San Rita 2010.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Factibilidad técnica de explotación.	<p>Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas.</p> <p>El estudio de factibilidad es el análisis que realiza una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo, y cuáles serán las estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.</p>	Caracterización Geomecánica de la roca y diaclasas	<ul style="list-style-type: none"> • RQD • RMR • Q de Barton.
		Estimación del Recurso.	<ul style="list-style-type: none"> • Tm, m3
		Diseño de explotación de la cantera de mármol.	<ul style="list-style-type: none"> • Ángulo de talud. • Factor de seguridad del talud.
		Costos de transporte del mineral.	Costo promedio total por transporte del mineral desde la cantera hasta el lugar de transformación.
		Evaluación del Impacto Ambiental.	Identificación de los componentes ambientales.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Rentabilidad económica	Es toda acción económica en la que se movilizan medios materiales, humanos y financieros con el fin de obtener ciertos resultados.	Beneficio Económico.	Relación: beneficio/costo
	La rentabilidad puede ser evaluada en referencia a las ventas, a los activos, al capital o al valor accionario.	Activo total.	Valor actual neto (VAN)

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación.

Descriptiva / Aplicada

4.2. Material de estudio.

4.2.1. Unidad de estudio.

Kg. De mármol de coloración gris y rosado de la Concesión Minera San Rita 2010.

4.2.2. Población.

Cantera de mármol de la Concesión minera San Rita 2010.

4.2.3. Muestra.

TM. De mármol de coloración gris y rosado de la Concesión Minera San Rita 2010.

4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

4.3.1. Para recolectar datos.

Las técnicas usadas en la investigación son:

Gabinete

Se recolectará información recurriendo a diferentes páginas web y libros.

Campo

La investigación se realiza in situ, se observa, e identifica las características cualitativas y cuantitativas del recurso. Se evalúa la propiedad con fines de una explotación económica a mediano y corto plazo en la industria del mármol comercial.

Instrumentos

- a) Tesis, Informes, papers, referente a extracción y comercialización de mármol.
- b) Informes sobre evaluaciones geológicas y económicas del proyecto.
- c) Equipo de topografía.

4.3.2. Para analizar información.

La información obtenida, es analizada a través de herramientas como Google Earth, Geocatmin, Arcgis, Slide 5.0, hoja de Excel.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

Aspectos Generales: Cantera San Rita 2010.

El informe sobre la Evaluación geológica y económica de la concesión minera Cantera San Rita 2010 determina los siguientes aspectos:

5.1. Ubicación:

5.1.1. Ubicación Geográfica

Localizado en el flanco este de la cordillera occidental del norte del Perú, tiene una altitud de 2500 m.s.n.m. Geográficamente presenta las siguientes coordenadas:

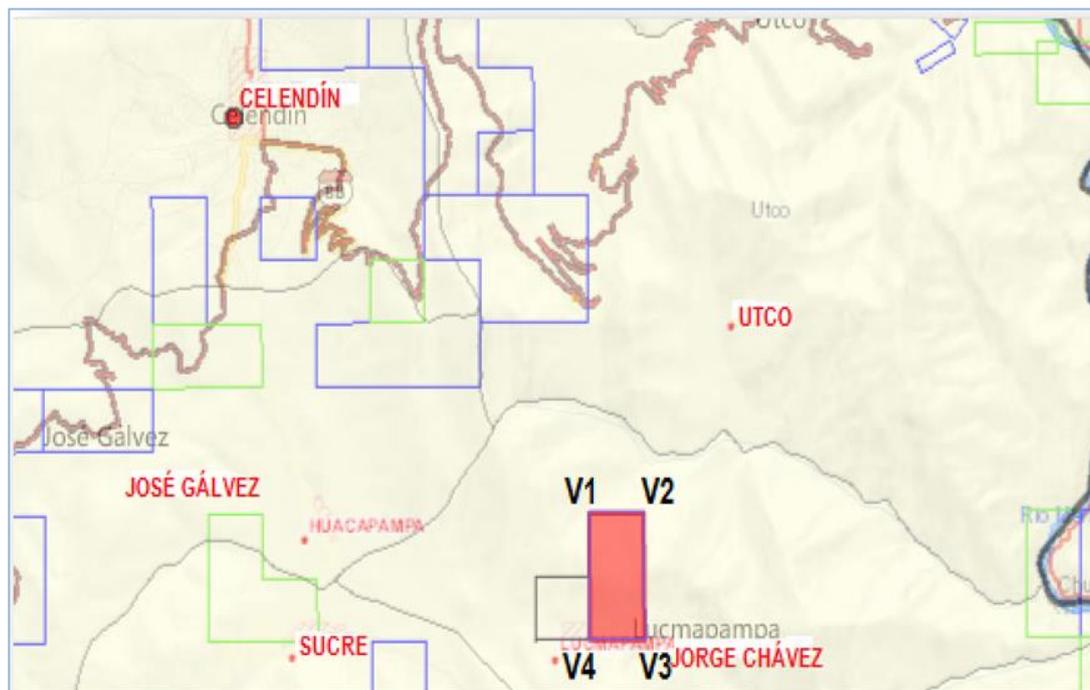


Figura N° 11: Coordenadas Concesión Minera Cantera San Rita 2010.

Fuente: GEOCATMIN, Sistema de información geológica catastral minero.

Tabla N° 4: Coordenadas de referencia del área de trabajo.

VÉRTICE	UTM	
	NORTE	ESTE
V1	9 233 650.19	821 736.45
V2	9 233 639.81	822 736.58
V3	9 231 640.35	822 743.25
V4	9 231 641.44	821 724.12

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Ubicación Política:

Políticamente se ubica en la región Cajamarca, Provincia de Celendín, Distrito de Jorge Chávez. Se encuentra dentro de la Zona 17S del hemisferio Internacional PSAD 56 y se halla en el cuadrángulo 14-G de Celendín.



Figura N° 12: Ubicación política de la Concesión Minera Cantera San Rita.

Fuente: GEOCATMIN, Sistema de información geológica catastral minero.

5.2. Accesibilidad:

La accesibilidad es buena partiendo desde Celendín con carretera asfaltada hasta el poblado de José Gálvez y luego carretera afirmada hasta el distrito de Jorge Chávez.

Para la accesibilidad desde la ciudad de Lima existen vuelo comerciales hasta la ciudad de Cajamarca y luego 2.0 horas de carretera asfaltada hasta la provincia de Celendín.

Es accesible desde la ciudad de Cajamarca como sigue:

Tabla N° 5: Acceso al área de estudio

Desde	Hasta	Km	Tiempo/Hrs	Tipo de Vía	Estado Vía
Cajamarca	Celendín	107	2.0 hrs.	Asfaltada	Buena
Celendín	José Gálvez	9.0	20 min.	Asfaltada	Buena
José Gálvez	Jorge Chávez	6.0	10 min.	Afirmada	Buena
Jorge Chávez	Área de Estudio	1.0	5 min.	Trocha	Buena
Total		123	2.35 hrs.		

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Relieve topográfico:

Los rasgos geográficos del área corresponden íntegramente a la cordillera occidental, caracterizada por una geografía variada con áreas disectadas por quebradas.

La topografía nos muestra relieves abruptos con cerros que van desde una altura de 1 600 m.s.n.m. hasta los 2 700 m.s.n.m. Los estratos de mármol se encuentran sub horizontales y están intercalados por niveles de areniscas en el sector inferior.

5.4. Propiedad Minera:

Las propiedades mineras son dos con un área de 100 hectáreas y 200 hectáreas y están respectivamente tituladas a nombre de MARIA VICTORIA GUTIERREZ ROJAS DE DIAZ.

Los linderos están libres solo en el sector Sur colinda con la propiedad San Isidro Labrador IX, siendo la titular María Claudia Alva Celis.

Se debe tener en cuenta que casi el 50% de la propiedad “CANTERA SAN RITA” es ocupado por el distrito de Jorge Chávez y áreas de cultivo lo cual imposibilita realizar algún tipo de actividad de explotación en esta concesión minera. Por esta razón sólo nos ocuparemos del estudio sobre la concesión Cantera San Rita 2010.

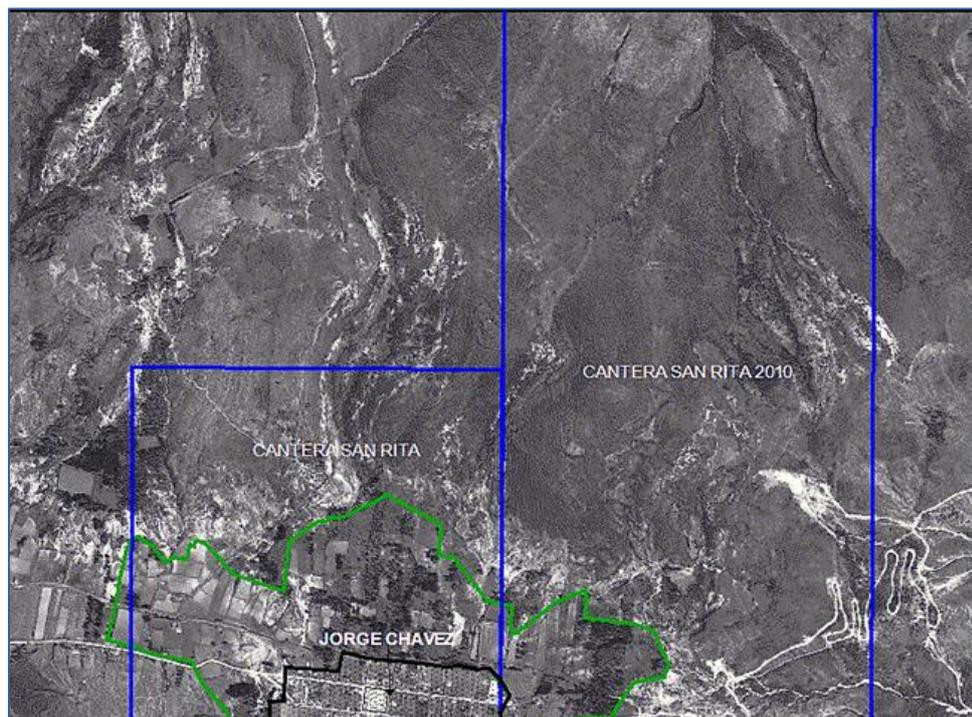


Figura N° 13: Ubicación del poblado de Jorge Chávez con referencia a la propiedad minera.

Fuente: Evaluación geológica y económica de la concesión Cantera San Rita 2010.

Tabla N° 6: Propiedad Minera 1

Propiedad N° 1	Cantera San Rita
Titular	María Victoria Gutiérrez Rojas de Díaz
Código	030024109
Fecha	22/12/2009
Área	100 has

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 7: Propiedad Minera 2

Propiedad N° 2	Cantera San Rita 2010
Titular	María Victoria Gutiérrez Rojas de Díaz
Código	030027510
Fecha	03/11/2010
Área	200 has

Fuente: Elaboración del investigador.

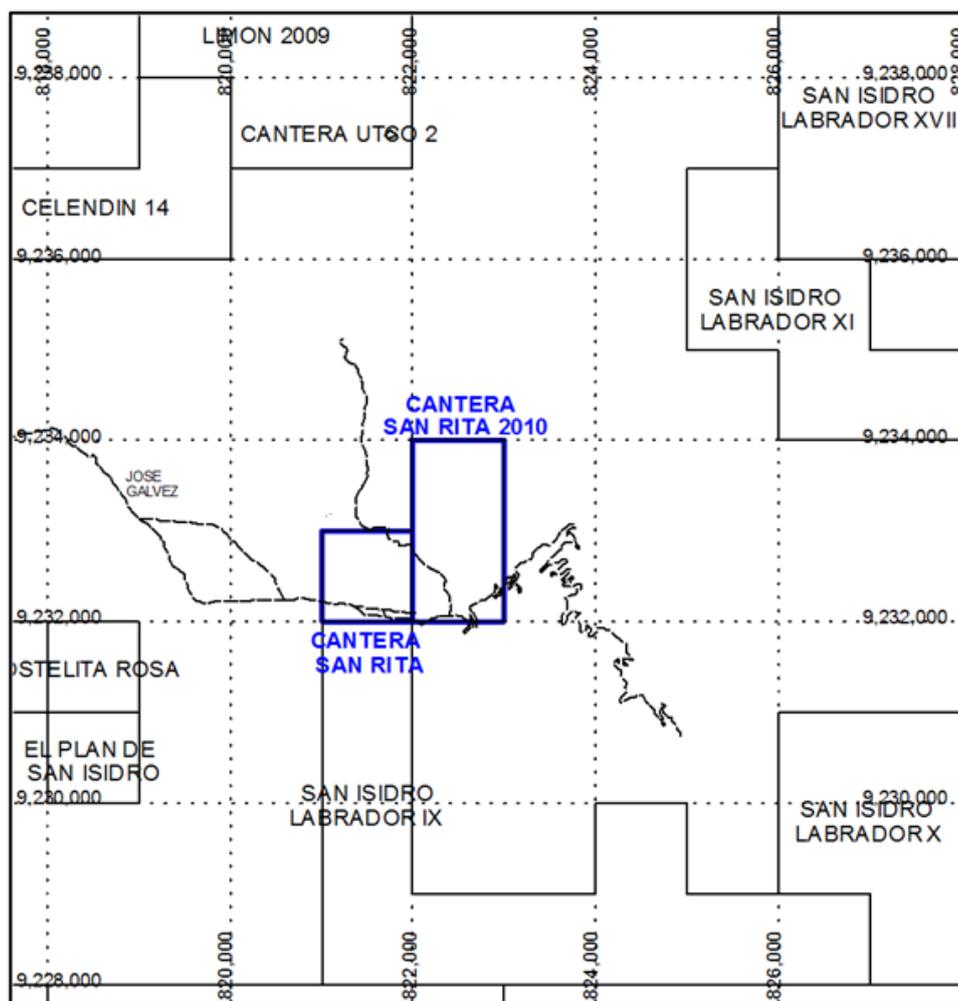


Figura N° 14: Catastro minero de la zona de estudio.

Fuente: GEOCATMIN, Sistema de información geológica catastral minero.

5.5. GEOLOGÍA

5.5.1. Geología Estructural

Regionalmente se encuentra formado por capas delgadas de caliza intercalada con margas y lutitas grises, también existe secuencias de conglomerados intercalados con arcillas y areniscas que sigue la orientación Nor- Oeste a Sur Este. No se han identificado rocas intrusivas lo que resta la posibilidad de encontrar depósitos tipo skarn, producto del contacto entre el intrusivo y las rocas calcáreas. Los paquetes de mármol encontrados hacen suponer que se debió a una transformación por efectos compresivos regionales que ha hecho un metamorfismo local dentro de los paquetes calcáreos.

5.5.2. Geología Regional

La Geología regional lo conforman paquetes de rocas pertenecientes a las formaciones Crisnejas, Puylucana, Grupo Quilquiñan, Formación Chota y Formación Celendín pertenecientes al Cretáceo Medio y Superior y distalmente las formaciones Farrat, Carhuaz, Formación Santa y Formación Chimú pertenecientes al Cretáceo Inferior.

La litología en el Cretáceo Superior está compuesta Formación Celendín y Formación Chota y su litología son capas delgadas de caliza y caliza nodular intercalada con margas lutitas grises. En el extremo inferior se ubican secuencias de conglomerados intercalados con arcillas y areniscas.

La litología del Cretáceo Medio está representada por las formaciones Crisnejas, Formación Puylucana y Formación Quilquiñan cuyo paquete de rocas se encuentran más próximas al área de estudio y estas se extienden en dirección Nor-Oeste a Sur-Este formando discordancias de bajo ángulo con buzamiento hacia el Sur-Oeste. Jhon Wilson (1998 INGEMMET).

Este paquete de rocas calcáreas intercaladas con lutitas y areniscas de edad Cretácea se extiende en la parte central del cuadrángulo de Celendín (14g) elaborado por el INGEMMET en casi 60 Km. De longitud por unos 15 Km de ancho. Este paquete presenta potencias variables pero se ha podido reconocer en el sector de Celendín por lo menos 1000 metros de rocas

pertenecientes al Cretáceo Superior y Medio lo que nos indica que estos depósitos han sido importantes dentro de la cuenca.

El INGEMMET en su publicación del cuadrángulo de Celendín (14g) señala un control de sobre-escurrimientos de orientación NW-SE, sin embargo estas estructuras no han sido posibles verlas dentro del área de estudio.

5.5.2.1. Formación Crisnejas

De acuerdo al INGEMMET la Formación Crisnejas está representada por alguno cientos de metros de margas lutitas, areniscas y calizas que afloran al este de Celendín. Dentro del área de estudio este se ubica en la parte basal del paquete de rocas en las cotas 1700m.s.n.m. a 2300 m.s.n.m. aproximadamente. Estas rocas son bastante fosilíferas se han encontrado fósiles mixtos pero se ha logrado reconocer amonites.

En el área de estudio existe una carretera que lleva a la central hidroeléctrica que se ubica muy cerca del río marañón. En el corte de carretera se puede identificar este paquete rocas en su descenso en cota (APEXS PERÚ SAC, 2014).

5.5.2.2. Grupo Puylucana

El grupo Puylucana en el área de estudio se presenta en algunos cientos de metros, de acuerdo a INGEMMET este tiene intercalaciones de caliza, marga y arenisca y se divide en las formaciones Yumagual y Mujarrún pero en el trabajo de reconocimiento no se ha podido diferenciar. Pero si se ha podido identificar el contacto con la formación Crisnejas en una discordancia angular de bajo ángulo siendo el Grupo Puylucana supra yacente a la Formación Crisnejas.

En el extremo superior del paquete de rocas calcáreas del grupo Puylucana se ha identificado el recurso de mármol en un área muy extensa, es probable que se tenga más de 50 hectáreas de mármol con distintas calidades y colores.

En el área de estudio se ha reconocido algunas variedades de mármol que se presentan como horizontes con buzamiento de bajo ángulo. En el sector

basal del paquete forman pliegues y sobre-escurrimientos. (APEXS PERÚ SAC, 2014).

5.5.3. Geología Local

La geología local está constituida por rocas calcáreas, margas, conglomerados y areniscas las cuales se intercalan dentro de todo el paquete.

Las formaciones presentes en el área de estudio proximales y cercanas a las propiedades mineras son la formación Crisnejas y el Grupo Puyucana.

5.6. Características Geomecánicas de la roca:

Según la clasificación de Terzaghi.

5.6.1. Determinación del RQD:

De acuerdo a las observaciones de campo vista desde superficie, teniendo en cuenta que no se ha realizado ningún trabajo de perforación diamantina, se procede a calcular el RQD con la fórmula alternativa (cuando no se realiza sondeos)

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_V$$

Donde:

J_V : Número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3



Figura N° 15: Cálculo del RQD.

Fuente: Elaboración propia.

Luego el número de juntas identificadas en un m^3

$$J_V : 8$$

Entonces:

$$\mathbf{RQD: 115 - 3.3 (8)}$$

$$\mathbf{RQD: 88.6}$$

Este valor se encuentra en el rango de 75 - 90, por lo tanto la calidad de la roca de acuerdo al RQD es una roca de buena a excelente.

Tabla N° 8: Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

Fuente: Elaboración Propia.

5.6.2. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (R.M.R.)

“rock mass rating” Z. T. Bieniawski (1979)

De acuerdo al valor del RQD calculado anteriormente y a los valores de la tabla

- Resistencia del material intacto: → 7
(Ensayo carga puntual o compresión simple)
- R.Q.D. : 88,6 → 17
- Distancia entre las discontinuidades: → 10
- Condición de las discontinuidades: → 5
- Agua subterránea : → 10

$$\mathbf{RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)}$$

De acuerdo a los valores encontrados tenemos:

$$\mathbf{RMR: 7 + 17 + 10 + 5 + 10 = 49}$$

Clasificación de RMR (Oscila entre 0 y 100):

Este valor se encuentra en el rango de 41 - 60, por lo tanto la calidad de la roca de acuerdo al RMR es una roca regular.

Tabla N° 9: Determinación del RMR.

Clase	Calidad de Roca	RMR
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Regular	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy Mala	0 – 20

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 10: Clasificación Geomecánica de RMR (índice de macizo rocoso)

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprine	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
valor			15	10	7	4	0		

Fuente: Rock Mass Rating System (After Bieniawski, 1989).

5.6.3. Características Geomecánicas de las Diaclasas.

Índice Q de Barton (Rock Mass Quality)

Se hace una valoración con un índice Q, a partir de valores de diferentes parámetros:

Parámetros:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

RQD : Índice de calidad de la roca

J_n : Número de familias

J_r : Coeficiente de rugosidad de la junta.

J_a : Coeficiente de alteración de la junta.

J_w : Coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF : Factor reductor por tensiones en el macizo rocoso.

$J_n = 4$ → Dos familias de juntas.

$J_r = 4$ → Juntas discontinuas.

$J_a = 4$ → Juntas con minerales de relleno en pequeño espesor, con partículas arenosas.

$J_w = 0.66$ → Afluencia media con lavado de algunas juntas.

SRF = 1 → Roca competente de Cobertura media.

Cálculo: $Q = \frac{88.6}{4} * \frac{4}{4} * \frac{0.66}{1}$

$Q = 14.62$

Tabla N° 11: Determinación del Índice Q de Barton (Índice de Calidad de las Diaclasas).

Q (rock mass quality)	Valoración
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.1 – 1.0	Muy mala
1.0 – 4	Mala
4 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy Buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 – 1000	Excepcionalmente buena

Fuente: Elaboración Propia.

5.7. Estimación del Recurso.

Se ha determinado en campo un área posible de explotación con las siguientes características:

- ✓ El área escogida es cercana a una vía de acceso, la carretera que pasa por el lugar es de 10 m. de ancho aproximadamente, suficiente para ser utilizado por vehículos de carga de hasta de 20 Tn, para el traslado de los bloques de mármol.
- ✓ Existencia de energía eléctrica cerca de la cantera, esto facilita la utilización de herramientas eléctricas, hidráulicas para la extracción de los bloques de mármol.
- ✓ La inclinación de la cantera es moderada, es una cantera en ladera sobre terreno en pendiente, por ello la extracción de los bloques se empezará por los

niveles inferiores, aumentando la altura y el número de bancos del frente de explotación.

- ✓ La cantera San Rita 2010, se encuentra cerca al pueblo de Jorge Chávez, esto hace que exista buena señal de telefonía para la instalación del campamento.
- ✓ El área para la estimación del recurso explotable no contiene zonas de cultivo ni componentes ambientales que impidan otorgar permisos de explotación.

El área escogida corresponde al paquete de mármoles grises con horizontes de mármoles rosados y se ubica en la parte superior de la carretera principal y cuenta con acceso.

El tipo de estimación del recurso es a través del método asistido por computadora, utilizando las curvas de nivel de la topografía real del terreno, estas representan a que altura está cada una y de esta forma se calcula el volumen que existe en el área seleccionada.

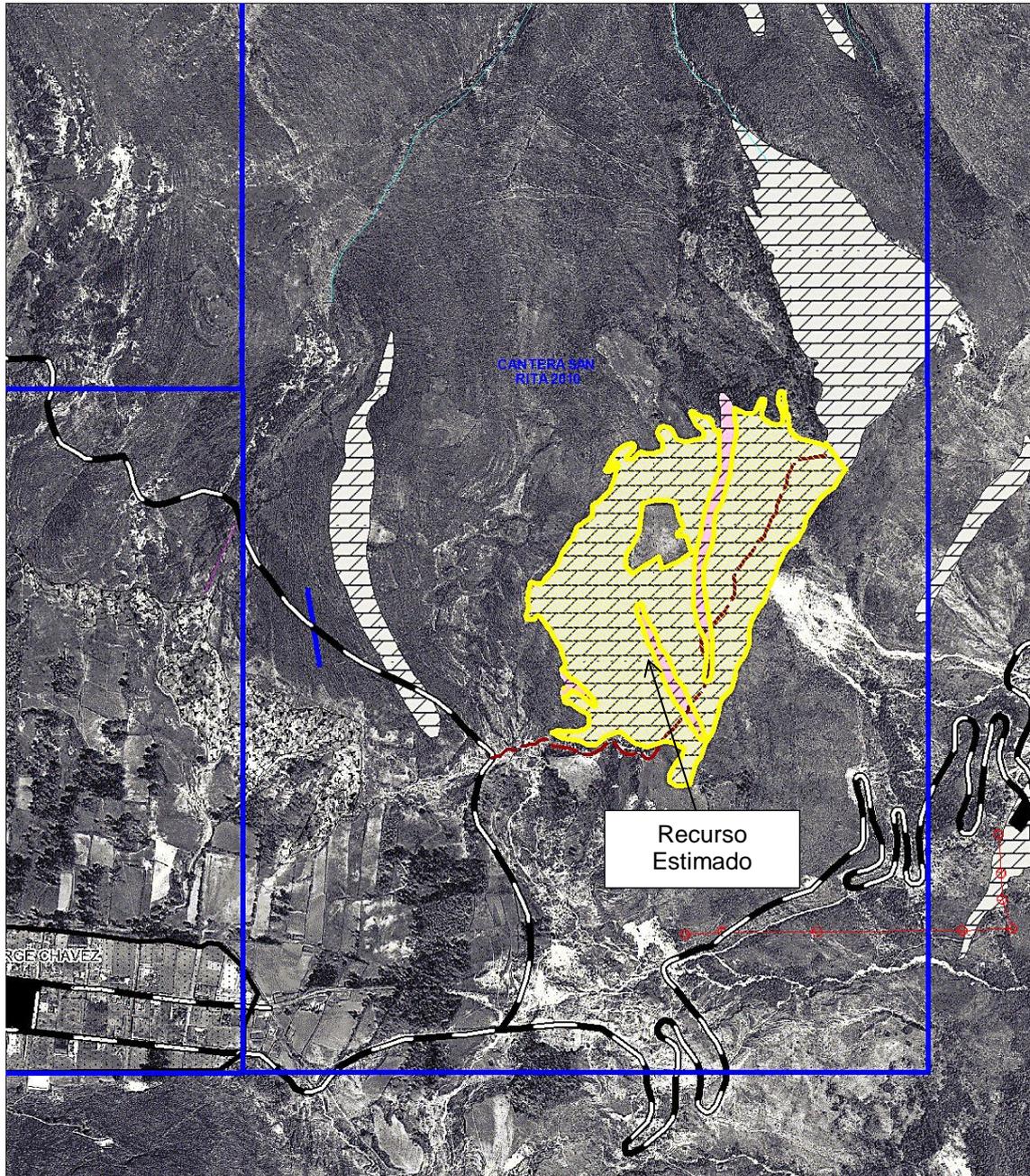


Figura N ° 16. Determinación del área del recurso.

Fuente: Evaluación geológica y económica de la concesión Cantera San Rita 2010.

5.8. Estimación del Recurso aplicando ArcGis 10.3

ArcGis cuenta con numerosas herramientas para cálculos topográficos de todo tipo, entre ellas, cálculos volumétricos. En nuestro caso, partimos de las curvas de nivel tomadas de un ráster, Evaluación geológica y topográfica de la concesión minera Cantera San Rita 2010, estas representan a que altura está cada una y de esta forma se calcula el volumen del mineral no metálico existente dentro del área delimitada según la figura N° 16.

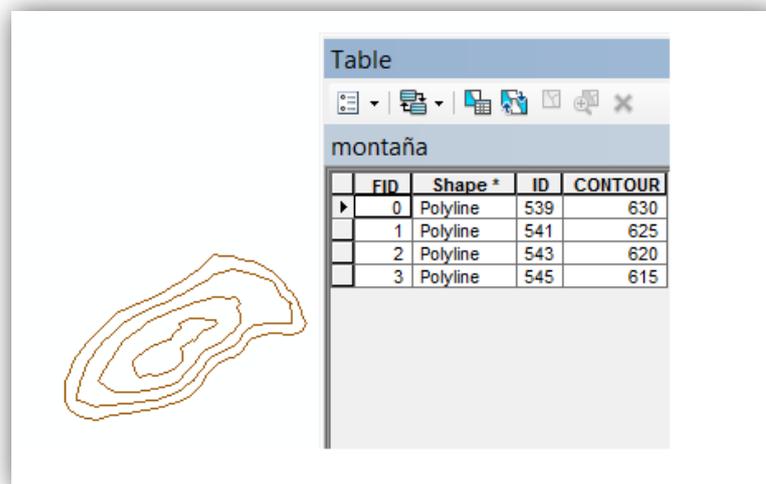


Figura N ° 17: Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3

Fuente: Elaboración propia.

Comenzaremos por hacer de esta figura un ráster.

Para ello, acudiremos a la herramienta "Topo to raster", desde 3D analyst tools > Raster interpolation> Topo to raster.

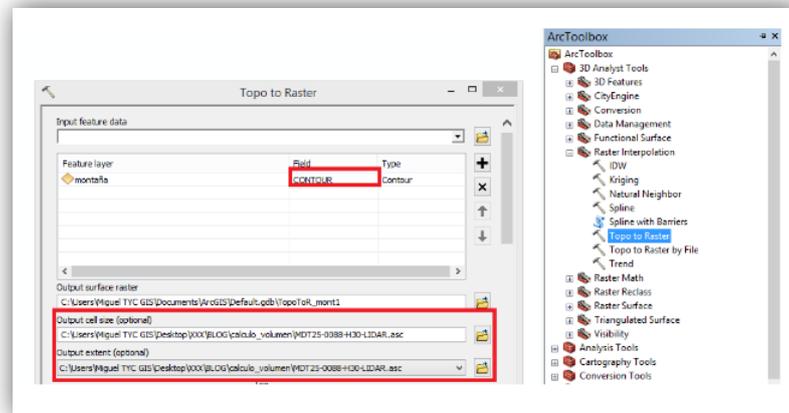


Figura N ° 18: Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3

Fuente: Elaboración propia.

En ella, debemos darnos cuenta que en "field" se marcará el campo que haga referencia a la altura, en este caso el campo "contour". El tamaño de celda y el campo de extensión lo hemos sacado de lo preestablecido donde hemos sacado estas curvas de nivel.

Ahora, debemos delimitar el área de cálculo, para ello tenemos que extraer por máscara y, por lo tanto, debemos tener una máscara, esta será la base de la montaña.

Por lo tanto, seleccionaremos la línea base mediante la herramienta indicada y hacemos clic en extraer pulsando con el botón derecho sobre la capa y extraer

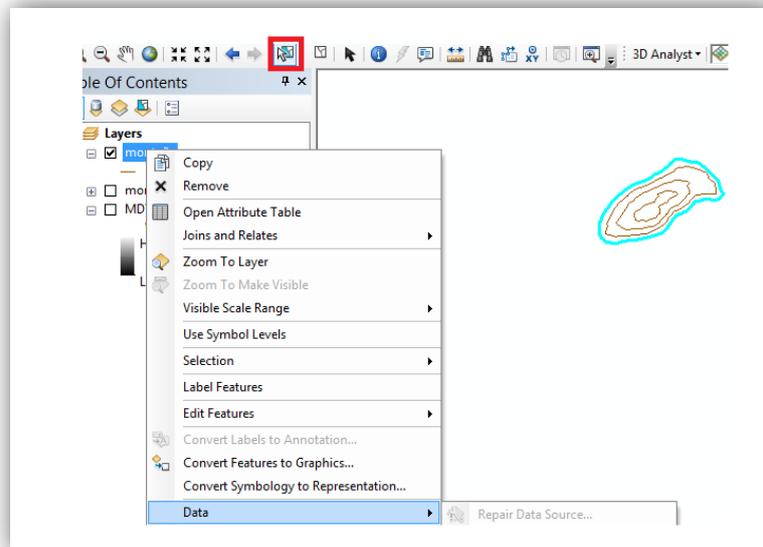


Figura N ° 19: Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, como esto es una línea, tendremos que pasarlo a polígono.

Data Management Tools > Features > Feature to Polygon.

Ahora, tenemos el polígono base y extraeremos por mascara usando esta como mascara.

Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask.

Llega la hora de calcular el volumen, tenemos que tener en cuenta si nos decidimos por *Above* o *Bellow*, también convendría tener bien estructurado "entornos" en lo referente a las coordenadas y al raster analysis

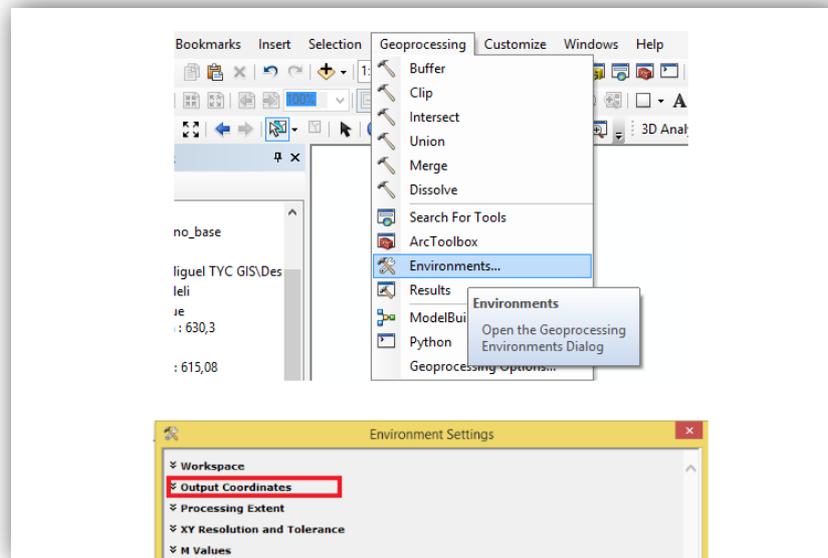


Figura N ° 20: Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3

Fuente: Elaboración propia.

Ahora pasaremos a calcular el volumen, en este caso como lo que queremos es calcular el volumen interno dentro de una montaña tendremos que seleccionar la opción "Above", si fuese el volumen de un lago sería "below".

3D Analyst Tools > Functional surface > Surface Volume.

Aquí nos indica que el área 136 042,66 m², y el volumen es 8 873985, 814 TM.

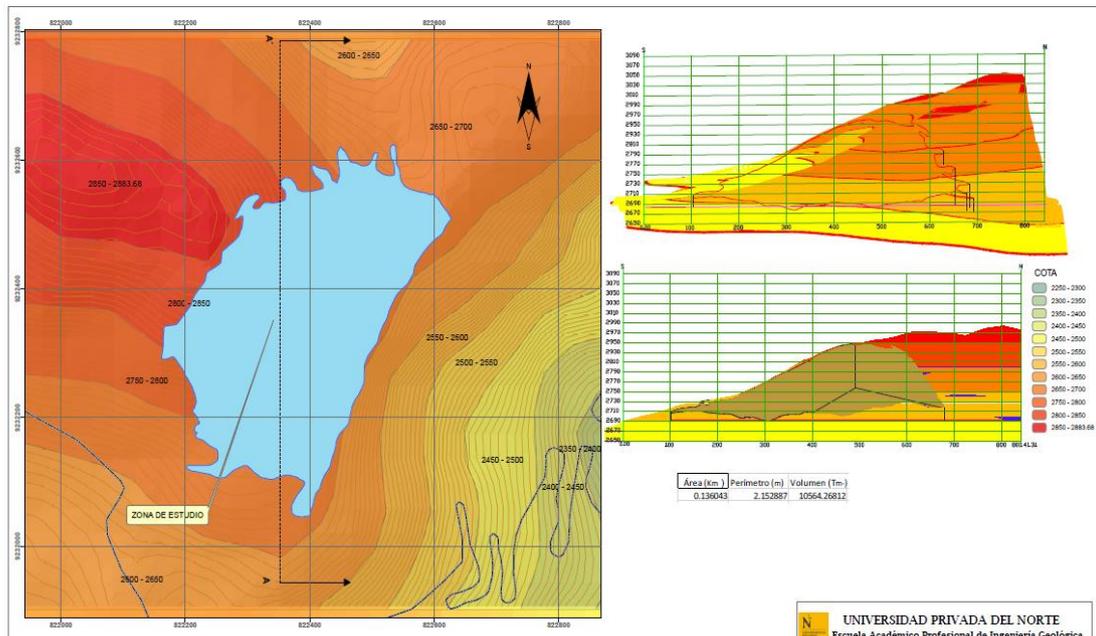


Figura N ° 21: Estimación del recurso utilizando ArcGis 10.3

Fuente: Elaboración propia.

Tonelaje: 8 873 985.814 TM.

El recurso estimado corresponde al mármol de coloración gris y es el de mayor volumen y mejor ubicación para una explotación industrial.

5.9. Diseño de explotación.

El método de explotación de la cantera es superficial, tajo a cielo y sistema de bancos en media ladera, dependiendo básicamente de las características del yacimiento. El sistema a emplear es de corte y desprendimiento por bloques o cubos.

Existen dos formas de extraer los bloques de mármol: el método convencional (arranque con perforación y voladura) y el mecanizado (arranque mecánico). En el Proyecto Cantera San Rita 2010 utilizaremos un mix de ambos por la geomorfología que presenta.

La técnica convencional se usará para iniciar el desbroce por zonas dada las fuertes pendientes del cerro, dando paso a plataformas más amplias donde podrán ser instalados los equipos de corte con hilo diamantado.

El corte de los superbloques y bloques consiste en hacer varias perforaciones verticales con una profundidad de 15 m. y perforaciones horizontales con una profundidad de diámetro de 7.5 m. Una vez cortado el bloque grande, por todos sus lados, se separa la gran masa de mármol abriéndolo con gatas hidráulicas y cuñas. En la parte baja se corta a bloques más pequeños para su transporte a Lima.

La explotación de los bloques mármol tiene una recuperación del 60% de la cantera, lo demás pasan a ser bloques menores o quedan fragmentados en lo que se denomina “escalla”. Las medidas de seguridad minera a implementarse en el desarrollo de la explotación de la cantera serán las siguientes:

Altura de los bancos 5 a 8 m.

Talud 63° a 67°

5.10. Posible Diseño de explotación:

De acuerdo a la evaluación geológica y al desarrollo de la topografía del lugar el método de explotación será por Cortes en bancos definidos (a tajo abierto)

El diseño del tajo nos dará el Angulo correcto para los taludes sin embargo esto depende mucho de la velocidad con la que se desea explotar el recurso.

Dentro del estudio se muestra un posible método de explotación de este recurso de mármol de coloración gris con cuerpos de mármol rosado.

- Altura de bancos de explotación: altura máxima de 8 m. con la finalidad de asegurar la estabilidad del mismo.
- El talud del Banco tendrá 63° que garantiza la estabilidad para un material competente.
- El avance de los bancos de explotación será en forma descendente.
- El factor de seguridad calculado es 1,65 que demuestra la estabilidad del talud.

De acuerdo a la sección A – A' de la figura N° 22, corte que se puede visualizar en el plano geológico del anexo N° 2, se plantea un posible diseño de explotación:

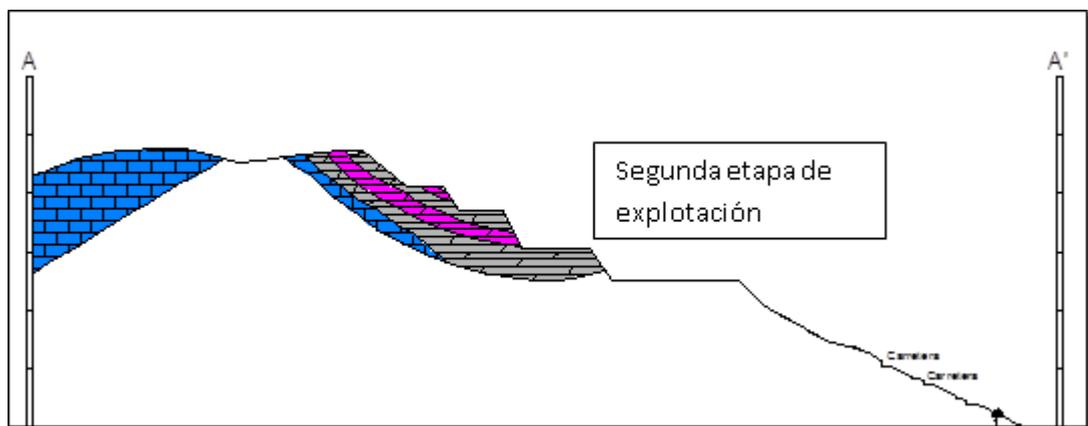


Figura N ° 23: Diseño de Segunda etapa de explotación de cantera de mármol San Rita 2010.

Fuente: Elaboración propia

5.11. Plan de minado:

Clasificación: Pequeño Productor Minero

Material a Explotar: Mármol de coloración gris y rosado.

Producción Programada: 10 TM/día

Reservas Mineras Disponible: 9'827,436 TM.

Método de Explotación: Cortes en bancadas definidas (cielo Abierto)

5.12. Factor de Seguridad del talud.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

F.S. = Resistencia al corte / Esfuerzo al cortante

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

F.S. = Momento resistente / Momento actuante

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico. La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “equilibrio límite” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del factor de seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos. (Jaime Suarez, 2002).

5.13. Cálculo del factor de seguridad del talud aplicando Slide 5.0

Características del modelo:

- ✓ Talud de material único del macizo rocoso, homogéneo.
- ✓ Ninguna presión de agua, seco.
- ✓ Búsqueda de superficie de desplazamiento circular (búsqueda de cuadrícula)

Primero ajustamos los límites de la región del dibujo, de manera que podamos ver al modelo siendo creado cuando ingresemos la geometría.

Select View – Limits (seleccione: vista – límites).

Se ingresa las coordenadas x – y mínimas y máximas en diálogo.

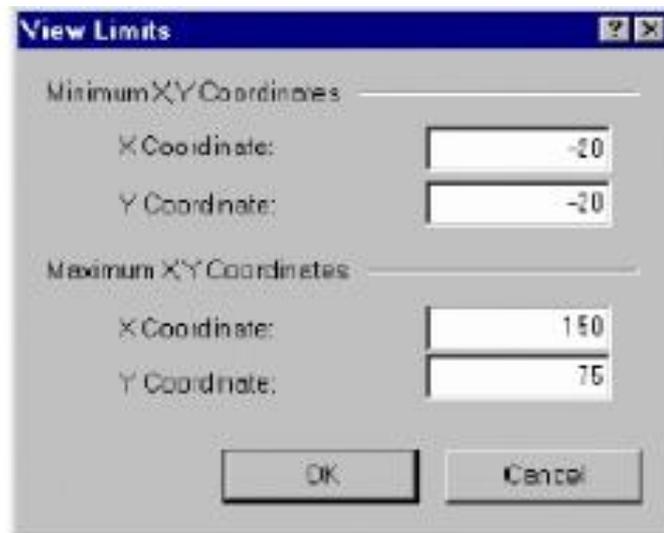


Figura N° 24: Diálogo View Limits(vea límites)

Fuente: Elaboración propia.

Se ingresa los contornos, el primer contorno que debe ser definido para cada modelo slide, es el contorno externo, el cual es una poli línea cerrada comprendiendo la región de suelo que se va a analizar.

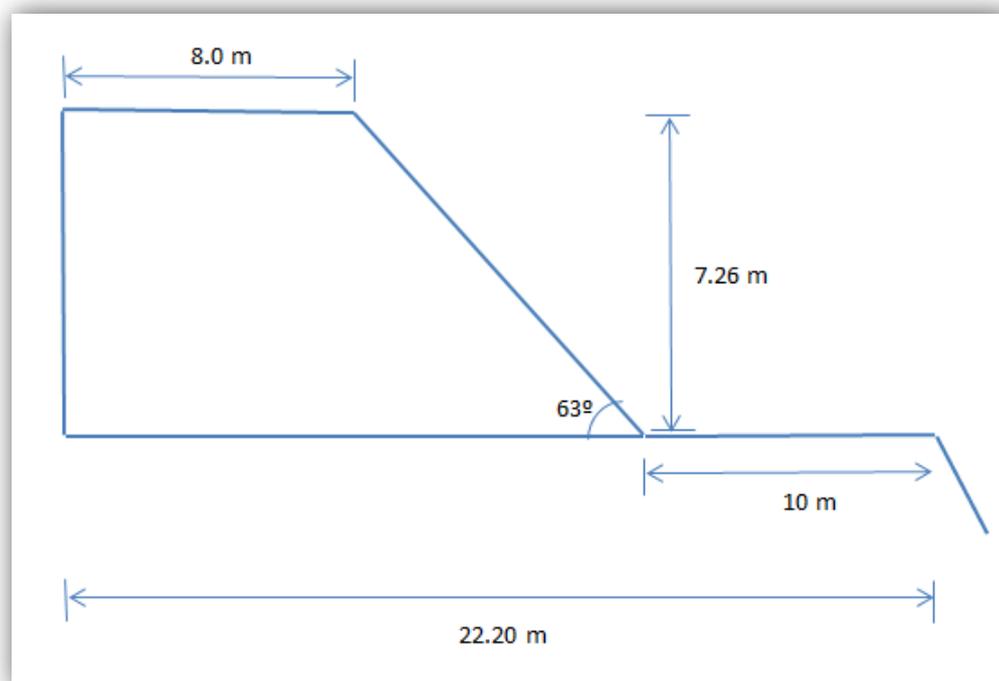


Figura N° 25: Límites ingresados al programa slide.

Fuente: Elaboración propia.

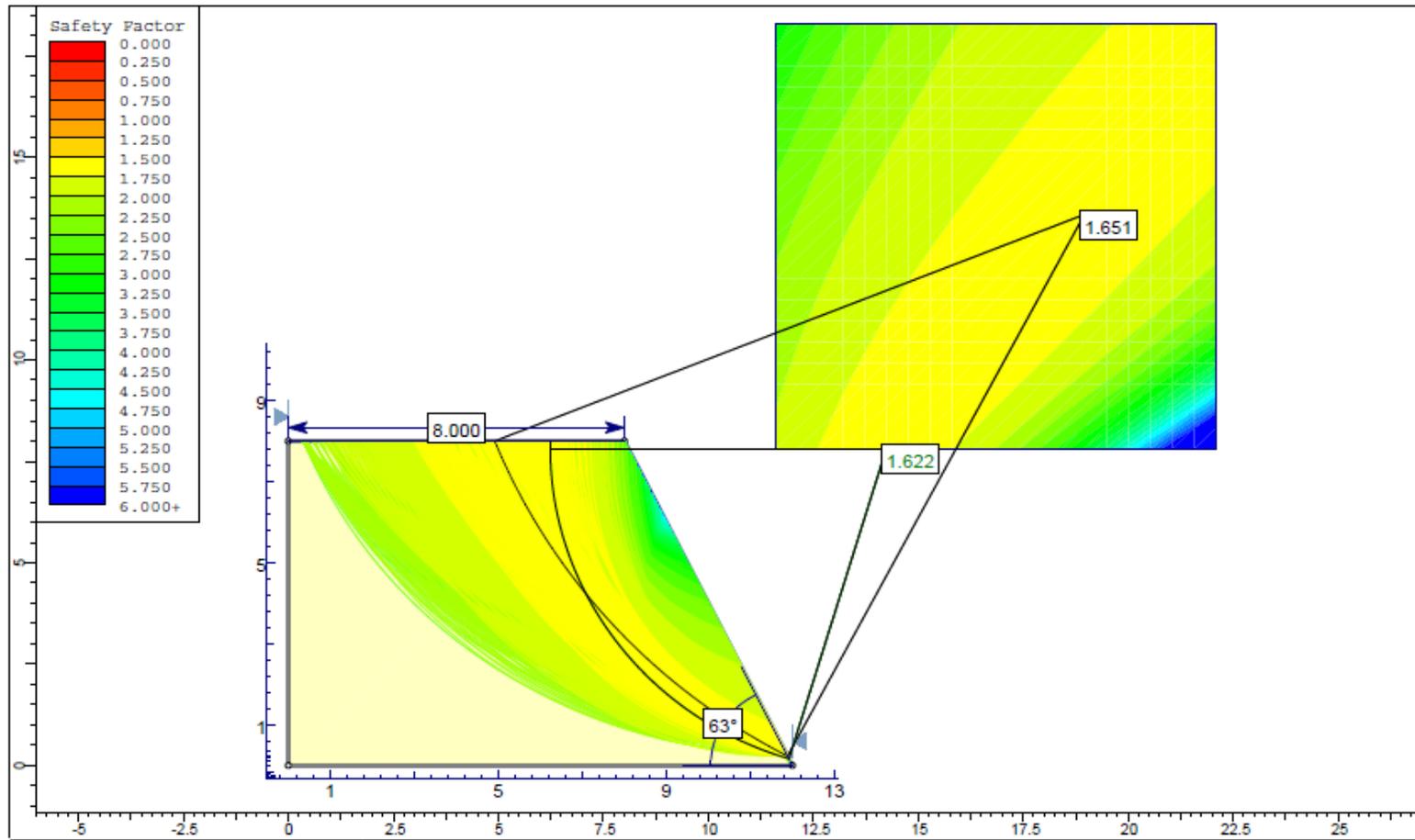


Figura N° 26: Cálculo del factor de seguridad del macizo rocoso aplicando Slide 5.0

Fuente: Elaboración Propia.

5.14. Recursos necesarios para la Explotación.

Los equipos necesarios para una producción aproximada de 4000 m³/mes, son los mismos equipos si aumentáramos la producción a 5000 m³/mes, con la salvedad que los materiales consumibles aumentarán (hilo diamantado, combustible, accesorios, aceites, grasas, etc.). Lo único que se ajustaría para el aumento de la producción, sería aumentar la velocidad de corte (en las poleas) en las máquinas de corte de bloques.

Tabla N°12: Equipos necesarios en la extracción del mármol.

Máquinas y accesorios	Cantidad	Observaciones
Cargador Frontal CAT 980 G	1	Capacidad del balde 5,4 m ³
Excavadora 320 C	1	Capacidad del cazo 1,2 m ³
Perforadoras manuales	3	
Perforadora Driller	2	Perforadora neumática de 3,7 pulgadas de diámetro perfora agujeros destinados a hacer pasar los hilos diamantados.
Grupo electrógeno 250 Kw	1	
Máquina hilo diamantado 50 a 60 HP	2	Máquina de hilo diamantado modelo Mar fil, equipada con motor eléctrico de 50 a 60 HP y volante capaz de obtener velocidades de 39 m/s.
Hilo diamantado	2000 m.	Compuestas de perlas diamantadas incrustadas en un cable portados de acero de alta resistencia. La máquina diamantina la hace girar con sus poleas.

Fuente: Elaboración propia.

5.15. Generación de la cara libre:

Para este fin utilizaremos la perforadora Spherical y la maquina cortadora MAR FIL.

Secuencia 1: El superbloque previamente es perforado por sus vértices a lo largo de todo el ángulo que forman las caras libres del bloque a extraer, todas las perforaciones horizontales y verticales se realizan con la perforadora Driller, El diámetro de los taladros es de 90 mm. Generalmente se busca trabajar con 3 o 2 caras libres como mínimo, una vez intercomunicado el superbloque con taladros a lo largo de sus vértices y ángulos diedros, se inicia el proceso de recorrido al hacer pasar por estos el cable de hilo diamantado para efectos del corte, siendo estos accionados por motores estacionarios (cortadoras eléctricas) alimentados con energía a través de un grupo electrógeno.

Secuencia 2: Luego de cortado el superbloque se procede a seccionarlo con dos máquinas de corte eléctricas para reducir sus dimensiones. Una vez cortado se instalan gatas neumáticas entre cada tajada de los nuevos bloques para realizar su inclinación vertical e ir inclinándolos poco a poco hasta caer a una cama de piedras preparada especialmente antes de su derrumbe

Secuencia 3: Se efectúan trabajos de corte secundario en cubos de dimensiones menores conforme lo requiera la planta de corte, este trabajo lo realiza la máquina perforadora Spherical, la cual perfora taladros de 2 pulgadas de diámetro, distanciados aprox. 10 cm entre si y alineados según el corte que se requiera, apoyado de una cuadrilla de 2 obreros que utilizan expansores metálicos (cuñas manuales) y martillos neumáticos que desprenderán los bloques comerciales de la rebanada (obtenida del superbloque). En algunos casos se usa material detonante para subdividir estos bloques o cemento expansivo (encarece la operación), normalmente se subdivide el banco por fracturamiento (siguiendo las venillas) ayudado de la fuerza física de los expansores.

Según las normas internacionales AFNOR, ASTM, UNI y UNE, las medidas de los bloques comerciales son:

BLOQUE DE TAMAÑO COMERCIAL

	<i>MÍNIMO</i>	<i>MÁXIMO</i>
<i>Largo(m)</i>	2,3	3,3
<i>Alto(m)</i>	0,9	1,5
<i>Ancho(m)</i>	1,1	1,6

5.16. Calculo del costo de operación (US\$/M3)

Las operaciones para la extracción de los bloques se pueden dividir en dos etapas. Esta secuencia operativa permite una mejor eficiencia de los trabajos de corte y encuadrado de los bloques, reduciendo también en lo posible la apertura de superficies de corte respecto al volumen producido.

Etapas de Operación:

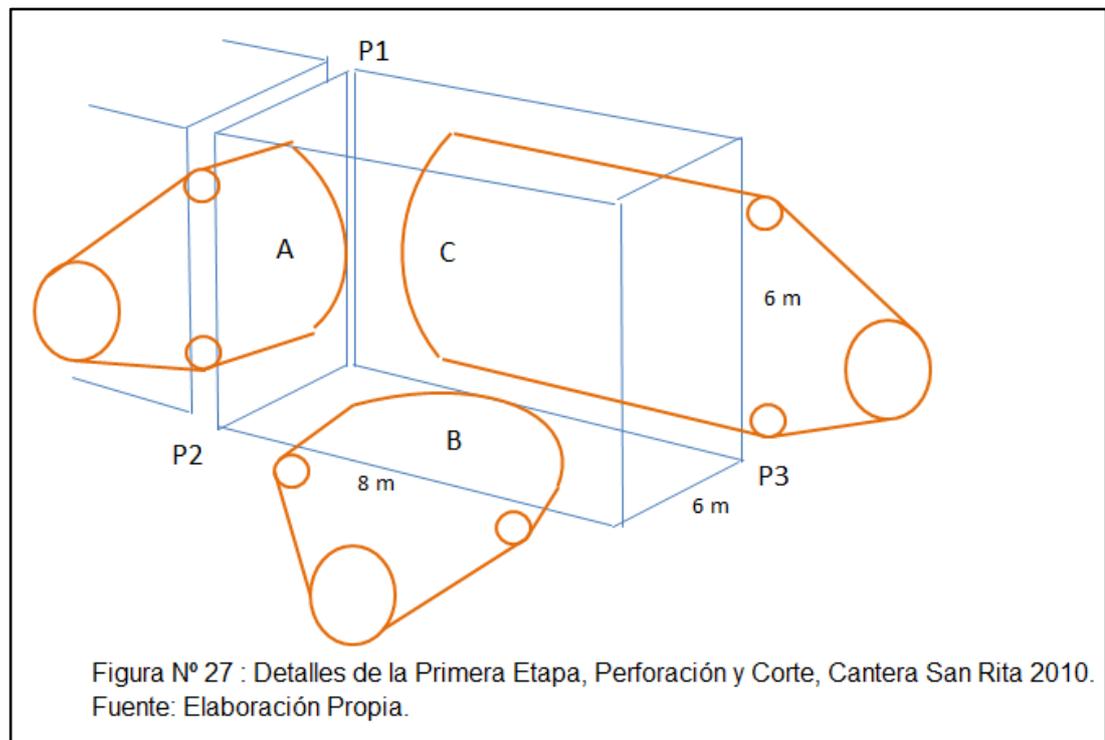
Primera Etapa: Corte de bloques del yacimiento (corte primario).

Segunda Etapa: División en porciones, Corte y encuadre de los bloques más pequeños.

5.16.1 Primera Etapa:

Detalles de los tipos de corte:

- A. Corte Vertical
- B. Corte Horizontal
- C. Corte Lateral



A. PERFORACIÓN PARA CORTE VERTICAL

Tabla N°13: Datos Perforación Primera Etapa

Tabla de perforación	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	3
Metros de perforación P1	m	6
Metros de perforación P2	m	6
Total P1 + P2	m	12
Velocidad de Perforación	cm/min	14
Tiempo de perforación	hr	1
Consumo de combustible	lt/hr	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°14: Corte Vertical Primera Etapa

Tabla de Corte	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	3
Superficie a cortar (A)	M2	36
Velocidad de corte	M2/hr	6
Tiempo de corte	hr	10.0
Tiempo muerto	hr	1.0
Tiempo total	hr	11.0
Consumo de agua	lt/min	14
Consumo de electricidad	kw	40

Fuente: Elaboración propia.

B. PERFORACIÓN PARA CORTE HORIZONTAL

Tabla N°15: Perforación Horizontal Primera Etapa

Tabla de perforación	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	3
Metros de perforación P3	m	8
Velocidad de Perforación	cm/min	14
Tiempo de perforación	hr	1.5
Consumo de combustible	lt/hr	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°16: Corte Horizontal Primera Etapa

Tabla de Corte	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	3
Superficie a cortar (B)	M2	48
Velocidad de corte	M2/hr	6
Tiempo de corte	hr	8
Tiempo muerto	hr	0.5
Tiempo total	hr	8.5
Consumo de agua	lt/min	14
Consumo de electricidad	kw	40

Fuente: Elaboración propia.

C. CORTE LATERAL

Tabla N°17: Corte Lateral Primera Etapa

Tabla de Corte	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	3
Superficie a cortar (C)	m2	48
Velocidad de corte	m2/hr	6
Tiempo de corte	hr	7
Tiempo muerto	hr	1
Tiempo total	hr	8
Consumo de agua	lt/min	28
Consumo de electricidad	kw	35

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN PRIMERA ETAPA:

Tabla N°18: Resumen de Perforación y Corte Primera Etapa

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad</i>
Mano de obra	hr	96
Área cortada con hilo	m ²	132
Operación del compresor	hr	3
Consumo de combustible	lt	56
Consumo de agua	m ³	92,4
Perforación para el hilo diamantado	m	20
Consumo de Electricidad	kw/h	900

Fuente: Elaboración propia.

5.16.2. Segunda Etapa:

Las medidas propuestas para los bloques comerciales tienen las siguientes dimensiones: 3.0 x 1.5 x 1.5 m

Empuje del bloque:

Para empujar el bloque cortado se utiliza una gata neumática y una excavadora dicho equipo también es usado para preparar la "cama" donde el bloque caerá:

Tabla N°19: Empuje de Bloques Segunda Etapa

Descripción	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	4
Tiempo de empuje	hr	2
Tiempo de uso de la excavadora	hr	1

Fuente: Elaboración propia

Perforación: Una vez volcado el bloque de mármol para subdividirlo se usa la máquina perforadora SPHERICAL.

Tabla N° 20: Datos Perforación Segunda Etapa

Tabla de perforación	Unidades	Cantidad
Mano de obra	Obreros	2
Distancia entre taladros	cm	10
Cantidad de taladros	und	200
Largo de cada taladro	m	2.0
Metros totales de taladros	m	400
Velocidad de perforación	cm/min	40
Tiempo de perforación	hr	20
Consumo de combustible	lt/hr	14

Fuente: Elaboración propia

RESUMEN SEGUNDA ETAPA:

Tabla N° 21: Resumen Segunda Etapa

Descripción	Unidades	Cantidad
Mano de obra	hr	80
Ancho de cada banco	m	2
Cantidad de caras a cortar	und	4
Área total a cortar	m ²	144
Consumo de electricidad	kwh	800
Consumo de combustible Diesel	lt	280
Consumo de agua	m ³	40

Fuente: Elaboración propia

El detalle del costo de operación es el siguiente:

Tabla N° 22: Resumen Costos Segunda Etapa

Descripción	Unidades	Cantidad
Mano de obra (800 US\$/mes)	US\$/hr.	2,22
Combustible diésel (11.50 US\$/gal.)	US\$/lit.	3,04
Consumo eléctrico del generador	US\$/kwh	0,30
Hilo diamantado	US\$/m	40
Ratio del hilo diamantado	m ² /m	80
Costo de corte de hilo diamantado	US\$/m ²	1,06
Costo de perforación para hilo	US\$/m	0,40
Costo de hora máquina de la excavadora	US\$/hr	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Generador Delco Trifásico de 115 kw.

- Consumo diesel de 32 lt/hr.= 28.58 US\$/hr.
- En el Perú: 1 kw/hora cuesta: 0,079 US\$
- 1 lt combustible diesel = 3,04 US\$

Tabla N° 23: Costo de Operación Concesión Minera Canteras San Rita 2010.

Descripción	Etapas	Unidad	Cantidad	US\$
Mano de Obra	Etapa 1	hr	96	213,12
	Etapa 2	hr	384	852,48
	Total			1065,60
Electricidad	Etapa 1	Kw/hr	900	71,1
	Etapa 2	Kw/hr	800	63,2
	Total			134,3
Consumo Combustible	Etapa 1	lt	56	170,24
	Etapa 2	lt	280	851,20
	Total			1021,44
Perforación para pasar el hilo diamantado (DRILLER)	Etapa 1	m	20	8
	Etapa 2	m		
	Total			8,00
Hilo diamantado	Etapa 1	m ²	132	139,92
	Etapa 2	m ²	144	152,64
	Total			292,56
Excavadora	Etapa 1	hr	0	
	Etapa 2	hr	2	200
				200,00
Transporte de bloques		m ³	10	2058,82
TOTAL				4780,72

Fuente: Elaboración propia.

En resumen el costo de operación está relacionado directamente a la recuperación de cada bloque. El costo de operación con recuperación de 60 % es el siguiente:

Tabla N° 24: Costos totales de Operación en US\$.

COSTOS TOTALES (US\$)	4780,72
Bloque Inicial considerado (m3)	288
Recuperación (%)	0,6
m3 extraídos por bloque	172,8
Costo de Operación (US\$/m3)	27,67

Fuente: Elaboración propia

5.17. Dimensionado de la cantera de mármol

Inicialmente el periodo de apertura de la cantera será de un año para preparar las plataformas donde se posicionaran las maquinas eléctricas de corte, periodo en cual se mejoraran los accesos. El volumen de producción que se adjunta es el recomendado:

Tabla N°25: Dimensionado de la Cantera de Mármol.

Tipo	BLOQUES									
Und	AÑOS									
M3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		500	700	2900	3100	3200	3300	3500	3500	3600

Fuente: Elaboración propia

5.18. Proyección Financiera:

Consideramos el costo de producción del proyecto Cantera San Rita 2010 en 27,67 US\$/m³.

Estimado de inversión:

Tabla N° 26: Estimación de la inversión.

Ítem	Rubro	Monto US\$
	Inversión Tangible:	
1	Equipos	900 000.00
2	Instalación de equipos	100 000.00
3	Servicios eléctricos instalados	110 000.00
4	Campamento(incluye servicios)	90 000.00
5	Terreno, mejoras en el terreno	150 000.00
	Total Tangible	1 350 000.00
	Inversión Intangible:	
1	Ingeniería y supervisión	150 000.00
2	Costos de contratistas	160 000.00
3	Contingencias	250 000.00
	Total Intangible	560 000.00
	Capital de Trabajo:	
1	Caja y bancos	70 000.00
	Total capital de trabajo	70 000.00
	Inversión Total	1 980 000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27: Flujo de Caja proyectado(US\$). Concesión Minera Cantera San Rita 2010.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Saldo Inicial	1.980.000	178.897	1.567.785	1.345.780	2.345.700	3.782.400	4.654.400	5.567.800	6.980.999	8.123.687	9.765.600
Cobranza		987.578	1.300.789	7.987.800	7.765.900	7.876.500	7.876.300	7.990.880	7.900.000	7.900.800	7.880.500
Total de Ingresos	1.980.000	1.166.475	2.868.574	9.333.580	10.111.600	11.658.900	12.530.700	13.558.680	14.880.999	16.024.487	17.646.100
Egresos											
Mano de obra directa		-20.285	-20.285	-16.800	-16.800	-16.800	-16.800	-16.800	-16.800	-16.800	-16.800
Mano de obra indirecta		-9.800	-9.800	-15.700	-15.700	-15.700	-15.700	-15.700	-15.700	-15.700	-15.700
Servicios Auxiliares		-30.500	-30.500	-80.900	-80.900	-80.900	-80.900	-80.900	-80.900	-80.900	-80.900
Insumos		-110.765	-110.765	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700	-1.110.700
Mantenimiento y repuestos		-15.800	-15.800	-18.500	-18.500	-18.500	-18.500	-18.500	-18.500	-18.500	-18.500
Gastos administrativos		-50.890	-50.890	-120.480	-120.480	-120.480	-120.480	-120.480	-120.480	-120.480	-120.480
Total egresos de efectivo	0	-238.040	-238.040	-1.363.080							
Saldo en caja	1.980.000	928.435	2.630.534	7.970.500	8.748.520	10.295.820	11.167.620	12.195.600	13.517.919	14.661.407	16.283.020

Fuente: Elaboración propia.

Inversión Inicial: 1.980.000
Tasa de Interés: 10%(0,10)
VAN: 50758619,9

5.19. Cálculo del VAN, Relación Beneficio/Costo:

Tabla N° 28: Cálculo del VAN, Beneficio/Costo.

Descripción	Valores
Valor Actual Neto(VAN) US\$	10%(0,10)
Relación Beneficio/costo	1,09

Fuente: Elaboración Propia

5.20. Estudio de costos de transporte

El estudio de costos del transporte en esta tesis se considera una variable relevante ya que constituye uno de los factores que determina la factibilidad de explotación de mármol, debido a la distancia, tipo de carretera, la variación del precio de combustible y la distancia total hasta el lugar de transformación, todos estos gastos de transporte podrían hacer que el yacimiento no fuera rentable. Por esta razón, muchos yacimientos se encuentran cerca de las ciudades y centros de transformación. Esto adquiere mayor validez dada la gran significancia que tiene el costo del combustible en el precio del mineral. Es por esta Razón que este análisis merece un estudio por separado

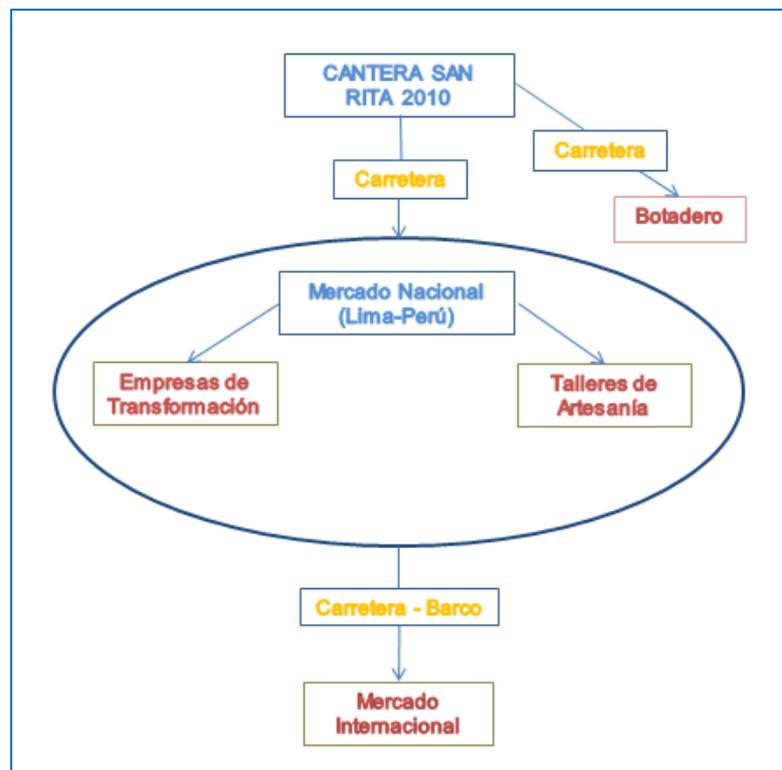


Figura N ° 28: Esquema del Transporte de Mármol Canteras San Rita 2010.

Fuente: Elaboración propia

5.20.1. Cálculo de distancias:

Las distancias a recorrer y el transporte constituye un factor de vital importancia para el funcionamiento de las distintas empresas del rubro. Esto debido a que el costo de transporte es de mayor proporción a los de explotación.

En la siguiente sección se determinaron las distancias desde la Cantera San Rita 2010, hasta la ciudad de Lima, lugar de comercialización de los bloques de mármol.

Tabla N° 29: Distancias recorridas para el transporte de mármol.

Desde	Hasta	Km	Tiempo/Hrs	Tipo de Vía	Estado Vía
Cantera San Rita	Jorge Chávez	1	5 min.	Trocha	Buena
Jorge Chávez	José Gálvez	6	10 min.	Afirmada	Buena
José Gálvez	Celendín	9.0	20 min.	Asfaltada	Buena
Celendín	Cajamarca	107	2 hrs.	Asfaltada	Buena
Cajamarca	Lima	865	14 hrs.	Asfaltada	Buena
Total		988	16.35 hrs.		

Fuente: Elaboración propia.

5.20.2. Costos de Transporte

Para el transporte de mármol desde la Cantera San Rita 2010 hasta los lugares de transformación del mármol ubicado en la ciudad de Lima se recomienda utilizar un Tracto Camión con carga útil de 30 Tn. El costo económico por kilómetro se analizará por separado los costos fijos (CFx) de los variables (CVx). Las especificaciones del tracto camión se detallan a continuación.

5.20.3. Especificaciones del tracto camión

Se recomienda utilizar un tracto camión para realizar las labores de transporte de los bloques de mármol y que cuenten con las siguientes especificaciones mínimas:

Tracto Camión:

- ✓ Marca: SCANIA
- ✓ Modelo: R460 AGX4
- ✓ Ruedas: 10
- ✓ Carga Útil: 16 936 kg.
- ✓ Motor: SCANIA DC 13
- ✓ Potencia máxima: 440 HP (324 Kw) a 1900 rpm
- ✓ Torque máximo: 2300 Nm entre 1000 y 1300 rpm
- ✓ Ciclo diesel, 4 tiempos, 6 cilindros en línea, tapas de cilindros individuales, 4 válvulas por cilindro.
- ✓ Unidades individuales de inyectores bomba.
- ✓ Sistema de control electrónico. Turbo sobrealimentado con post enfriado aire – aire (Intercooler).
- ✓ Sistema de reducción catalítica Scania SCR. Cumple normas de emisión Euro 5.

Plataforma:

- ✓ Longitud: 13 m.
- ✓ Altura: 3.50 m.
- ✓ Ancho: 2.60 m.
- ✓ Peso Bruto: 40 000 kg.
- ✓ Peso Neto: 6 500 kg.
- ✓ Carga Útil: 33 500 kg.
- ✓ Ejes: 3
- ✓ Ruedas: 12

5.20.4. Parámetros de Transporte

- Capacidad del Vehículo: Corresponde a la capacidad del camión por el rendimiento.
- Factor de Corrección: Existen distintas variables que pueden afectar el rendimiento como también el aprovechamiento de carga del camión para evitar una estimación errónea en los cálculos utilizamos los siguientes factores:

5.20.4.1. Factores de Longitud de viaje (FI)

Tabla N° 30: Factores de longitud de viaje

<i>Longitud de Viajes</i>	<i>Factor para Camión 20 a 30 Ton</i>
100 – 300 km.	1,33
300 – 600 km.	1,2
600 – 1000 km.	1
> 1000 km.	0,92

Fuente: Álvaro Maira Durán

5.20.4.2. Factor de Corrección de estructura vial

- Se asigna el factor pavimento si es que el camino principal esta pavimentado o asfaltado.
- Se asigna el factor ripio si es que existe un camino secundario con ripio.

Tabla N° 31: Factor de corrección de estructura vial

<i>Coefficiente</i>	<i>Fijo(Kf)</i>	<i>Variable(Kv)</i>
<i>Pavimento</i>	1	1,3
<i>Ripio</i>	1,2	1

Fuente: Álvaro Maira Durán

5.20.4.3. Factor de tasa de utilización (ftu)

Grado de aprovechamiento de la capacidad total de carga del vehículo en un determinado viaje el cual depende de carga de transporte, desequilibrio en flujo de transporte, fraccionamiento de la carga.

Tabla N° 32: Factor tasa de utilización

<i>Distancia</i>	<i>Tracto Camión de 30 ton.</i>
<i>0 - 100 Km</i>	
<i>100 - 300 km.</i>	<i>0,5</i>
<i>300 - 600 km.</i>	<i>0,65</i>
<i>600 - 1000 km.</i>	<i>0,75</i>
<i>> 1000 km.</i>	<i>0,8</i>

Fuente: Álvaro Maira Durán

Tabla N° 33: Capacidad Anual del Tracto Camión.

<i>Capacidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
<i>Velocidad promedio Tracto camión</i>	<i>Km/hr</i>	<i>50</i>
<i>Capacidad Tolva</i>	<i>Ton.</i>	<i>30</i>
<i>Distancia por recorrer</i>	<i>Km.</i>	<i>988</i>
<i>Tiempo de recorrido</i>	<i>Hrs.</i>	<i>16,35</i>
<i>Viajes por semana</i>	<i>Unid.</i>	<i>1</i>
<i>Carga camión Día</i>	<i>Km./Día</i>	<i>141</i>
<i>Carga Camión Mes</i>	<i>Km./Mes</i>	<i>4 230</i>
<i>Carga Camión Año</i>	<i>Km./Año</i>	<i>50 760</i>
<i>Cap. Total Tracto Camión</i>	<i>Ton km./año</i>	<i>1 421 280</i>

Fuente: Elaboración Propia

5.20.5. Costo de Combustible (Cva)

Tabla N° 34: Costo del combustible

Costo	Unidad	Cantidad
Costo de 1 Gal. de Petróleo	\$	3.22
Rendimiento del camión	Km/gal.	9
Capacidad de tolva	Ton.	30
Consumo total de combustible en 1 viaje	Gal.	109,7
Costo total de combustible en 1 viaje	\$	353,48
Costo de combustible por Tn, de mineral	\$/ton.	11,78

Fuente: Elaboración Propia.

5.20.6. Gastos Varios

Tabla N° 35: Gastos varios

Trayecto	Costo (\$)
Peaje Trayecto Cajamarca - Lima	220.58
Viáticos	29.41

Fuente: Elaboración Propia

5.20.7. Costo Lubricante (Cvb):

Se considera el costo de lubricante como un 10% del costo total del combustible.

5.20.8. Costo de neumático (CVn):

Tabla N° 36: Costo de Neumáticos

Costos	Unidad	Cantidad
Nº Neumáticos Tractor	Unid.	10
Nº Neumáticos Plataforma	Unid.	12
Valor Neumático	\$	212
Rend. Neumático	Km.	80 000
Cap. Tolva	Ton.	30
Costo 1 Neumático por viaje	\$	2,62
Costo 1 neumático por ton.	\$/ton.km	0,087

Fuente: Elaboración Propia

5.20.9. Costo Reparación y Mantenimiento (CVrm)

El mantenimiento se realiza cada 20 000 km. Considerando la vida útil del motor en 28 000 horas de trabajo, sin reparaciones generales.

Tabla N° 37: Costo de reparación y mantenimiento

Costos	Unidad	Cantidad
Reparación y Mantenimiento	Km.	15 000
Reparación y Mantenimiento	Hrs/Máq.	250
Nº de mantenimientos durante la vida útil del motor	Unid.	112
Costo de 1 mantenimiento	\$	470,58
Costo promedio del mantenimiento	\$	52 704.96
Capacidad de Tolva	Ton.	30
Costo Rep. Mantenimiento	\$/ton.km.	0,117

Fuente: Elaboración Propia

5.20.10. Costo Fijo del camión (CFC):

La depreciación fue calculado considerando el precio del tractor más la plataforma en \$ 130 000 con vida útil de 5 años.

Tabla N° 38: Costo Fijo del Camión

Costos	Unidad	Cantidad
<i>Depreciación</i>	<i>\$/mes</i>	<i>26 000</i>
<i>Sueldo Chofer en 5 años</i>	<i>\$</i>	<i>44 117,4</i>
<i>Capacidad de Tolva</i>	<i>Ton.</i>	<i>30</i>
<i>Distancia por recorrer</i>	<i>Km.</i>	<i>988</i>
<i>Cap. Camión Anual</i>	<i>Ton.km/año</i>	<i>1 421 280</i>
<i>Costo Fijo del camión</i>	<i>\$/ton.km.</i>	<i>1,49</i>

Fuente: Elaboración Propia.

5.20.11. Costos Totales

Tabla N° 39: Costos Totales

Costos	Unidad	Cantidad
<i>CFC</i>	<i>\$/ton.km.</i>	1,49
<i>Cva</i>	<i>\$/ton.km</i>	11,78
<i>Cvb</i>	<i>\$/ton.km</i>	1,18
<i>CVn</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,087
<i>CVrm</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,117
<i>Fl</i>	<i>Factor</i>	1
<i>Kf</i>	<i>Factor</i>	1
<i>Ftu</i>	<i>Factor</i>	0,75
<i>Kv</i>	<i>Factor</i>	1,3
<i>Gastos varios</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,75
<i>Costo Total</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,24

Fuente: Elaboración Propia

Fórmula Costo Total:

$$CT = ((CFC * Fl * kf) / ftu) + ((Cva * kv) / ftu) + (((Cvb + CVn + CVrm) * kv) / ftu)$$

5.21. Evaluación del Impacto Ambiental.

5.21.1. Identificación de los componentes ambientales:

En esta etapa se relaciona las actividades del proyecto con cada componente ambiental.

La identificación y evaluación de impactos ambientales es una herramienta que permite predecir los potenciales impactos, tanto positivos y negativos, sobre los factores ambientales que conforman el área de influencia sobre la que actuará el proyecto, obteniéndose resultados que orientan estructurar planes y programas de manejo ambiental que optimicen, prevengan y mitiguen las distintas situaciones.

Previo a la valoración cuantitativa de los impactos, se realizó una valoración cualitativa de éstos, para identificar los potenciales impactos ambientales en el área de influencia del proyecto.

Se identificaron los impactos más relevantes y significativos con el objetivo de detectar situaciones de causa efecto que dan origen a impactos ambientales.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Resultados del RQD (Índice de Calidad de la Roca)

Este valor se encuentra en el rango de 75 - 90, por lo tanto la calidad de la roca de acuerdo al RQD es una roca de buena a excelente.

Tabla N° 40: Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

Fuente: Elaboración Propia.

6.2. Resultados del RMR (Índice de Macizo Rocoso)

Este valor se encuentra en el rango de 41 - 60, por lo tanto la calidad de la roca de acuerdo al RMR es una roca regular.

Tabla N° 41: Determinación del RMR.

Clase	Calidad de Roca	RMR
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Regular	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy Mala	0 – 20

Fuente: Elaboración Propia.

6.3. Resultados del Índice Q de Barton (Rock Mass Quality)

Se hace una valoración con un índice Q, a partir de valores de diferentes parámetros:

Tabla N° 42: Determinación del Índice Q de Barton.

Q (rock mass quality)	Valoración
0.001 – 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Extremadamente mala
0.1 – 1.0	Muy mala
1.0 – 4	Mala
4 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy Buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 – 1000	Excepcionalmente buena

Fuente: Elaboración Propia.

6.4. Total de reservas mineras disponibles:

Tabla N° 43: Cálculo cantidad de mármol gris aprovechable.

Mármol	Superficie (m ²)	Densidad (TM/m ³)	Tonelaje (TM)
Gris	110 200	2,7	8 873 985

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo el mármol de color rosado es el de mejor calidad y de mejor precio por lo tanto a continuación se muestra un cálculo del contenido del recurso de mármol rosado utilizando el mismo tipo de estimación del recurso.

Tabla N° 44: Cálculo cantidad de mármol rosado aprovechable.

Mármol	Superficie (m²)	Densidad (TM/m³)	Tonelaje (TM)
<i>Rosado Bloque 1</i>	7 130	2,8	130 919
<i>Rosado Bloque 2</i>	3 215	2,8	70 917
			200 836

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene un total de 200 836 Toneladas Métricas como recurso de mármol rosado contenidos en 2 cuerpos principales.

Tabla N° 45: Total reserva disponible.

Tipo de Mármol	Tonelaje™	M3
<i>Mármol Gris</i>	8 873 985	3 169 280
<i>Mármol Rosado</i>	200 836	71 727
<i>Total</i>	9 074 821	3 241 007

Fuente: Elaboración propia.

El total de reservas mineras disponibles es: 9 074 821 TM.

6.5. Propuesta del Diseño de Explotación.

Tabla N° 46: Propuesta del Diseño de Explotación.

Diseño de Explotación Cantera de Mármol San Rita 2010	
Método de Explotación	Cortes en bancos definidos(Tajo Abierto)
Altura de Bancos de Explotación	5 a 8 m.
Talud de Banco.	63° a 67°
Avance de los Bancos de Explotación.	En Forma Descendente.
Factor de Seguridad Calculado.	1.65

Fuente: Elaboración propia.

6.6. Costo total por transporte de mármol.

Tabla N° 47: Costos Totales

Costos	Unidad	Cantidad
<i>CFC</i>	<i>\$/ton.km.</i>	1,49
<i>Cva</i>	<i>\$/ton.km</i>	11,78
<i>Cvb</i>	<i>\$/ton.km</i>	1,18
<i>CVn</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,087
<i>CVrm</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,117
<i>Fl</i>	<i>Factor</i>	1
<i>Kf</i>	<i>Factor</i>	1
<i>Ftu</i>	<i>Factor</i>	0,75
<i>Kv</i>	<i>Factor</i>	1,3
<i>Gastos varios</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,75
<i>Costo Total</i>	<i>\$/ton.km</i>	0,248

Fuente: Elaboración Propia

El costo total por el transporte de los bloques de mármol desde la Cantera San Rita 2010 hasta la ciudad de Lima, en Dólares por tonelada por kilómetro es: 0,248

6.7. Identificación de los Componentes Ambientales del Proyecto.

Tabla N° 48: Identificación de los componentes ambientales del proyecto.

COMPONENTE AMBIENTAL		FACTOR AMBIENTAL	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES
FÍSICO	AIRE	Calidad del aire	Presencia de gases tóxicos, vapores.
		Ruido	Incremento de los niveles de presión sonora durante la operación.
	SUELO	Calidad del suelo	Afectación al componente suelo por generación de residuos sólidos peligrosos.
			Afectación al componente suelo por la generación de residuos líquidos peligrosos.
AGUA	Calidad de agua	Alteración de la calidad del agua por el posible riesgo de derrames de productos químicos.	
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	Salud y seguridad	Salud ocupacional y riesgos laborales ligados al personal en la operación.
		Calidad de vida	Generación de empleo.
	ECONÓMICO	Servicios	Utilización de servicio eléctrico, agua potable, manejo de desechos, transporte.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Al realizar el estudio geomecánico del proyecto se determinó un RQD en el rango de 75 a 90 lo cual se clasifica como una roca de buena a excelente, de igual manera se calculó el RMR clasificando al macizo rocoso como regular y al determinar las características geomecánicas de las diaclasas se clasificó como una roca de buena calidad.

La tabla nº 45 nos indica el total de toneladas métricas de mármol gris y rosado, el mármol gris es de mayor cantidad pero el mármol rosado contenido en 2 cuerpos geológicos es de mayor calidad y por lo tanto es el de mejor precio.

La tabla nº 46 nos muestra la propuesta del diseño de explotación, en la cual consideramos una explotación en cortes definidos a Tajo Abierto con una altura de banco de explotación como máximo de 8 m. calculado teniendo en cuenta la capacidad del cazo de la excavadora que se utilizará para las labores de desbroce de material. El ángulo de nuestro talud será de 63° dependiendo sobre todo de la velocidad de explotación de la cantera. El factor de seguridad calculado aplicando slide 5.0 es 1.65, considerando un modelo de macizo rocoso homogéneo sin ninguna presión de agua, seco es decir no se consideró el nivel freático.

En la tabla nº 47, se aprecia el costo total por el transporte de mármol desde la cantera San Rita hasta la ciudad de Lima, el resultado obtenido nos indica un costo muy alto esto implicaría la contratación de una empresa de transporte de carga para aliviar estos costos altos.

Se identificaron los componentes ambientales más relevantes y significativos, se ha relacionado con las actividades del proyecto con el objetivo de detectar situaciones de causa efecto que dan origen a impactos ambientales.

CONCLUSIONES

Se concluye lo siguiente:

1. El estudio de factibilidad técnica de explotación de mármol constituye un factor clave para determinar la rentabilidad del proyecto en estudio, esto se evidencia claramente en los resultados del recurso estimado, propuesta del diseño de explotación y el cálculo de costos de transporte de mineral.
2. La determinación de las características geomecánicas del macizo rocoso en la Cantera San Rita 2010, establecen una roca competente y buena que asegura en definitiva la rentabilidad del proyecto.
3. Se tiene un total de 3 241 007 m³ de mármol, de las cuales 71 727 m³ corresponde a mármol rosado, con un tiempo de vida de 85 años explotando en promedio 3500 m³/mes.
4. El diseño de explotación propuesto para la Cantera de mármol es a tajo abierto con una altura de banco de 8 m. El ángulo de talud es de 63° con un factor de seguridad de 1.65 lo que demuestra una explotación segura y libre de accidentabilidad.
5. El costo total por el transporte de los bloques de mármol desde la Cantera San Rita 2010 hasta la ciudad de Lima es 0,248 US\$/ton.km. Los costos de transporte de mineral se considera una variable relevante que determina la factibilidad de explotación de mármol, debido a la distancia, tipo de carretera y la variación del precio de combustible.
6. Se ha identificado los componentes ambientales, ubicación del recurso y accesibilidad, utilizado imágenes de satélite Quickbird del área de estudio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

1. Realizar un diagnóstico de la situación social con el poblado más cercano como es el distrito de Jorge Chávez.
2. Realizar los estudios ambientales necesarios para realizar los trabajos de explotación.
3. Realizar estudios de reservas probadas.

REFERENCIAS

Aguirre, J., Prieto, M., Escamilla, J. (1997). *Contabilidad de costos, gestión y control presupuestario, control de gestión*. España: Cultural de Ediciones.

Adex. (2014). Envíos de mármol peruano caen el 13% entre Enero y Mayo del 2014. [En línea] Recuperado el 18 de diciembre de 2016.

De: <http://elcomercio.pe/economia/peru/adex-envios-marmol-peruano-caen-13-entre-enero-y-mayo-noticia-1746192>

Garnica, R.R. (2015). *Propuesta para cambiar el sistema de minado de una cantera de mármol en el municipio de Santiago Acatlán, Puebla* (Tesis de Magister). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Gitman, L (1997). *Fundamentos de administración financiera*. México: Editorial OUP Harla.

Gestión y Asesoría en Ingeniería Ambiental, S.C. (2009). *Manifestación de impacto ambiental en su modalidad particular para la explotación de mármol travertino en una mina a cielo abierto en la localidad conocida como Cerro Prieto en el municipio de San Antonio Nanahuatipam Oaxaca, México*. [En línea] Recuperado El 10 de Mayo del 2016, de:

<https://todosobremarmol.wordpress.com/2013/09/08/el-increible-proceso-de-extraccion-del-marmol-%C2%B7-the-incredible-marble-extraction-process/>

Luna, R (1999). *Manual para determinar la factibilidad económica de proyectos*. [En línea] Recuperado El 18 de diciembre del 2016, de:

<http://preval.org/documentos/00471.pdf>.

Herrera, J (2006). Métodos de minería a cielo abierto. [En línea] Recuperado el 08 de julio de 2016. De

http://oa.upm.es/10675/1/20111122_METODOS_MINERIA_A_CIELO_ABIERTO.pdf

Pastor, V. (2013, 8 de septiembre). *El increíble proceso de extracción del mármol*. En Blog: Todo sobre mármol. Recuperada el 21 de Mayo del 2016, desde <https://todosobremarmol.wordpress.com/2013/09/08/el-increible-proceso-de-extraccion-del-marmol-%C2%B7-the-incredible-marble-extraction-process/>

Ramos, E.R. (2005). *Estudio de factibilidad del yacimiento aurífero Abigail-Estefanía* (Tesis de Magister). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Rodríguez, M. (2013, 8 de septiembre). *Canteras de mármol y métodos de explotación*. En Blog: Amica ambiente y calidad. Recuperada el 21 de Mayo del 2016, desde <http://www.amyca.com/canteras-de-marmol-y-metodos-de-explotacion/>

Suarez, L.M., Rodríguez, A., Calleja, L., y Ruiz, V.G. (1998). *El corte de rocas ornamentales con discos diamantados*. En revista *Española de Materiales de Construcción*, 48(250) pp. 53-59.

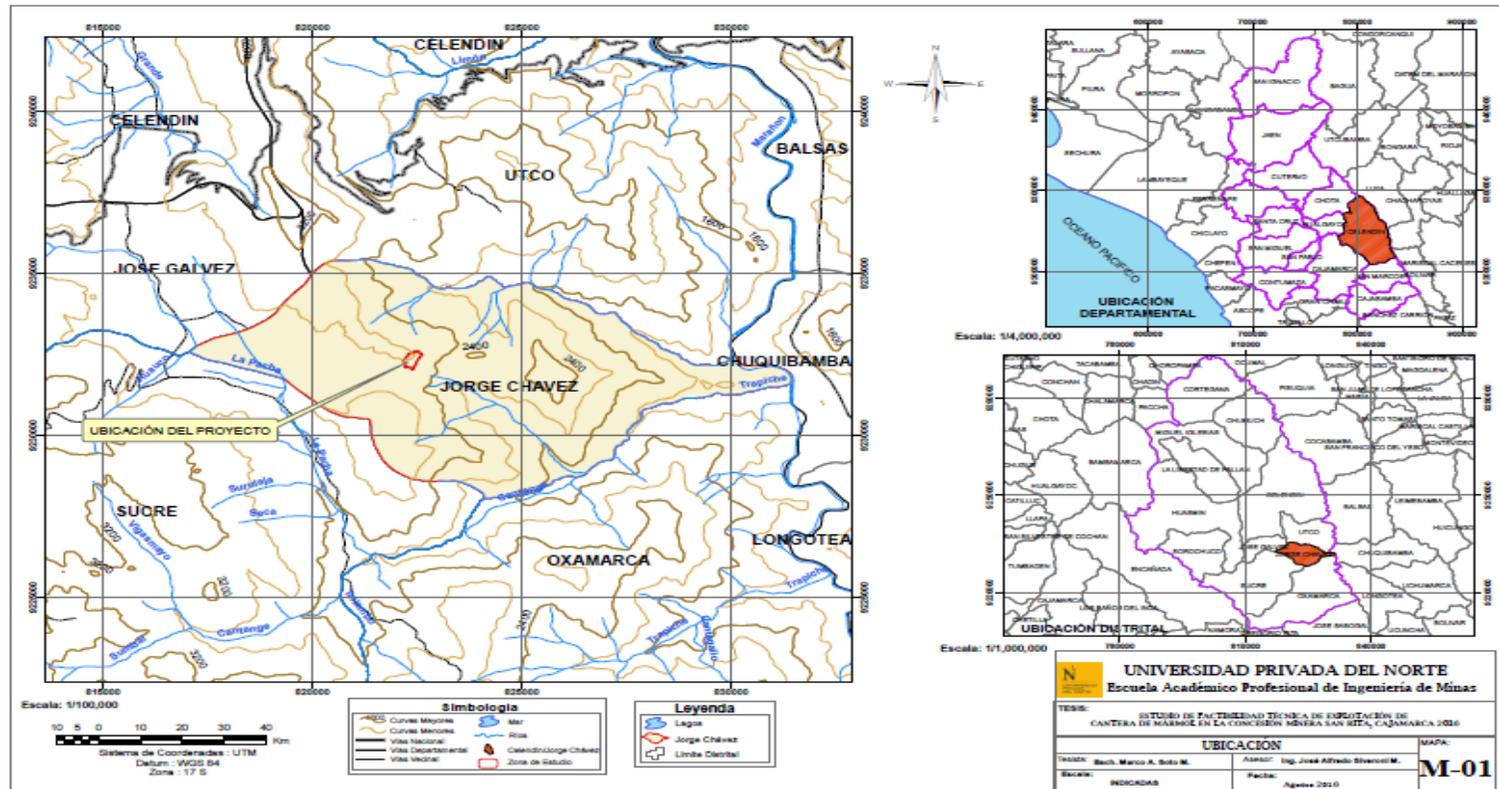
Trigueros, E.T. (2006). *Parámetros de viabilidad para la explotación de mármol y calizas marmóreas mediante métodos de explotación subterráneos* (Tesis de Magister). Universidad de Vigo, Vigo, España.

Torres, J.B. (2006). *Estudio de impacto ambiental por la explotación de mármol en la zona de San José de Minas y su plan de manejo ambiental*. (Tesis de Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Zegarra, A.N. (2015). *Estudio de factibilidad de un proyecto de explotación y transformación de mármol*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

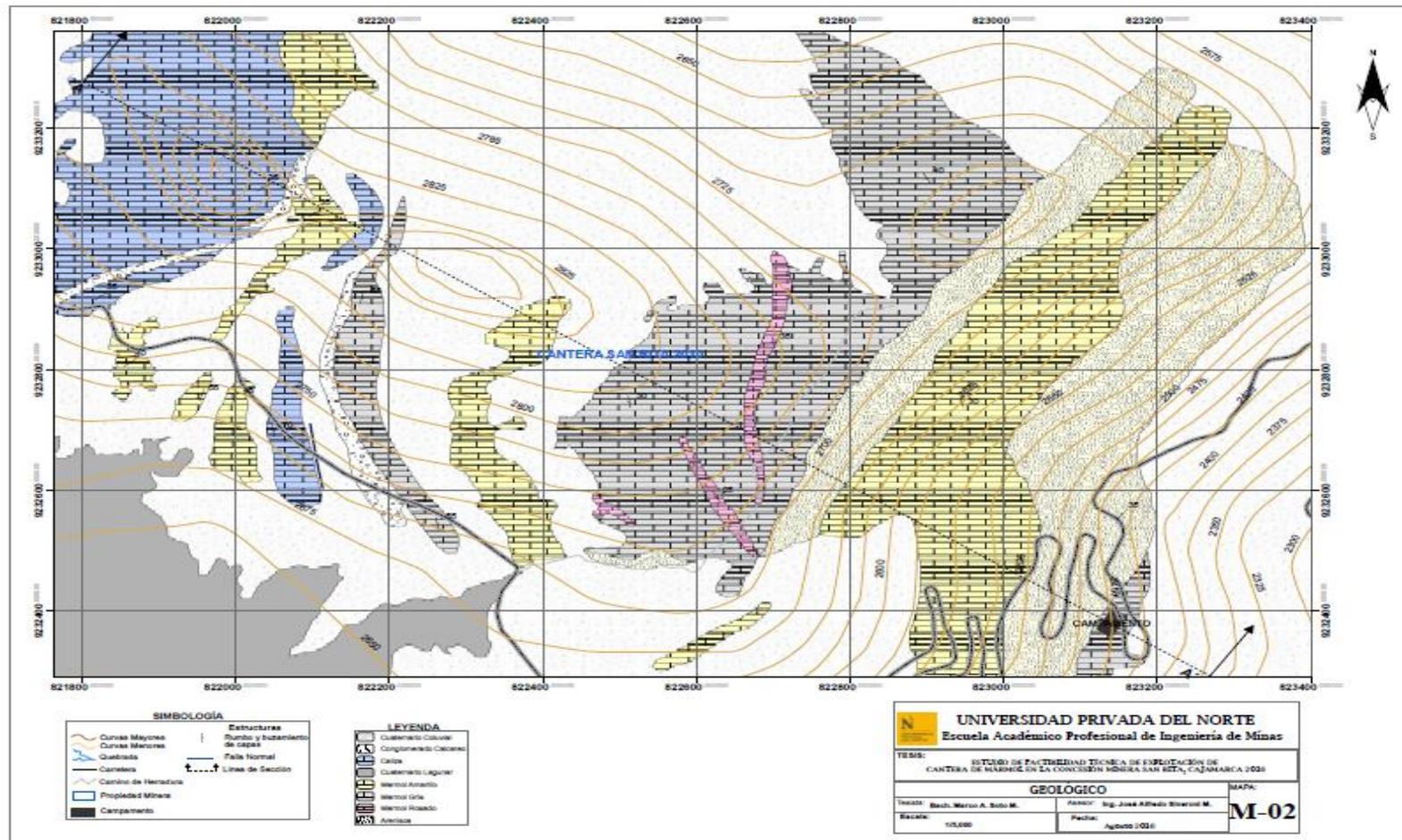
ANEXOS

ANEXO N° 1. Mapa de Ubicación: Concesión Minera Cantera San Rita 2010.



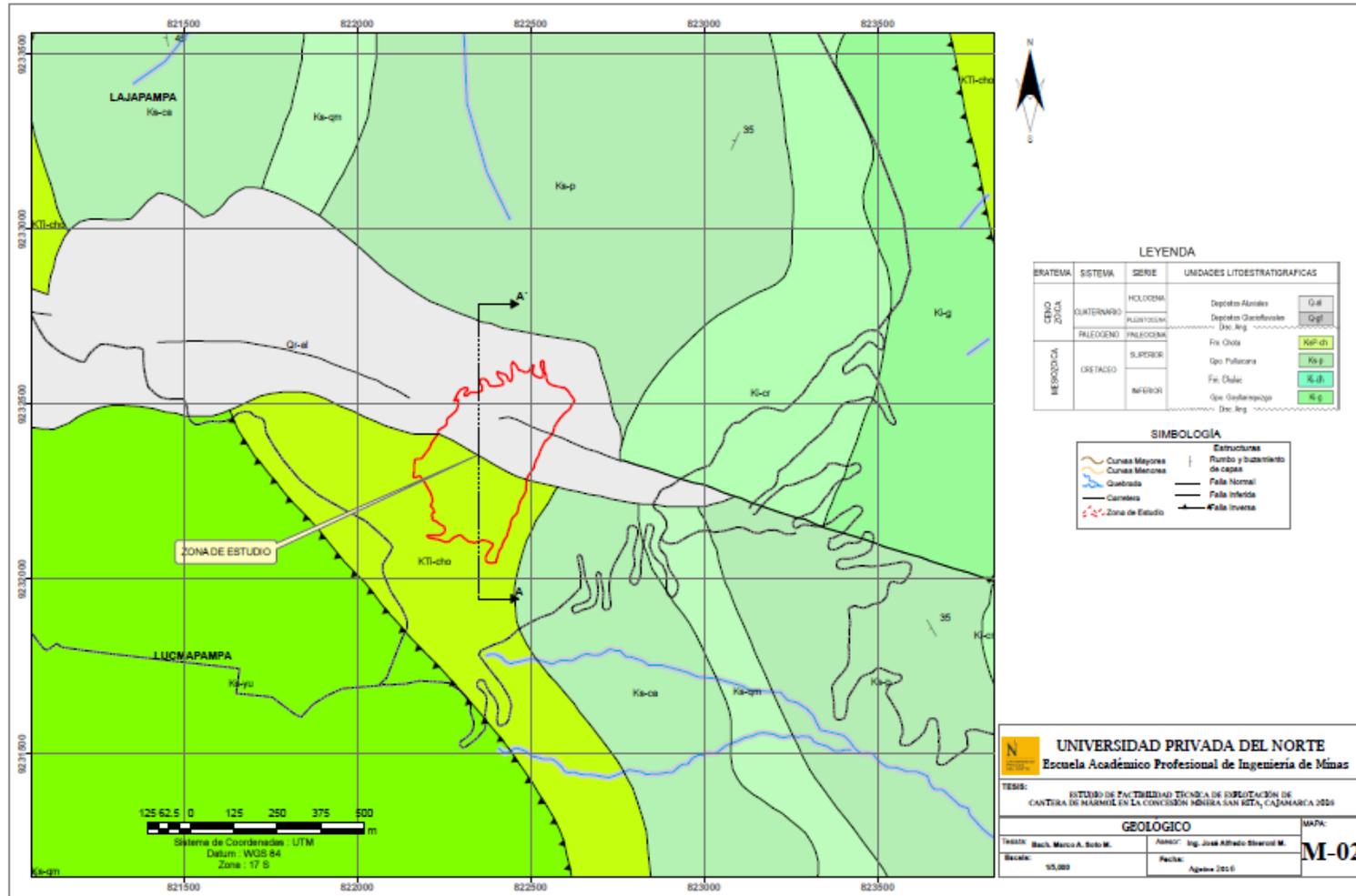
FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N° 2. Mapa Geológico Corte sección A – A' NO - SE.



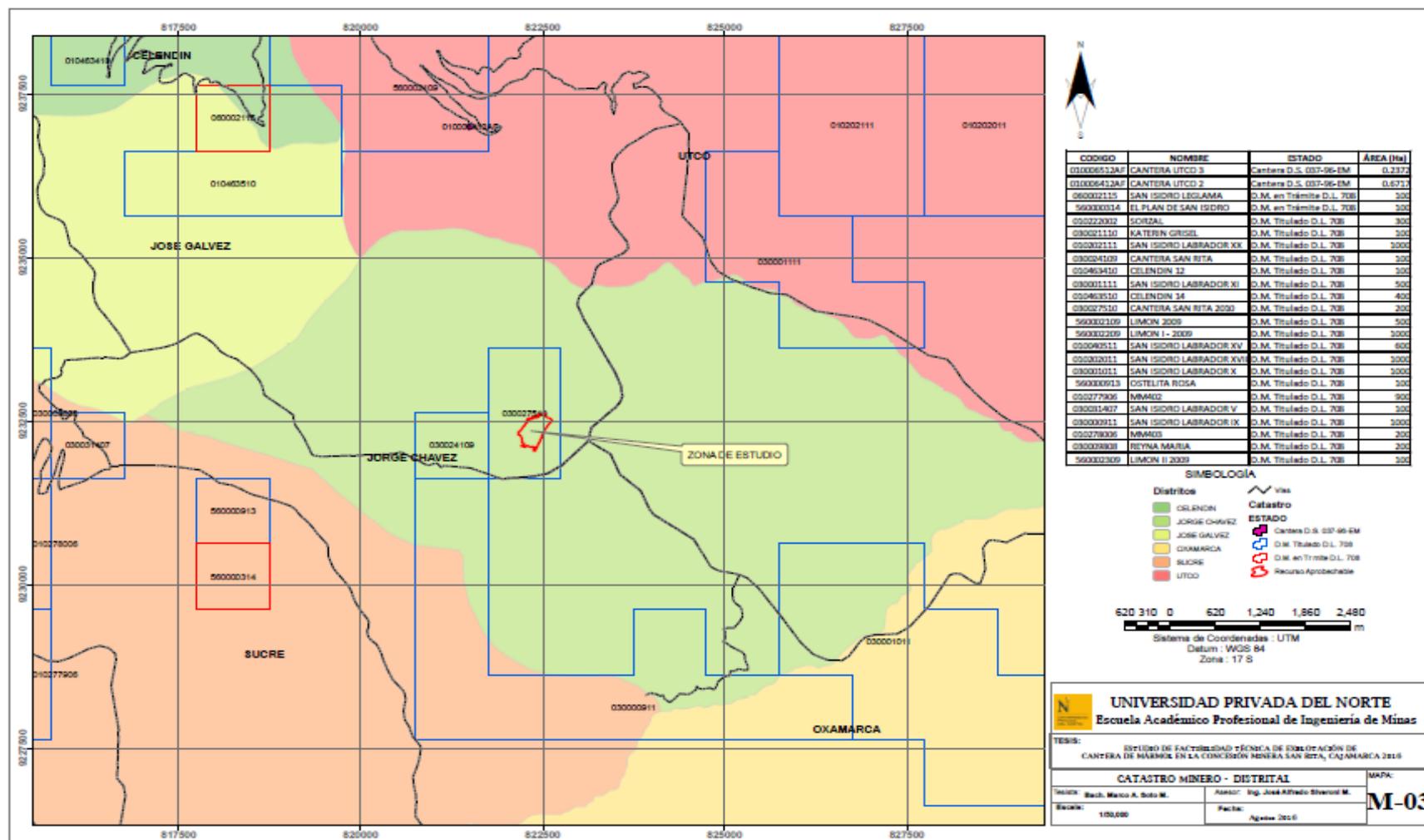
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 3. Plano Geológico del área de estudio.



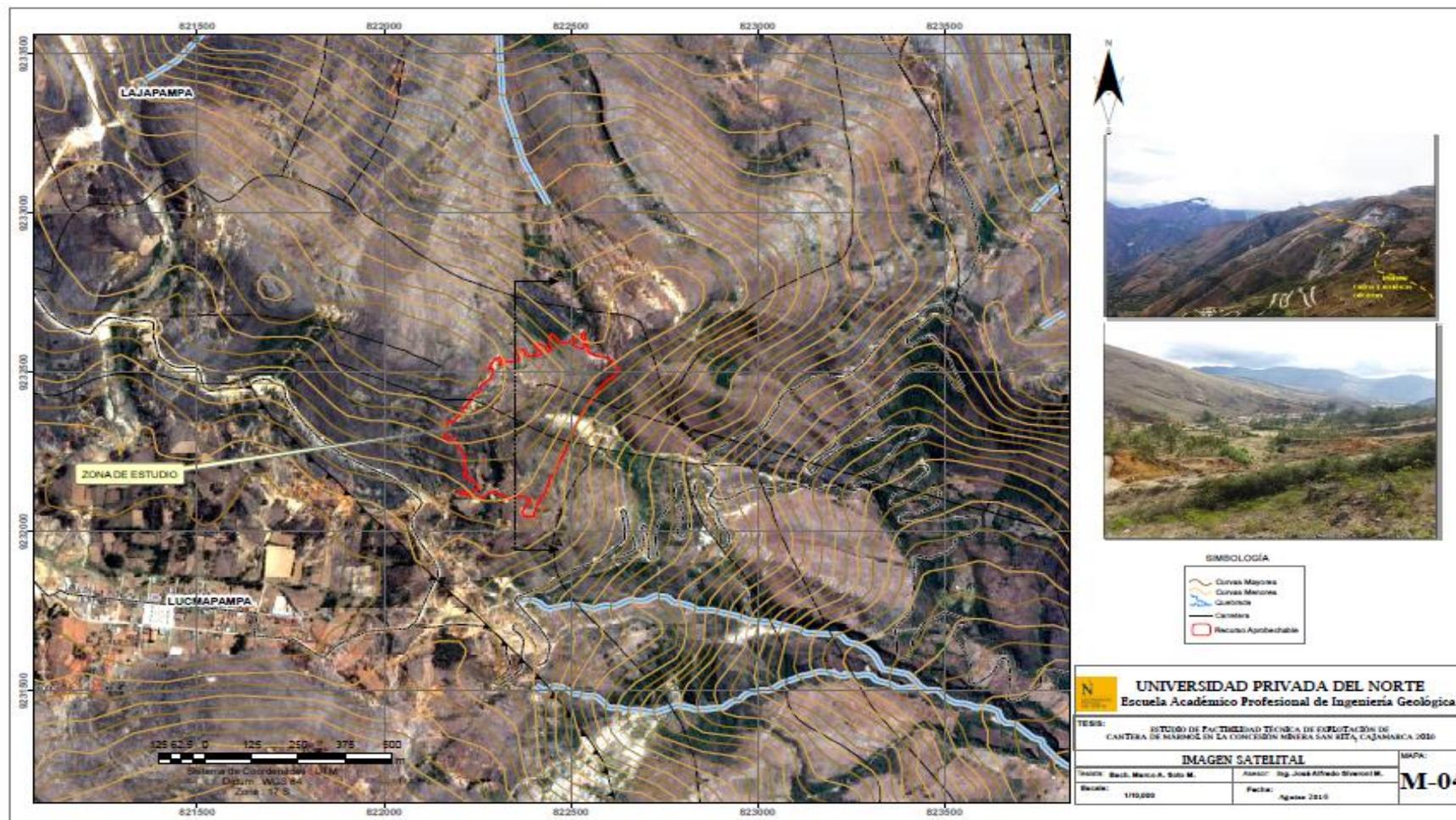
FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N° 4. Catastro Minero-Distrital Concesiones Mineras: Cantera San Rita, Cantera San Rita 2010.



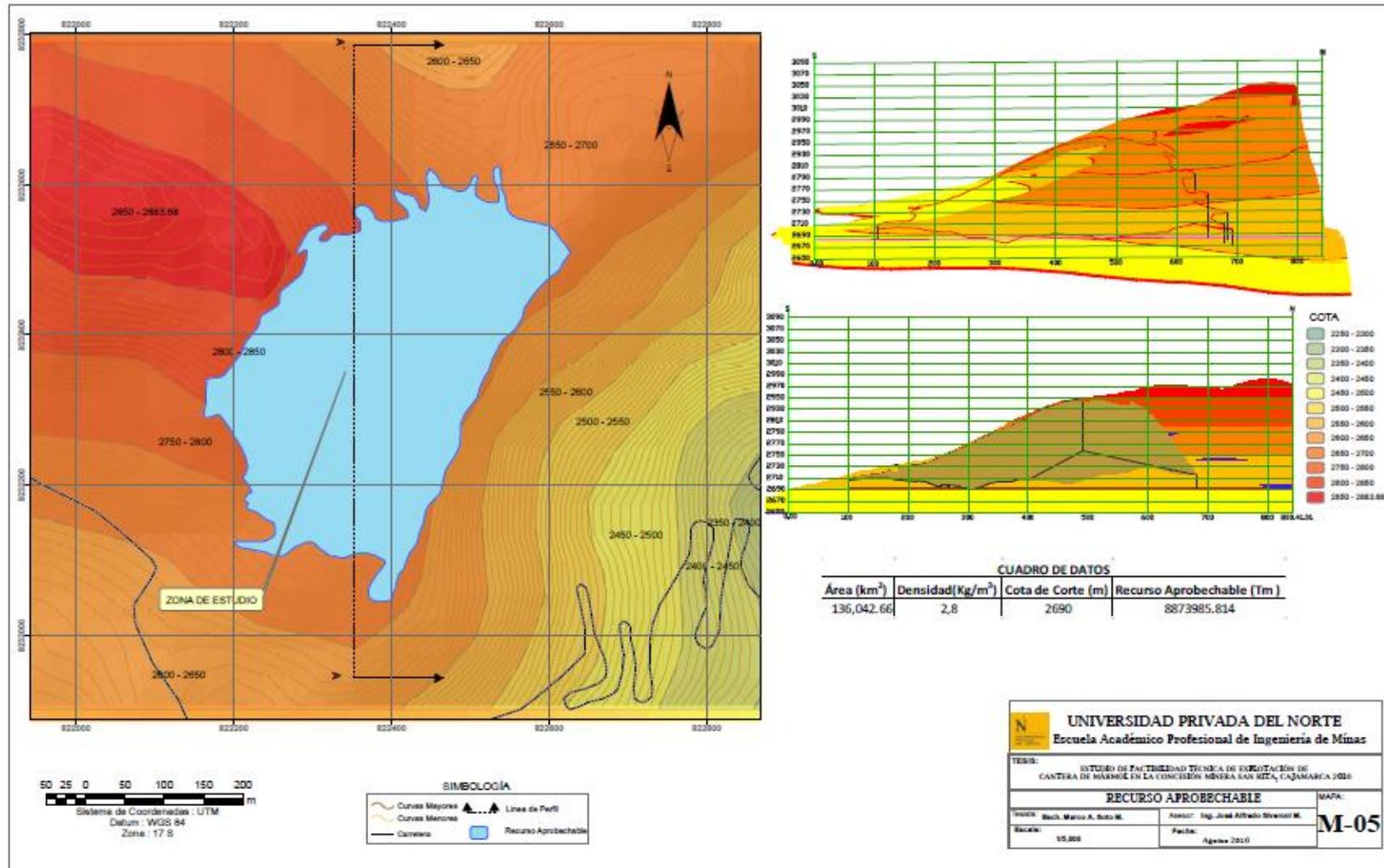
FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N° 5. Imagen Satelital de la Zona de Estudio.



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 6. Cálculo del Recurso Aprovechable.



FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N° 7. Se muestra zona de estudio con afloramiento de mármol rosado, y el material estéril que lo recubre.



FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N° 8. Vista Frontal de la Cantera San Rita 2010.



FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO N°9. Se muestra zona de estudio y el grupo Puyucana con horizontes de mármol y areniscas calcáreas.



FUENTE: Elaboración propia.