

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA
FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD
DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDÍN**

Para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Monzón Caruajulca Wilson Kenny

Asesor:

Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA**
DNI: 70205970
Escuela Profesional: **INGENIERÍA DE MINAS**
2. Asesor: Dr. Ing. **ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE**
Facultad: **INGENIERÍA**
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDÍN
6. Fecha de evaluación: 01/04/2025
7. Software antiplagio: **TURNITIN** **URKUND (OURIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **12%**
9. Código Documento: **oid:3117:444906540**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: **12%**
 APROBADO **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 16/04/2025

 <p>Ing. Alejandro C. Lagos Manrique</p> <hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE DNI: 09224934</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>Dra. Ing. Laura Sojta-Bazán Díaz DIRECTORA</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
---	--



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : **CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDÍN.**

ASESOR : **Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.**

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0293-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 09 de junio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **trece días del mes de junio de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
- Vocal : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDÍN" presentado por el Bachiller en Ingeniería De Minas **WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA**, asesorado por el Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ... **03** PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA : ... **11** PTS.
 EVALUACIÓN FINAL : ... **14** PTS **CATORCE** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **APROBADO** con el calificativo de **CATORCE** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **10:00 a.m.** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud, la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar mis metas. Expreso mi profunda gratitud a mi familia, cuyo amor incondicional, comprensión y constante apoyo han sido fundamentales a lo largo de esta etapa. También quiero agradecer a mi casa superior de estudios y a sus docentes por todas sus enseñanzas y consejos brindados. Asimismo, a mi asesor Dr. Alejandro Lagos, por compartir su conocimiento y experiencia en mi formación universitaria.

WKMC

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor, valores y constante apoyo, han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional, les agradezco profundamente por ser el motor que me impulsa a superarme cada día. A mi esposa, por su paciencia, comprensión y firme respaldo en los momentos más exigentes de este proceso. A mi hija, mi mayor inspiración, cuya existencia me impulsa a seguir creciendo y a luchar por un mejor futuro. Asimismo, a todas las personas que aportaron sus enseñanzas y consejos; ya que, sin ellos este logro no habría sido posible. Gracias por su apoyo desinteresado.

WKMC

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE FOTOS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	4
2.2.1. Estimación de Recursos	4
2.2.2. Cálculo de Reservas	5
2.2.3. Métodos de Estimación de Reservas de Minerales.....	5
2.2.4. Método de Explotación	9
2.2.5. Cantera	13
2.2.6. Explotación de Canteras.....	13
2.2.7. Operaciones Unitarias	15
2.2.8. Clasificaciones Geomecánicas	16
2.3. DEFINICIONES DE TERMINOS BASICOS	21

**CAPÍTULO III.
MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1.1.	Geográfica.....	24
3.1.2.	Política.....	24
3.2.	ACCESIBILIDAD	25
3.3.	CLIMA	26
3.3.1.	Temperatura.....	26
3.3.2.	Precipitación.....	26
3.4.	VEGETACIÓN	27
3.5.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.5.1.	Tipo, Nivel, Diseño y Método de la Investigación.....	27
3.5.2.	Tipo de Investigación.....	28
3.5.3.	Nivel de Investigación.....	28
3.5.4.	Diseño de Investigación.....	28
3.5.5.	Método de Investigación.....	28
3.5.6.	Población de Estudio	28
3.5.7.	Muestra.....	28
3.5.8.	Unidad de Análisis	28
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.6.1.	Técnicas	29
3.6.2.	Instrumentos y Equipos.....	29
3.7.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.7.1.	Recopilación de Información.....	30
3.7.2.	Trabajo en Campo	31
3.7.3.	Trabajo en Gabinete	31
3.8.	GEOLOGÍA REGIONAL	31
3.9.	GEOLOGÍA LOCAL	34

3.9.1.	Formación Farrat (Ki – f).....	34
3.9.2.	Formación Inca (Ki – in).....	35
3.10.	CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	36
3.10.1.	Estación Geomecánica 01 (EG – 01).....	36
3.10.2.	Estación Geomecánica 02 (EG – 02).....	52
3.11.	CUBICACIÓN DE RESERVAS	57
3.11.1.	Descripción del Material a Extraer	57
3.11.2.	Cálculo de Reservas	57
3.12.	DISEÑO DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA MIRAFLORES	79
3.12.1.	Factores Geoambientales.....	80
3.12.2.	Método de Explotación de la Cantera Miraflores.....	80
3.12.3.	Diseño del Yacimiento de Arenas Miraflores	81
3.12.4.	Secuencia de Explotación	92
3.13.	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LA ROCA ARENISCA	94
3.13.1.	Consideraciones Geológicas	94
3.13.2.	Análisis Químico	95

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	RESULTADO DEL CÁLCULO DE RESERVAS.....	96
4.2.	DISEÑO DE EXPLOTACIÓN	96
4.3.	CONSTRASTACIÓN DE LA HIPOTESIS.....	97

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES.....	98
5.2.	RECOMENDACIONES	99
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

ANEXOS

ANEXO 1. Plano de Ubicación	103
ANEXO 2. Modelo Digital de Elevaciones	104
ANEXO 3. Plano Geologico	105
ANEXO 4. Plano de Perfiles.....	106
ANEXO 5. Zonas de Acceso a la Mina.....	107
ANEXO 6. Peso Especifico de la Muestra	108
ANEXO 7. Análisis Químico	111

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los Métodos de Explotación a Cielo Abierto	11
Tabla 2. Índice de Calidad de la Roca en función al RQD.	17
Tabla 3. Parámetros de Clasificación Geomecánica RMR, Bieniawski 1989.....	19
Tabla 4. Calidad del Macizo Rocoso en función al RMR89.....	20
Tabla 5. Coordenadas de los vértices de la zona de estudio.	24
Tabla 6. Acceso a la zona de estudio.....	25
Tabla 7. Metodología de la investigación	27
Tabla 8. Datos de ubicación de la estación geomecánica 01.....	37
Tabla 9. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-01 Horizontal.....	42
Tabla 10. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-01 Vertical.....	43
Tabla 11. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-01 Inclinado (45)	44
Tabla 12. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-02 Horizontal.....	45
Tabla 13. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-02 Vertical.....	46
Tabla 14. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la EG-01 Inclinado (45°)....	47
Tabla 15. Parámetros en la caracterización de las discontinuidades	48
Tabla 16. Calculo y clasificación del macizo rocoso según RQD (%)	48
Tabla 17. Asignación de valores y cálculo del RMR89.....	49
Tabla 18. Cálculo del GSI de la Estación Geomecánica 01.	50
Tabla 19. Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 01.....	51
Tabla 20. Datos de ubicación de la estación geomecánica 02.....	52
Tabla 21. Resultados de los parámetros en la caracterización	53
Tabla 22. Calculo y clasificación del macizo rocoso según RQD (%)	53
Tabla 23. Asignación de valores y cálculo del RMR89.....	54
Tabla 24. Cálculo del GSI de la Estación Geomecánica 02.	55
Tabla 25. Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 02.....	56
Tabla 26. Coordenadas UTM de los 13 perfiles	58
Tabla 27. Cálculo del área del Perfil A – A'	59
Tabla 28. Cálculo del área del Perfil B – B'	60
Tabla 29. Cálculo del área del Perfil C – C'	61
Tabla 30. Cálculo del área del Perfil D – D'.....	62
Tabla 31. Cálculo del área del Perfil E – E'	63

Tabla 32. Cálculo del área del Perfil F – F'	64
Tabla 33. Cálculo del área del Perfil G – G'	65
Tabla 34. Cálculo del área del Perfil H – H'	66
Tabla 35. Cálculo del área del Perfil I – I'	67
Tabla 36. Cálculo del área del Perfil J – J'	68
Tabla 37. Cálculo del área del Perfil K – K'	69
Tabla 38. Cálculo del área del Perfil L – L'	70
Tabla 39. Cálculo del área del Perfil M – M'	71
Tabla 40. Cuadro resumen de las áreas de las 13 secciones.....	72
Tabla 41. Cálculo del volumen de los perfiles A – A' y B – B'	73
Tabla 42. Cálculo del volumen de los perfiles B – B' y C – C'	73
Tabla 43. Cálculo del volumen de los perfiles C – C' y D – D'	73
Tabla 44. Cálculo del volumen de los perfiles D – D' y E – E'	73
Tabla 45. Cálculo del volumen de los perfiles E – E' y F – F'	74
Tabla 46. Cálculo del volumen de los perfiles F – F' y G – G'	74
Tabla 47. Cálculo del volumen de los perfiles G – G' y H – H'	74
Tabla 48. Cálculo del volumen de los perfiles H – H' y I – I'	74
Tabla 49. Cálculo del volumen de los perfiles I – I' y J – J'	75
Tabla 50. Cálculo del volumen de los perfiles J – J' y K – K'	75
Tabla 51. Cálculo del volumen de los perfiles K – K' y L – L'	75
Tabla 52. Cálculo del volumen de los perfiles L – L' y M – M'	75
Tabla 53. Cálculo del volumen total	76
Tabla 54. Cálculo del tonelaje corregido	77
Tabla 55. Producción anual prevista	78
Tabla 56. Producción prevista del yacimiento	79
Tabla 57. Parámetros geométricos del yacimiento Miraflores.....	80
Tabla 58. Parámetros de clasificación numérica por geometría del yacimiento	80
Tabla 59. Clasificación de las rocas según Protodyakonov	82
Tabla 60. Clasificación de las rocas según Protodyakonov.	88
Tabla 61. Proceso de extracción de las arenas	92
Tabla 62. Resultado del análisis físico químico de la roca arenisca.	95
Tabla 63. Resumen de los parámetros calculados	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dos casos de triangulación para un mismo depósito;	6
Figura 2. Estimación con polígonos de influencia.	7
Figura 3. Método de la Inversa de la distancia. Dónde: (di) distancias,	7
Figura 4. Método por secciones	8
Figura 5. Sección transversal de una cantera en operación	12
Figura 6. Evaluación del RQD en la corrida de un testigo.....	17
Figura 7. Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas.....	20
Figura 8. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca.	22
Figura 9. Ubicación del área de estudio	24
Figura 10. Accesibilidad a la zona de estudio. desde la ciudad de Cajamarca.	25
Figura 11. Clima distrito de Sucre, provincia de Celendín.....	26
Figura 12. Instrumentos y equipos utilizados en la presente investigación	30
Figura 13. Columna Estratigráfica de la región Cajamarca	33
Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio	34
Figura 15. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca EG 01.	40
Figura 16. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca EG 02	41
Figura 17. Resultado del análisis geomecánico EG-01.....	51
Figura 18. Resultado del análisis geomecánico EG-02.....	56
Figura 19. Plano con la dirección de los perfiles, para el Cálculo de reservas.....	57
Figura 20. Polígonos del perfil A – A'	59
Figura 21. Polígonos del perfil B – B'	60
Figura 22. Polígonos del perfil C – C'.....	61
Figura 23. Polígonos del perfil D – D'	62
Figura 24. Polígonos del perfil E – E'	63
Figura 25. Polígonos del perfil F – F'.....	64
Figura 26. Polígonos del perfil G – G'	65
Figura 27. Polígonos del perfil H – H'.....	66
Figura 28. Polígonos del perfil I – I'	67
Figura 29. Polígonos del perfil J – J'	68
Figura 30. Polígonos del perfil K – K'	69

Figura 31. Cálculo del área del Perfil L – L'.....	70
Figura 32. Polígonos del perfil M – M'.....	71
Figura 33. Parámetros geométricos calculados del yacimiento Miraflores.....	90
Figura 34. Factor de seguridad, indicando estabilidad del diseño de explotación....	91
Figura 35. El ángulo 78° es el complemento del ángulo de talud.....	92

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Martillo Schmidt para la medición de resistencia de compresión simple.....	21
Foto 2. Vegetación natural y antrópica de la zona de investigación.....	27
Foto 3. Afloramientos rocosos de la Formación Farrat.....	35
Foto 4. Formación Farrat se encuentra infrayaciendo a la Formación Inca.	36
Foto 5. Caracterización de las discontinuidades de la Estación Geomecánica 01 ...	37
Foto 6. Uso del martillo de Schmidt en la formación Farrat.....	38
Foto 7. Caracterización de las discontinuidades de la Estación Geomecánica 02...	52
Foto 8. Depósito de arenisca de la Formación Farrat.	58

LISTA DE ABREVIATURAS

A	: Ancho total de la pista
D	: Distancia entre sección y sección
f	: Coeficiente de resistencia de Protodyakonov para areniscas.
H	: Profundidad de la cantera
Hb	: Altura del banco
Hi	: Cota inferior (límite mínimo para el aprovechamiento del recurso)
Hs	: Cota superior (límite máximo de explotación)
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Ki- chu	: Formación Chulec
Ki – f	: Formación Farrat
Ki – in	: Formación Inca
mm	: Milímetros
MPa	: Mega Pascal
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
N	: Número de carriles deseados
Nb	: Numero de bancos
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SiO ₂	: Óxido de sílice
TM	: Toneladas métricas
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS-84	: Sistema Geodésico Mundial 1984
φ	: Ángulo del talud del banco

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, se realizó en el Centro poblado Cerro Miraflores, ubicado en el distrito de Sucre, provincia de Celendín, a una altitud de 2662 m s. n. m. La litología está compuesta por areniscas, arcillitas. Con el fin de aprovechar las areniscas de la Formación Farrat de edad del Cretácico Inferior, como materiales de construcción ya sea en forma de arena fina, arena gruesa y hormigón, la propuesta es calcular las reservas, determinar los parámetros y diseño de las areniscas para su aprovechamiento; La metodología empleada fue de un enfoque cuantitativo y cualitativo, con un alcance descriptivo. El desarrollo de la perspectiva teórica, se basó en una exhaustiva recopilación bibliográfica, así como en la elaboración de mapas geológicos y perfiles, tomando en cuenta salidas al campo donde se recolectaron muestras para realizar un análisis químico. Además, se elaboraron 12 perfiles con la finalidad de calcular las reservas de arena con el menor error posible.

Se calculó las reservas totales probadas, que asciende a la cantidad de 3515876 TM. Este valor fue corregido al 90%, por el castigo de 10% debido a la cobertura cuaternaria y por error en los dibujos. Se ha previsto una producción diaria de 300 m³ de arena fina, arena gruesa y hormigón; para lo cual se requiere 4 camiones con capacidad de 15 m³ cada uno, los cuales efectuaran 5 vueltas para completar las 300m³. La vida útil de la mina es de 13 años a razón de una producción anual de 90000 m³ o 236250 TM. Se ha calculado el ángulo de los bancos de 78° y al ángulo final de trabajo de 35°. Se ha diseñado además 10 bancos de 7 metros de altura cada uno.

Palabras claves: Reserva, cantera, arenisca cuarzosa, material de construcción.

ABSTRACT

This thesis was carried out in the rural town of Cerro Miraflores, located in the district of Sucre, province of Celendín, at an altitude of 2,662 meters above sea level. The lithology is composed of sandstones and claystones. In order to utilize the sandstones of the Farrat Formation, from the Lower Cretaceous age, as construction materials—either as fine sand, coarse sand, or concrete—the proposal aims to calculate the reserves, determine parameters, and design the sandstone exploitation. The methodology used employed both quantitative and qualitative approaches, with a descriptive scope. The theoretical framework development was based on an exhaustive bibliographic review, as well as the preparation of geological maps and profiles, considering field trips during which samples were collected for chemical analysis. Additionally, 12 profiles were created with the purpose of calculating sand reserves with minimal error.

The total proven reserves were calculated to be 3,515,876 metric tons. This value was corrected to 90% by applying a 10% reduction factor due to Quaternary cover and potential errors in the geological drawings. A daily production of 300 m³ of fine sand, coarse sand, and concrete is planned, which requires 4 trucks with a capacity of 15 m³ each, making 5 trips to complete the 300 m³. The mine's operational life is estimated at 13 years, based on an annual production of 90,000 m³ or 236,250 metric tons. The bench angle has been calculated at 78°, and the final working slope angle at 35°. Additionally, 10 benches have been designed, each with a height of 7 meters.

Keywords: Reserve, quarry, quartz sandstone, construction material.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

En años recientes, la región de Cajamarca ha vivido un notable crecimiento en el sector de la construcción, estableciéndose como uno de sus pilares económicos. Esto se debe al incremento de proyectos de infraestructura pública y privada, que genera una alta demanda de materiales de construcción como: arena fina, arena gruesa y piedra chancada. Por lo tanto, es imprescindible identificar nuevas reservas que nos ayuden a enfrentar esta demanda. En la provincia de Celendín, existen escasos afloramientos de areniscas que puedan ser aprovechados, se suma a ello mencionar que el precio del transporte desde lugares alejados encarece la venta de estos materiales. En la localidad de Miraflores, afloran secuencias de areniscas de la Formación Farrat, pertenecientes al cretácico inferior y que muestran una intensa alteración por lo que constituyen canteras. Estas canteras están cerca de la ciudad, por lo que el precio de transporte se reduciría. Debido a ello, esta investigación pretende realizar el cálculo de reservas de las areniscas, ya que es fundamental determinar la cantidad de mineral presente y, con esta, estimar la factibilidad de realizar la explotación comercial de estos materiales, además es importante señalar que un cálculo de reservas ayuda a tener una buena explotación y también es importante para realizar el planeamiento de minas en donde los empresarios puedan realizar sus inversiones disminuyendo los riesgos.

Para lo cual se han formulado la siguiente interrogante, ¿Cuáles son las reservas de areniscas de la Formación Farrat, para su explotación como materiales de construcción en la Zona Miraflores y alrededores?

La hipótesis de esta investigación, propone realizar la explotación de las areniscas en la localidad de Miraflores, que presenta escasos afloramientos de la Formación Farrat. Con la realización del cálculo de reservas y posterior explotación de estas canteras se reduciría el costo por metro cúbico. Esta investigación se justifica mediante el cálculo de las reservas probadas y probables, proponer un método de explotación que cumpla con las normas técnicas establecidas, además se crearán muchos puestos de trabajo para los pobladores de la zona, tanto puesto directos e indirectos. Dentro de los objetivos, está el de calcular las reservas de areniscas de la Formación Farrat para su explotación como materiales de construcción en la Zona Miraflores y

alrededores, el de determinar los parámetros para la explotación de las areniscas de la Formación Farrat, como materiales de construcción arena fina, arena gruesa y piedra chancada. El informe de tesis consta de cinco capítulos:

El capítulo I corresponde a la Introducción, en donde se describe el contenido de capítulos de la tesis, se describen los objetivos, la hipótesis y el contenido de la tesis. En el capítulo II, se tiene el Marco Teórico donde se menciona los antecedentes internacionales, nacionales y locales, asimismo las bases teóricas que van a ser el sustento teórico en que se basa el trabajo de investigación y finalmente se tiene la Definición de Términos Básicos.

El capítulo III, denominado como Materiales y Métodos está compuesto por la ubicación del área de estudio, la accesibilidad, el clima y la vegetación, también se describe el contexto de la investigación, los procedimientos, la metodología, la identificación de las variables, las técnicas utilizadas, los instrumentos y los equipos, además en este capítulo se desarrollan el proceso con el cual se han analizado los datos de cada variable y la presentación de los resultados de la investigación.

En el capítulo IV, denominado Análisis y Discusión de Resultados, dentro de este capítulo se tiene los resultados de la investigación los cuales debe estar íntimamente relacionado con los objetivos. Además, está la discusión de los resultados obtenidos.

El capítulo V, corresponde a las conclusiones y recomendaciones. Las conclusiones estarán acordes con los objetivos planteados, así como las recomendaciones a que la investigación se siga ampliando en los conocimientos no abordados en la presente investigación. En la parte final de este informe estarán las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Herrera (2016), en su trabajo de investigación titulado, “Diseño Del Sistema De Explotación de Materiales de Construcción Existentes En la Cantera “Mina 2”, la cual se encuentra localizada en la Parroquia Cangahua, Cantón Cayambe, Provincia De Pichincha”. Tuvo como objetivos, diseñar un sistema de explotación, esto debido a la necesidad e interés tanto social como colectivo para la Parroquia Cangahua, ya que generaría un aprovechamiento de estos materiales y contribuiría al progreso de la misma. Concluye que las canteras, que se localizan en esta zona, poseen materiales de origen ígneos volcánico, el cual es óptimo para su utilización en las vías. Se calculó las reservas de la Cantera MINA 2, dando un total de 178874 m³, este volumen fue calculado utilizando el método del análisis minero- geométrico y apoyado por los software Mineros Vulcan y RocMin.

Luque (2017), en su trabajo de investigación titulado: “Estudio de Factibilidad en un Proyecto de Explotación de Rocas y Minerales Industriales en una mina de Perlita”, dentro de los objetivos están el de evaluar, si el proceso de explotación de rocas y minerales industriales puede ser factible. Concluye que el cálculo de reservas arroja unas reservas probadas de 74, 195 TM; el planeamiento de Minas se basó en la proyección, tanto económica como operativa, se calculó una producción diaria de 301 TM/día, de esta manera se obtiene una producción de mineral para 5 años. Para el procesamiento de todo este mineral que es enviado desde la mina se decidió por la utilización de una Chancadora que posee una capacidad de 15 - 70 TM/h.

Muñoz (2015), en su trabajo de tesis titulado: “Evaluación de reservas y diseño del sistema de explotación del área minera Mary Elena”, llega a las siguientes conclusiones: El diseño de explotación que se propone es técnicamente viable, ambientalmente sostenible y económicamente rentable, por lo tanto, debe ser implementado en el Proyecto Minero Mary Elena; la planificación minera del presente

proyecto es a 5 años con un plan de explotación a mediano plazo de las reservas de la cantera. El diseño de explotación que se propone es un banqueo descendente en cual se ha planteado 4 niveles de explotación con una altura de 5 metros cada uno; con la ayuda de Autocad Civil 2015 obteniéndose un total de 367222.5 toneladas como Reservas Probadas, considerando la característica que tiene la caliza de presentar oquedades; con el uso del software Vulcan 8.0 se obtuvo un total de 399325 toneladas y con el Gemcom 6.3 se calcula 399318.46 toneladas. Como Reservas Probables tenemos 1321851.66 toneladas y como Reservas Posibles 1714368.53 toneladas.

2.1.2. Nacionales

Condori (2016), en su tesis titulada “Diseño de explotación de Cantera para agregados, distrito de Huayucachi” concluye. Concluyendo que los sedimentos son de origen aluvial con gravas mal gradadas y presentando una capa de arcilla de 6 metros de potencia. El comportamiento del nivel freático tiene una inclinación de 5° en dirección aguas abajo del río Mantaro lo que indica que a medida que profundicen la explotación de la cantera tendrá problemas en el drenaje de aguas. Se identificó un grupo litológico constituido por un depósito de cantos rodados no existiendo la presencia de estructuras geológicas como fallas, discordancias, etc.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estimación de recursos

La estimación de recursos tiene como objetivo determinar la cantidad, calidad y posibilidad de explotación comercial del mineral con valor económico ya sea de yacimientos metálicos o no metálicos. La estimación se hace durante toda la vida útil de una mina a través de un proceso de modelación del yacimiento que se ajuste lo mejor posible a la realidad en estudio. Por lo tanto, las compañías mineras esperan tomar unas buenas decisiones de inversión y operación, basadas en los resultados de la estimación de los recursos, lo cual debe ser confiable, relevante y transparente. La calidad de los datos está ligada a la calidad de la estimación de recursos (Alfaro, 2007).

2.2.2. Cálculo de reservas

Es un proceso técnico integrado, por varias operaciones cuya secuencia usual es: estudio geológico, muestreo, análisis de datos, interpolación y extrapolación de los datos, delimitación del cuerpo mineralizado. Quizá el punto clave es determinar, el método de interpolación y extrapolación de los datos de muestreo, para ello es fundamental, conocer muy bien las características geológicas de la formación y los procesos que llevaron al emplazamiento del mineral, la estructura y génesis del yacimiento. Se pueden distinguir dos grupos de métodos tradicionales empleados para el cálculo de reservas de depósitos no metálicos. Primero se tienen los métodos geométricos más utilizados por su accesibilidad de empleo y por tratarse de una metodología de amplio conocimiento. Éstos a su vez se dividen en los métodos de bloques: triangulares, regulares, cuadrados, rectangulares, poligonales e irregulares o de bloques geológicos en los métodos de secciones: verticales, horizontales, inclinadas, método de las isolíneas. (Arribasplata, 2020)

2.2.3. Métodos de estimación de reservas de minerales

✓ Método de los triángulos

Consiste en unir los puntos muestreados o los sondeos realizados mediante líneas rectas formando un mallado triangular. Cada triángulo es la base de un prisma imaginario con una potencia determinada. La información de cada prisma se determina con una media aritmética de la información obtenida de los tres puntos muestreados o sondeados. Se utiliza el Método de la Triangulación para depósitos con pocas variaciones de potencia (CWC TRAININGS, 2023).

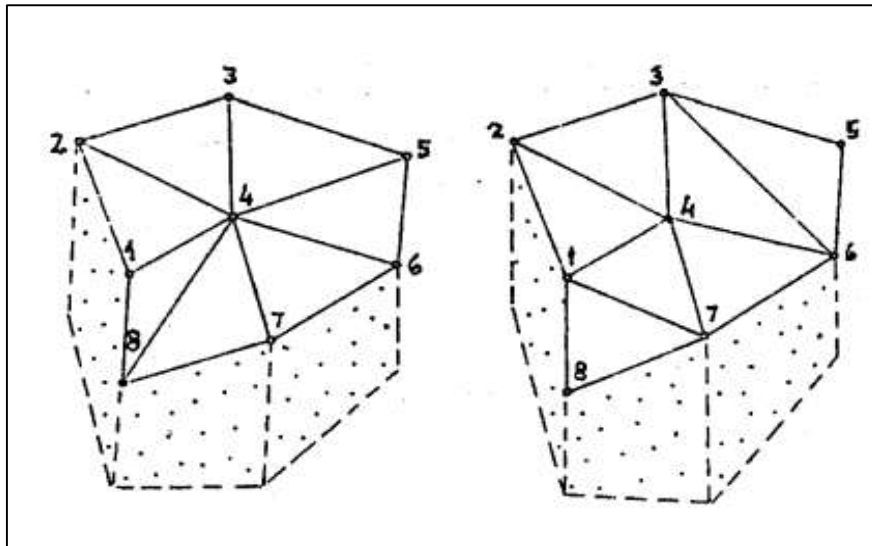


Figura 1. Dos casos de triangulación para un mismo depósito; el izquierdo incorrecto, el derecho correcto.
Fuente: CWC TRAININGS, 2023.

✓ **Método de los polígonos**

Este método, se basa en el hecho de que cada muestra, tiene un área de influencia y dicha área tiene las mismas características observadas del punto muestreado. Entonces, consiste en construir una serie de polígonos en cuyos centros, se encuentra el punto muestreado o un sondaje, del cual se tiene información como espesor, densidad y ley. Sin embargo, este método es poco realista, ya que la información de punto a punto muestreado puede cambiar sobre todo en mallas irregulares y amplias. Para construir los polígonos existen dos métodos: bisectrices perpendiculares (los vértices del polígono quedan definidos por los puntos de corte de las mediatrices de los segmentos que unen los sondeos) y bisectrices angulares (vértices de polígono – corte de bisectrices de ángulos definidos por las líneas que unen los sondeos).

En la Figura 2, el estimador del punto 1 será el valor de la muestra, que está en su polígono de influencia, y el del punto 2 será el de la muestra que incluye ese polígono. Conforme a la construcción de los polígonos, el valor de estimación de un punto será el de la muestra más cercana. Puede verse, además, que el estimador por polígonos produce una serie discontinua de escalones, que usualmente no son reales sino producidas por el método. (Fernández y Tessone, 2015).

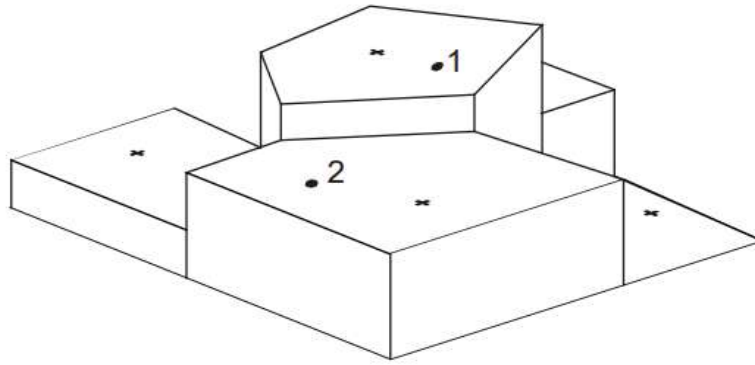


Figura 2. Estimación con polígonos de influencia.
Fuente: Fernández y Tessone (2015).

✓ **Método de la inversa de la distancia**

Es uno de los métodos más usados, el cual se basa en la hipótesis de que el peso, de un dato aislado responde a una función inversa de la distancia, que está relacionada con la ley de la mineralización.

El objetivo de este método es otorgar un ponderador mayor, a las muestras más cercanas y uno menor a las más alejadas. Es intuitivo suponer que la influencia potencial de un valor sobre un punto decrece cuando el valor se aleja de dicho punto, el atributo estimado cambiará en función de la inversa de la distancia. En otras palabras, se dará mayor peso a los valores más próximos y menor peso a los más alejados del punto de estimación. (Fernández y Tessone, 2015)

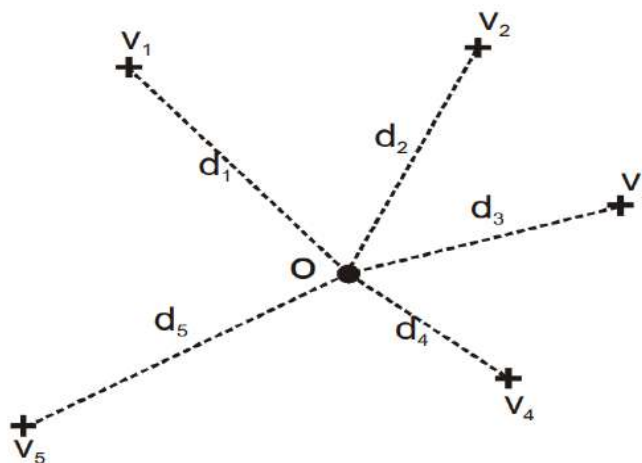


Figura 3. Método de la Inversa de la distancia. Dónde: (d_i) distancias, (O) punto a estimar y (v_i) representan los valores de las muestras.

Fuente: Fernández y Tessone, 2015.

✓ **Método por secciones o perfiles**

Este método es usado para yacimientos mantiformes y yacimientos no metálicos. Consiste en dividir el área destinada a ser explotada en diferentes segmentos con la ayuda de líneas de sección transversal. Luego se calcula el área de cada una de las secciones y finalmente se calcula el volumen del bloque comprendido entre dos secciones, la cual se obtiene sumando el área de cada sección por la mitad y multiplicado por la distancia entre dichas secciones como se muestra en la siguiente fórmula.

$$Volumen = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) * L$$

Uno de los aspectos más relevantes de la aplicación de este método es que se recomienda que las secciones construidas contengan la mayor cantidad posible de perforaciones alineadas. Esto es crucial para lograr una representación precisa del yacimiento en dichas secciones (Reinoso 2015).

Otro aspecto importante de este método es que, a mayor número de perforaciones en el yacimiento, se obtiene una mayor precisión en el cálculo de reservas mediante secciones. Sin embargo, el costo de los sondeos es habitualmente elevado, por lo que se busca establecer un patrón exploratorio que sea económicamente rentable y que proporcione suficiente información para iniciar la explotación con un grado razonable de certeza en la estimación de reservas. (Reinoso 2015).

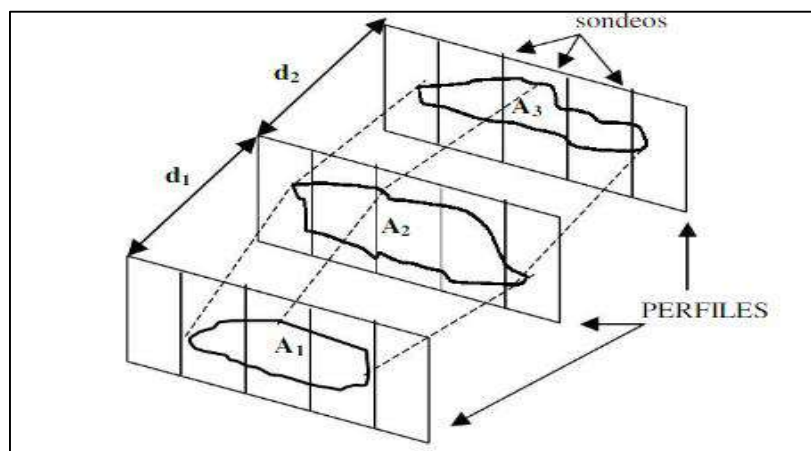


Figura 4. Método por secciones
Fuente: CWC TRAININGS, 2023.

2.2.4. Método de explotación

Son aquellos procedimientos y técnicas, empleadas para la extracción eficiente de minerales o recursos naturales del subsuelo, teniendo en cuenta factores geológicos, económicos y tecnológicos. Estos métodos pueden incluir técnicas de minería a cielo abierto, subterránea, o una combinación de ambas, adaptadas a las características específicas de cada yacimiento mineral.

El Método de explotación como sistema minero, puede definirse como los procedimientos utilizados y el orden espacial con el que se llevan a cabo la extracción, de los materiales de interés y estériles asociados, dependiendo fundamentalmente de las características morfológicas del yacimiento y topografía del terreno.

Para definir el método de explotación se debe considerar los siguientes factores según (Herrera, 2018).

- ✓ **Factores geológicos:** Tamaño, forma, inclinación, límites de mineralización, contenido mineral útil, estabilidad de la roca.
- ✓ **Factores técnicos del equipo:** Perforación de rocas, carga explosivos y voladura, carga y transporte, trituración.
- ✓ **Factores económicos:** reservas minerales, costos de explotación, pérdidas de mineral, dilución del contenido útil, financiamiento de la operación, personal calificado, disponibilidad de equipos.
- ✓ **Factores locales o regionales:** situación geográfica, condiciones climatológicas.
- ✓ **Factores ambientales:** espesor suelo vegetal, ubicación de escombreras, protección-afectación del entorno, participación comunitaria.
- ✓ **Elección del método de explotación**

Existen varias clasificaciones de diversos autores de los métodos de explotación a cielo abierto, las cuales Reinoso (2015) las divide en dos grupos fundamentales:

A La clasificación en la cual los métodos de explotación a cielo abierto se diferencian por la forma de efectuar los trabajos de destape y el método de desplazamiento de las rocas estériles hacia las escombreras. (Reinoso, 2015)

B La clasificación en la cual los métodos de explotación a cielo abierto, se diferencian en dependencia del orden, en que se realizan los trabajos de preparación y arranque, dirección y avance de la frente y método de destape. (Reinoso, 2015).

De estos 2 grupos fundamentales, se usa el primero, por cuanto se considera que el desplazamiento del estéril puede ser reconocido como el criterio determinante que toma en cuenta las principales particularidades del método y determina los índices técnico-económicos de la explotación a cielo abierto. Las desventajas de este grupo de clasificaciones están en que ellas no toman en cuenta el volumen y orden de realizar los trabajos de preparación. (Reinoso, 2015).

Sin embargo y pese a esto, las clasificaciones propuestas por la corriente soviética son en la actualidad las más extendidas y reconocidas en la literatura técnica, la cual se divide en tres:

Tabla 1. Clasificación de los Métodos de Explotación a Cielo Abierto

Grupos de Explotación	Sistemas de Explotación	Designación Conveccional
A	Con trasbordo del estéril a la escombrera por medio de excavadoras o escombros transbordadoras (deslizamiento longitudinal) o con transporte	Con trasbordo directo del estéril. A-1
		Con trasbordo múltiple del estéril por excavadoras. A-2
		Con trasbordo del estéril por medio de escombros transbordadores. A-3
B	Con acarreo del estéril a la escombrera con ayuda de medios de transporte (deslizamiento longitudinal) o con transporte.	Con acarreo del estéril: A la escombrera interior.
		A la escombrera exterior. B-4
		A ambas escombreras (interior y exterior) B-5
		B-6
C	Con acarreo y trasbordo de estéril a la escombrera (deslizamiento transversal y longitudinal) o métodos combinados.	Con acarreo parcial de estéril a las escombreras interiores o exteriores.
		Con trasbordo parcial del estéril a las escombreras interiores C-8
D	Con pequeño volumen de trabajos de destape, cuando el desplazamiento del estéril a la escombrera no tiene significado esencial.	A-0

Fuente: Reinoso (2015)

Parámetros geométricos de una mina a cielo abierto

- ✓ **Banco:** Es el escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral.
- ✓ **Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles, desde el pie de banco hasta la parte más alta.
- ✓ **Talud de banco:** Es el ángulo de la pendiente de la cara del talud.

- ✓ **Talud de trabajo:** Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo.
- ✓ **Límites finales de la explotación:** Son aquellas situaciones espaciales hasta las que se realizan las excavaciones.
- ✓ **Talud final de explotación:** Es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco inferior y la cabeza del superior.
- ✓ **Bermas:** Son aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos o caídas de piedras.
- ✓ **Vías y Accesos:** son las estructuras viarias dentro de una explotación a través de las cuales se extraen los materiales, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma.
- ✓ **Ángulo de reposo del material:** es el talud máximo para el que es estable sin deslizar el material suelto que lo constituye y en condiciones de drenaje total, después de vertido.

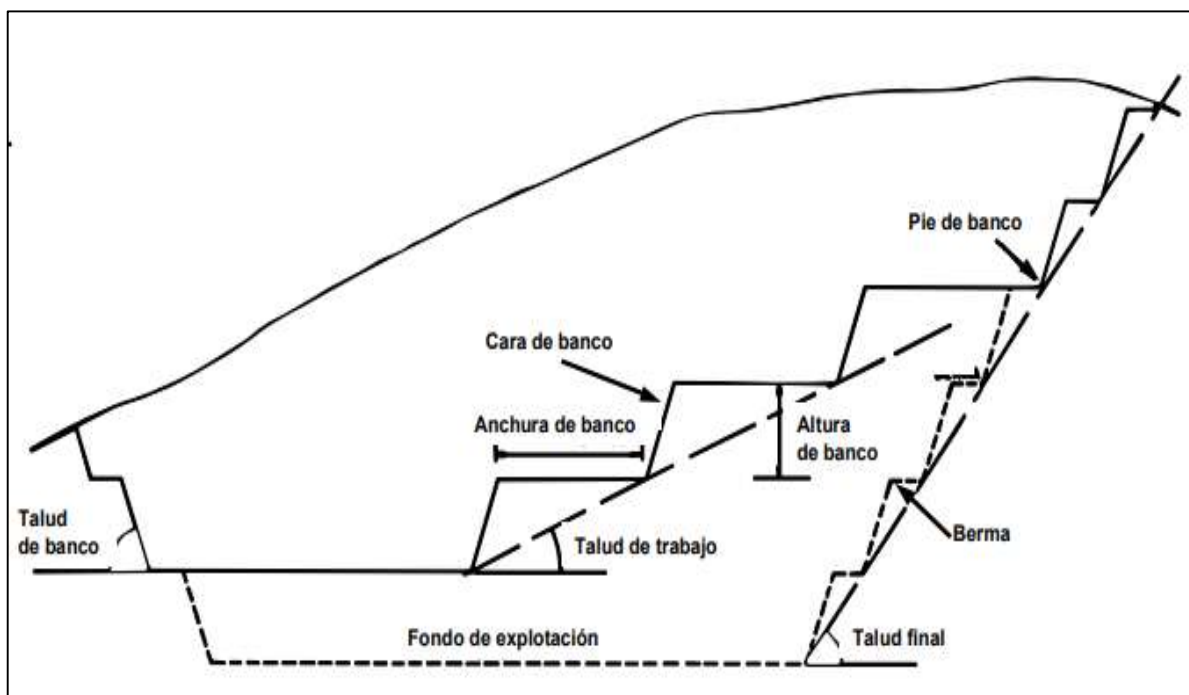


Figura 5. Sección transversal de una cantera en operación
Fuente: Herrera (2007).

2.2.5. Cantera

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas. Dependiendo del tipo de material que se busque, puede ser de suelos, de rocas o mixtas (Herrera, 2007).

Es importante mencionar que, debido a la demanda de productos provenientes de canteras, tienen una clara trayectoria ascendente en función al crecimiento de la población y de la riqueza per cápita. Ahora ya no sólo depende de las exigencias técnicas que han sido impuestas a las empresas que se dedican a la explotación de canteras, sino que también se tienen en consideración las recomendaciones de las evaluaciones de impacto ambiental. Las diferentes administraciones también toman en consideración el nivel tecnológico de la explotación de material mineral. Esto se debe a que, a mayor tecnología empleada, es que se puede llegar a una mejora en los procesos de extracción y una mejora en la producción (Herrera, 2018).

✓ ***Tipos de canteras según Herrera (2018):***

Las canteras de áridos. (Zahorras, rellenos, escolleras, asfaltos, hormigones, etc), incluyéndose también en este grupo a las graveras.

Las canteras de roca ornamental. (Pizarras, granitos, calizas, mármoles, etc).

Las canteras de rocas y minerales industriales. (Cementos, ladrillería, cerámica y vidrio, etc)

2.2.6. Explotación de canteras

Dentro de las actividades propias de la extracción de materia prima de una cantera, hay que considerar que esta se realiza por medio de métodos mecánicos, con la ayuda de cierto tipo de maquinaria diseñada para este fin, actualmente se cuenta con una diversidad de equipo de última tecnología, encargado de realizar este tipo de labores, tales como: Excavadora, cargadora sobre ruedas, tractor sobre orugas, cargador frontal etc. (Herrera, 2018).

2.2.6.1. Fases de la explotación de canteras

Las fases de la explotación de una cantera a cielo abierto según (Piérola, 2017) tenemos:

✓ **Desbroce**

Consiste en retirar todo el material de sobrecarga y dejarlo listo para ser explotado o retirado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura en caso de rocas duras, o mediante maquinaria pesada en rocas suaves. Esta operación es de suma importancia para reducir el impacto ambiental, ya que permite conservar el suelo fértil y las especies nativas, pudiendo así reforestarlas en otra zona, con el fin de recuperar el espacio explotado.

Esta fase inicia con la excavación de trincheras de acceso o caminos hacia la cantera explotada. Los parámetros básicos que se deben de tener en cuenta son: largo, ancho de fondo, pendiente del talud, equipo empleado para la excavación y el objetivo para el que se construirá la trinchera. (Piérola, 2017).

✓ **Arranque**

Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y proceder a la voladura con el uso de explosivos. En el caso de rocas suaves, el arranque se realiza de manera directa, para lo cual se utiliza excavadoras que disgregan la roca para luego ser cargados hasta volquetes. (Piérola, 2017).

✓ **Transporte interno**

Habrá transporte interno siempre y cuando la planta de clasificación del material extraído se encuentre a cierta distancia caso contrario se obviaría esta fase, ya que la retro excavadora llevaría directamente el material a la zaranda.

✓ **Clasificación**

El material que ha sido quebrado mediante voladura puede ser alimentado a una trituradora de mandíbulas o cónica, desde donde se obtendrán los diferentes productos, como ripio, arena, entre otros. Para la comercialización, el material suave obtenido de laboreo mediante excavadora es llevado hasta zarandas estacionarias en las cuales se obtienen los diferentes productos como: arena, ripio, entre otros.

✓ **Comercialización**

Los diferentes tipos de productos que se han preparado en la cantera son comercializados en función de las necesidades del consumidor, para lo cual empresas que no tienen relación con los titulares mineros se encargan de comercializar, ocasionalmente los titulares disponen de volquetes y comercializan directamente.

✓ **Almacenamiento**

El material que no ha sido comercializado, es almacenado en lugares fuera del área de procesamiento de la roca para su posterior comercialización y se les conoce como stocks.

✓ **Escombreras**

Lugar en el cual se deposita de manera temporal o definitiva el suelo de cobertura o se deposita el material que no ha sido considerado útil o comercializable, según el caso.

2.2.7. Operaciones unitarias

Dentro de un proyecto minero ya sea metálico o no metálico se requiere de las operaciones unitarias. Las cuales cumplen un ciclo productivo que requieren de una serie de maniobras y actividades en un tiempo determinado. A continuación, se describe las cuatro operaciones unitarias teniendo en cuenta la Norma ASARCO según. (Catalán, 2021).

- ✓ **Perforación.** La perforación es el primer paso en la extracción de minerales o materiales áridos. Sobre todo, se utiliza cuando la roca es muy resistente a ser fractura y si la roca está muy alterada simplemente se extrae haciendo uso de un cargador frontal.
- ✓ **Voladura.** Esta operación se realiza siempre y cuando se haya realizado perforación y el explosivo de uso común es el nitrato de amonio.
- ✓ **Carguío.** Para el carguío del mineral o áridos se utiliza cargadores frontales y camiones de 15 cubos, Sin embargo, varios factores determinan la preferencia del equipo de carga como: rocas afiladas, excavaciones difíciles, climas húmedos.
- ✓ **Transporte.** Las etapas de carguío y transporte en minería no metálica se dan siempre y cuando el lugar para el chancado y zarandeado del material se encuentra lejos de la cantera, sino el transporte y carguío se da directamente para su comercialización.

2.2.8. Clasificaciones geomecánicas

2.2.8.1. Rock Quality Designation

Para determinar el RQD existen 3 métodos los cuales se vamos a detallar:

- En una línea de muestreo, se obtiene el promedio de la cantidad de discontinuidades que intercepta una determinada longitud. (comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro lineal) (Gavilanes y Andrade 2004).

Por lo tanto, para determinarlo se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de testigos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total del sondeo}}$$

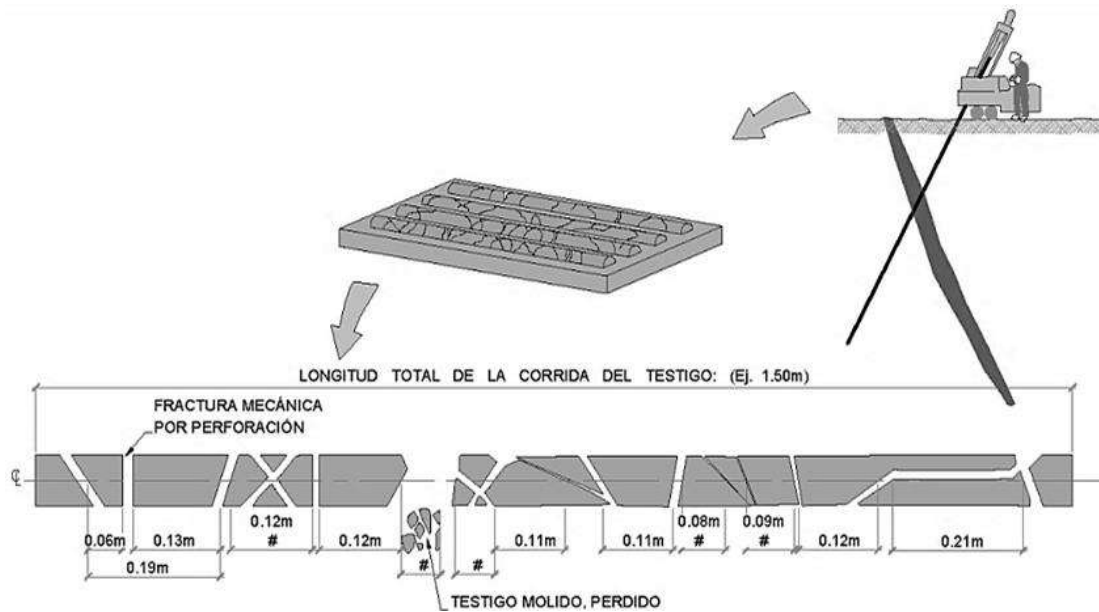


Figura 6. Evaluación del RQD en la corrida de un testigo.

Teniendo en cuenta los valores del RQD, los macizos rocosos pueden ser categorizados de la siguiente manera:

Tabla 2. Índice de Calidad de la Roca en función al RQD.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Mediana
50 – 25	Mala
25 - 0	Muy mala

Fuente: Gonzáles de Vallejo *et al*, 2004.

- El índice RQD se puede determinar de manera indirecta cuando no se dispone de sondeos utilizando del índice volumétrico de juntas (J_v) ($J_v =$ Joint Volumétric number), bien sea porque se puedan visualizar las discontinuidades en un afloramiento en superficie o por la realización de calicatas o trincheras de reconocimiento (EADIC, 2021). Este método se utiliza después de realizar el levantamiento litológico-estructural (Detail line)

en el área o zona predeterminada de la operación minera. De acuerdo a esto se puede obtener el RQD mediante la siguiente expresión matemática:

Dónde: J_v = número de fisuras por metro cúbico.

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v(\%)$$

- El índice RQD en afloramientos de los macizos rocosos también se puede realizar mediante la utilización de la siguiente expresión matemática:

Donde: $\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ discontinuidades}}{\text{longitud del muestreo}}$

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$$

2.2.8.2. Rock Mass Rating (RMR)

Según Gonzales de Vallejo *et al.* (2004), el RMR es una clasificación geomecánica de los macizos rocosos desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de valores para la clasificación RMR₈₉.

Tabla 3. Parámetros de Clasificación Geomecánica RMR, Bieniawski 1989

PARÁMETRO	RANGO DE VALORES					
Resistencia de la roca intacta	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)
	Compresión simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa 1-5 MPa <1 MPa
	PUNTUACIÓN	15	12	7	4	2 1 0
RQD		90 - 100 %	75 - 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %
	PUNTUACIÓN	20	17	12	8	3
Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm
	PUNTUACIÓN	20	15	10	8	5
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	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 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
	Alteración	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	VALOR	6	5	3	1	0
PUNTUACIÓN	30	23	13	6	0	
Agua freática	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
	Relación presión de agua/ Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	PUNTUACIÓN	15	10	7	4	0

Fuente: González de Vallejo, (2004).

Luego de hallar el promedio ponderado de la puntuación de los cinco parámetros de

clasificación para Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski 1989), tenemos la siguiente tabla en la que se indica la calidad del macizo rocoso.

Tabla 4. Calidad del Macizo Rocosó en función al RMR₈₉.

CLASE	CALIDAD	CALIDAD DE LA ROCA
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Media	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy mala	< 20

Fuente: Bieniawski, 1989.

2.2.8.3. Geological Strength Index (GSI)

Desarrollado por Hoek y Brown, 1997; Posteriormente, Hoek y Marinos, 2000. Indicaron que el GSI evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento, condiciones de meteorización y las características de la estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades.

Estimación del GSI en términos del RQD y las condiciones de las discontinuidades se muestra en la siguiente figura:

- ✓ El valor del GSI está dado por la suma de estas escalas que resultan en la siguiente relación:

$$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$$

INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con películas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 7. Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997).

2.3. MARTILLO SCHMIDT O ESCLERÓMETRO

- ✓ El martillo schmidt o esclerómetro es una herramienta de medición que consiste en una barra de acero(émbolo), la cual recibe el impacto de una pieza de acero impulsada por un resorte. Este impacto se trasmite a la superficie de roca o concreto y debido a la resistencia de este, la pieza rebota y su desplazamiento máximo es registrado en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento (Zambrano, 2017, p. 33).
- ✓ Las características principales, el funcionamiento y procedimiento de utilización del Martillo de Schmidt (esclerómetro) se basa según la norma ASTM D5873-05, para estimar en el campo o en laboratorio la resistencia a compresión simple de la roca ensayada a partir de la medida del rebote proporcionada por el martillo. (Lozano, 2012).



Foto 1. Martillo Schmidt utilizado para la medición de resistencia de compresión simple.

- ✓ Gráfica de Miller: la gráfica de Miller es una tabla que nos permite relacionar la resistencia al rebote, el ángulo de golpe y la densidad de una roca con sus resistencias a la compresión uniaxial.

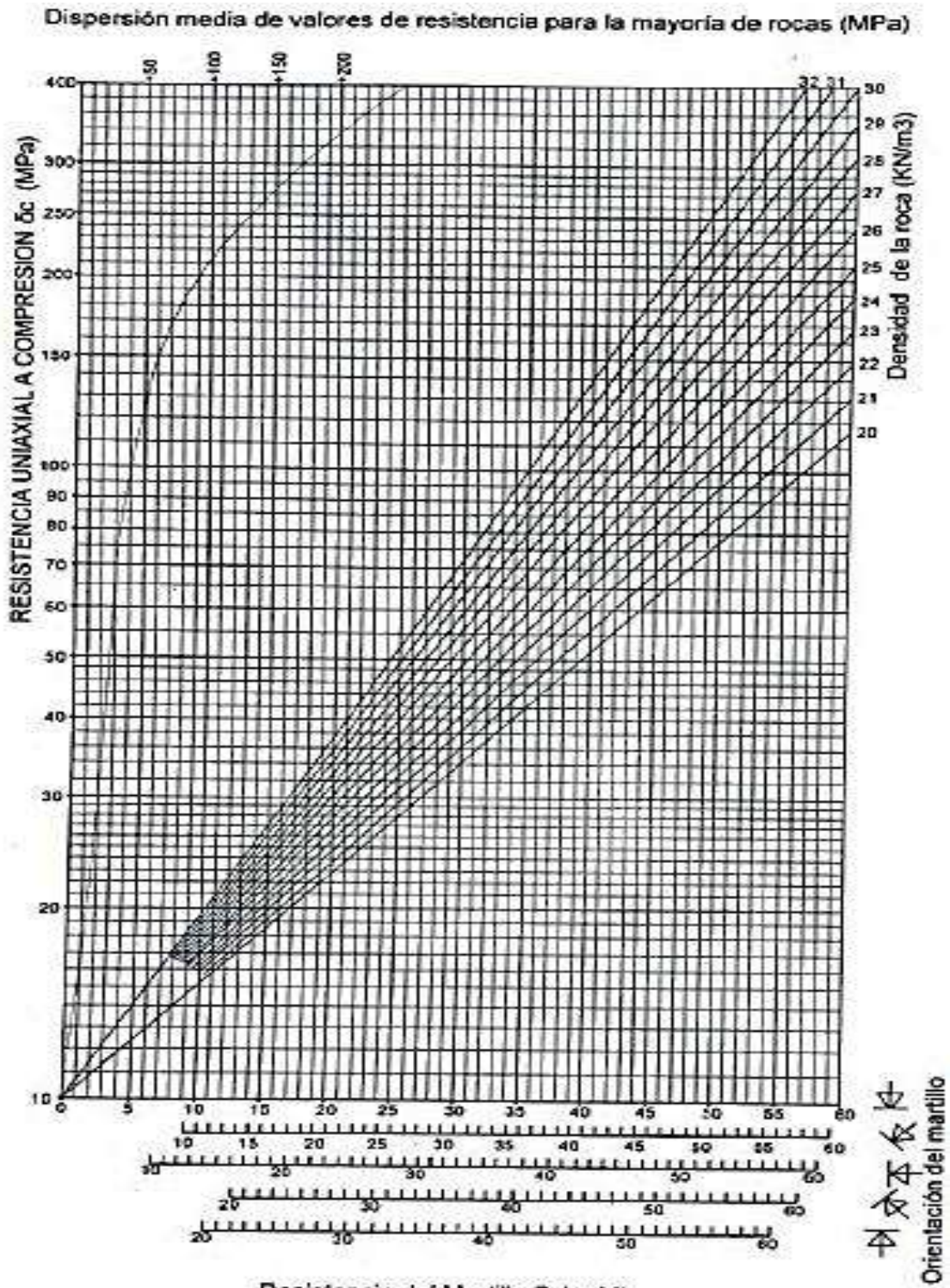


Figura 8. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca.

Fuente: Miller, (1966). Mejorado Rodríguez, 2024.

2.4. DEFINICIONES DE TERMINOS BASICOS

Arenisca. Roca compuesta por granos de cuarzo, arcilla en pequeñas cantidades y con contenido de óxidos. Estas rocas son útiles en construcción, revestimiento de paredes y fabricación de vidrio (Dávila, 2011).

Arena. Fragmentos de rocas de dimensiones comprendidas entre 1/16 y 2 mm. Están compuestas mayormente de cuarzo y feldespatos, conteniendo además otros minerales, tomando el nombre del mineral de predominio o de importancia económica (Dávila, 2011).

Maquinaria. Es un dispositivo creado por el ser humano para facilitar el trabajo y reducir el esfuerzo. Se caracteriza por que necesita energía para funcionar, transmite o transforma dicha energía y es capaz de producir distintos efectos (Reyes, 2001).

Producción. La producción es un proceso de transformación en el que ciertas cosas se integran en un proceso durante el cual pierden su identidad y caduca su anterior forma de ser, mientras que otras cosas nacen del proceso. Las primeras se llaman factores de producción, los segundos productos (Solano, 2019).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

La zona de la presente investigación se ubica al SE de la provincia de Celendín, al NE del distrito de Sucre en el Cerro Miraflores. Las coordenadas de los vértices de la zona de estudio se especifican en la tabla, en el sistema UTM, Datum WGS 84 y Zona 17S.

Tabla 5. Coordenadas de los vértices de la zona de estudio.

VERTICE	COORDENADAS	
	ESTE (m)	NORTE (m)
V1	818080	9231320
V2	818080	9230980
V3	817750	9230980
V4	817750	9231320

3.1.2. Política

La zona de investigación se encuentra ubicada en el país Perú, en el departamento de Cajamarca, provincia de Celendín, distrito de Sucre en el cerro Miraflores.

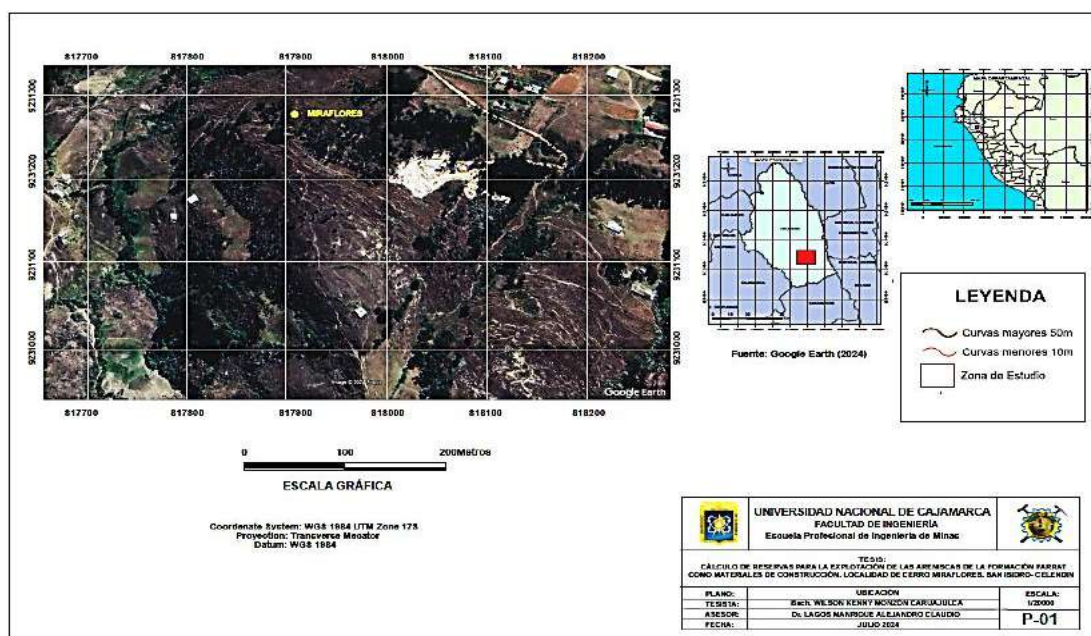


Figura 9. Ubicación del área de estudio

3.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio, se sigue la carretera asfaltada de Cajamarca Celendín. Desde la ciudad de Cajamarca hasta la plaza de armas de Celendín, hay una distancia aproximada de 100 Km, lo que toma alrededor de 2, 40 minutos en automóvil. Luego se toma la carretera afirmada hacia el cementerio de Sucre, donde se encuentra el Cerro Miraflores.

Tabla 6. Acceso a la zona de estudio

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (hrs)	Condición de la vía
Cajamarca – Celendín	100	2.40	Asfaltada
Celendín – cementerio de Sucre	12	0.25	Afirmada

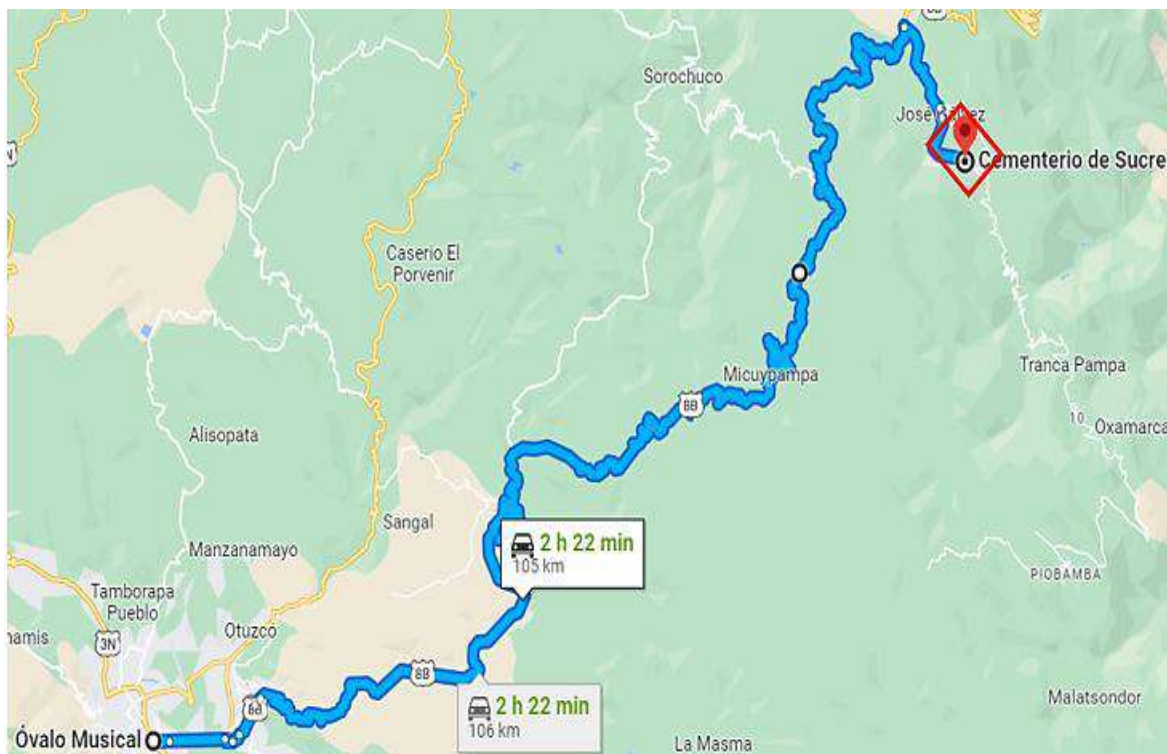


Figura 10. Accesibilidad a la zona de estudio. desde la ciudad de Cajamarca hasta el cementerio del caserío de Sucre-Celendín.

Fuente: Google Maps, 2024.

3.3. CLIMA

3.3.1. Temperatura

Según el registro de SENAMHI de las temperaturas entre los años 1991 y 2020. Se obtiene la temperatura máxima de 20.5°C en el mes de septiembre y la mínima de 7.2°C en los meses de julio y agosto.

3.3.2. Precipitación

El distrito de Sucre perteneciente a la provincia de Celendín presenta la mayor precipitación en el mes de marzo (155.8 mm) y con menor intensidad entre los meses de octubre – febrero. Las bajas precipitaciones entre mayo y septiembre, siendo el mes de agosto con menor precipitación (4,2 mm).

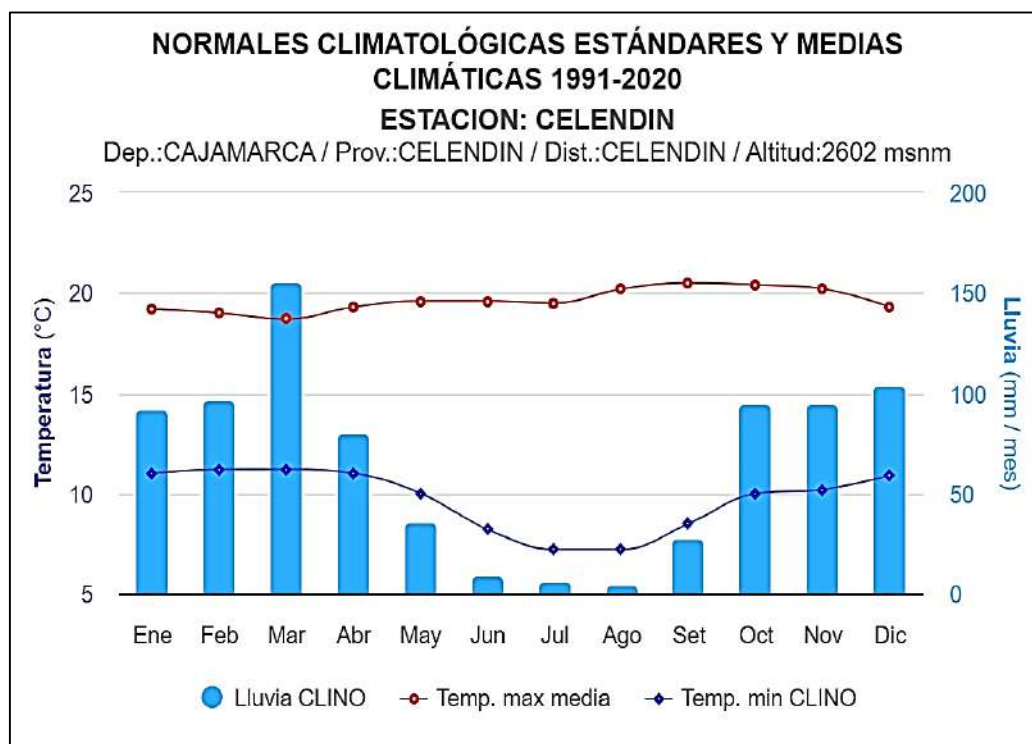


Figura 11. Clima distrito de Sucre, provincia de Celendín, teniendo en cuenta la estación meteorológica de la provincia de Celendín
Fuente: Senamhi, 2023

3.4. VEGETACIÓN

La vegetación natural es variada y se puede observar la presencia de ichu, lloctaras, zarza mora, tuyos espinosos, entre otros. También hay líquenes sobre rocas areniscas, helechos y cortaderas entre las discontinuidades de los macizos rocosos. En los alrededores se aprecia vegetación antrópica como eucaliptos, arboles de capulí, pinos etc.



Foto 2. Vegetación natural y antrópica de la zona de investigación.

3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

Tabla 7. Metodología de la investigación

CRITERIO	METODOLOGÍA
Tipo	Cuantitativo – analítico
Nivel	Descriptivo – correlacional
Diseño	No Experimental
Método	Deductivo inductivo

(Hernández, 2014)

3.5.2. Tipo de investigación

Es de carácter cuantitativa-analítica, ya que el propósito de la investigación es analizar las cualidades y cantidades que componen al yacimiento y que servirá como antecedente de futuras investigaciones dado que describen y evalúan las variables cuantitativamente a través de herramientas de estadísticas y de cálculo con el apoyo de software.

3.5.3. Nivel de investigación

De carácter descriptivo y correlacional porque analizamos el depósito mineral, así como los macizos rocosos por medio de la recolección de datos, para determinar la relación entre variables que nos definan parámetros para aprovechar los recursos.

3.5.4. Diseño de investigación

Se define como no experimental ya que no se manipulan ni se controlan las variables, se recopilan datos de manera objetiva y se analizan en un momento determinado de tiempo.

3.5.5. Método de investigación

De carácter deductivo e inductivo ya que se observan las variables y se validan datos para analizar la investigación desde un punto de vista más profundo y minucioso.

3.5.6. Población de estudio

Macizos rocosos de la Formación Farrat de la provincia de Celendín

3.5.7. Muestra

Macizos rocosos de la Formación Farrat del cerro Miraflores del distrito de Sucre.

3.5.8. Unidad de análisis

Arena fina y gruesa para construcción

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas

Esta investigación se realizará teniendo en cuenta en su parte inicial, una exhaustiva recopilación bibliográfica. Luego se realizarán salidas al campo, para la recolección de muestras y para la realización del análisis químico. También se harán una serie de mediciones para determinar el tipo de método de explotación a aplicar. Finalmente, se elaboran los mapas geológicos, perfiles y de esta manera procesar los datos para su interpretación final.

3.6.2. Instrumentos y equipos

GPS Navegatorio: Es un sistema de navegación basado en 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo), en órbita sobre el planeta tierra que envía información sobre la posición de una persona u objeto en cualquier horario y condiciones climáticas.

Brújula tipo Brunton: Instrumento que nos ayuda obtener los rumbos y buzamientos de los estratos, fallas, diaclasas, entre otros.

Picota de geólogo: Se utiliza para obtener una superficie fresca de una roca con el fin de determinar su composición, su naturaleza, la mineralogía.

Protáctor a escala 1/20000

Ficha de recolección de datos: Instrumentos en los cuales plasmamos por escrito información importante que hemos encontrado en nuestros procesos de búsqueda de información y que deseamos tener al alcance de nuestras manos en cualquier momento.

Flexómetro de 5 m: Instrumento que sirve para medir longitudes en superficies rectas o curvas.

Libreta de campo: Es una herramienta usada por investigadores de varias áreas para hacer anotaciones cuando ejecutan trabajos de campo

Lupa 40X (40 aumentos): Instrumento que nos servirá para identificar, minerales, texturas y estructuras de la roca.

Cámara fotográfica digital Marca Canon12Mp: Usado para tomar fotos, y de este modo, evidencia de las estructuras estudiadas.

GPS. Navegatorio	Brújula tipo Brunton	Picota del geólogo
		
HCl diluido	Protáctor a escala 1/20000	Wincha 30 m
		
Flexómetro de 5 m	Martillo Smith	Lupa 40X (40 aumentos)
		

Figura 12. Instrumentos y equipos utilizados en la presente investigación

3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización de la investigación se ha llevado a cabo en tres etapas:

3.7.1. Recopilación de información

Esta etapa consistió en la búsqueda de información como libros, estudios, investigaciones, tesis y papers relacionados con el cálculo de reservas y propuesta del método de explotación de una cantera, con la finalidad que los recursos sean aprovechados de manera óptima, para obtener una mayor rentabilidad en la explotación de yacimientos no metálicos.

3.7.2. Trabajo en campo

La epata de campo se realizó en varias salidas. En la primera salida hicimos el análisis y reconocimiento del área de interés. En la segunda salida realizamos la caracterización geomecánica, midiendo la resistencia de la roca, RQD, espaciado de las discontinuidades, estado de las discontinuidades (persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración) y la humedad. También se mide el ángulo de inclinación del talud. En la tercera y cuarta salida realizamos el levantamiento topográfico para realizar los perfiles, con el fin de hallar las áreas, volúmenes y poder determinar la cantidad del recurso a explotar.

3.7.3. Trabajo en gabinete

Con los datos tomados en campo en la primera salida hallamos el ángulo óptimo del talud para la explotación. Dichos datos fueron procesados, cuantificados e interpretados usando softwares como: Excel v.2019, Rock Data v.4.0, Dips v.7.0, y Slide v.6.0. Obteniendo como resultado el factor de seguridad. Con los datos obtenidos al realizar el levantamiento topográfico elaboramos los perfiles con la ayuda del software ArcGIS y realizamos el cálculo de reservas.

3.8. GEOLOGÍA REGIONAL

La columna estratigráfica de la región Cajamarca se compone de diversas Formaciones, abarcando desde las más antiguas hasta las más recientes. Iniciando desde lo más antiguo tenemos a las Formaciones Olmos, Salas, Mitú y Pucará, datadas en las edades ordovícica, pérmica y triásica, respectivamente. Posteriormente, se presentan las Formaciones Oyotun y Chicama, correspondientes a la era jurásica.

Continuando, tenemos el Grupo Goyllarisquizga, compuesto por cuatro Formaciones (Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat), que datan del Cretácico inferior, además de una Formación de transición denominada Inca. Seguidamente, aparecen las Formaciones

calcáreas (Chulec, Pariatambo, Yumagual, grupo Quilquiñam, Cajamarca y Celendín), pertenecientes al Cretácico Superior.

La geología regional concluye con las Formaciones Chota, que contienen rocas sedimentarias, seguidas por Llama y Porculla, constituidas por rocas volcánicas, datando estas últimas del Paleógeno. Finalmente, en el neógeno encontramos las Formaciones Bambamarca, Cajabamba y Condebamba, seguidas por los cuaternarios.

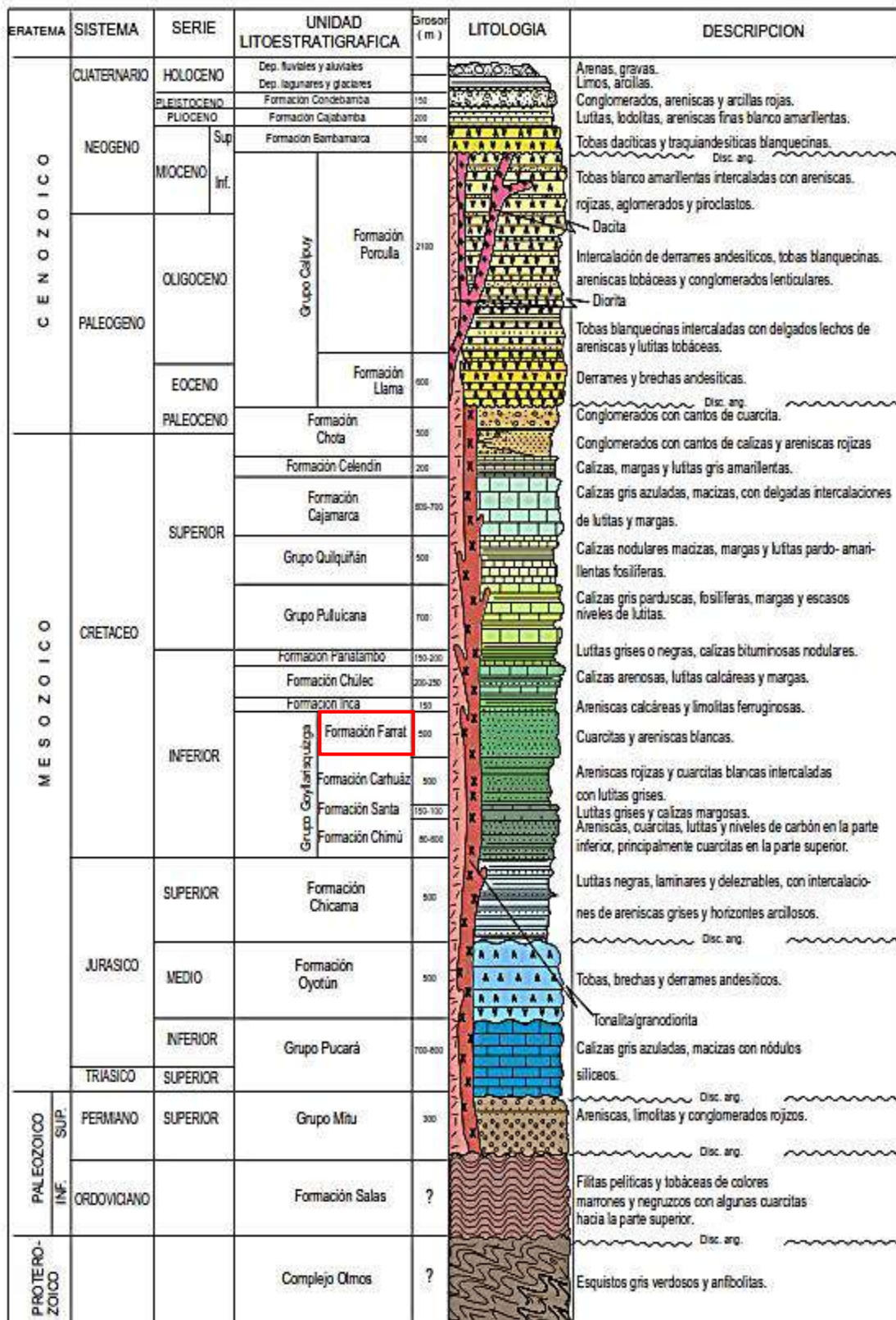


Figura 13. Columna Estratigráfica de la región Cajamarca
Fuente: INGEMMET, 2018.

3.9. GEOLOGÍA LOCAL

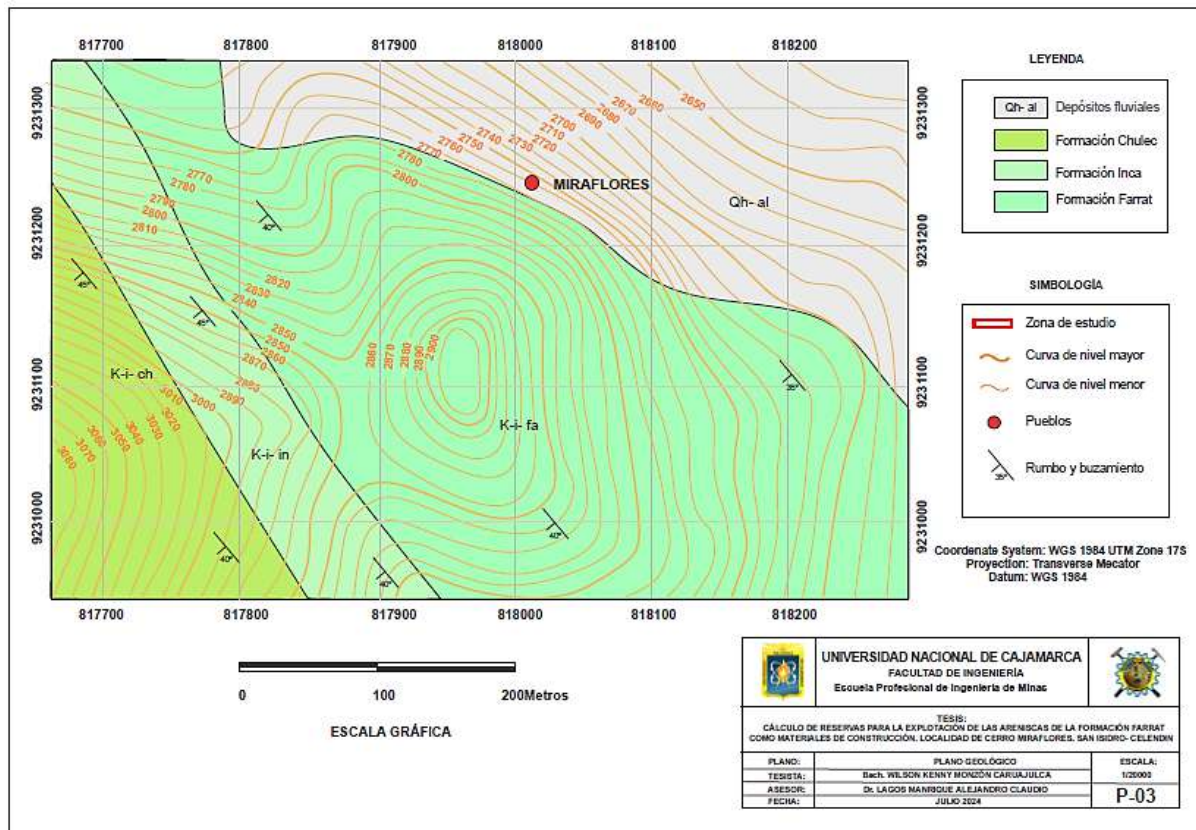


Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio

3.9.1. Formación Farrat (Ki – f)

Esta Formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretácico inferior. Consta de areniscas de grano medio a grueso, con abundante contenido de cuarzo. Dicha Formación subrayase sobre la Formación Carhuaz e infrayace a la Formación Inca y en el área de estudio se observa estratos con espesor de hasta 0.5 metros, con una coloración crema– amarillento debido a la presencia de óxidos de hierro, también se observa plantas silvestres y musgos por encima del macizo rocoso y entre las discontinuidades, esto provoca alteración de las propiedades químicas y físicas de la roca arenisca.



Foto 3. Afloramientos rocosos de la Formación Farrat.

3.9.2. Formación Inca (Ki – in)

La Formación Inca se encuentra suprayaciendo a la Formación Farrat e infrayaciendo a la Formación Chulec, representa el paso transicional a un cambio de ambiente (rocas carbonatadas). El color característico que lo diferencia de las otras formaciones es el amarillo anaranjado debido a la presencia de óxidos de hierro. Por esta razón su litología está conformada por areniscas ferruginosas, arcillolitas ferruginosas. Pero también se puede encontrar areniscas calcáreas debido a que se caracteriza por ser un mar de poca profundidad con corrientes turbulentas.



Foto 4. Formación Farrat se encuentra infrayaciendo a la Formación Inca. Foto tomada cerca de la localidad de Miraflores.

3.10. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Como el material a extraer son las areniscas de la Formación Farrat del Cerro Miraflores, se ha caracterizado dos estaciones geomecánicas debido a que se aprecia un material homogéneo en toda el área de estudio. Para dicha caracterización se ha utilizado las principales clasificaciones geomecánicas, los cuales son: RMR (Bieniawski 1989), Índice de Calidad de la Roca (RQD) e Índice de Resistencia Geológica (GSI) según Hoek y Brown (2002).

3.10.1. Estación geomecánica 01 (EG – 01)

Está constituida por areniscas de grano medio a grueso, con gran contenido de sílice, Además se aprecia un color amarillento debido a la presencia de Óxidos de hierro. Estos macizos rocosos se encuentran diaclasados apreciándose algunas fracturas con relleno de limolitas, arcillas, y óxidos. Por otro lado, estos macizos rocosos están expuestos a la meteorización química, física y biológica, lo cual estarían alterando sus propiedades químicas, físicas y mecánicas de los macizos rocosos.

➤ **Ubicación de la estación**

Tabla 8. Datos de ubicación de la estación geomecánica 01

LUGAR	Cerro Miraflores		
FORMACIÓN	Fm. Farrat		
DATUM	WGS – 84		
ZONA	17 S		
COORDENADAS	Este	817981	
	(m)		
	Norte	9231173	
	(m)		
	Cota	2624	
	(msnm)		

➤ **Caracterización de las discontinuidades**

Se identificó dos tipos de discontinuidades los cuales son: los planos de estratificación y diaclasas. Dentro de las diaclasas se identificó dos familias de las cuales sus características se muestran en la tabla 9.

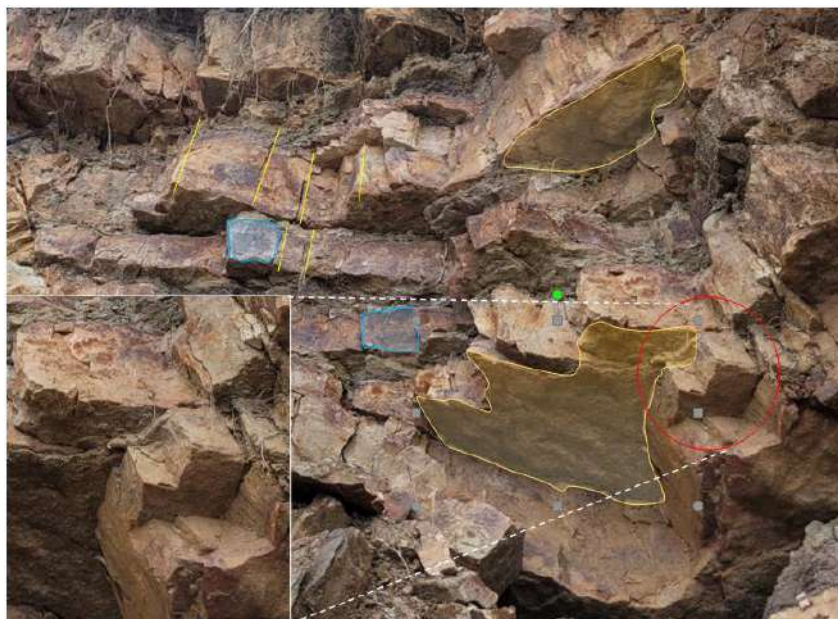


Foto 5. Caracterización de las discontinuidades de la Estación Geomecánica 01

➤ **Determinación de la resistencia a la Compresión uniaxial RCU)**

La determinación de la resistencia a la compresión uniaxial de las 02 estaciones se determinó utilizando el martillo de Schmidt CONTROLS, tipo L, Modelo 45- 561.



Foto 6. Uso del martillo de Schmidt en la formación Farrat por el tesista, en las diferentes posiciones. Localidad de Miraflores, Celendín.

➤ **Número de Rebotes (NR)**

Para calcular el número de rebotes (NR) se ha utilizado el Martillo de SCHMIDT. Basados en la Norma ASTM D5873 “Método de prueba estándar para determinar la dureza de la roca por el método de martillo rebote”, se ha realizado 30 disparos para cada estación. Este martillo se ha utilizado en 3 posiciones: vertical, horizontal e inclinado todas de manera perpendicular. Los valores que difieren 7 unidades del promedio se descartan, luego para obtener los valores de la Resistencia a la compresión uniaxial se ha utilizado el ábaco en donde se plotea el valor promedio de los 10 disparos vs densidad de la roca arenisca en KN/m^3 , dichos datos de la densidad de la arenisca se obtuvieron de los análisis químicos realizados los cuales se

adjuntarán en los anexos, obteniéndose un promedio general de la resistencia a la compresión uniaxial en MPa para cada estación, cuyo valor se observa en la parte izquierda del ábaco. Cabe indicar que el ábaco no nos da un valor exacto sino nos ubica en un intervalo que para el ejemplo siguiente corresponde un valor entre 50-100 Mpa. Para hallar el valor más exacto se ha utilizado la siguiente ecuación que se muestra en la parte inferior:

Los valores dados por el martillo de SCHMIDT quedan en el rango de 50- 100MPa

$$\mathbf{Log (RCU) = (0.00088 * PE * NR) + 1.01}$$

PE= Peso específico de la roca KN/M3

NR= Numero de Rebotes

Reemplazando:

✓ **Estación Geomecánica N°01**

$$Log (RCU) = (0.00088 * 26.24 * 40) + 1.01$$

$$\mathbf{RCU = 85.83 MPa}$$

✓ **Estación Geomecánica N°02**

$$Log (RCU) = (0.00088 * 26.24 * 41) + 1.01$$

$$\mathbf{RCU = 90.52 MPa}$$

✓ Estación Geomecánica N°01

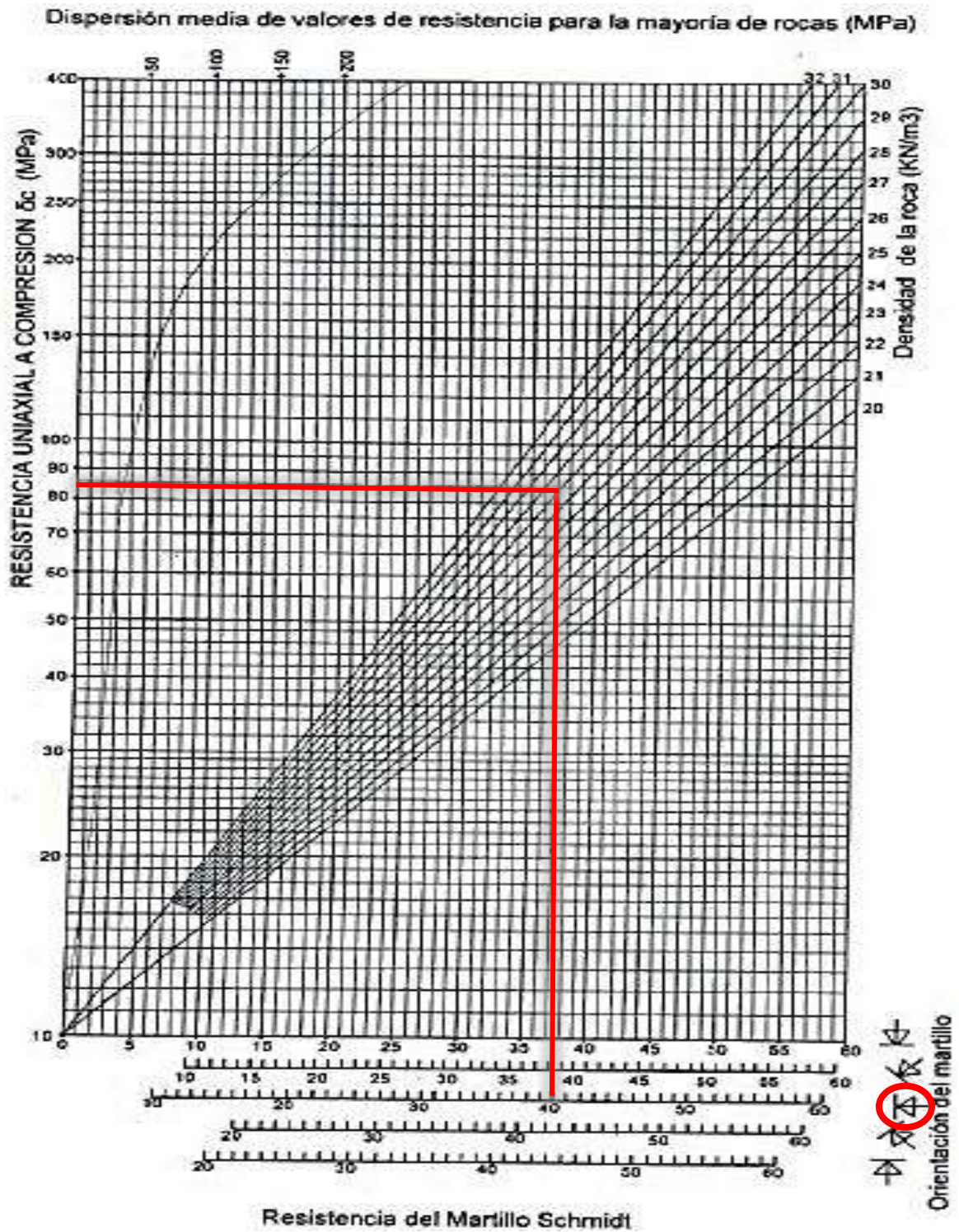


Figura 15. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca.

Fuente: Miller, (1966). Mejorado Rodríguez, 2024.

✓ Estación Geomecánica N°02

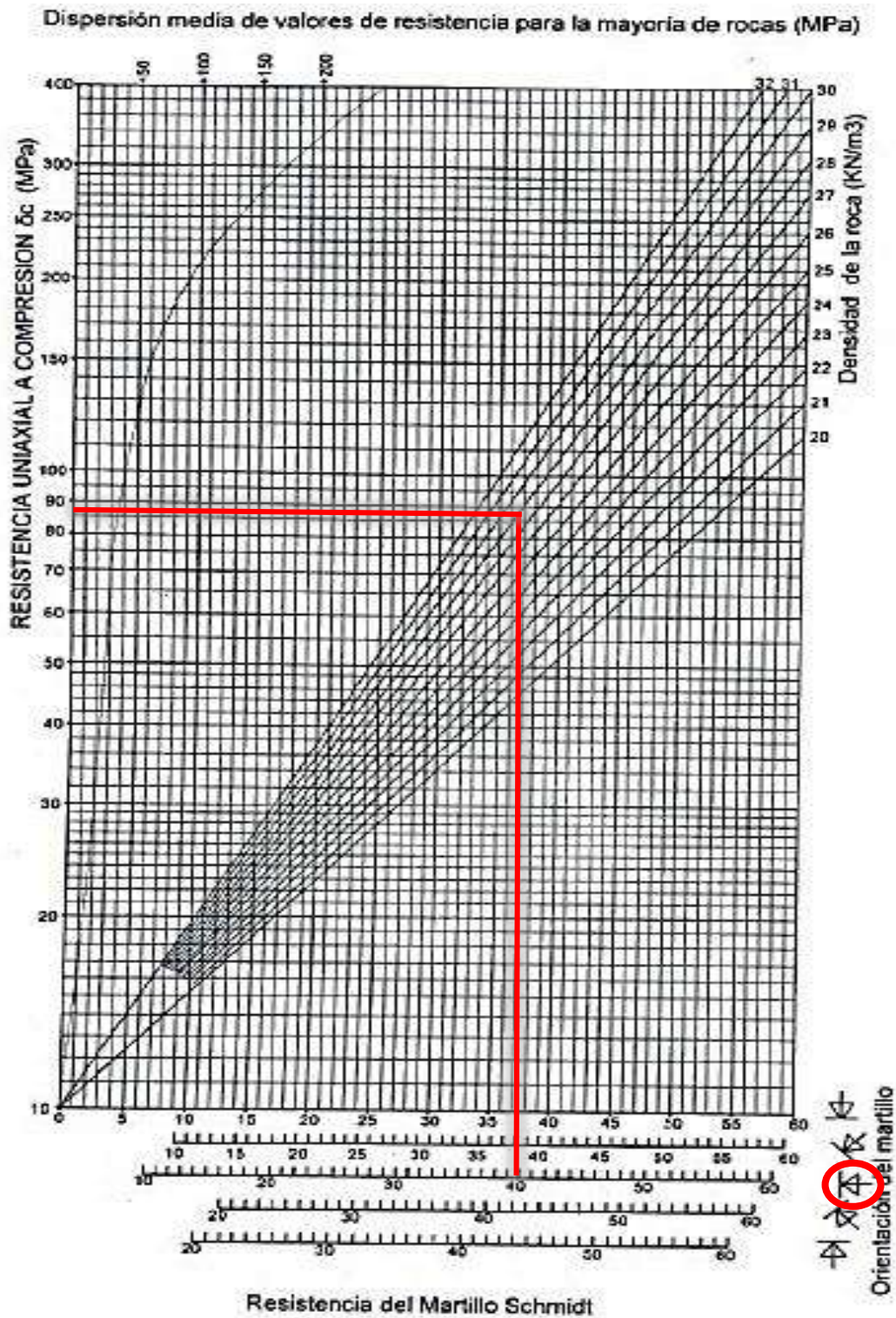


Figura 16. Ábaco para la resistencia a compresión simple de una roca.
Fuente: Miller, (1966). Mejorado Rodríguez, 2024.

Tabla 9. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 01 – Posición Horizontal

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt:	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas	ESTE (m) - 818080; NORTE (m) - 9231321		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 01	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Horizontal	30	50.44	86.07
			Horizontal	41	90.52	
			Horizontal	40	85.83	
			Horizontal	41	90.52	
			Horizontal	38	77.17	
			Horizontal	38	77.17	
			Horizontal	46	118.09	
			Horizontal	39	81.39	
			Horizontal	41	90.52	
			Horizontal	42	95.46	

Tabla 10. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 01 - Posición Vertical

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas	ESTE (m) - 818080; NORTE (m) - 9231321		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR)+1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 01	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Vertical	39	81.39	86.54
			Vertical	41	90.52	
			Vertical	40	85.83	
			Vertical	32	56.09	
			Vertical	40	85.83	
			Vertical	38	77.17	
			Vertical	42	95.46	
			Vertical	39	81.39	
			Vertical	40	85.83	
			Vertical	42	95.46	

Tabla 11. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 01 - Posición Inclinada (45°)

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas	ESTE (m) - 818080; NORTE (m) - 9231321		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 01	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Inclinado (45°)	41	90.52	84.84
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	31	53.19	
			Inclinado (45°)	41	90.52	
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	38	77.17	
			Inclinado (45°)	48	131.33	
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	41	90.52	
			Inclinado (45°)	40	85.83	

Tabla 12. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 02 – Posición Horizontal

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt:	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas	ESTE (m) - 817750; NORTE (m) - 9230980		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 02	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Horizontal	31	53.19	85.43
			Horizontal	40	85.83	
			Horizontal	39	81.39	
			Horizontal	40	85.83	
			Horizontal	38	77.17	
			Horizontal	41	90.52	
			Horizontal	46	118.09	
			Horizontal	39	81.39	
			Horizontal	40	85.83	
			Horizontal	42	95.46	

Tabla 13. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 02 – Posición Vertical

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt :	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas	ESTE (m) - 817750; NORTE (m) - 9230980		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 02	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Vertical	39	81.39	86.05
			Vertical	41	90.52	
			Vertical	40	85.83	
			Vertical	39	81.39	
			Vertical	40	85.83	
			Vertical	45	111.97	
			Vertical	42	95.46	
			Vertical	39	81.39	
			Vertical	38	77.17	
			Vertical	42	95.46	

Tabla 14. Cálculo del promedio del valor de la RCU de la Estación Geomecánica 02 – Posición Inclinado (45°)

MARTILLO SMITH EN ESTACION						
DATOS DEL ENSAYO						
*Lugar:	Miraflores, Celendín		*Martillo Schmidt:	Tipo L		
*Número de disparos:	30		*Modelo:	45- 561		
*Peso Específico:	26.24 KN/M3		*Coordenadas:	ESTE (m) - 817750; NORTE (m) - 9230980		
UBICACIÓN	LITOLOGIA	GEOLOGIA	ORIENTACION	NUMERO DE REBOTES	RCU (MPa)	RCU - PROMEDIO
				(NR)	Log (RCU)=(0.00088*PE*NR)+1.01	(MPa)
GEOMECANICA N° 02	Areniscas cuarzosa	Formación Farrat, Grupo Goyllarisquizga	Inclinado (45°)	41	90.52	84.54
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	38	77.17	
			Inclinado (45°)	42	95.46	
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	38	77.17	
			Inclinado (45°)	48	131.33	
			Inclinado (45°)	39	81.39	
			Inclinado (45°)	41	90.52	
			Inclinado (45°)	40	85.83	

Tabla 15. Parámetros en la caracterización de las discontinuidades

Parámetros de las discontinuidades		Estratificación	Discontinuidad 1	Discontinuidad 2
P R O M E D I O	Orientación D/DD	42/238	75/107	60/44
	Espaciado	35 cm	45 cm	35 cm
	Continuidad	12 m	1.5 m	1.2 m
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	Rugosa
	Resistencia	50	50	50
	Abertura	2.5 mm	0.35 mm	0.45 mm
	Relleno	Limolitas, arcillas y óxidos	Sin relleno y con óxidos	Sin relleno y con óxidos
Humedad	Húmedo	Húmedo	Húmedo	

➤ **Cálculo del RQD**

Tabla 16. Cálculo y clasificación del macizo rocoso según RQD (%)

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	16	1.5	10.67	71.17
Calidad de la roca	RQD (%)	75 – 50		regular

➤ **Cálculo del RMR₈₉**

Tabla 17. Asignación de valores y cálculo del RMR₈₉

PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						PTJE.		
Resistencia de la roca intacta	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)		7	
	Compresión simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa		<1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1		0
RQD		90 - 100 %	75 - 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		12	
	Puntuación	20	17	12	8	3			
Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		10	
	Puntuación	20	15	10	8	5			
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		13	
	Valoración	6	4	2	1	0			
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
	Valoración	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
	Valoración	6	5	3	1	0			
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
	Valoración	6	4	2	2	0			
	Alteración	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
	Valoración	6	5	3	1	0			
Puntuación	30	23	13	6	0				
Agua freática	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		7	
	Relación presión de agua/ Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación	15	10	7	4	0			
VALORACION TOTAL RMR₈₉							49		

➤ **Determinación del GSI**

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la Condición de ellas. Como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 18. Cálculo del GSI de la Estación Geomecánica 01.

ESTIMACIÓN DEL GSI					
Cálculo del RQD					
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	Λ	RQD	
	16	1.5	10.67	71.17	
Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración (JCOND ₈₉)
2	1	5	2	3	13
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$				GSI = 55.085	

➤ **Determinación de las propiedades geomecánicas**

Para determinar las propiedades geomecánicas de la EG – 01 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 17 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 13.

Tabla 19. Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 01.

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 1				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	75 MPa	Criterio de Hoek - Brown	mb	0.683
			s	0.0001
			a	0.504
GSI	55	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.228 MPa
			Phi	58.197°
Mi	17	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.061 MPa
			Sigc	1.711 MPa
			Sigcm	8.198 MPa
			Erm	1852.663 MPa

ANÁLISIS GEOMECÁNICO EG-01

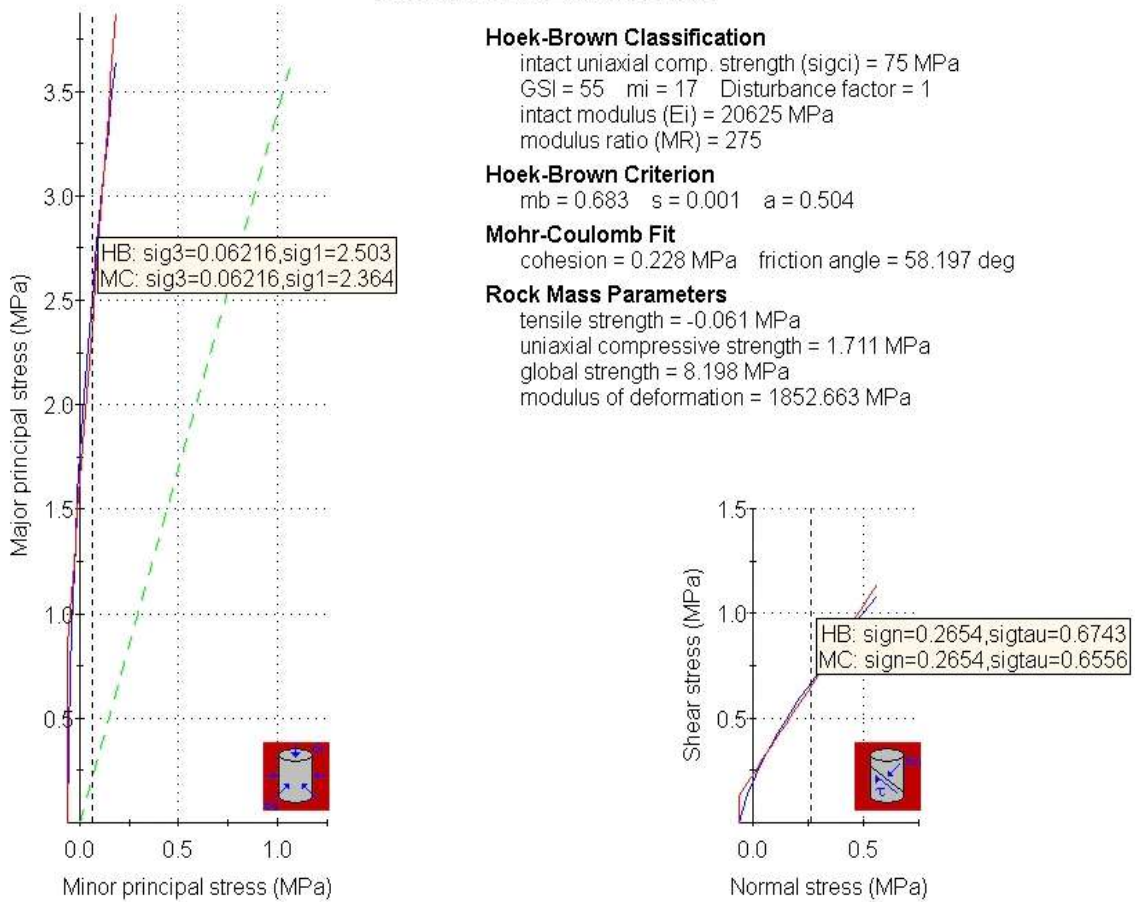


Figura 17. Resultado del análisis geomecánico EG-01.

3.10.2. Estación geomecánica 02 (EG – 02)

Está constituida por areniscas de grano medio a grueso, con gran contenido de sílice, Además se aprecia un color amarillento debido a la presencia de Óxidos de hierro. Estos macizos rocosos se encuentran diaclasados apreciándose algunas fracturas con relleno de limolitas y arcillas, y óxidos. Por otro lado, estos macizos rocosos están expuestos a la meteorización química, física, Lo cual estarían alterando sus propiedades químicas, físicas y mecánicas de los macizos rocosos.

➤ **Ubicación de la estación**

Tabla 20. Datos de ubicación de la estación geomecánica 02

LUGAR	Cerro Miraflores	
FORMACIÓN	Fm. Farrat	
DATUM	WGS – 84	
ZONA	17 S	
COORDENADAS	Este (m)	818034
	Norte (m)	9231230
	Cota(msnm)	2630



➤ **Caracterización de las discontinuidades**

Se identificó dos tipos de discontinuidades los cuales son: los planos de estratificación y diaclasas. Dentro de las diaclasas se identificó tres familias de las cuales sus características y valoración se muestran en la tabla 15.



Foto 7. Caracterización de las discontinuidades de la Estación Geomecánica 02.

Tabla 21. Resultados de los parámetros en la caracterización de las discontinuidades

Parámetros de las discontinuidades		Estratificación	Discontinuidad 1	Discontinuidad 2	Discontinuidad 3
P R O M E D I O	Orientación D/DD	39/238	75/107	70/48	55/230
	Espaciado	35 cm	45 cm	35 cm	42 cm
	Continuidad	12 m	1.5 m	1.2 m	0.8 m
	Rugosidad	Rugosa	Rugosa	Rugosa	Rugosa
	Resistencia	50	50	50	50
	Abertura	2.5 mm	0.35 mm	0.45 mm	0.3 mm
	Relleno	Limolitas, arcillas y óxidos	Arcillas y óxidos	Arcillas y óxidos	Arcillas y óxidos
	Humedad	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo

➤ **Cálculo del RQD**

Tabla 22. Cálculo y clasificación del macizo rocoso según RQD (%)

Cálculo del RQD				
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	λ	RQD
	17	1.5	11.33	68.6
Calidad de la roca	RQD (%)	75 – 50		regular

➤ **Cálculo del RMR_{89}**

Tabla 23. Asignación de valores y cálculo del RMR₈₉

PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						PTJ E.
Resistencia de la roca intacta	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Compresión simple (MPa)	7
	Compresión simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa 1-5 <1 MPa	
	Puntuación	15	12	7	4	2 1 0	
RQD		90 - 100 %	75 - 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %	12
	Puntuación	20	17	12	8	3	
Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm	10
	Puntuación	20	15	10	8	5	
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m	13
	Valoración	6	4	2	1	0	
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm	
	Valoración	6	5	3	1	0	
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
	Valoración	6	5	3	1	0	
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
	Valoración	6	4	2	2	0	
	Alteración	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
Valoración	6	5	3	1	0		
Puntuación	30	23	13	6	0		
Agua freática	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min	7
	Relación presión de agua/ Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
	Puntuación	15	10	7	4	0	
VALORACION TOTAL RMR₈₉							49

➤ **Determinación del GSI**

Se realizó mediante la matriz de Hoek *et al*, 2013. Porque las discontinuidades son favorables; el cual está en función del RQD y la Condición de ellas. Como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 24. Cálculo del GSI de la Estación Geomecánica 02.

ESTIMACIÓN DEL GSI					
Cálculo del RQD					
$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$	ND	L (m)	Λ		RQD
	17	1.5	11.33		68.6
Clasificación de condiciones de discontinuidades Bieniawski 1989					
Apertura	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valoración (JCOND ₈₉)
2	1	5	2	3	13
$GSI = 1.5 * JCOND_{89} + \frac{RQD}{2}$				GSI = 53.8	

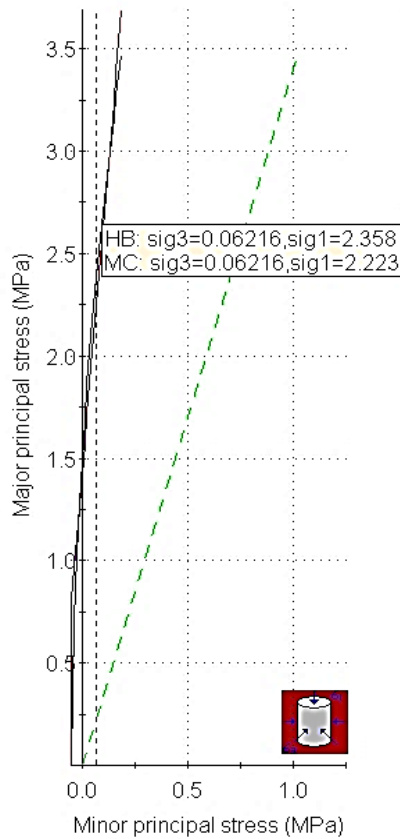
➤ **Determinación de las propiedades geomecánicas**

Para determinar las propiedades geomecánicas de la EG – 02 se utilizó el Software RocData v. 4.0 de Rocscience, como se muestra en la Figura 18 y los datos obtenidos se muestra en la tabla 19.

Tabla 25. Propiedades geomecánicas de la Estación Geotécnica 02.

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE ESTACIÓN GEOTÉCNICA 1				
Parámetros de entrada (Clasificación de Hoek – Brown)			Parámetros de salida	
Sigci	75 MPa	Criterio de Hoek - Brown	mb	0.636
			s	0.000468
			a	0.504
GSI	54	Parámetros de Mohr Coulomb Equivalentes	c	0.212 MPa
			Phi	57.87°
Mi	17	Parámetros del macizo rocoso	Sigt	-0.055 MPa
			Sigc	1.570 MPa
			Sigcm	7.889 MPa
			Erm	1743.669 MPa

ANÁLISIS GEOMECÁNICO EG-02



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci) = 75 MPa
GSI = 54 mi = 17 Disturbance factor = 1
intact modulus (Ei) = 20625 MPa
modulus ratio (MR) = 275

Hoek-Brown Criterion

mb = 0.636 s = 0.000468 a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.212 MPa friction angle = 57.850 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.055 MPa
uniaxial compressive strength = 1.570 MPa
global strength = 7.889 MPa
modulus of deformation = 1743.669 MPa

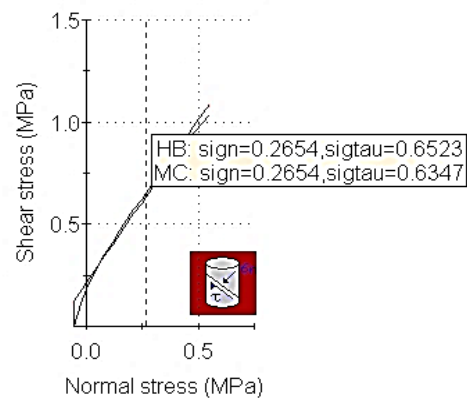


Figura 18. Resultado del análisis geomecánico EG-02.

3.11. CUBICACIÓN DE RESERVAS

3.11.1. Descripción del material a extraer

Los materiales que se extraerán de las rocas areniscas del Cerro Miraflores es arena fina, arena gruesa y hormigón, obtenidos por la disgregación y trituración de la arenisca, que serán utilizados en la construcción. También se puede extraer piedra chancada; para lo cual, se realizará siguiendo los procedimientos correspondientes a la minería de tajo abierto.

3.11.2. Cálculo de reservas

Para el cálculo de reservas totales usaremos el método por secciones, los cuales son procesados en ArcGIS. Estas secciones están separadas cada 21.46 metros, obteniendo un total de 13 perfiles en dirección SW – NE.

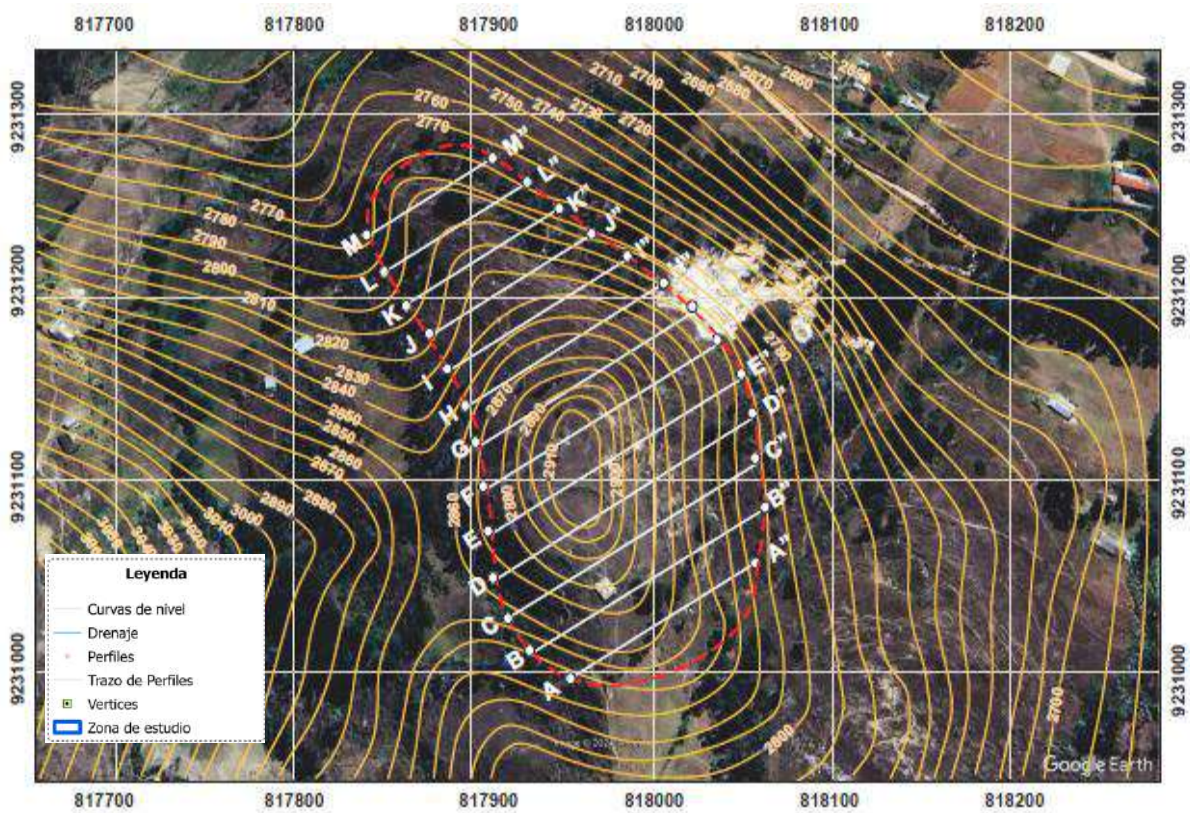


Figura 19. Plano con la dirección de los perfiles, para el Cálculo de reservas.

✓ **Cálculo de las áreas de las secciones**

A continuación, se procede a calcular las áreas de las 13 secciones elaboradas en ArcGIS.



Foto 8. Depósito de arenisca de la Formación Farrat donde se midió la cota más baja del depósito (2650.14 msnm). Foto tomada cerca de la localidad de Miraflores.

Tabla 26. Coordenadas UTM de los 13 perfiles

Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9230960	817962	A'	9231050	818055
B	9230940	817975	B'	9231070	818063
C	9231000	817950	C'	9231100	818075
D	9231020	817945	D'	9231120	818085
E	9231040	817925	E'	9231140	818090
F	9231050	817915	F'	9231155	818080
G	9231060	817910	G'	9231160	818050
H	9231070	817900	H'	9231165	818040
I	9231080	817890	I'	9231170	818030
J	9231075	817880	J'	9231188	818020
K	9231110	817880	K'	9231185	818010
L	9231130	817879	L'	9231205	817990
M	9231135	817870	M'	9231210	817980

✓ **Cálculo del área del perfil A – A'**

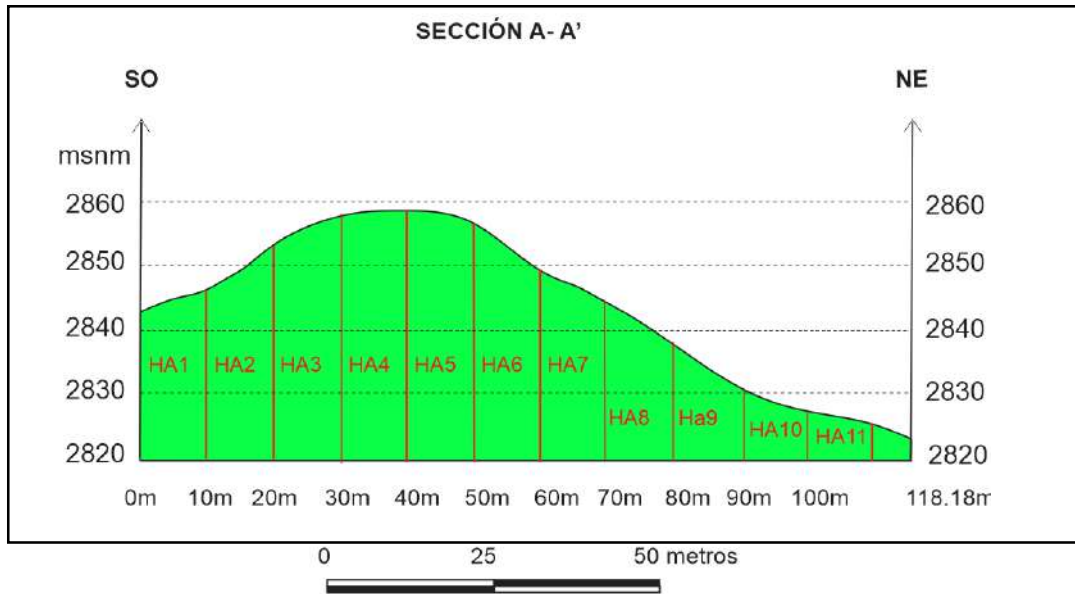


Figura 20. Polígonos del perfil A – A'

Tabla 27. Cálculo del área del Perfil A – A'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	26.34	23.31	10	248.25
2	33.10	26.34	10	297.20
3	38.45	33.10	10	357.75
4	38.69	38.45	10	385.70
5	38.69	36.13	10	374.10
6	36.13	29.60	10	328.65
7	29.60	24.71	10	271.55
8	24.71	18.41	10	215.60
9	18.41	10.96	10	146.85
10	10.96	7.69	10	93.25
11	7.69	5.36	10	65.25
12	5.36	3.5	8.18	36.24
Total			118.18	2820.39

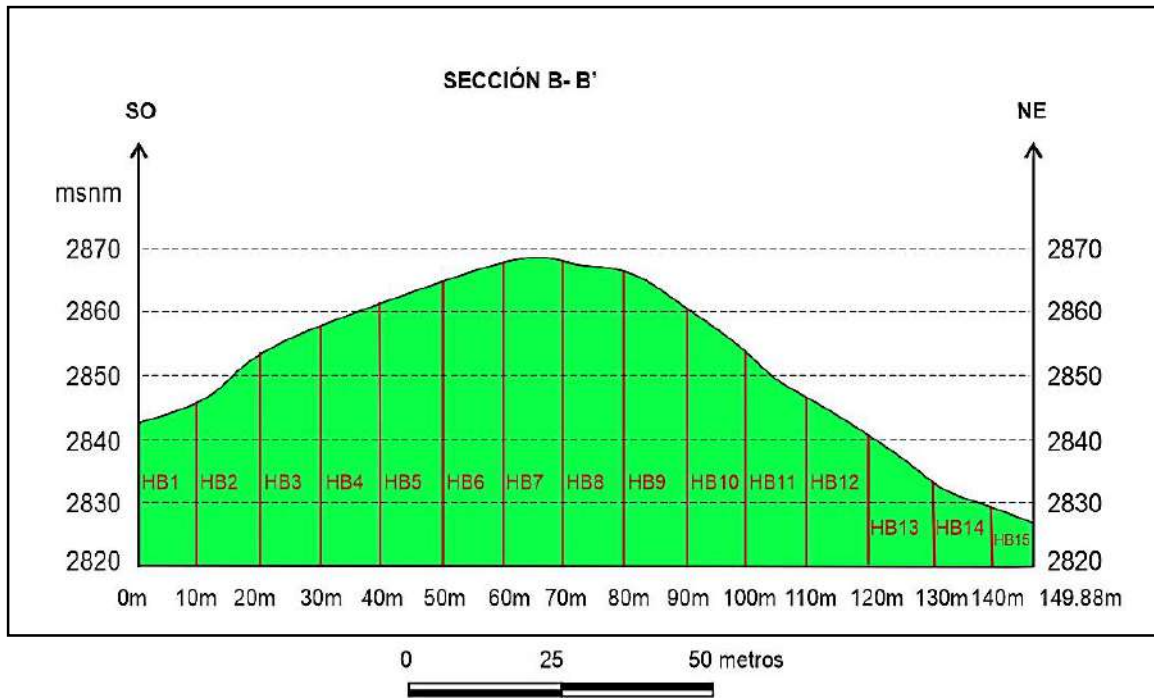


Figura 21. Polígonos del perfil B – B'

Tabla 28. Cálculo del área del Perfil B – B'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	25.87	22.38	10	241.24
2	33.33	25.87	10	296.00
3	38.23	33.33	10	357.82
4	41.03	38.23	10	396.30
5	44.52	41.03	10	427.75
6	48.02	44.52	10	462.70
7	48.25	48.02	10	481.35
8	48.25	46.62	10	474.35
9	46.62	40.56	10	435.90
10	40.56	34.03	10	372.95
11	34.03	26.81	10	304.20
12	26.81	20.75	10	237.80
13	20.75	13.05	10	169.00
14	13.05	9.79	10	114.20
15	9.79	6.76	9.88	81.76
Total			149.88	4853.31

✓ **Cálculo del área del perfil C – C'**

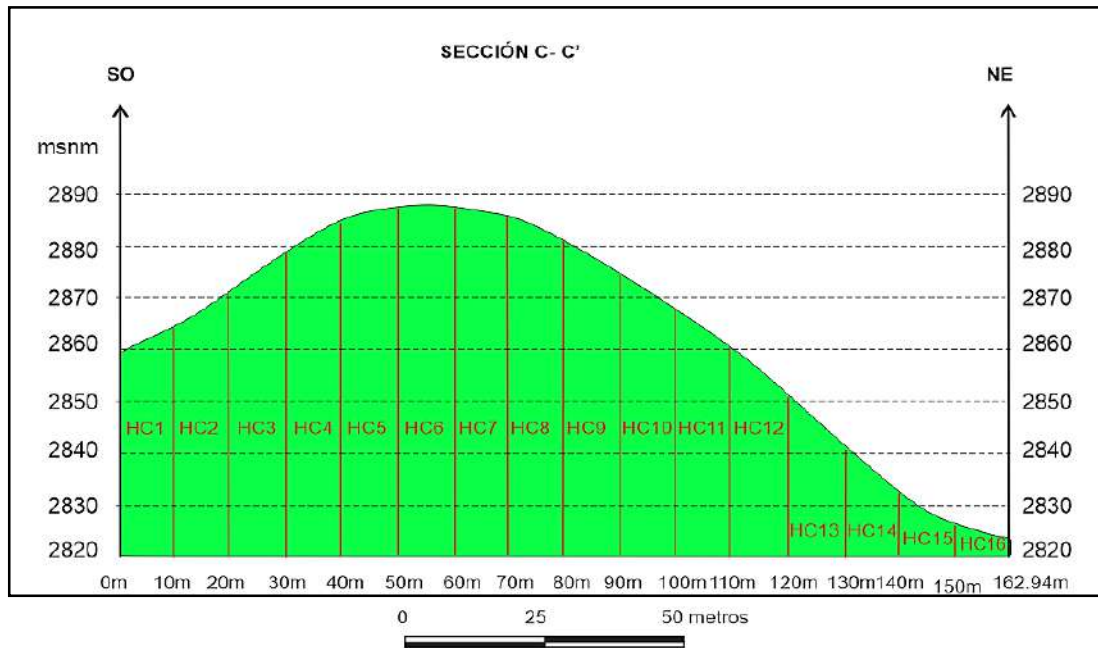


Figura 22. Polígonos del perfil C – C'

Tabla 29. Cálculo del área del Perfil C – C'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	44.06	40.33	10	421.95
2	50.82	44.06	10	474.40
3	58.51	50.82	10	546.65
4	64.34	58.51	10	614.25
5	66.90	64.34	10	656.20
6	66.90	66.67	10	667.85
7	66.67	65.50	10	660.85
8	65.50	60.84	10	631.70
9	60.84	54.31	10	575.75
10	54.31	47.32	10	508.15
11	47.32	40.79	10	440.55
12	40.79	31.47	10	361.30
13	31.47	22.14	10	268.05
14	22.14	12.12	10	171.30
15	12.12	6.29	10	92.05
16	6.29	3.96	12.94	66.32
Total			162.94	7157.32

✓ **Cálculo del área del perfil D – D'**

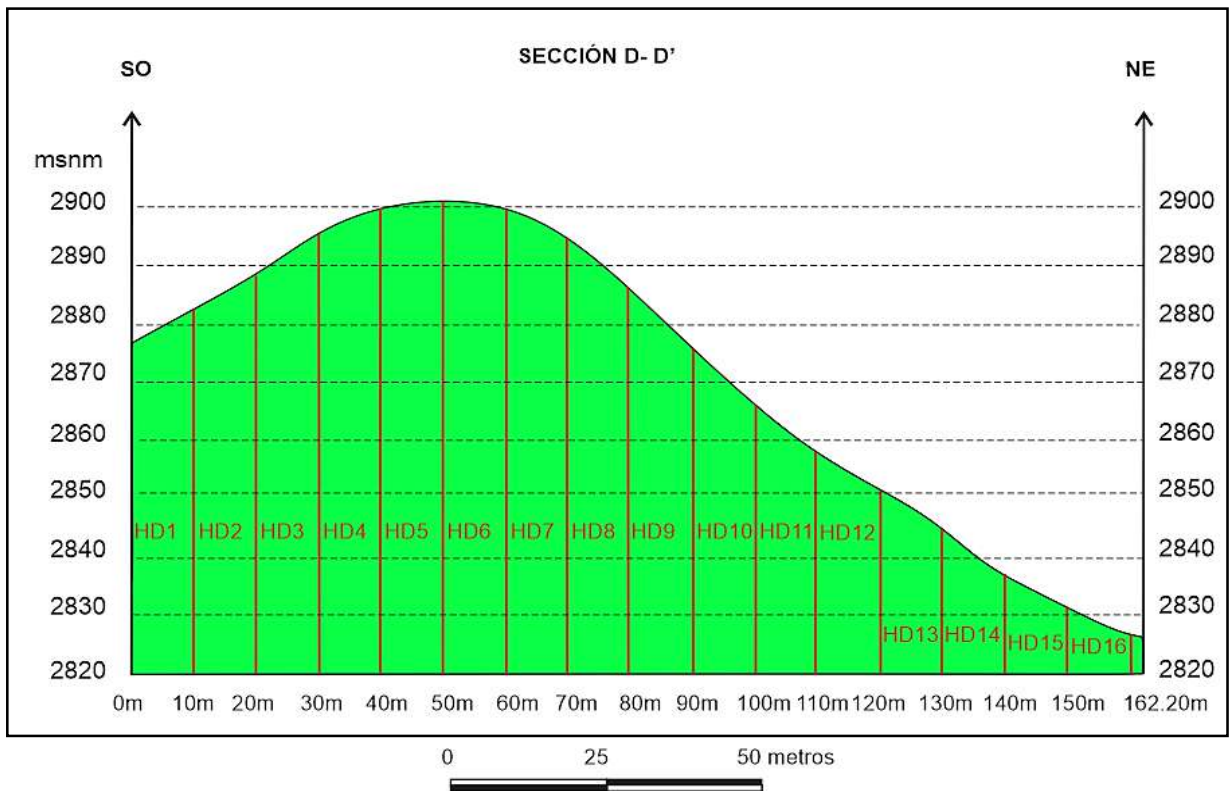


Figura 23. Polígonos del perfil D – D'

Tabla 30. Cálculo del área del Perfil D – D'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	62.70	55.94	10	593.20
2	68.30	62.70	10	655.00
3	75.52	68.30	10	719.10
4	79.25	75.52	10	773.85
5	81.12	79.25	10	801.85
6	81.12	79.72	10	804.20
7	79.72	74.83	10	772.75
8	74.83	66.20	10	705.15
9	66.20	55.71	10	609.55
10	55.71	46.15	10	509.30
11	46.15	38.00	10	420.75
12	38.00	31.47	10	347.35
13	31.47	24.94	10	282.05
14	24.94	17.02	10	209.80
15	17.02	11.42	10	142.20
16	11.42	7.69	10	95.55
17	7.69	6.29	2.2	15.38
Total			162.2	8457.03

✓ **Cálculo del área del perfil E – E'**

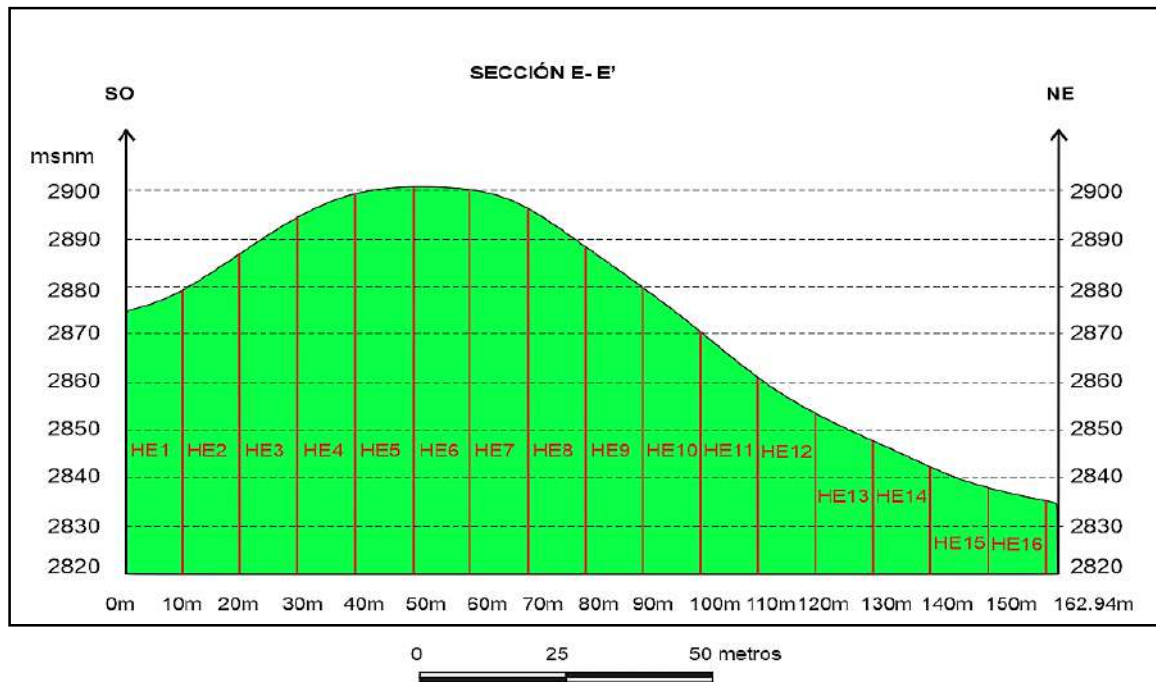


Figura 24. Polígonos del perfil E – E'

Tabla 31. Cálculo del área del Perfil E – E'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	59.44	54.78	10	571.10
2	66.67	59.44	10	630.55
3	74.59	66.67	10	706.30
4	79.49	74.59	10	770.40
5	80.65	79.49	10	800.70
6	80.65	80.19	10	804.20
7	80.19	75.76	10	779.75
8	75.76	68.30	10	720.30
9	68.3	59.91	10	641.05
10	59.91	50.35	10	551.30
11	50.35	41.03	10	456.90
12	41.03	33.57	10	373.00
13	33.57	27.97	10	307.70
14	27.97	22.38	10	251.75
15	22.38	17.95	10	201.65
16	17.95	15.38	10	166.65
17	15.38	14.92	2.94	44.54
Total			162.94	8777.84

✓ **Cálculo del área del perfil F – F'**

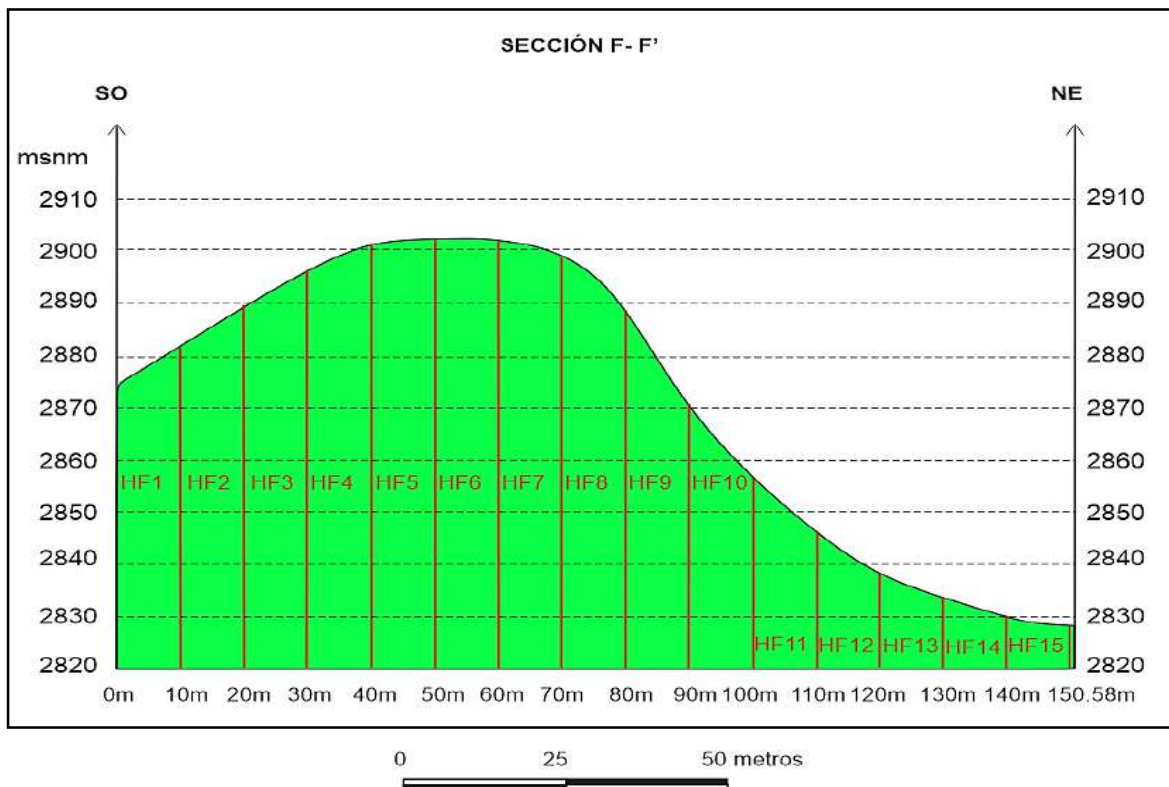


Figura 25. Polígonos del perfil F – F'

Tabla 32. Cálculo del área del Perfil F – F'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m2)
1	61.77	53.85	10	578.10
2	69.23	61.77	10	655.00
3	76.22	69.23	10	727.25
4	81.35	76.22	10	787.85
5	82.05	81.35	10	817.00
6	82.05	81.82	10	819.35
7	81.82	79.02	10	804.20
8	79.02	68.53	10	737.75
9	68.53	50.82	10	596.75
10	50.82	36.60	10	437.10
11	36.60	26.11	10	313.55
12	26.11	18.41	10	222.60
13	18.41	13.75	10	160.80
14	13.75	10.26	10	120.05
15	10.26	8.16	10	92.10
16	8.16	7.93	0.58	4.67
Total			150.58	7874.12

✓ **Cálculo del área del perfil G – G'**

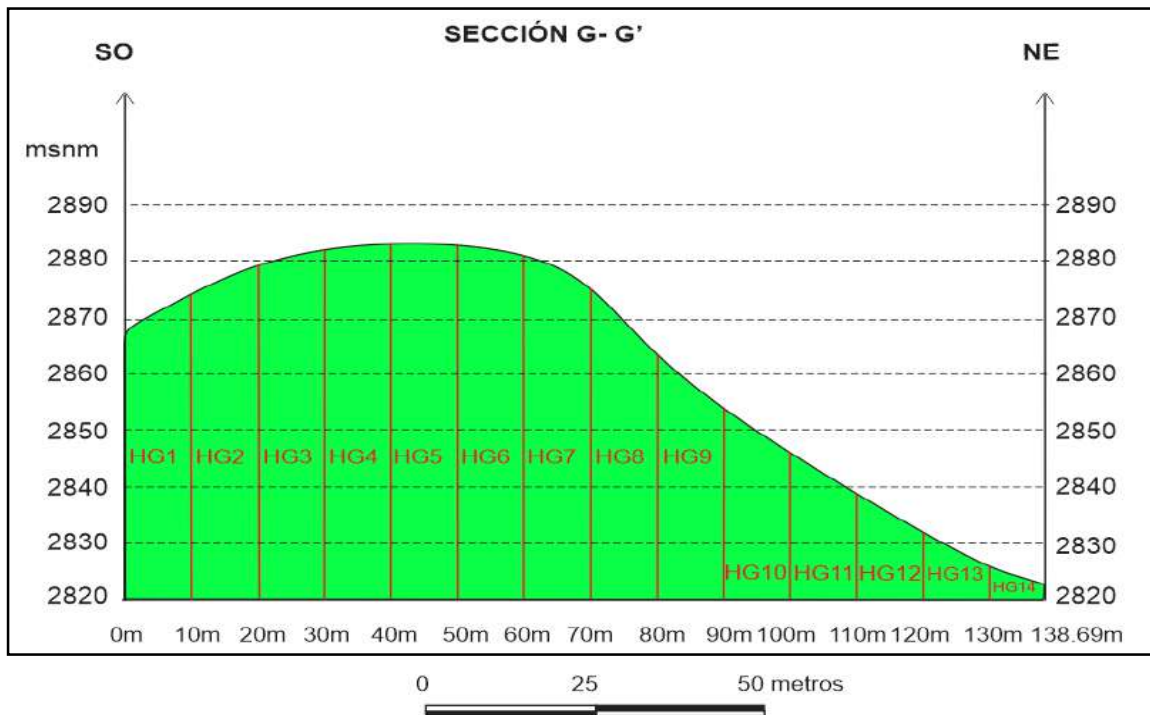


Figura 26. Polígonos del perfil G – G'

Tabla 33. Cálculo del área del Perfil G – G'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	54.08	47.79	10	509.35
2	59.21	54.08	10	566.45
3	62.00	59.21	10	606.05
4	62.94	62.00	10	624.70
5	62.94	62.70	10	628.20
6	62.70	61.07	10	618.85
7	61.07	55.01	10	580.40
8	55.01	43.36	10	491.85
9	43.36	33.80	10	385.80
10	33.80	26.11	10	299.55
11	26.11	18.18	10	221.45
12	18.18	11.89	10	150.35
13	11.89	5.83	10	88.60
14	5.83	2.56	8.69	36.45
Total			138.69	5808.05

✓ **Cálculo del área del perfil H – H'**

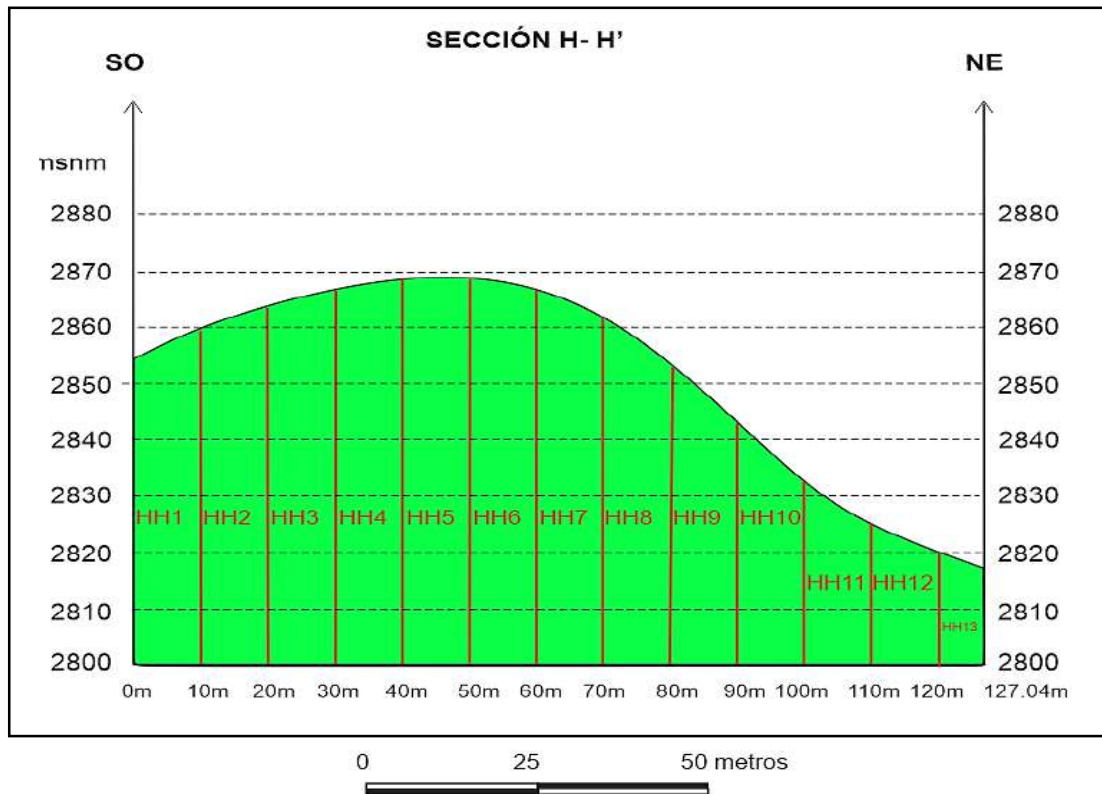


Figura 27. Polígonos del perfil H – H'

Tabla 34. Cálculo del área del Perfil H – H'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	59.67	54.31	10	569.90
2	62.70	59.67	10	611.85
3	65.73	62.70	10	642.15
4	68.76	65.73	10	672.45
5	68.76	68.53	10	686.45
6	68.53	66.67	10	676.00
7	66.67	61.54	10	641.05
8	61.54	53.15	10	573.45
9	53.15	42.89	10	480.20
10	42.89	32.40	10	376.45
11	32.40	25.41	10	289.05
12	25.41	19.81	10	226.10
13	19.81	17.25	7.04	130.45
Total			127.04	6575.55

✓ **Cálculo del área del perfil I – I'**

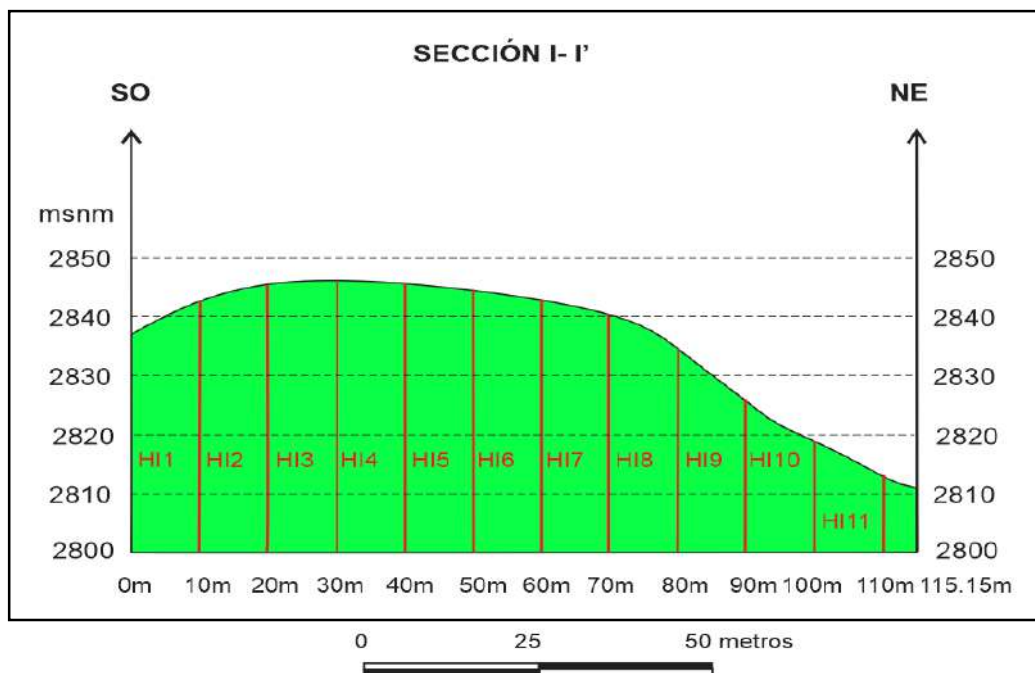


Figura 28. Polígonos del perfil I – I'

Tabla 35. Cálculo del área del Perfil I – I'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m2)
1	20.75	17.25	10	189.98
2	24.24	20.75	10	224.94
3	25.41	24.24	10	248.25
4	25.87	25.41	10	256.41
5	25.87	25.64	10	257.58
6	25.64	23.31	10	244.76
7	23.31	19.81	10	215.62
8	19.81	15.85	10	178.32
9	15.85	12.59	10	142.19
10	12.59	8.62	10	106.06
11	8.62	5.83	5.5	39.74
Total			115.15	2103.85

✓ **Cálculo del área del perfil J – J'**

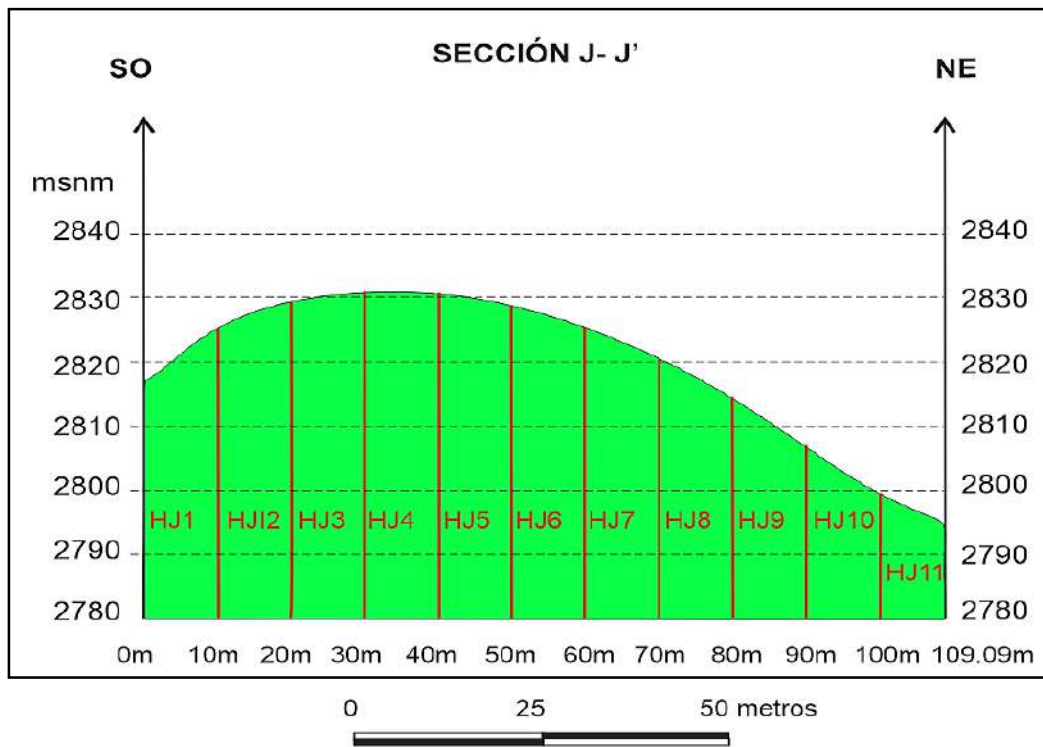


Figura 29. Polígonos del perfil J – J'

Tabla 36. Cálculo del área del Perfil J – J'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	37.30	32.40	10	348.50
2	49.42	32.40	10	409.10
3	50.58	49.42	10	500.00
4	51.05	50.58	10	508.15
5	51.05	48.95	10	500.00
6	48.95	45.45	10	472.00
7	45.45	41.03	10	432.40
8	41.03	34.73	10	378.80
9	34.73	27.27	10	310.00
10	27.27	18.88	10	230.75
11	18.88	14.69	9.09	152.58
Total			109.09	4242.28

✓ **Cálculo del área del perfil K – K'**

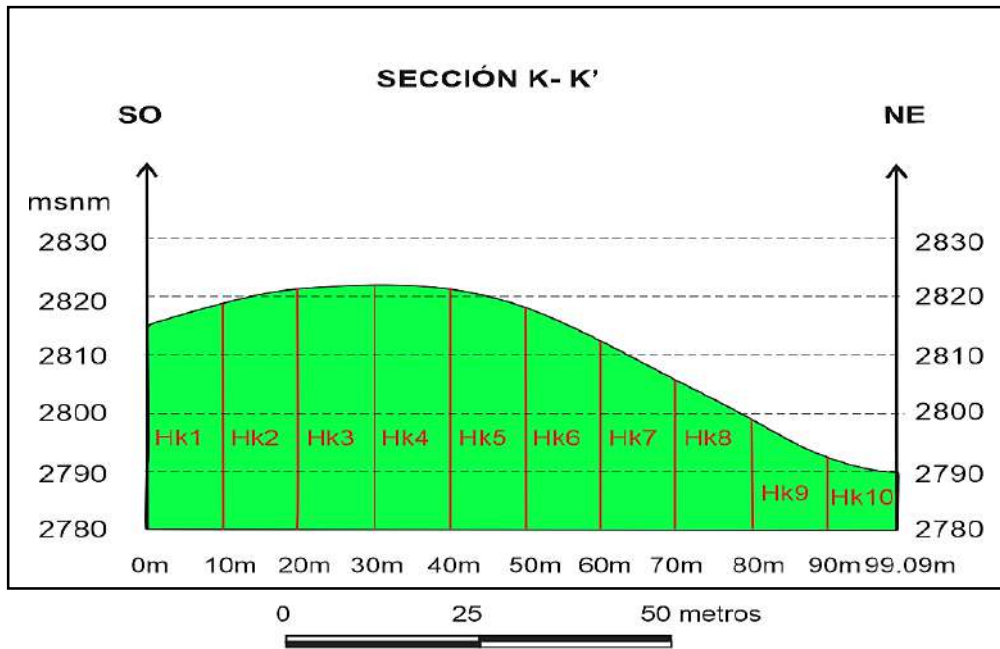


Figura 30. Polígonos del perfil K – K'

Tabla 37. Cálculo del área del Perfil K – K'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	38.93	35.20	10	370.65
2	41.49	38.93	10	402.10
3	41.72	41.49	10	416.05
4	41.72	41.26	10	414.90
5	41.26	38.23	10	397.45
6	38.23	32.40	10	353.15
7	32.40	25.87	10	291.35
8	25.87	19.11	10	224.90
9	19.11	12.59	10	158.50
10	12.59	10.02	9.09	102.76
Total			99.09	3131.81

✓ **Cálculo del área del perfil L – L'**

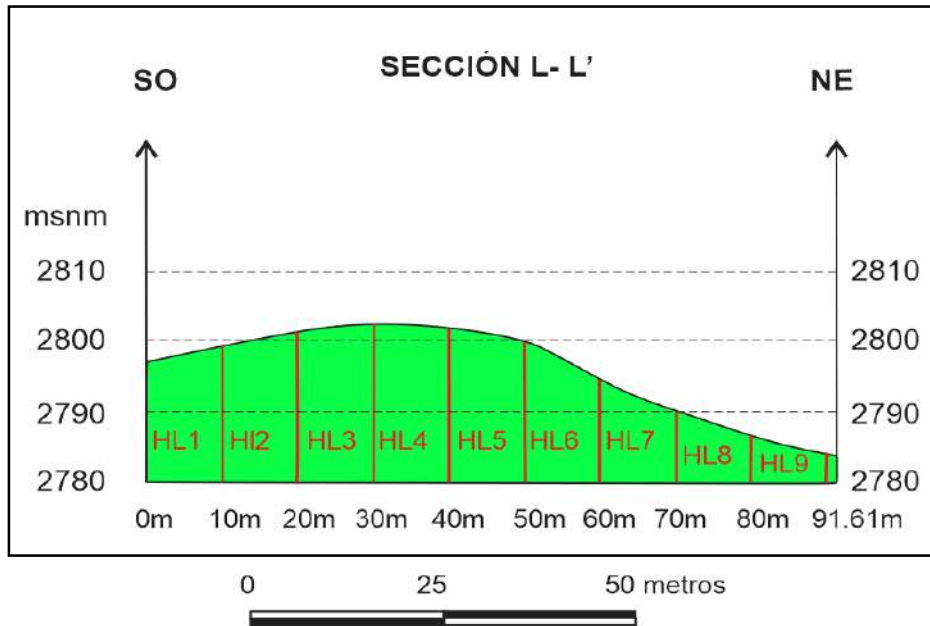


Figura 31. Cálculo del área del Perfil L – L'

Tabla 38. Cálculo del área del Perfil L – L'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	19.35	17.25	10	183.00
2	21.45	19.35	10	204.00
3	22.38	21.45	10	219.15
4	22.38	21.91	10	221.45
5	21.91	20.05	10	209.80
6	20.05	14.69	10	173.70
7	14.69	10.02	10	123.55
8	10.02	6.76	10	83.90
9	6.76	5.13	10	59.45
10	5.13	4.2	1.61	7.51
Total			91.61	1485.51

✓ **Cálculo del área del perfil M – M'**

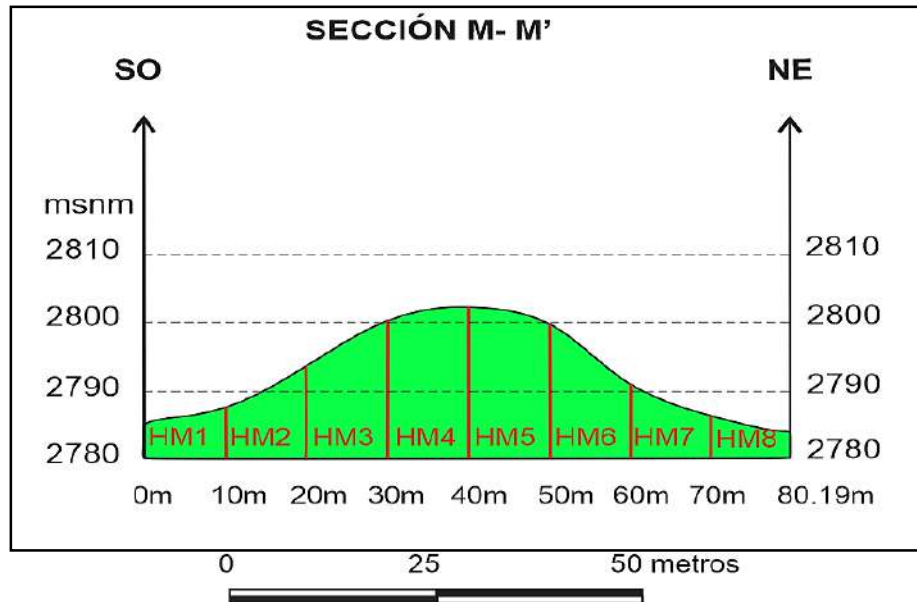


Figura 32. Polígonos del perfil M – M'

Tabla 39. Cálculo del área del Perfil M – M'

Trapezio	Lado mayor (m)	Lado menor (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1	9.79	7.46	10	86.25
2	13.52	7.46	10	104.90
3	20.51	13.52	10	170.15
4	22.14	20.51	10	213.25
5	22.14	19.58	10	208.60
6	19.58	10.96	10	152.70
7	10.96	6.29	10	86.25
8	6.29	3.73	10	50.10
		Total	80	1072.20

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las áreas de las 13 secciones.

Tabla 40. Cuadro resumen de las áreas de las 13 secciones.

N° Sección	Sección	Área (m ²)	Distancia (m)
1	A – A'	2820.39	21.46
2	B – B'	4853.31	21.46
3	C – C'	7157.32	21.46
4	D – D'	8457.03	21.46
5	E – E'	8777.84	21.46
6	F – F'	7874.12	21.46
7	G – G'	5808.05	21.46
8	H – H'	6575.55	21.46
9	I – I'	2103.85	21.46
10	J – J'	4242.28	21.46
11	K – K'	3131.81	21.46
12	L – L'	1485.51	21.46
13	M – M'	1072.2	21.46
Total		64359.26	278.98

✓ **Cálculo de los volúmenes de los perfiles**

El Cálculo de los volúmenes de las secciones se realiza empleando la siguiente formula. Siendo la distancia entre cada perfil de 21.46 m.

$$V1 = \left(\frac{AtotalP1 + Atotal2}{2} \right) * D$$

Donde:

$AtotalP1$ = Área del perfil A (m²)

$AtotalP2$ = Área del perfil B (m²)

D = Distancia entre los dos perfiles (m)

V1 = Volumen (m³)

Tabla 41. Cálculo del volumen de los perfiles A – A' y B – B'

Perfiles A – A' y B – B'	
Área del perfil A – A' (m ²)	2820.39
Área de perfil B – B' (m ²)	4853.31
Distancia entre A y B (m)	21.46
Volumen (m³)	82,338.80

Tabla 42. Cálculo del volumen de los perfiles B – B' y C – C'

Perfiles B – B' y C – C'	
Área del perfil B – B' (m ²)	4853.31
Área de perfil C – C' (m ²)	7157.26
Distancia entre B y C (m)	21.46
Volumen (m³)	128,874.06

Tabla 43. Cálculo del volumen de los perfiles C – C' y D – D'

Perfiles C – C' y D – D'	
Área del perfil C – C' (m ²)	7157.26
Área de perfil D – D' (m ²)	8388.11
Distancia entre C y D (m)	21.46
Volumen (m³)	167,541.42

Tabla 44. Cálculo del volumen de los perfiles D – D' y E – E'

Perfiles D – D' y E – E'	
Área del perfil D – D' (m ²)	8388.11
Área de perfil E – E' (m ²)	8777.64
Distancia entre D y E (m)	21.46
Volumen (m³)	184,930.16

Tabla 45. Cálculo del volumen de los perfiles E – E' y F – F'

Perfiles E – E' y F – F'	
Área del perfil E – E' (m ²)	8777.64
Área de perfil F – F' (m ²)	7874.12
Distancia entre E y F (m)	21.46
Volumen (m³)	178,673.53

Tabla 46. Cálculo del volumen de los perfiles F – F' y G – G'

Perfiles F – F' y G – G'	
Área del perfil F – F' (m ²)	7874.12
Área de perfil G – G' (m ²)	5808.02
Distancia entre F y G (m)	21.46
Volumen (m³)	146,809.68

Tabla 47. Cálculo del volumen de los perfiles G – G' y H – H'

Perfiles G –G' y H – H'	
Área del perfil G – G' (m ²)	5808.02
Área de perfil H – H' (m ²)	6575.68
Distancia entre A y B (m)	21.46
Volumen (m³)	132,876.03

Tabla 48. Cálculo del volumen de los perfiles H – H' y I – I'

Perfiles H –H' y I – I'	
Área del perfil H – H' (m ²)	6575.68
Área de perfil I – I' (m ²)	3976.74
Distancia entre H y I' (m)	21.46
Volumen (m³)	113,228.52

Tabla 49. Cálculo del volumen de los perfiles I – I' y J – J'

Perfiles I – I' y J – J'	
Área del perfil I – I' (m ²)	3976.74
Área de perfil J – J' (m ²)	4242.30
Distancia entre I y J (m)	21.46
Volumen (m³)	88,190.36

Tabla 50. Cálculo del volumen de los perfiles J – J' y K – K'

Perfiles J- J' y K- K'	
Área del perfil J – J' (m ²)	4242.30
Área de perfil K – K' (m ²)	3131.90
Distancia entre J y K (m)	21.46
Volumen (m³)	79,125.23

Tabla 51. Cálculo del volumen de los perfiles K – K' y L – L'

Perfiles K- K' y L- L'	
Área del perfil K – K' (m ²)	3131.90
Área de perfil L – L' (m ²)	1485.36
Distancia entre K y L (m)	21.46
Volumen (m³)	49,543.25

Tabla 52. Cálculo del volumen de los perfiles L – L' y M – M'

Perfiles L – L' y M – M'	
Área del perfil L – L' (m ²)	1485.51
Área de perfil M – M' (m ²)	1072.2
Distancia entre L y M (m)	21.46
Volumen (m³)	27,444.23

Tabla 53. Cálculo del volumen total

Perfiles	Nº Volumen parcial	Volumen parcial (m³)
A – A' y B – B'	1	82,338.80
B – B' y C – C'	2	128,874.06
C – C' y D – D'	3	167,541.42
D – D' y E – E'	4	184,930.16
E – E' y F – F'	5	178,675.53
F – F' y G – G'	6	146,809.68
G – G' y H – H'	7	132,876.03
H – H' y I – I'	8	93,129.96
I – I' y J – J'	9	68,093.97
J – J' y K – K'	10	79,123.99
K – K' y L – L'	11	49,543.84
L – L' y M – M'	12	27,444.23
Volumen total		1,339,381.67

✓ ***Cálculo del tonelaje total***

Para calcular el tonelaje se utiliza el valor del peso específico promedio que se presenta en el informe del laboratorio INGEOCONSUL & LAB S.R.L. Se tomó como peso específico (PE) de laboratorio 2.625 TM/m³

Tabla 54. Cálculo del tonelaje corregido

Código de perfiles	Nº perfiles	Volumen parcial (m ³)	Dilución	Volumen corregido	Peso específico TM/m ³	Tonelaje (TM)
A – A' y B – B'	1	82,338.80	0.9	74,104.92	2.625	194525.42
B – B' y C – C'	2	128,874.06	0.9	115,986.65	2.625	304464.97
C – C' y D – D'	3	167,541.42	0.9	150,787.28	2.625	395816.60
D – D' y E – E'	4	184,930.16	0.9	166,437.14	2.625	436897.50
E – E' y F – F'	5	178,675.53	0.9	160,807.98	2.625	422120.94
F – F' y G – G'	6	146,809.68	0.9	132,128.71	2.625	346837.87
G – G' y H – H'	7	132,876.03	0.9	119,588.43	2.625	313919.62
H – H' y I – I'	8	93,129.96	0.9	83,816.96	2.625	220019.53
I – I' y J – J'	9	68,093.97	0.9	61,284.57	2.625	160872.00
J – J' y K – K'	10	79,123.99	0.9	71,211.59	2.625	186930.43
K – K' y L – L'	11	49,543.84	0.9	44,589.46	2.625	117047.32
L – L' y M – M'	12	27,444.23	0.9	24,699.81	2.625	64836.99
Volumen total		1339381.67				3164289.20

Todos los cálculos se realizaron utilizando el software Excel y de esta manera minimizar los errores. Se obtuvo 3515876.88 TM equivalente a 1339381.67m³ al cual se le aplicó un castigo del 10% por la cobertura cuaternaria y la vegetación. El porcentaje de dilución se obtuvo de la siguiente manera:

$$3515876.88 \text{ TM} = 100\%$$

$$x = 10\%$$

$$x = 3164289.20 \text{ TM}$$

$$\text{Tonelaje corregido} = 3515876.88 \text{ TM} - 351587.68 \text{ TM} = 3164289 \text{ TM}$$

✓ **Producción anual prevista**

Para el cálculo de la producción semanal, mensual y anual se tomó en cuenta la oferta y demanda. Se consideran cinco lugares estratégicos que requieren materiales de construcción como arena fina, arena gruesa y hormigón, estos lugares son: Sucre, Jorge Chávez, José Gálvez, Oxamarca y Celendín.

Tabla 55 Producción anual prevista

Agregados	Producción diaria (m³)	Producción diaria (TM)	Días al año	Producción anual (m³)	Producción anual (TM)
Arena fina	100	262.5	300	30000	78750
Arena gruesa	100	262.5	300	30000	78750
Hormigón	100	262.5	300	30000	78750
Total	300	787.5	300	90000	236250

✓ **Demanda**

Teniendo en cuenta el estudio realizado por Miranda, 2019 en su tesis “Dinámica del sistema urbano de la ciudad de Celendín como base para la planificación territorial” indica que la huella urbana en la provincia de Celendín ha tenido un

incremento de 108.5% anual, por lo tanto, al haber aumento poblacional la demanda de agregados será proporcional.

✓ **Vida de la mina**

Para calcular la vida de la mina se relaciona las reservas totales vs la producción anual de acuerdo a la siguiente formula:

$$Vida\ de\ la\ mina = \frac{Toneladas\ de\ material\ a\ extraer}{Producción\ diaria * Dias\ de\ trabajo\ al\ año}$$

Remplazando tenemos:

$$Vida\ de\ la\ mina = \frac{3164289\ TM}{787.5\ TM * 300} = 13.39\ años$$

Considerando los 300 días laborables y una producción diaria de 787.5 TM, se obtiene una vida útil de 13 años a una producción anual de 236250 TM.

Tabla 56. Producción prevista del yacimiento

Mineral	Arenisca
Estéril	Cobertura cuaternaria
Producción diaria	300 m ³
Producción anual	90000 m ³
Reservas probadas	3164289 TM
Castigos por tipo de reservas probadas	100%
Cota inferior(m)	2660.77 m
Cota superior (m)	2650.14 m

3.12. DISEÑO DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA MIRAFLORES

El diseño del yacimiento de arenas Miraflores se realizó con la finalidad de disminuir costos en la remoción de material estéril y lograr la mayor recuperación de reservas de las areniscas.

Tabla 57. Parámetros geométricos del yacimiento Miraflores

Ancho promedio del yacimiento	140.5 m
Largo del yacimiento	330 m
Espesor promedio del yacimiento	2720.37 m – 2650.14 m = 70.23 m
Forma del yacimiento	Estratificado y disgregado
Inclinación general del yacimiento	(30° en promedio) al SW

3.12.1. Factores Geoambientales

La explotación de rocas areniscas se realizará utilizando el método de explotación a cielo abierto, considerándose que después de la explotación debe ser restaurada.

3.12.2. Método de explotación de la cantera Miraflores

La explotación de la cantera será mediante cortes comenzando de la parte inferior hacia la superior siguiendo una dirección del NO al SE, mediante bancos y el derrumbe por acción de la gravedad, al finalizar el primer corte se inicia con el segundo y así sucesivamente. El método de extracción será el de banqueo. La extracción de las arenas se va a realizar mediante el minado superficial, de tipo cantera. Para la elección del método de explotación se utilizarán las siguientes tablas de clasificación propuestas por Nicholas (1981).

Tabla 58. Parámetros de clasificación numérica por geometría del yacimiento y distribución de leyes de Nicholas (1981)

1. FORMA
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equidimensional o masivo: todas las dimensiones son similares en cualquier dirección ▪ Tabular: dos de las dimensiones son mucho mayor que la tercera ▪ Irregular: las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.
2. POTENCIA DEL YACIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrecha < a 10m ▪ Intermedia: 10- 30m ▪ Potente: 30- 100m ▪ Muy potente > mayor a 100m

3. INCLINACIÓN

- Echado < a 20°
 - Intermedio 20 a 55°
 - Inclinado > a 55°
-

4. PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE

- Pequeña < a 150 m
 - Intermedia de 150 a 600m
 - Alta > a 600m
-

5. DISTRIBUCIONES DE LEYES

- Uniforme: la ley del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto del yacimiento mineralizado
 - Graduado o diseminado: las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro
 - Errático: no existe una relación entre las leyes, ya que estas cambian radicalmente de un punto a otro en distancias muy pequeñas
-

Fuente: Nicholas (1981)

3.12.2.1. Desbroce

La limpieza de las superficies de las áreas de trabajo del proyecto, eliminando material orgánico, limos, y plantas silvestres, entre otros. El espesor es aproximadamente de 80 cm.

3.12.3. Diseño del yacimiento de arenas Miraflores

Las diferentes partes que conformarán el diseño de explotación de las arenas estarán diseñadas en dirección SO- NE. Se puede observar que las caras de los bancos están con vista al SO.

✓ ***Altura de explotación del yacimiento***

Se ha calculado de la siguiente manera:

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

H = Profundidad del yacimiento (m)

Hs = Cota superior (m)

Hi = Cota inferior (m)

Remplazando datos:

$$H = H_s - H_i = 2720.37 \text{ m} - 2650.14 \text{ m} = 70.23 \text{ m}$$

✓ **Angulo del talud de los bancos en trabajo y receso**

El ángulo de los bancos está en función de la calidad de la roca y la altura. Es decir, mientras más resistencia tenga la roca y menos altura el banco, más vertical será el banco. Si la roca tiene menos resistencia y mayor altura el banco, más inclinación tendrá el talud.

Tabla 59. Clasificación de las rocas según Protodyakonov

Categoría	Descripción	f
Excepcional	Cuarcita, basaltos y rocas de resistencia excepcional	20
Alta resistencia	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competentes	15 – 10
Resistencia media	Caliza, granito algo alterado y areniscas.	8 – 6
	Areniscas medias y pizarras	5
	Arcillolitas, areniscas flojas y conglomerados friables	4 3
	Arcillolitas y esquistos, margas compactas	
Resistencia baja	Calizas y arcillolitas blandas, margas, areniscas friables, gravas y morrenas.	2
	Terrazas, arcillolitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas.	1.5
Resistencia muy baja	Arcillas y gravas arcillosas	1
	Suelos orgánicos, turbas y arenas húmedas	0.6
	Arenas y gravas finas	0.5
	Limos, loes y fangos, etc.	0.3

Teniendo en cuenta la tabla de Protodyakonov del coeficiente de resistencias de las rocas, determinamos el ángulo óptimo de los bancos del depósito con la siguiente fórmula:

$$\varphi = \arctg (f)$$

Donde:

φ = Ángulo del talud del banco

f = Coeficiente de resistencia de Protodyakonov para areniscas.

Para nuestro caso, haciendo el análisis geomecánico determinamos una roca de calidad media por lo tanto el coeficiente de resistencia Protodyakonov será (5). Por lo tanto, reemplazando tenemos:

$$\varphi = \arctg (5) = 78.69^\circ$$

✓ **Altura de banco (HB)**

Para calcular la altura de los bancos se considera las características técnicas de la extracción; que en su gran mayoría será por arranque del material, debido que los macizos rocosos se encuentran muy fracturados y meteorizados. Por lo tanto, teniendo en cuenta la seguridad en las operaciones mineras, la altura de bancos se calcula con la siguiente fórmula.

$$Hb = \frac{2 * k * \text{sen}(\phi) * \text{cos}(\varphi)}{\text{sen}^2\left(\frac{\phi - \varphi}{2}\right)}$$

Donde:

Hb = Altura del banco (m)

ϕ = Ángulo del talud del banco en trabajo (78.69°)

K = Coeficiente de cohesión de la roca

φ = Ángulo de cohesión (°)

seguidamente calculamos el coeficiente de cohesión de la roca, utilizando la siguiente expresión.

$$K = \frac{C}{M * \gamma}$$

Donde:

- K = Coeficiente de cohesión de la roca
- C = Cohesión de la roca expresada en MPa
- γ = Peso volumétrico de la roca (g/cm³)
- M = Coeficiente de seguridad 1.5

En la siguiente tabla se describen valores de cohesión de varios materiales.

Tabla 24. Valores de cohesión para suelos y rocas no alterados (Robertson, 1971)

Materiales	C (Kg/m²)
Tierra muy blanda o material muy suelto	170
Tierra blanda o material suelto	340
Tierra o material firme	880
Material o tierra compactado	2200
Material o tierra muy compactado	7800
Roca muy blanda	17000
Roca blanda	56000
Roca dura	170000
Roca muy dura	560000
Roca durísima	1000000

Fuente: Alwyn & Annels, 1991.

$$C = 170000 \text{ Kg/m}^2 = 1.667 \text{ MPa}$$

γ = Peso volumétrico de la roca arenisca (g/cm³) es 2.2.

Entonces reemplazando tenemos:

$$K = \frac{1.667}{1.5 * 2.2} = 0.505$$

Para hallar el ángulo de cohesión utilizaremos la siguiente formula, pero nos apoyamos del Software RocData para determinar el ángulo de fricción, el cual servirá para calcular dicho ángulo.

$$\varphi = \arctg\left[\frac{tg(\theta)}{2}\right]$$

Donde:

φ = Ángulo de cohesión (°)

θ = Ángulo de fricción de la arenisca = 58.0235°

Reemplazando obtenemos:

$$\varphi = \arctg\left[\frac{tg(58.0235^\circ)}{2}\right] = 38.66^\circ$$

Finalmente, en la ecuación inicial tenemos:

$$Hb = \frac{2 * 0.505 * \text{sen}(78.69) * \cos(38.66)}{\text{sen}^2\left(\frac{78.69 - 38.66}{2}\right)}$$

$$Hb = 6.62$$

La altura de los bancos se eligió teniendo en cuenta la altura de banco calculado, calidad de la roca y los equipos a utilizar. Llegando a la decisión de utilizar bancos de 7 metros.

✓ **Numero de bancos**

El número de bancos se determina con la siguiente formula:

$$Nb = \frac{H}{Hb}$$

Donde:

Nb = Numero de bancos

H = profundidad de la cantera (m)

Hb = Altura del banco (m)

Reemplazando:

H= 70.23 m

Hb= 7m

$$Nb = \frac{70.23}{7} = 10$$

Se tendrá 10 bancos de 7 m de altura cada uno.

✓ **Ancho de la plataforma de trabajo**

El ancho de la plataforma de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento seguro de todos los equipos que realizan las tareas de carguío y transporte del material árido. Para calcular el ancho de la plataforma de trabajo se deben tomar en cuenta los siguientes factores y la siguiente formula:

- ✓ Berma de seguridad (B)
- ✓ Ancho de vía (T)
- ✓ Espacio de maniobra de la excavadora (C)
- ✓ Ancho de la pila de material (A) (aproximadamente 3m)
- ✓ Espacio para cunetas (0.5 m)

$$Apt = A + C + T + B$$

A continuación, se calcula las variables.

a. Berma de seguridad

es la distancia de protección que se levanta desde la cota superior del talud subyacente hasta la plataforma de trabajo y se calcula con la siguiente formula:

$$B = h * \tan(\alpha - \varphi)$$

Donde:

h = Altura del banco de trabajo = 7 m.

α = Ángulo del talud del banco (valor máximo = 90°)

φ = Ángulo de talud del banco en trabajo, 78.67°

Remplazando tenemos:

$$B = 7 * \tan(90 - 78.67) = 1.4 \text{ m}$$

b. Ancho de vía

Está definido por maquinaria de transporte y el número de carriles, se calcula mediante la siguiente formula.

$$T = a * (0.5 + 1.5n)$$

Donde:

a = ancho de vehículo según catalogo (volquete Hino GH8JGSD) = 2,355 m.

n = número de carriles = 1

reemplazando tenemos:

$$T = 2.355 * (0.5 + 1.5 * 1) = 4.71 \text{ m}$$

c. Espacio de maniobra del cargador frontal

Depende del ancho de la excavadora que se va a utilizar y se calcula mediante la siguiente formula.

$$C = 1.5 * Ae$$

Donde:

Ae = Ancho del cargador frontal según catalogo = 2.83 m

Reemplazando tenemos:

$$C = 1.5 * 2.83 \text{ m} = 4.25 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

Finalmente, al reemplazar los valores tenemos:

$$Apt = A + C + T + B = Apt = 3 + 4 + 4.71 + 1.4 = 13.05 \text{ m}$$

Pero se tomará un ancho de plataforma de trabajo de **13 m**, para mejor diseño

✓ **Ángulo del talud de los bancos**

El ángulo de los bancos está en función de la calidad de la roca y la altura. Es decir, mientras más resistencia tenga la roca y menos altura el banco, más vertical será el banco. Si la roca tiene menos resistencia y mayor altura el banco, más inclinación

tendrá el talud. Para este caso, el material a extraer en la cantera es de resistencia media por lo tanto se aplica un factor de 5 tal como lo indica la tabla siguiente:

Tabla 60. Clasificación de las rocas según Protodyakonov.

Categoría	Descripción	f
Excepcional	Cuarcita, basaltos y rocas de resistencia excepcional	20
Alta resistencia	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competentes	15 – 10
Resistencia media	Caliza, granito algo alterado y areniscas.	8 – 6
	Areniscas medias y pizarras	5
	Arcillolitas, areniscas flojas y conglomerados friables	4 3
	Arcillolitas y esquistos, margas compactas	
Resistencia baja	Calizas y arcillolitas blandas, margas, areniscas friables, gravas y morrenas.	2
	Terrazas, arcillolitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcillas preconsolidadas.	1.5
Resistencia muy baja	Arcillas y gravas arcillosas	1
	Suelos orgánicos, turbas y arenas húmedas	0.6
	Arenas y gravas finas	0.5
	Limos, loes y fangos, etc.	0.3

Teniendo en cuenta la tabla de Protodyakonov del coeficiente de resistencias de las rocas, teniendo en cuenta su calidad, determinamos el ángulo óptimo de los bancos del depósito con la siguiente formula:

$$\varphi = \arctg (f)$$

Donde:

φ = Ángulo del talud del banco

f = Coeficiente de resistencia de Protodyakonov para areniscas.

Para nuestro caso, haciendo el análisis geomecánico determinamos una roca de calidad media por lo tanto el coeficiente de resistencia Protodyakonov será 5. Por lo tanto, remplazando tenemos:

✓ **Angulo de talud final (β)**

Se determina mediante la siguiente ecuación

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

Siendo:

H= altura de banco (m)

B=B₁+B₂

B₁= ancho de banco (m)

B₂= longitud que genera el ángulo en la cara del banco (m)

$$B_2 = H \tan \theta$$

Donde:

H = 7m

Siendo θ = ángulo que forma la cara de talud con la vertical que es= 78° (ver figura).

$$B_2 = 7 * \tan 22^\circ = 2.828$$

Reemplazando:

$$B = 7 + 2.828 = 9.828$$

Reemplazando en:

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

$$\tan \beta = \frac{7}{9.828}$$

$$\tan \beta = 0.712$$

$$\beta = 35.36^\circ$$

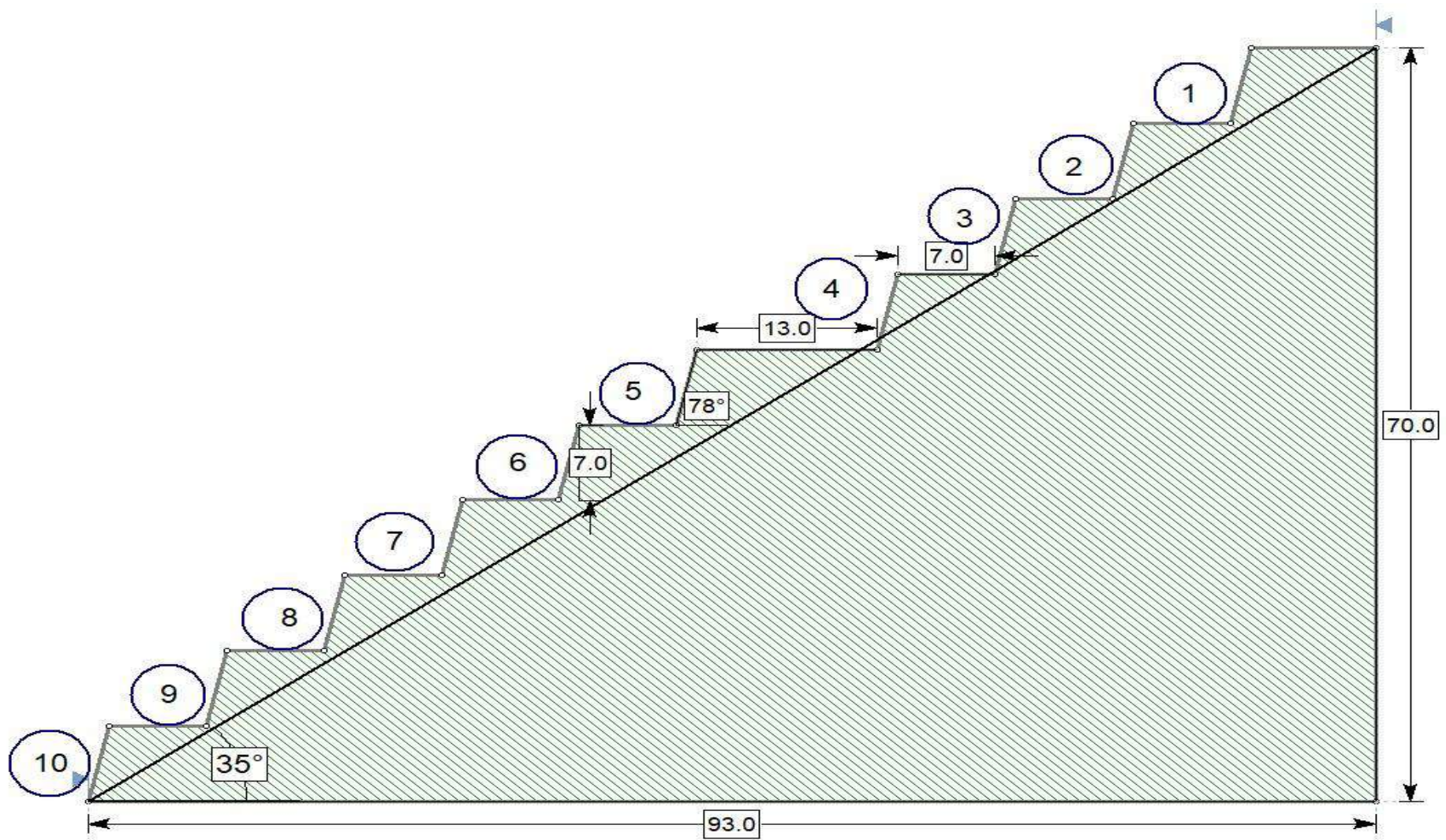


Figura 33. Parámetros geométricos calculados del yacimiento Miraflores

✓ **Calculo del factor de seguridad mediante el Software SLIDE.**

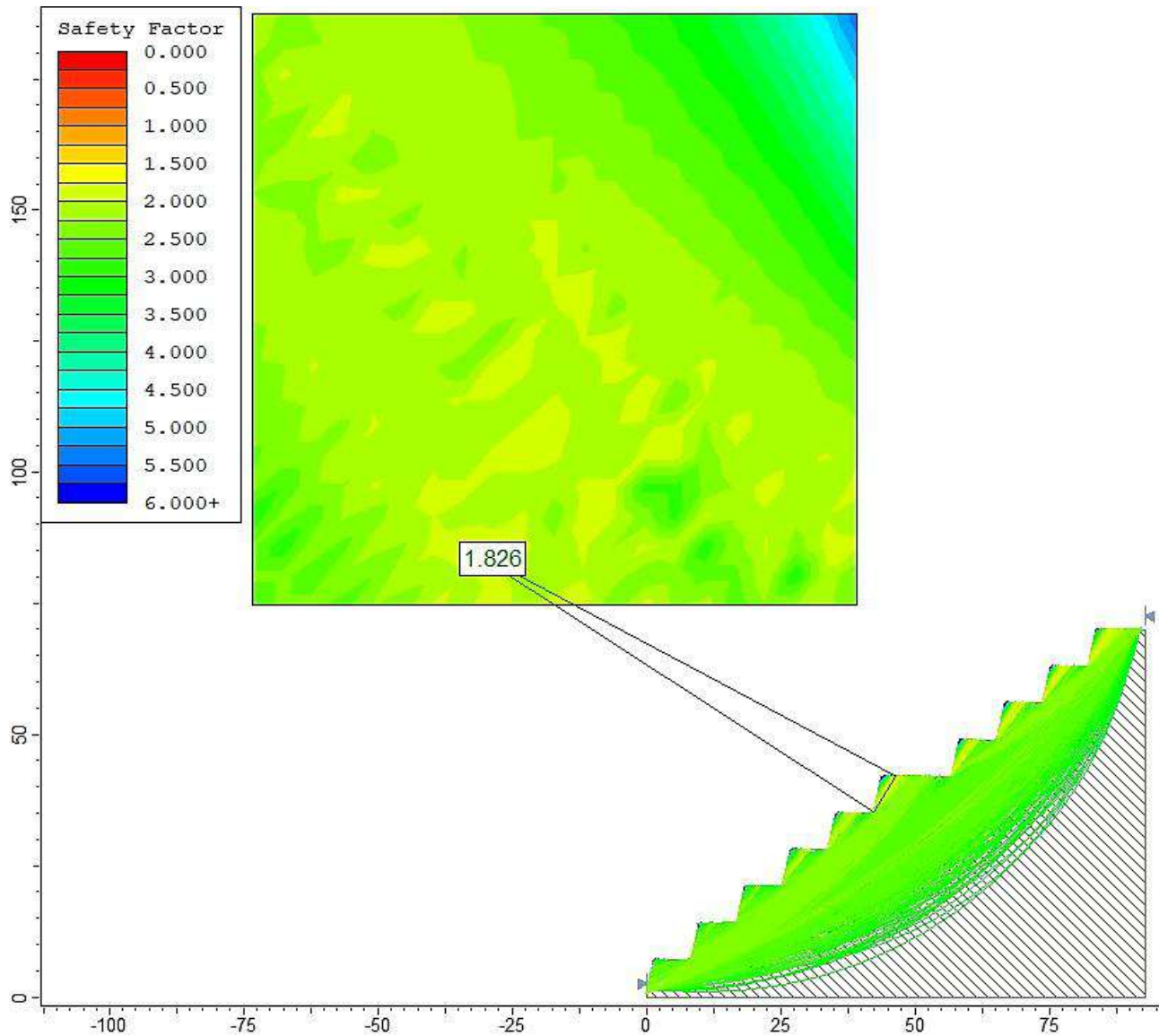


Figura 34. Factor de seguridad 1.826, indicando estabilidad del diseño de explotación.

✓ **Carguío**

El proceso de carguío se realizará con 4 volquetes con capacidad de 15 m³ teniendo que realizar 5 vueltas cada uno para completar los 300 m³/día o 787.5 TM/día.

$$\text{Metros cúbicos/día} = 4 \text{ volquetes} * 15\text{m}^3 * 5 \text{ vueltas}$$

$$\text{Metros cúbicos/día} = 300\text{m}^3$$

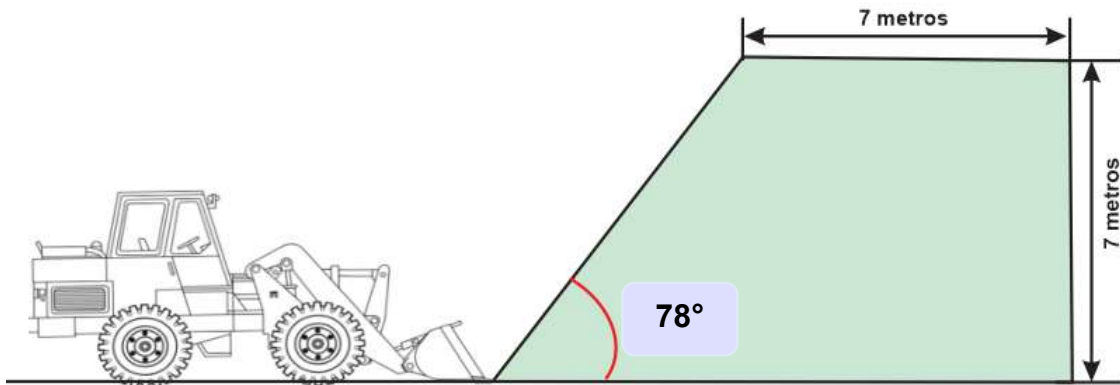


Figura 35. El ángulo 78° es el complemento del ángulo de talud.

✓ **Proceso de extracción de las arenas**

El proceso de extracción de las arenas considera los días laborables que son 300 días, a un ritmo de producción de 300m³/día que dará una producción de 90000 m³ en un año:

Tabla 61. Proceso de extracción de las arenas

Proceso de extracción	
Año	365 días
Feridos	13 días
Domingos	52 días
Días laborables	300 días
Producción diaria	300 m ³ = 787.5 TM
Producción anual	90000 m ³ = 236250 TM
Reservas	3164289 TM
Vida útil (años)	13 años

3.12.4. Secuencia de explotación

La explotación de las arenas se realizará siguiendo las siguientes actividades consecutivas:

✓ **Desbroce**

Para la explotación de las arenas será necesario el sacado de todo el material arcilloso, limoso y materia orgánica que se presenta como cobertura cuaternaria. Este proceso se debe realizar con un cargador Frontal.

✓ **Arranque mecánico**

Después de remover toda la cobertura cuaternaria, se inicia con la extracción de las arenas con el cargador frontal. Este material será acumulado cerca de la zona de trabajo.

✓ **Clasificación de las arenas mediante zarandeo**

Para realizar la clasificación de las arenas se utilizarán zarandas de $\frac{1}{4}$ " (cuarto de pulgada), y de esta forma se lograrán clasificar las arenas para ser comercializadas. Este zarandeo se realizará con 2 cargadores frontales marca Cat® 962L cuya capacidad de la cuchara es de 3 m^3 . por lo que dos cargadores frontales harán 6 m^3 .

✓ **Ciclo de los cargadores frontales**

Para la extracción y la clasificación de las arenas se tuvo en cuenta el ciclo de los dos cargadores frontales Cat® 962L.

$$\text{Ciclo} = \text{Tiempo arranque} + \text{tiempo distancia} + \text{tiempo zarandeo} \\ + \text{tiempo retorno}$$

Donde:

Capacidad del cucharón= 3 m^3

Producción diaria por un cargador frontal 150 m^3

Tiempo de arranque= 40 seg

Tiempo de distancia= 50 seg

Tiempo de zarandeo = 50 seg

Tiempo de retorno = 50 seg

Tiempo de limpieza= 5 minutos

Reemplazando:

$Ciclo = 40 \text{ seg} + 50 \text{ seg} + 50 \text{ seg} + 50 \text{ seg}$ (para un cucharón de 3 m³)

$Ciclo = 190 \text{ seg}$

$Ciclo = 3.17 \text{ min}$

❖ $Ciclo \text{ total} = 3.17 * 5 = 16 \text{ minutos}$

$Tiempo \text{ total} = 16 \text{ minutos} + \text{tiempo de limpieza}$

$Tiempo \text{ total} = 16 \text{ minutos} + 5 \text{ minutos}$

$Tiempo \text{ total} = 21 \text{ minutos}$

Calculando las horas totales para producir 300 m³ con un cargador frontal Cat® 962L.

Si: 15m ³	_____	21 minutos
300m ³	_____	X

X= 420 minutos

X= 7 horas cada cargador frontal

❖ Esto nos indica que para llegar a la producción planificada necesitamos 7 horas efectivas de una guardia diaria de 10 horas de trabajo.

3.13. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LA ROCA ARENISCA

3.13.1. Consideraciones geológicas

Las condiciones geológicas han jugado un papel muy importante en la generación del material a extraer. En primer lugar, los procesos tectónicos han producido un fracturamiento intenso de las rocas, y en segundo lugar la meteorización, la cual ha

cambiado las propiedades químicas y físicas permitiendo la desintegración de los componentes de las rocas areniscas.

Los componentes de la roca juegan un papel muy importante para que el material a extraer sea considerado aptas para ser utilizadas como materiales de construcción. Estas areniscas al haberse depositado en un ambiente continental playero hacen que contengan un alto contenido de óxido de sílice (SiO₂).

3.13.2. Análisis químico

Las muestras que fueron analizadas en laboratorio se extrajeron de canteras abandonadas existente en la zona de estudio, con la finalidad de obtener información de mayor validez y certeza acerca de la composición físico – químico del material a explotar para su uso en la construcción. El análisis químico se realizó en el laboratorio GINGECONSULT & LAB S.R.L, mientras que el estudio macroscópico se hizo utilizando la lupa. El resultado de todos los análisis químicos se muestra en el Anexo N° 8.

Tabla 62. Resultado del análisis físico químico de la roca arenisca.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS EXTRAÍDAS DEL CERRO MIRAFLORES, SAN ISIDRO - CELENDÍN				
Muestra	MON 01	Coordenadas UTM – WGS-84		
Fecha	10/06/23	E: 818026 m	N: 9231212 m	COTA: 2636 msnm
ANÁLISIS QUÍMICO		ANÁLISIS FÍSICO		
Oxido de silicio	95.49 %	Color	Blanco-amarillentas	
Oxido Férrico	1.35%			
Oxido de Potasio	0.07 %	Granulometría	Grano fino a medio	
Oxido de Titanio	0.05 %			
Óxido de Aluminio	0.69 %	Aspecto físico	Roca altamente meteorizada con presencia de óxidos de hierro.	
Óxido de sodio	0.07 %			

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la geología local se identificó dos Formaciones del cretácico inferior. La Formación Farrat perteneciente al grupo Gollarizquisga y la Formación Inca que representa la transición, es decir a un cambio de ambiente depositacional de rocas clásticas a carbonatadas

4.1. RESULTADO DEL CÁLCULO DE RESERVAS

El cálculo de reservas se realizó mediante 12 perfiles, los cuales están separados cada 21.46 metros. Dicho cálculo se hizo en dirección SW – NE, obteniendo su área y finalmente el volumen, luego de realizar los cálculos se obtuvo un total de 3515876 TM al cual se le hizo un castigo del 10 por ciento debido a la vegetación con raíces grandes como pino, eucalipto y otras plantas propias de la zona generan alteración de la roca generando contaminación del material a extraer, obteniendo un total de 3164289 TM que será extraído durante 13 años, teniendo una producción anual de 236250 MT.

4.2. DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

La explotación de la cantera será mediante cortes comenzando de la parte superior hacia la inferior siguiendo una dirección del NO al SE, mediante bancos y el derrumbe por acción de la gravedad, al finalizar el primer corte se inicia con el segundo y así sucesivamente. El método de extracción será el de banqueo. La extracción de las arenas se va a realizar mediante el minado superficial, de tipo cantera. A continuación, se muestra la tabla resumen de los parámetros geométricos calculados para el diseño de la cantera.

Tabla 63. Resumen de los parámetros calculados

PARÁMETROS DE DISEÑO	
Profundidad de explotación	70.23 m
Numero de bancos	10
Altura de banco	7m
Angulo de talud según Cálculo realizado	78.º
Angulo de talud final	35º
Ancho de la plataforma de trabajo	7m

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPOTESIS

Con el estudio de las características litológicas de las areniscas de la Formación Farrat y con el levantamiento de 12 perfiles se logró calcular el área de los perfiles y posteriormente con la distancia de 21.46 m entre ellos se calculó el volumen total. Además, se pudo calcular los parámetros de explotación tales como altura de banco, numero de banco, ángulo final de explotación y ángulo de reposo de las arenas. También se logró calcular la vida útil de la mina por lo que la hipótesis se contrasta positivamente.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Para calcular las reservas de areniscas de la Formación Farrat, zona de Miraflores, San Isidro- Celendín, se elaboraron 12 perfiles separados entre sí 21.46 m.

Las reservas totales probadas ascienden a la cantidad de 3164289 TM, en la cual ya se ha castigado con el 10% por la cobertura cuaternaria y por error en la topografía al generar los perfiles.

Se producirá diariamente 300 m³ de arena fina, arena gruesa y hormigón para lo cual se requiere 4 camiones con capacidad de 15 m³ cada uno los cuales efectuaran 5 vueltas para completar las 300m³.

La vida útil de la mina es de 13 años a razón de una producción anual de 90000 m³ o 236250 TM, con un valor económico aproximado de \$ 947,368.

La explotación de los recursos será de manera descendente siguiendo una dirección del NO al SE, para lo cual se ha calculado al ángulo final de trabajo de 35°, se realizarán 10 bancos de 7 metros de altura cada uno, con una plataforma de trabajo de 13 m y el ángulo final de los bancos de 78°.

5.2. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se sugiere a las diferentes instituciones abordar los estudios hidrogeológicos en la zona de explotación de la cantera, dado que la presencia de agua puede dificultar la extracción de la arenisca, desestabilizar los taludes y aumentar los costos de transporte y procesamiento.

Asimismo, a los futuros empresarios se recomienda realizar protocolos de monitoreo continuo para evaluar el impacto de la extracción en el entorno circundante, con el objetivo de asegurar una explotación sostenible y responsable.

Concluida la extracción del material, se recomienda a las empresas interesadas proceder a mitigar los impactos medioambientales generados, mediante una reforestación con especies arbóreas nativas adecuadas, de manera tal que el área no quede expuesta a la erosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, M. 2007 Estimación de Recursos Mineros.

Bustillo, M. & López, C. 1997. Manual de Evaluacion y Diseno de Explotaciones Mineras

Castro, B. (2015). Propuesta de Implementación de Plan de Minado en La Cantera de Dolomita “Jajahuasi 2001” de la Comunidad Campesina Llocllapampa – Provincia de Jauja. Tesis para optar el título de ingenierode minas. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Catalán, G. N. (2021). Adaptación de las operaciones unitarias en función del aumento de producción y la reducción de costos en minera Rafaela. Santiago de Chile.

Columbúe, G. (2018). Proyecto de Explotación del Yacimiento de Arenisca Victoria III.
[https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1983/Columbi%
%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1983/Columbi%c3%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Condori, Q. B. (2016). Diseño de explotación de Cantera para agregados, Distrito de Huayucachi. Huancayo, Perú.

CWC TRAININGS. (21 de febrero de 2023). mineria.space. Obtenido de Métodos de estimación de reservas de mineral : <https://mineria.space/metodos-de-estimacion-de-reservas-de-mineral-tutorial/>

Dávila, B. J. (2011). Diccionario Geológico. Lima, Perú: Arth Grouting S.A.C.

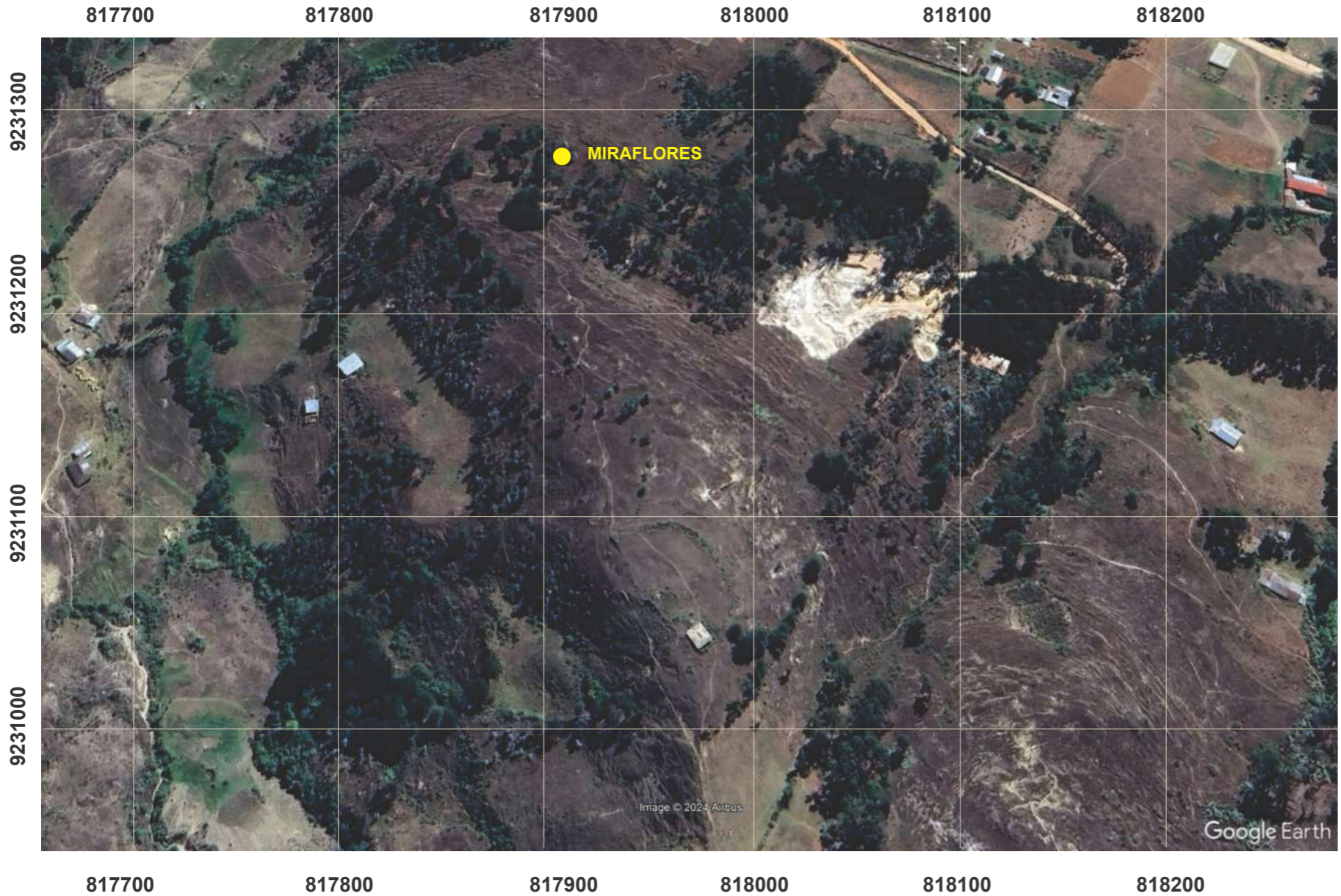
Fernández, R., & Tessone, M. (2015). Geoestadística aplicada a la exploración minera. Buenos Aires, Argentina: FCNyM-UNLP.

- Herrera, H. J. 2018. Canteras de aridos y de minerales industriales . Madrid, España.
- Herrera, P. C. (2016). Diseño del sistema de explotación de materiales de construcción existentes en la Cantera Mina 2, ubicada en la Parroquia Cancahua, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. Quito, Ecuador .
- Luque, J. 2017. Estudio de Factibilidad en un Proyecto de Explotación de Rocas y Minerales Industriales en una Mina de Perlita. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Muñoz Reinoso, C. R. (2015). Evaluación de reservas y diseño del sistema de Explotación del Area minera Mary Elena Código:102317. Quito, Ecuador.
- Piérola, V. D. 2017. Optimización del plan de minado de cantera de caliza la Union distrito de Baños del Inca, Cajamarca. Puno, Peru.
- Rebaza, B. 2015 Estimación de reservas probables de yacimientos no metálicos en arcillas del distrito de Llacanora Cajamarca, Perú – 2015. Cajamarca, Perú: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3232569>.
- Reinoso, C. 2015 Evaluación de Reservas y Diseño del sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317. Para obtener el título de Ingeniero de Minas. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Urbina, J. & Herrera, H. (2022). Métodos de Minería a Cielo Abierto. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía,

ANEXOS

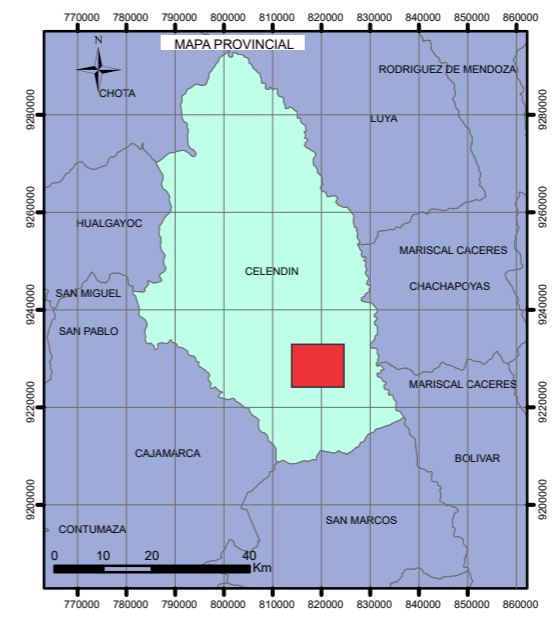
1. PLANO DE UBICACIÓN
2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES
3. PLANO GEOLÓGICO
4. PLANO DE PERFILES
5. ZONAS DE ACCESO A LA MINA
6. PESO ESPECÍFICO DE LABORATORIO
7. ANÁLISIS QUÍMICO

ANEXO 1. PLANO DE UBICACIÓN

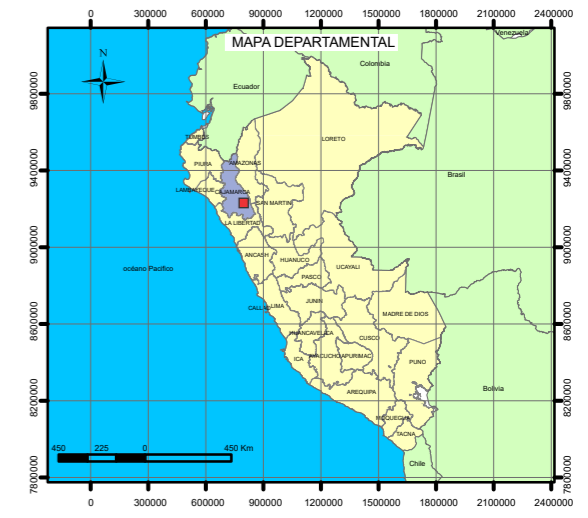


ESCALA GRÁFICA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mecator
 Datum: WGS 1984



Fuente: Google Earth (2024)

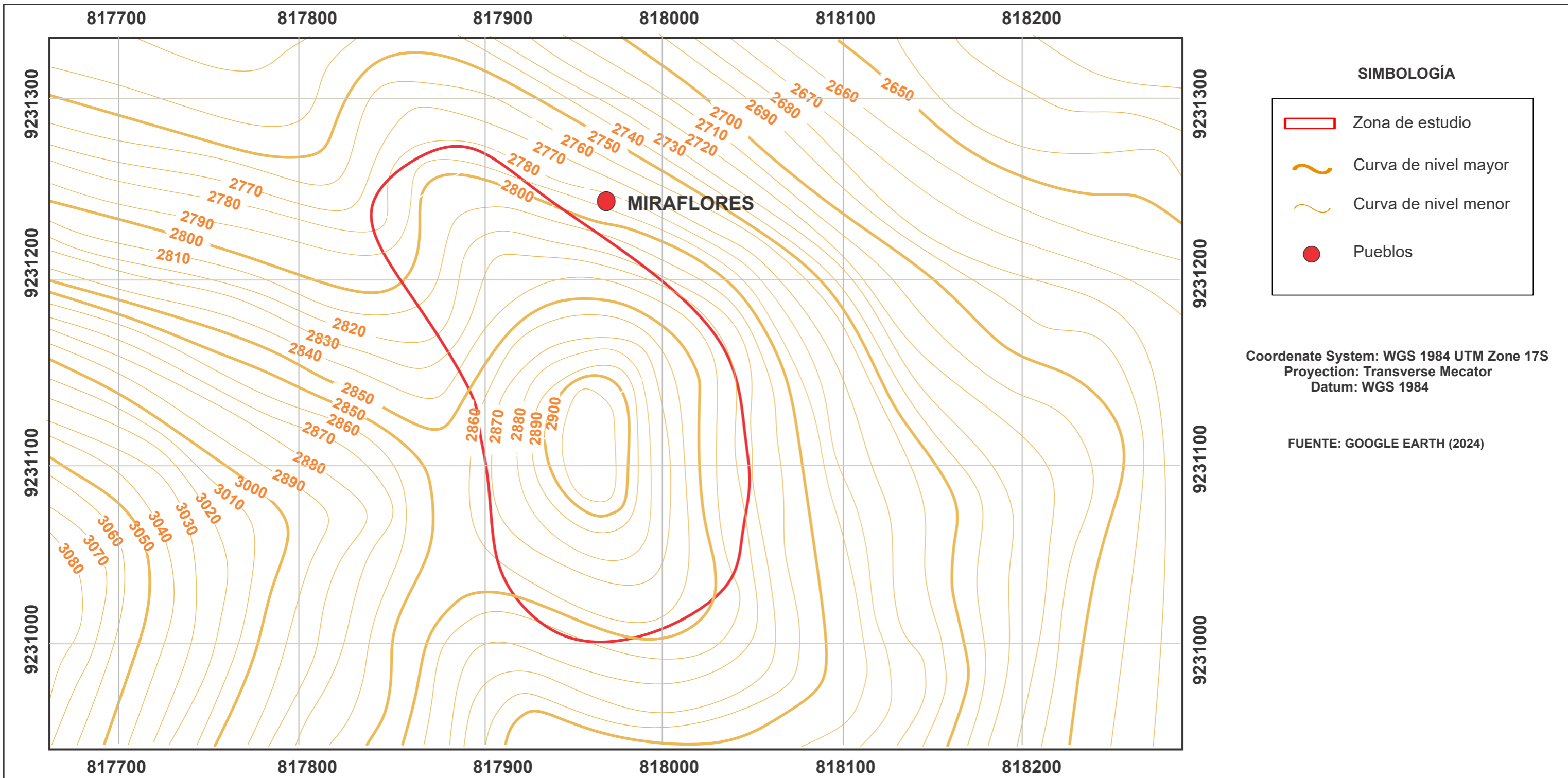


LEYENDA

- Curvas mayores 50m
- Curvas menores 10m
- Zona de Estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDIN		
PLANO:	UBICACIÓN	ESCALA: 1/20000 P-01
TESISTA:	Bach. WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA	
ASESOR:	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO	
FECHA:	JULIO 2024	

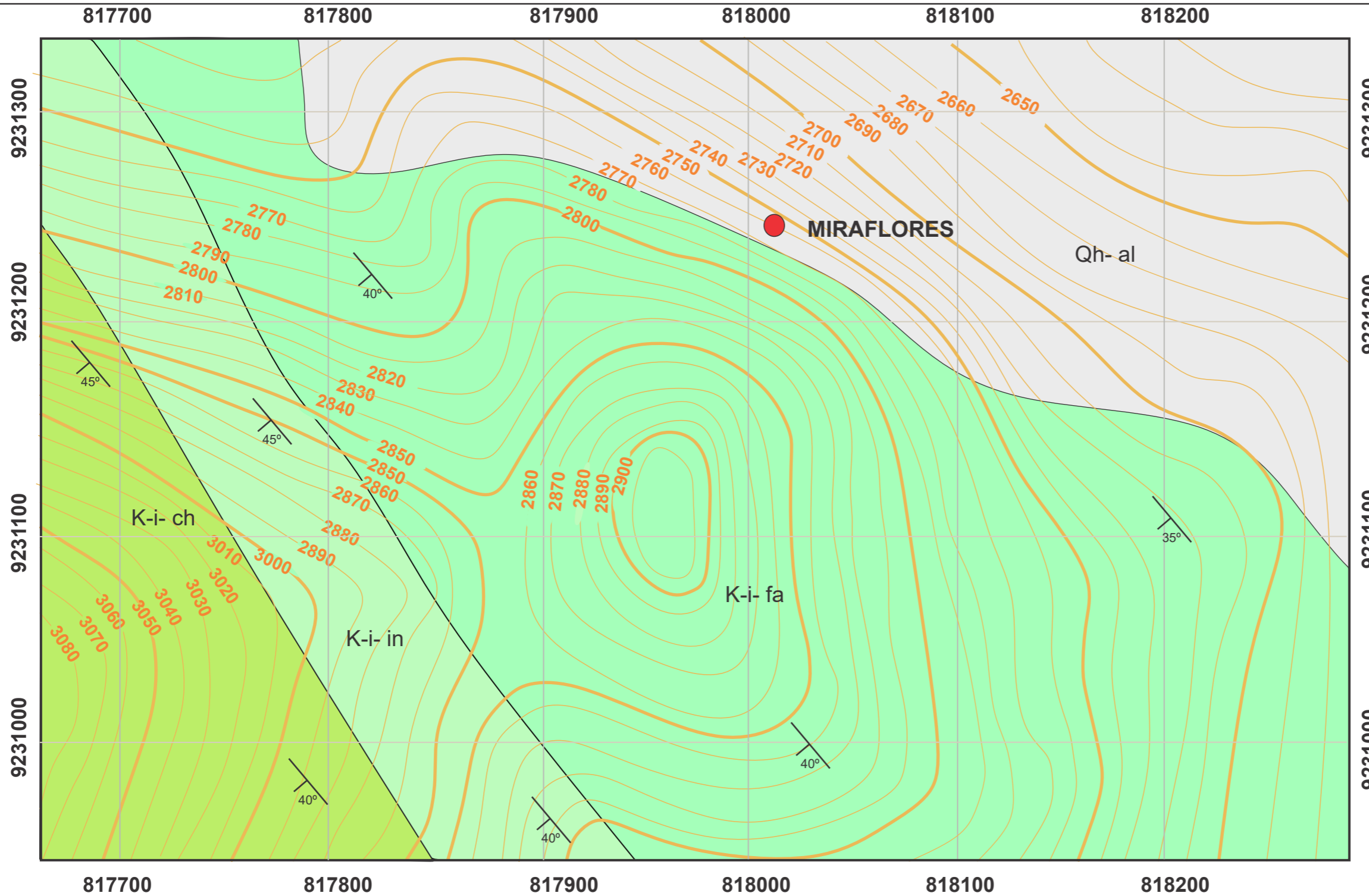
ANEXO 2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



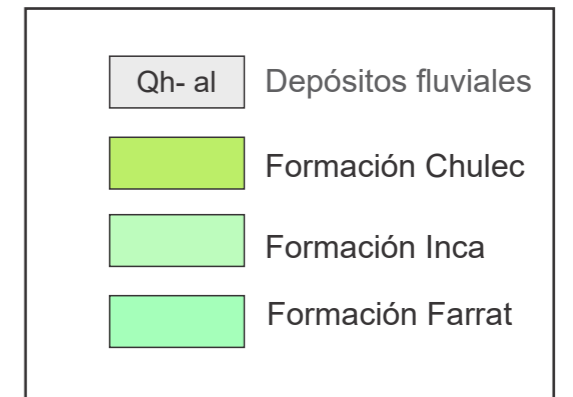
ESCALA GRÁFICA

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas</p>	
<p>TESIS: CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDIN</p>		
<p>PLANO:</p>	<p>MDE</p>	<p>ESCALA: 1/20000</p>
<p>TESISTA:</p>	<p>Bach. WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA</p>	<p>P-02</p>
<p>ASESOR:</p>	<p>Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO</p>	
<p>FECHA:</p>	<p>JULIO 2024</p>	

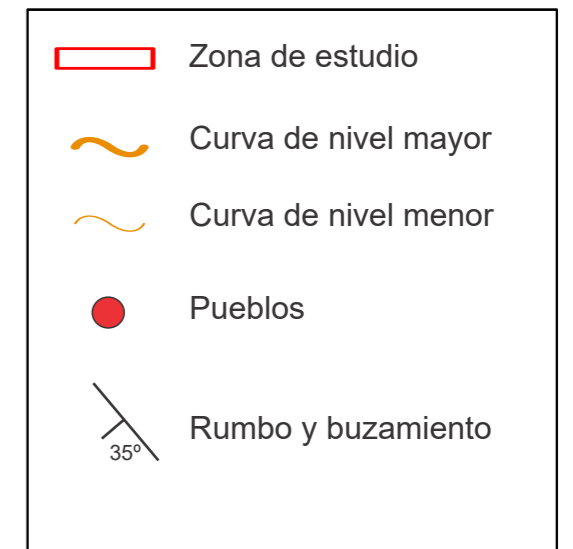
ANEXO 3. PLANO GEOLOGICO



LEYENDA



SIMBOLOGÍA



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984



ESCALA GRÁFICA



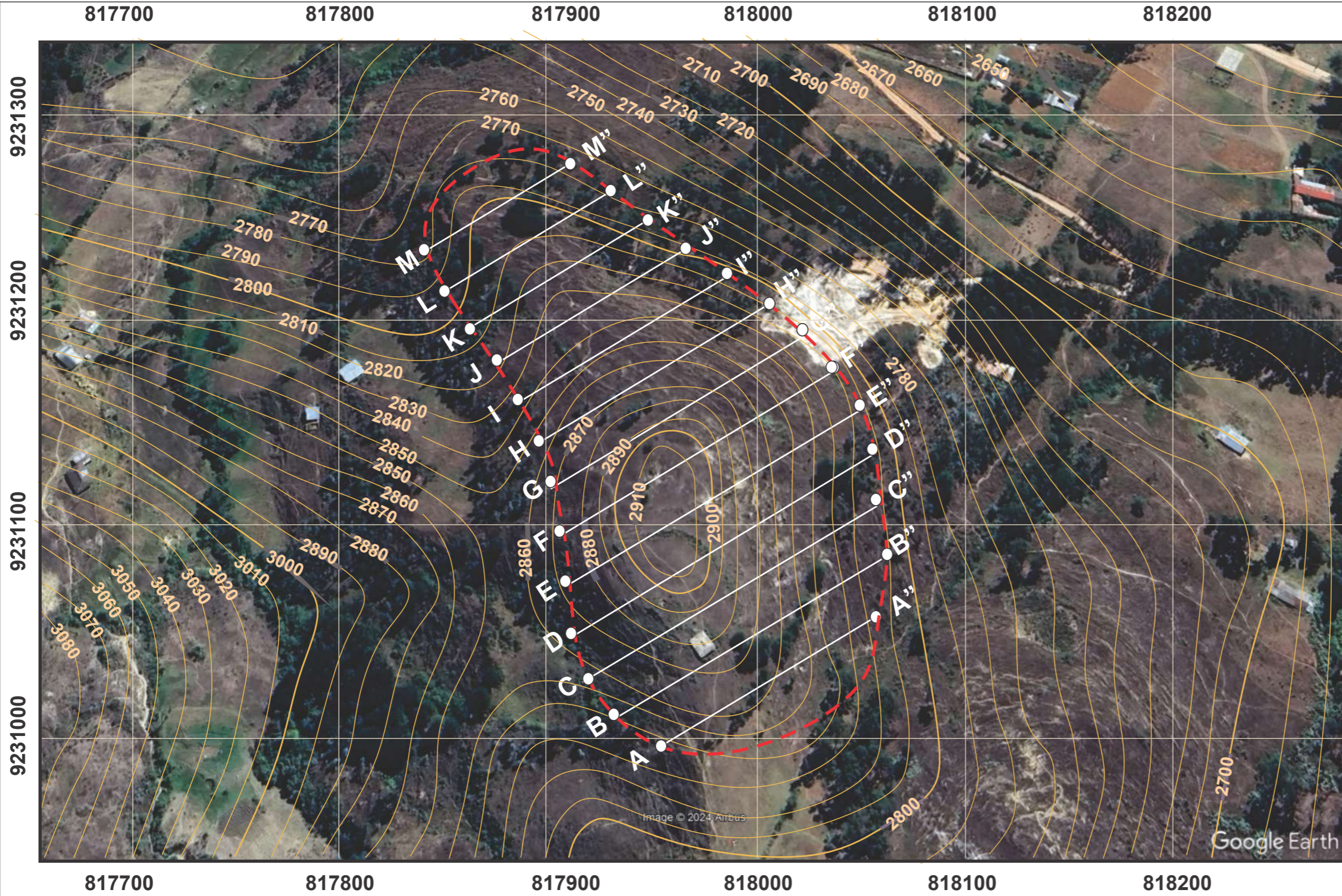
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS:
 CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT
 COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDIN

PLANO:	PLANO GEOLÓGICO	ESCALA: 1/20000
TESISTA:	Bach. WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA	
ASESOR:	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO	P-03
FECHA:	JULIO 2024	

ANEXO 4. PLANO DE PERFILES



SIMBOLOGÍA

- Zona de estudio
- ~ Curvas de nivel
- / Perfiles

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mecator
 Datum: WGS 1984

FUENTE: GOOGLE EARTH (2024)

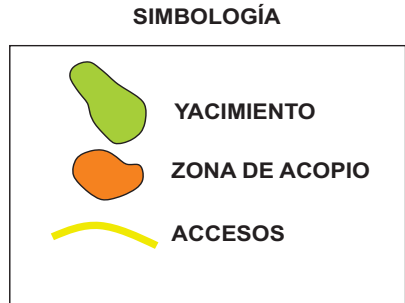
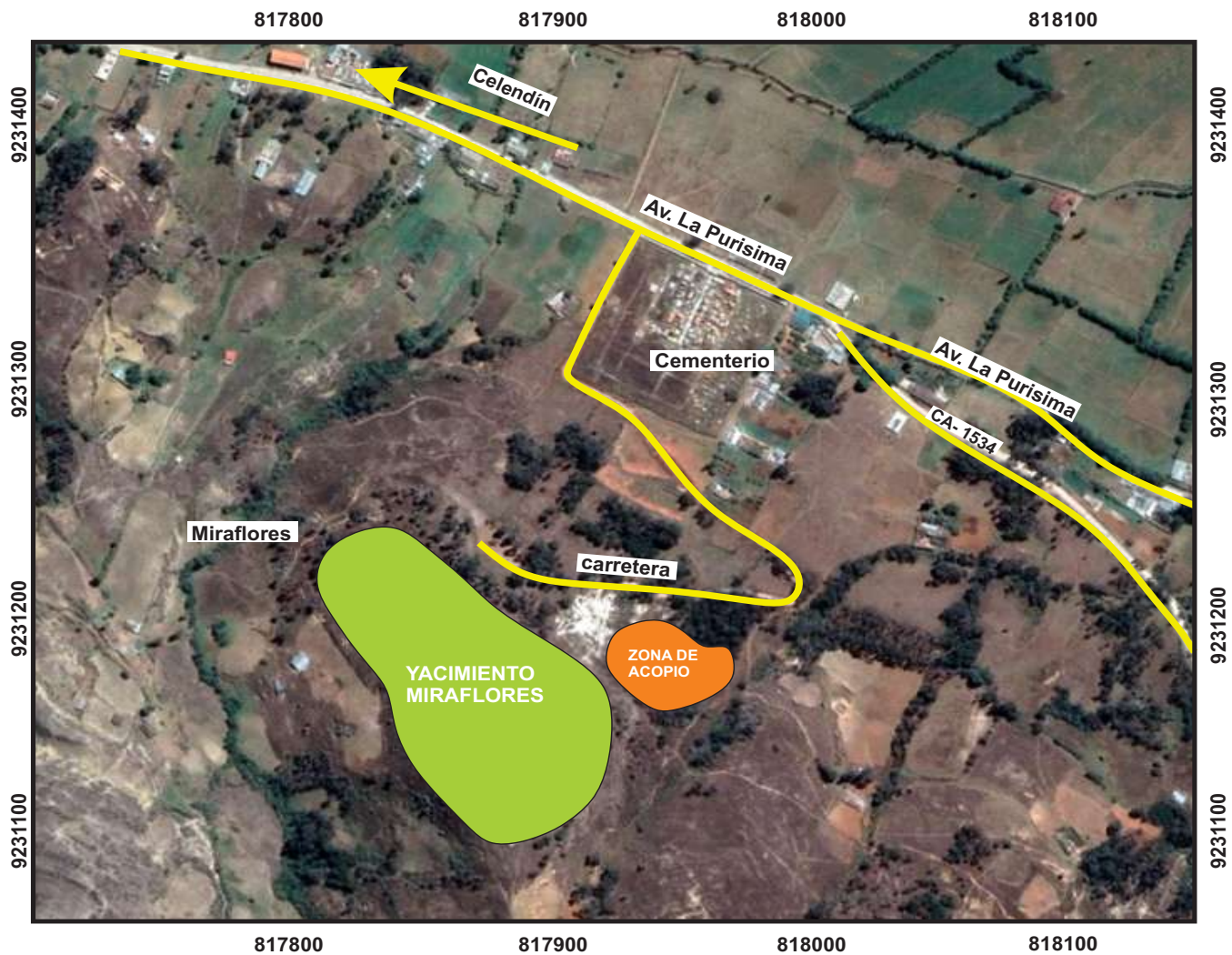
Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este
A	9231000	817950	A'	9231070	818060
B	9231030	817930	B'	9231090	818070
C	9231050	817920	C'	9231110	818075
D	9231080	817910	D'	9231130	818070
E	9231080	817905	E'	9231140	818065
F	9231100	817903	F'	9231160	818060
G	9231120	817903	G'	9231200	818030
H	9231140	817900	H'	9231210	818015
I	9231160	817880	I'	9231220	818018
J	9231180	817875	J'	9231240	817990
K	9231190	817860	K'	9231255	817950
L	9231220	817850	L'	9231260	817940
M	9231240	817840	M'	9231280	817920



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDIN		
PLANO:	UBICACIÓN DE LAS SECCIONES	ESCALA: 1/20000 P-04
TESISTA:	Bach. WILSON KENNY MONZÓN CARUAJULCA	
ASESOR:	Dr. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO	
FECHA:	JULIO 2024	

ANEXO 5. ZONAS DE ACCESO A LA MINA



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS PROFESIONAL:		
CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO CELENDIN		
PLANO:	ZONAS DE ACCESOS A LA MINA	DATUM:
TESISTA:	Bach. WILSON KENNY MONZON CARUAJULCA	UTM WGS 84
ASESOR:	Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	
FECHA:	ABRIL 2024	
		P-05

ANEXO 6. PESO ESPECIFICO DE LA MUESTRA



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LA ARENISCA

SOLICITA : WILSON KENNY MONZON CARAJULCA
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS
ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT COMO MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN,
LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO- CELENDÍN
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO MIRAFLORES
UNIDAD : FORMACIÓN FARRAT
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
FECHA : 21/03/2024

I. PROCEDIMIENTOS

Se realizaron las pruebas de laboratorio con la finalidad de hallar el peso específico de las 03 muestras de areniscas para luego determinar su promedio.

La determinación del peso específico de cada una de las muestras de roca arenisca se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- 1 Se obtiene un fragmento de roca arenisca con la ayuda del martillo del geólogo, considerándose que los fragmentos obtenidos puedan entrar en el vaso de prueba.
- 2 Se procede a realizar el pesaje de la muestra de arenisca en la balanza.
- 3 Se llena el vaso de vidrio con agua hasta la mitad aproximadamente.
- 4 Se mide y se registra el volumen del agua en el vaso de precipitación.
- 5 Luego se introduce el fragmento de roca dentro del vaso con agua.
- 6 Se mide y se registra el volumen del agua más el fragmento.

Todos estos procedimientos se realizaron para las 03 muestras de arenisca.

II. DATOS OBTENIDOS

Peso de la masa de roca= 164.22gr

Volumen de H₂O sin muestra de roca= 389.15 cm³

Volumen de H₂O con muestra de roca= 451.77cm³

Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

Muestra MONZ- 01	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	164.22
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	389.15
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	451.77
Diferencia de volúmenes (cm ³)	62.62
Peso específico (gr/cm³)	2.622

Muestra MONZ- 02	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	155.28
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	390.11
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	449.23
Diferencia de volúmenes (cm ³)	59.12
Peso específico (gr/cm³)	2.627

Muestra MONZ- 03	
Peso de la masa de roca arenisca (gr)	165.43
Volumen de H ₂ O sin muestra de roca (cm ³)	389.27
Volumen de H ₂ O con muestra de roca (cm ³)	452.29
Diferencia de volúmenes (cm ³)	63.02
Peso específico (gr/cm³)	2.625



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto ambiental, construcción de edificios, obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS- ASESORIA Y CONSULTORIA
RPM: 696826 CELULAR976026950 TELEFONO:354793

I. APLICACIÓN DE LAS FÓRMULAS

Volumen requerido= Volumen de H₂O con fragmento de roca- Volumen de agua sin fragmento de roca

II. REEMPLAZANDO DATOS

$$V_f = 451.77\text{cm}^3 - 389.15\text{cm}^3 = 60.02\text{cm}^3 \text{ (diferencia de volúmenes)}$$

III. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LABORATORIO

Peso específico= peso de la masa gr/diferencia de volumen cm³

$$PE = 154.22 \text{ gr}/60.02\text{cm}^3 = 2.62\text{gr}/\text{cm}^3$$



Ing. Msc. Hugo Alasquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

ANEXO 7. ANALISIS QUIMICO



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS - ASESORIA Y CONSULTORIA
BPM: *895826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : WILSON KENNY MONZON CARUAJULCA
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACION FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO- CELENDIN
PROCEDENCIA : GRUPO GOLLARISQUIZGA (FORMACION FARRAT)
LUGAR : CERRO MIRAFLORES- SAN ISIDRO
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : MON-01
FECHA : 10/06/23

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO_2)	95.49
Oxido férrico (Fe_2O_3)	1.35
Oxido de potasio (K_2O)	0.07
Oxido de titanio (TiO_2)	0.05
Oxido de aluminio (Al_2O_3)	0.69
Oxido de sodio (Na_2O)	0.07

Ing. Hugo Mosquera Estriver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

S

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : WILSON KENNY MONZON CARUAJULCA
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACION FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO- CELENDIN
PROCEDENCIA : GRUPO GOLLARISQUIZGA (FORMACION FARRAT)
LUGAR : CERRO MIRAFLORES- SAN ISIDRO
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : MON-02
FECHA : 10/06/23

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	96.39
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.22
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.06
Oxido de titanio (Ti O ₂)	0.04
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.72
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.06



Ing. Hugo Alasqueva Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : WILSON KENNY MONZON CARUAJULCA
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACION FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO- CELENDIN
PROCEDENCIA : GRUPO GOLLARISQUIZGA (FORMACION FARRAT)
LUGAR : CERRO MIRAFLORES- SAN ISIDRO
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : MON-03
FECHA : 10/06/23

III. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO_2)	94.29
Oxido férrico (Fe_2O_3)	1.11
Oxido de potasio (K_2O)	0.09
Oxido de titanio (T i O_2)	0.02
Oxido de aluminio (Al_2O_3)	0.79
Oxido de sodio (Na_2O)	0.04



Ing. MSc. Hugo Alasqueiro Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : WILSON KENNY MONZON CARUAJULCA
TESIS : CÁLCULO DE RESERVAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS DE LA FORMACION FARRAT COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LOCALIDAD DE CERRO MIRAFLORES. SAN ISIDRO- CELENDIN
PROCEDENCIA : GRUPO GOLLARISQUIZGA (FORMACION FARRAT)
LUGAR : CERRO MIRAFLORES- SAN ISIDRO
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : MON-04
FECHA : 10/06/23

IV. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	96.41
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.22
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.06
Oxido de titanio (Ti O ₂)	0.04
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.72
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.04



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estrayer
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 27564

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.