

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



**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA
ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

TESIS PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por:
Bach. José Elden Cayao Coronel

Asesor:
Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres con todo mi cariño y mi amor, las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, Ismenia y Lino. A mis maestros y catedráticos por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos, lograron formar el profesional que soy ahora.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater,
Universidad Nacional de Cajamarca,
en especial a la Escuela Académico
Profesional de Ingeniería de Minas;
a mis docentes, por darme las armas
necesarias para abrirme paso hacia
el desarrollo profesional.

A mis compañeros, colegas y
amigos de la empresa minera
Croacia por todas las facilidades
brindadas para poder desarrollar y
recopilar los datos necesarios para
la presente tesis y en especial al Ing.
Aníbal Chumbe Robles.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE PLANOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	3
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	3
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. MODELO GEOLÓGICO.....	5
2.2.2. MODELO GEOMECÁNICO.....	5
2.2.3. ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI, 1997).....	6
2.2.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD, 1964).....	9
2.2.5. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR89).....	9
2.2.6. INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA EN LA ESTABILIDAD DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	11
2.2.7. INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA MASA ROCOSA.....	13
2.2.8. REPRESENTACIÓN ESTEREOGRÁFICA DE CUÑAS Y BLOQUES POTENCIALMENTE INESTABLES.....	19

	Pág.
2.2.9. INESTABILIDAD EN EXCAVACIÓN DE TÚNELES	21
2.2.10. SOSTENIMIENTO	22
2.2.11. PROPIEDADES Y PARÁMETROS DE LAS DISCONTINUIDADES	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	29
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 UBICACIÓN	30
3.2 ACCESIBILIDAD	31
3.3 CLIMA	32
3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.4.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	32
3.4.2. POBLACIÓN	33
3.4.3. MUESTRA	33
3.4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS	33
3.4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.4.6. RECURSOS MATERIALES	34
3.4.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. GEOLOGÍA REGIONAL	36
4.1.1. COMPLEJO BASAL BELLA UNIÓN	36
4.1.2. FORMACIÓN MOQUEGUA	38
4.1.3. FORMACIÓN HUAYLILLAS	38
4.2. GEOLOGÍA LOCAL	38
4.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA	39
4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	40
4.5. GEOHIDROLOGÍA	42
4.6. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN CORTE Y RELLENO ASCENDENTE	43
4.7. GEOMECÁNICA	44
4.7.1. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA GAL 455E – NV 1720	44
4.7.2. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA GAL 486E – NV 1665	58
4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75

	Pág.
4.9. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	76
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1. CONCLUSIONES	77
5.2. RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	: Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	: Universal Transversal de Mercator.
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global.
N	: Newtons.
MPa	: Megapascales.
GSI	: Índice de Resistencia Geológica.
RQD	: Índice de calidad de roca.
RMR	: Valoración de la masa rocosa.
Q o NGI	: Índice de calidad de túneles.
c	: Cohesión.
ϕ	: Ángulo de Fricción.
λ	: Número de discontinuidades
Osinergmin	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
SNMPE	: Sociedad nacional de minería petróleo y energía.
NV.	: Nivel de excavación
BZ	: Buzón.
BZC	: Buzón camino.
GAL	: Galería.
TM	: Tonelada métrica.
'	: Pies.
"	: Pulgadas.
D	: Dip.
DD	: Dip Direction.
Fs	: Factor de seguridad.
N-S	: Norte – Sur.
E-W	: Este – Oeste.
Ton.	: Toneladas.
MF/R	: Muy Fracturada / Regular.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Índice de calidad de la roca (Deere, 1964).....	9
Tabla 2. Clasificación Geomecánica según Bieniawski – RMR89.	10
Tabla 3. Ajuste por orientación del túnel respecto a las discontinuidades.	11
Tabla 4. Interpretación de los valores de RMR89.	11
Tabla 5. Ruta de acceso a la mina Esperanza.....	31
Tabla 6. Metodología de la investigación.	33
Tabla 7. Clasificación RMR89 - Estación Geomecánica 1.	46
Tabla 8. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 1.....	48
Tabla 9. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 2	49
Tabla 10. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 2.....	53
Tabla 11. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 3.	54
Tabla 12. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 3.....	58
Tabla 13. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 4.	60
Tabla 14. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 4.....	64
Tabla 15. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 5.	65
Tabla 16. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 5.....	69
Tabla 17. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 6.	70
Tabla 18. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 6.....	74
Tabla 19. Resumen del cálculo del RMR por estaciones geomecánicas.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplos de modelización en ingeniería	5
Figura 2. GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown. 1997).....	6
Figura 3. Estimación del GSI.....	7
Figura 4. Estimación del GSI en base a condiciones geológicas.....	8
Figura 5. Estimación del sostenimiento a base del GSI.....	8
Figura 6. Zoneamiento de una estructura mineralizada.....	12
Figura 7. Ejemplo de una excavación en roca masiva con pocas fracturas.....	13
Figura 8. Cuña biplanar por las intersecciones de diaclasas en rocas fracturadas.....	14
Figura 9. Cuñas tetrahedrales por las intersecciones de diaclasas en rocas fracturadas.....	15
Figura 10. Bloques tabulares o lajas liberadas en la caja techo.....	16
Figura 11. Bloques irregulares liberados por las intersecciones de las diaclasas en rocas fracturadas.....	16
Figura 12. Roca intensamente fracturada.....	17
Figura 13. Liberación de los estratos subhorizontales, flexión y caída hacia el vacío del minado.....	18
Figura 14. A: Falla como estructura aislada; B: Fallas como estructuras múltiples.....	19
Figura 15. Análisis Estereográfico para evaluar la caída de cuñas por gravedad o deslizamiento.....	20
Figura 16. Ejemplos de mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso.....	21
Figura 17. A: Perno de varilla corrugada; B: Instalación de un perno de varilla de fierro corrugado usando cartuchos de cemento, cartuchos de resina o ambos.....	22
Figura 18. Perno de fricción Split Set.....	23
Figura 19. Mecanismo de anclaje del Split Set.....	23
Figura 20. Malla electrosoldada.....	25
Figura 21. A: Esquema de un cuadro recto; B: Esquema de un cuadro cónico; C: Esquema de un cuadro cojo.....	26

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 22. Propiedades geométricas de las discontinuidades.....	27
Figura 23. Ubicación geográfica de la mina Esperanza de Caravelí.....	30
Figura 24. Ruta de acceso a la Mina Esperanza.....	31
Figura 25. Vista W-E del Proyecto Esperanza – Minera Croacia E.I.R.L.....	32
Figura 26. Falla Médano.....	40
Figura 27. A. Espejos de falla, B. Falla inversa dextral, C y D. Fallas transversales.....	41
Figura 28. A.Zona de goteo de agua BzC 669 + 15m. B. Presencia de humedad.....	43
Figura 29. Diagrama de rosetas GAL 455E.....	45
Figura 30. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 1.....	45
Figura 31. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 1.....	48
Figura 32. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 2.....	50
Figura 33. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 2.....	53
Figura 34. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 3.....	55
Figura 35. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 3.....	58
Figura 36. Diagrama de rosetas GAL 486E.....	59
Figura 37. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 4.....	61
Figura 38. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 4.....	64
Figura 39. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 5.....	66
Figura 40. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 5.....	69
Figura 41. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 6.....	71
Figura 42. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 6.....	74

LISTA DE PLANOS

01. PLANO DE UBICACIÓN.
02. PLANO TOPOGRÁFICO NV 1720.
03. PLANO TOPOGRÁFICO NV 1665.
04. PLANO GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y MINERALIZACIÓN NV 1720.
05. PLANO GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y MINERALIZACIÓN NV 1665.
06. PLANO EN PERFIL NV 1720 Y NV 1665.
07. PLANO GEOMECÁNICO NV 1720.
08. PLANO GEOMECÁNICO NV 1665.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la galería GAL 455E del nivel 1720 y la galería GAL 486E del nivel 1665 de veta Miriam de la unidad minera Esperanza, en el distrito de Ático, provincia de Caravali, departamento de Arequipa - Perú, consta de una excavación de 220.0 m. El objetivo fue determinar la Inestabilidad Geomecánica que presentan las dos galerías, para lo cual se ha establecido 6 estaciones geomecánicas. Se evaluó la parte geológica a través del mapeo geológico subterráneo, que permitió tomar datos como rumbo y buzamiento para saber el comportamiento de las familias de diaclasas y el tipo de litología en los túneles (complejo bella unión). Se evaluó la parte geomecánica a través de una matriz donde se obtuvieron datos del macizo rocoso, determinándose su clasificación geomecánica en cada estación, clasificándola como una roca tipo IV (mala calidad). Se comprobó la formación de cuñas y su comportamiento con respecto a la dirección del túnel de las estaciones geomecánicas mediante el software Dips V6 y Unwedge V3. Realizando todos estos estudios se concluyó que las galerías de veta Miriam presentan inestabilidad Geomecánica.

Palabras claves: Geomecánica, geología, litología, mapeo geomecánico, análisis de inestabilidad, discontinuidades, cuñas.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the GAL 455E gallery of level 1720 and the GAL 486E gallery of level 1665 of the Miriam vein of the Esperanza mining unit, in the Ático district, Caravali province, Arequipa department - Peru, it consists of an excavation of 220.0 m. The objective was to determine the Geomechanical Instability that the two galleries present, for which 6 geomechanical stations have been established. The geological part was evaluated through underground geological mapping, which allowed taking data such as bearing and dip to know the behavior of the joint families and the type of lithology in the tunnels (Bella Union complex). The geomechanical part was evaluated through a matrix where data were obtained from the rocky massif, determining its geomechanical classification in each station, classifying it as a type IV rock (poor quality). The wedge formation and its behavior with respect to the direction of the tunnel of the geomechanical stations were verified using the Dips V6 and Unwedge V3 software. Carrying out all these studies, it was concluded that the Miriam vein galleries present Geomechanical instability.

Key words: Geomechanics, geology, lithology, geomechanical mapping, instability analysis, discontinuities, wedges.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La empresa Minera Croacia E.I.R.L. opera la mina Esperanza ubicada en el departamento de Arequipa, provincia de Caravelí, distrito de Ático. La mineralización se encuentra en forma de vetas en rocas andesíticas, moderadamente fracturadas y meteorizadas siguiendo la dirección de la falla principal, falla que presenta fuerte fracturamiento o brechamiento, las cuales originan un comportamiento geomecánico inestable, teniendo en cuenta que a lo largo del brechamiento tenemos zonas con humedad originando inestabilidad geomecánica mediante desprendimiento de rocas, formación de cuñas en hastiales y corona de las labores subterráneas en los niveles 1665 y 1720 de veta Miriam. Dentro de los principales problemas de inestabilidad del macizo rocoso en veta Miriam es la convergencia de fallas pre-mineralizadas longitudinales y transversales que ocasionan desplazamientos de los bloques de rocas en los túneles de preparación y explotación.

El problema se plantea en: ¿Existe inestabilidad geomecánica en los túneles de los niveles 1665 y 1720 debido a la presencia de las fallas longitudinales y transversales con cajas fuertemente brechadas sobre las rocas andesíticas, considerando la presencia de humedad? Cuya hipótesis es, la litología y geoestructuras determinan el comportamiento geomecánico en las labores subterráneas de los niveles 1665 y 1720 en veta Miriam, influyendo en la inestabilidad geomecánica del túnel, requiriendo aplicación de métodos de sostenimiento.

La justificación busca prevenir accidentes por caída de rocas en mina Esperanza, para ello debemos determinar la inestabilidad del macizo rocoso teniendo en cuenta el grado de fracturamiento en la masa rocosa según su zoneamiento; permitiendo definir el comportamiento geomecánico. Mediante los parámetros geomecánicos definiremos las alternativas de estabilidad del macizo rocoso, utilizando para ello

métodos de sostenimiento de acuerdo al tipo de roca contribuyendo con la seguridad del personal.

Los problemas por inestabilidad del macizo rocoso en la mina Esperanza pueden conllevar a una serie de accidentes o incluso pérdidas humanas perjudicando muchas veces la producción y rentabilidad de la empresa, por lo cual debemos desarrollar los trabajos de una manera ordenada y cumpliendo con las recomendaciones geomecánicas y estándares establecidos que conllevan a realizar trabajos seguros.

El objetivo general es: analizar el comportamiento geomecánico de los niveles 1665 y 1720 de la mina Esperanza de la empresa Minera Croacia E.I.R.L., debido a la inestabilidad geomecánica por presencia de fallas y zonas fuertemente fracturadas. Los objetivos específicos son: definir las geoestructuras en los niveles 1665 y 1720, determinar el compartimiento geomecánico del macizo rocoso de las labores subterráneas en el nivel 1665 y nivel 1720 de la veta Miriam, zonificar las áreas geomecánicamente inestables y determinar los métodos de sostenimiento en los niveles 1665 y 1720.

La investigación se desarrolla en cinco (05) capítulos: El Capítulo I contiene el planteamiento del problema, justificación, delimitación y objetivos planteados en la investigación. El Capítulo II, contiene el marco teórico de la investigación, con los antecedentes teóricos, bases teóricas en las cuales se ha fundamentado la investigación y definición de términos básicos. En el capítulo III, se realiza un detalle de los materiales y métodos describiendo la ubicación geográfica de la zona de estudio, la metodología de la investigación y las técnicas e instrumentos de recolección de datos. En el capítulo IV; se realiza el análisis y discusión de resultados, exponiéndose los resultados a la vez contrastándose con la hipótesis y el Capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones finales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cartaya (2001), en su Tesis Doctoral: Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país (Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba); donde menciona que, al analizar las condiciones existentes del macizo rocoso de las excavaciones estudiadas, observó que las principales formas de pérdidas de estabilidad, se manifiestan por el techo y hastiales de las labores. Además, en los macizos rocosos estudiados se presentaban situaciones en que ellos se comportan como un medio discreto, las más comunes son: la presencia de sectores del macizo fracturado en bloques de formas regulares con inclinación respecto al eje de la excavación; en ocasiones el macizo rocoso presenta situaciones con bloques acuñados y en otros casos sectores triturados que tienden a deslizarse hacia la labor.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Cáceres (2017), en su Tesis de Pregrado: Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcán S.A.A. – 2015-2016. Llega a la conclusión que la mayor ocurrencia de formación de cuñas está en todos los subniveles, donde las excavaciones van paralelas al sistema principal de discontinuidades y las secciones de excavación se configuran de acuerdo al arreglo estructural. El sostenimiento será con pernos helicoidales de 10 pies x 1 pulgada y shotcrete de 2 - 6 pulgadas para la primera etapa y en la segunda etapa el sostenimiento será con shotcrete, pernos helicoidales, mallas electrosoldadas y cimbras.

Bustamante (2008), en su Tesis de Pregrado: Aplicación de la geomecánica en Mina Huanzalá para la prevención de caída de rocas (UNI, Lima). Realiza un estudio geomecánico donde determina las zonas de alto riesgo (Regular III-B y Mala IV-A) del yacimiento de Santa Luisa, de acuerdo a la clasificación del macizo rocoso (RMR89) y recomienda el colocado de 40 a 50 pernos helicoidales cementados por guardia para controlar la caída de rocas.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Ortiz (2019), en su Tesis de Pregrado: Evaluación geológica y geomecánica del proyecto minero Víboras III, nivel 2160-distrito de Chaparra-Caraveli-Arequipa (UNA, Puno). Indica que, el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el nivel 2160 del proyecto minero Víboras III de las seis estaciones geomecánicas, analizadas y evaluadas, determina que el macizo rocoso presenta un RQD que está en un rango de 63 hasta 94 % (calidad regular a buena), con valores RMR de 59 - 68 que es de tipo II - III, con un índice Q Barton de 5.25 a 14.67, cuyos, Índice Geológico de Resistencia GSI = 54 a 73, en conclusión, indica que la roca es de calidad regular a buena.

Barreda (2018), en su Tesina de Diplomado: Estudio geotécnico – geomecánico de la Mina Fortuna – Veta Esperanza en el distrito de Rio Grande – Condesuyos plan de minado 2018. El mapeo geomecánico se realiza con el índice de calidad de la roca de Bieniawski (RMR₈₉) y el GSI de Hoek. Determinando para las labores de la Mina Fortuna tres tipos de rocas, Roca II (Buena), Roca III (Regular) y Roca Mala (IV). Cuya recomendación de sostenimiento es la siguiente:

Roca II: Pernos puntuales.

Roca III: Pernos sistemáticos.

Roca IV: Pernos sistemáticos en el techo o hastiales con shotcrete.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MODELO GEOLÓGICO

Gavilanes (2004), indica que los parámetros de mayor importancia para el diseño de un túnel están delimitados por las discontinuidades existentes. El comportamiento del macizo rocoso dependerá de los planos de discontinuidad y de las condiciones geológicas e hidrogeológicas que rodean al túnel por construirse.

2.2.2. MODELO GEOMECÁNICO

Tomando en consideración lo expresado por Gavilanes y Andrade (2004), para el modelo geomecánico evalúa las propiedades mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades y del macizo rocoso. Las propiedades mecánicas de los macizos rocosos deben incluir el estudio de los parámetros de deformabilidad y de resistencia, a fin de estudiar el comportamiento del macizo rocoso frente a procesos de inestabilidad por efecto de la construcción del túnel, esto implica el empleo de criterios de rotura aplicables en función de las características del macizo rocoso.

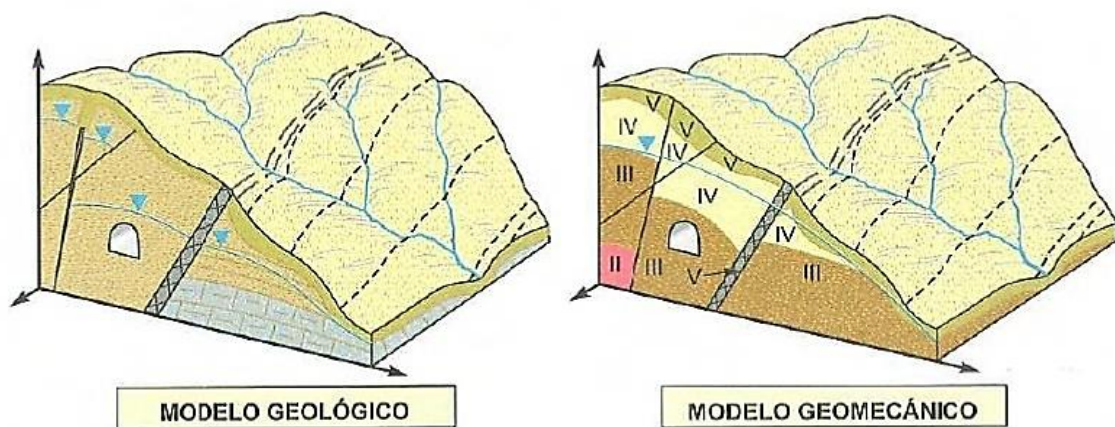


Figura 1. Ejemplos de modelización en ingeniería.
Fuente: González de Vallejo, 2004.

2.2.3. ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI, 1997)

El Índice de Resistencia Geológica desarrollado por Hoek y Brown en 1997, es un método de clasificación geomecánica que se basa en la identificación y observación en campo, considerando las características físico-mecánicas del macizo rocoso como la macroestructura y la condición de las superficies de las discontinuidades (Gavilanes y Andrade, 2004).

La valoración del GSI también puede determinarse por medio de los valores del RMR y Q de Barton. Para $RMR_{89} > 23$, el índice de resistencia geológica es:

$$GSI = RMR_{89} - 5.$$

Para $RMR_{89} < 23$, no se puede usar el valor del RMR para el cálculo del GSI, en su lugar se recurre a utilizar la valoración del Q de Barton.

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>) A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del Índice GSI.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas 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.				23 10	

Figura 2. GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown. 1997).
Fuente: González de Vallejo, 2004.

A continuación, se presentará la cartilla geomecánica GSI, utilizada en la mina Esperanza para la estimación del tipo de sostenimiento en base a descripciones geológicas.

 U.E.A. - ESPERANZA AREA GEOMECAÁNICA ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA		TABLA GEOMECAÁNICA - 2019			
		CONDICIÓN SUPERFICIAL			
CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN GSI MODIFICADO		BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		B	R	P	MP
CONDICIÓN ESTRUCTURAL		BUENA (MUY RESISTENTE - FRESCA): SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS CERRADAS. (RC: 100 - 250 Mpa) SE ROMPE CON TRES A MÁS GOLPES DE LA PICOTA O BARRETILLAS DE 4 PIES REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA): DISCONTINUIDADES, LEVEMENTE ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION LIGERAMENTE ABIERTA. (RC: 50 - 100 Mpa) SE ROMPE CON UNO A DOS GOLPES DE LA PICOTA O BARRETILLAS DE 4 PIES POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE A MODERADA): DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTA (RC: 25 - 50 Mpa) LA PICOTA O BETERILLA 4 PIES SE HUNDE O INDENTA DE MEDIO CENTIMETRO EN LA ROCA CON UN GOLPE MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA): SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALETRADA CON RELLENO COMPACTO CON FRAGMENTOS DE ROCAS (RC: 0 - 25 Mpa) LA ROCA SE DISGREGA O SE HUNDE LA PICOTA O BARRETILLA DE 4 PIES MAS DE MEDIO CENTIMETRO DE LA ROCA CON UN GOLPE.			
 	LEVEMENTE FRACTURADA (LF) ROCA MASIVA CON FRACTURA, AMPLIAMENTE ESPACIADAS (RQD: 75-100) DE 2 A 5 FRACTURAS	2	2 3	--	--
 	FRACTURADA (F) MUY BIEN TRABADA, NO DISTRURBADA BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR SISTEMAS DE DISCONTINUIDAES ORTOGONALES (RQD: 50-70) DE 6 A 11 FRACTURAS	2 3	3	3 4	--
 	MUY FRACTURADA (MF) MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTRURBADA, BLOQUES ANGULOSOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD: 25 - 50) DE 12 A 20 FRACTURAS	3	3 4	4	4 5
 	INTENSAMENTE FRACTURADA (MF) PLEGADA Y FALLADA CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD: 0 - 25) 20 A MAS FRACTURAS	--	4	4 5	5
 	TRITURADA BRECHADA (T) LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDADOS (SIN RQD)	--	--	5	5

Figura 3. Estimación del GSI.
Fuente: Minera Croacia, 2019.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN						
CONSIDERACIÓN DEL USO DE LA TABLA GSI						
ÍNDICE GSI	ÍNDICE RMR	FACTORES INFLUYENTE				
LEVEMENTE FRACTURADA/BUENA	61 - 80	2	AGUA SUBTERRÁNEA			
LEVEMENTE FRACTURADA/REGULAR						
FRACTURADA/BUENA	41 - 60	3				
FRACTURADA/REGULAR						
FRACTURADA/POBRE						
MUY FRACTURA/BUENA						
MUY FRACTURA/REGULAR	21 - 40	4	ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES			
MUY FRACTURA/POBRE						
INTENSAMENTE FRACTURADO/REGULAR						
INTENSAMENTE FRACTURADO/POBRE	0 - 40	5	PRESENCIA DE LABORES CERCANAS O TAMAÑO DE EXCAVACIÓN			
INTENSAMENTE FRACTURADO/MUY POBRE						
TRITURADO O BRECHADO/POBRE						
TRITURADO O BRECHADO/MUY POBRE	<p>FACTORES INFLUYENTES</p>  <p>CORRECCIONES POR FACTORES INFLUYENTES, CUALQUIERA DE LOS FACTORES INFLUYENTES PRESENTES QUE AFECTEN AL MACIZO ROCOSO, ORIGINARA QUE EL SOPORTE ASIGNADO POR SU CONDICIÓN REQUIERA REASIGNAR CON LA CLASIFICACIÓN.</p>	DEFICIENCIA DE VOLADURA, SOSTENIMIENTO COLACADO A DESTIEMPO				
ESFUERZOS						
FORMACIÓN DE CUÑAS						
FALLAS GEOLÓGICAS						

Figura 4. Estimación del GSI en base a condiciones geológicas.
Fuente: Minera Croacia, 2019.

SOSTENIMIENTO POR TIPO DE LABOR (PARA EL AUTOSOPORTE ANCHO PROMEDIO ES 1.3 - 2.5m)				
RMR	TIPO DE ROCA	AUTOSOPORTE	CALIDAD DE ROCA	LABORES DE AVANCE
				SECCION 7 X 7' (GL, CX, BP, VN)
61 - 80	2	6 meses a 1 año	BUENA	Auto soporte (sección controlada), split set de 5' puntuales en donde presenta riesgo de caída de roca
41 - 60	3	>1-3 meses	REGULAR	Auto soporte, split set de 5' de manera puntual. Split set de 5' sistemático.
21 - 40	4	<3-7 días	MALA	Malla electrosoldada y split set de 5' espaciado de 1.70 x 1.00m Cuadro de madera espaciado a 1.20m
0 - 20	5	Colapso Inmediato	MUY MALA	Cuadro de madera espaciado a 1.00m con marchavante

Figura 5. Estimación del sostenimiento a base del GSI.
Fuente: Minera Croacia, 2019.

2.2.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD, 1964)

El índice de designación de calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation Index), es una clasificación geomecánica que nos indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso; muestra la frecuencia lineal de discontinuidades (Gavilanes y Andrade, 2004). Este índice se utiliza como parámetro para las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski y Q de Barton. Se calcula simplemente agregando el número de discontinuidades naturales por metro de muestreo y reemplazando en la siguiente ecuación:

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

Donde: $\lambda = (\text{número de discontinuidades})/(\text{longitud total del muestreo})$

Tabla 1. Índice de calidad de la roca (Deere, 1964)

RQD%	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 - 100	Muy Buena

Fuente: Gavilanes y Andrade, 2004.

2.2.5. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR89)

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

1. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
2. Grado de fracturación en términos del RQD.
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condición de discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
Longitud de las discontinuidades.

- Abertura.
- Rugosidad.
- Relleno.
- Alteración.
- 5. Agua subterránea.
- 6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Tabla 2. Clasificación Geomecánica según Bieniawski – RMR₈₉.

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	ensayo carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1.2 Mpa	Compresión simple MPa		
		Compresión simple	>250 Mpa	100 - 250MPa	50 - 100MPa	25 -50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 - 100%	75 - 100%	50 - 75%	25 - 75%	< 25%			
	Valor	20	17		8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	6 - 20 m	< 6 m			
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprie.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyente		
	Valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawsk, 1989.

El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades, González de Vallejo (2004), considera que este parámetro es desfavorable, por lo tanto, cuando se obtiene el valor índice de la orientación de las discontinuidades, este se le sustrae al valor índice obtenido cuando se suma los 5 primeros parámetros, al realizar dicha operación se obtiene el índice RMR que varía entre 0 y 100.

Tabla 3. Ajuste por orientación del túnel respecto a las discontinuidades.

Avance con el buzamiento		Avance en contra del buzamiento		Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° independiente del rumbo
Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Fuente: Osinergmin, 2017.

Tabla 4. Interpretación de los valores de RMR₈₉.

DESCRIPCIÓN	RMR	CLASE DE MACIZO ROCOSO
Roca Muy Buena	81 - 100	I
Roca Buena	61 - 80	II
Roca Regular	41 - 60	III
Roca Mala	21 - 40	IV
Roca Muy Mala	0 - 20	V

Fuente: Bieniawski, 1989.

2.2.6. INFLUENCIA DE LA LITOLOGÍA EN LA ESTABILIDAD DE LOS MACIZOS ROCOSOS.

El tipo de roca cuando se realiza una excavación es uno de los factores que determinan las condiciones de inestabilidad de la masa rocosa. Otro de los factores que incrementa las condiciones de inestabilidad es la presencia de agua asociado a las condiciones de tipo de roca, presencia de agua acida, materiales rocosos carbonatados y presencia de altos esfuerzos (SNMPE, 2004).

Las rocas alteradas tienen características más complejas. Las alteraciones hidrotermales son muy importantes en el minado ya que están asociadas con la formación y tipo de los yacimientos minerales. Las características de la alteración

influyen en forma adversa o favorable a las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones mineras (SNMPE, 2004).



Figura 6. Zoneamiento de una estructura mineralizada.
Fuente: SNMPE, 2004.

Zona de alteración silíceica o cuarzo sericita (1): asociada con la mineralización de la veta, formando rocas de calidad regular.

Zona de alteración argílica, avanzada o intermedia (2): correspondiente a las cajas inmediatas, formando rocas de mala calidad y propensas al desprendimiento.

Zona de alteración propilítica potásica (3): asociada a la periferia de las cajas en donde las rocas mejoran su calidad; donde las fracturas presentan minerales de clorita formando superficies lisas.

Zona de roca estéril no afectada por la alteración (4): en donde ocurren condiciones geomecánicas características de los macizos rocosos.

La SNMPE (2004), indica además del zoneamiento de la alteración local (en la veta), algunos yacimientos presentan un zoneamiento hidrotermal regional, mostrando las diferentes zonas de alteración, condiciones geomecánicas que la caracterizan y que influyen en la inestabilidad de la masa rocosa de las excavaciones mineras.

2.2.7. INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA MASA ROCOSA

La influencia de los rasgos geológicos estructurales sobre las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones, es fundamental en las operaciones mineras. La SNMPE (2004) considera los siguientes tipos de excavaciones:

2.2.7.1. Excavaciones en Roca Masiva

Se caracterizan por presentar pocas discontinuidades, con baja persistencia y ampliamente espaciadas, generalmente son rocas de buena calidad que están asociadas a cuerpos mineralizados polimetálicos en rocas volcánicas. Ignorando por ahora la influencia de los esfuerzos, los túneles en estos tipos de rocas son estables sin necesidad de sostenimiento artificial, solo requieren de un buen desatado de rocas o sostenimiento puntual (SNMPE, 2004).



Figura 7. Ejemplo de una excavación en roca masiva con pocas fracturas.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.7.2. Excavaciones en Roca Fracturada

Se caracteriza por presentar familias de discontinuidades conformadas principalmente por diaclasas, por lo que se les denomina también roca diaclasada, estas diaclasas constituyen planos de debilidad. La intersección de las familias de discontinuidades forma bloques rocosos de diferentes tamaños y cuando se

encuentran en la periferia de la excavación, estos pueden ser liberados desde la corona y hastiales que pueden caer o deslizarse por gravedad (SNMPE, 2004).

La SNMPE (2004) indica; para que una excavación minera sea estable, los bloques de roca deben ser capaces de interactuar o de hacer presión uno contra el otro, cuando esto ocurre, la excavación tiende a autosostenerse. Alguna irregularidad en el contorno de la excavación es la clave indicadora para un problema potencial de inestabilidad (caída de rocas). Basándose en el sonido de la roca se puede descubrir irregularidades, este sonido indica que se está aflojando cerca de la superficie de la excavación y que se puede reconocer y evaluar un peligro potencial.

Las discontinuidades o planos de debilidad pueden intersectarse formando varias combinaciones. Según esto, las fallas comúnmente vistas en el minado subterráneo son:

Cuñas biplanares: La SNMPE (2004) indica que es el modo más simple de falla y está formado por la intersección de dos discontinuidades o sistemas de discontinuidades, cuyo rumbo es paralelo o subparalelo al eje de la excavación. En este caso, en el techo o en los hastiales se forma una cuña biplanar o prisma rocoso, que podría desprenderse desde el techo o deslizarse desde los hastiales inesperadamente.



Figura 8. Cuña biplanar por las intersecciones de diaclasas en rocas fracturadas.
Fuente: SNMPE, 2004.

Cuñas tetrahedrales: Formada por la intersección de tres discontinuidades o sistemas de discontinuidades, estas cuñas pueden caer o deslizarse por peso propio, ya sea desde la corona o desde los hastiales de la excavación (SNMPE, 2004).

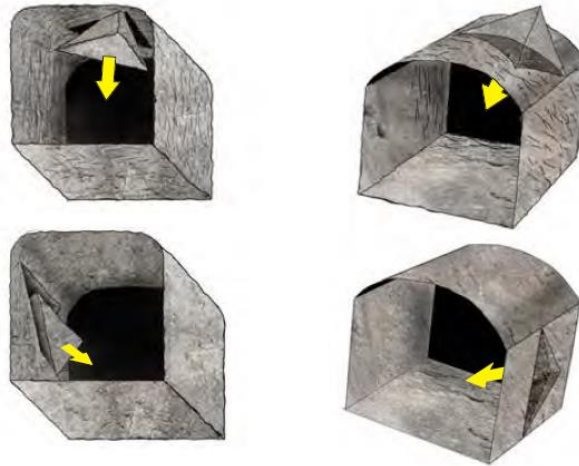


Figura 9. Cuñas tetrahedrales por las intersecciones de diaclasas en rocas fracturadas.
Fuente: SNMPE, 2004.

La SNMPE (2004), menciona que cuando las cuñas están formadas por tres familias de discontinuidades, éstas persistirán ya sea en la corona o en los hastiales de la excavación, mientras se mantengan las características estructurales del macizo rocoso y la orientación de la excavación. Para estabilizar estas cuñas se empleará un sostenimiento sistemático.

Bloques tabulares o lajas: Se forman cuando la roca presenta un sistema principal de discontinuidades que sea aproximadamente paralelo a la corona o a los hastiales de la excavación y además existan otros sistemas que liberen el bloque. Esta forma de inestabilidad, es observada en rocas volcánicas e intrusivas de yacimientos de oro filoneano y en yacimientos polimetálicos tipo vetas, en donde el principal sistema de discontinuidades forma falsas cajas que pueden separarse o desprenderse hacia el interior de la excavación (SNMPE, 2004).

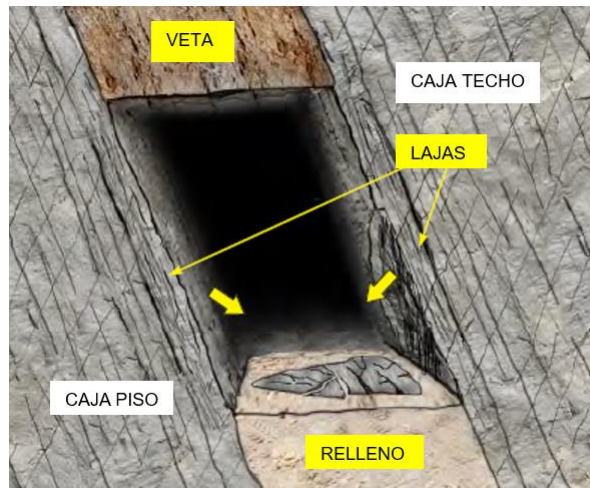


Figura 10. Bloques tabulares o lajas liberadas en la caja techo.
Fuente: SNMPE, 2004.

Bloques irregulares: La roca de los contornos de la excavación está formada como un edificio de bloques que se autosostienen. Los bloques liberados por las intersecciones de las diaclasas presentan formas irregulares. La falla puede ocurrir por caída o deslizamiento de los bloques debido al efecto de la gravedad (SNMPE, 2004).



Figura 11. Bloques irregulares liberados por las intersecciones de las diaclasas en rocas fracturadas.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.7.3. Excavaciones en Roca Intensamente Fracturada y Débil

Las rocas intensamente fracturadas presentan muchos sistemas de discontinuidades, las cuales crean pequeños fragmentos rocosos, constituyendo por lo general macizos rocosos de mala calidad. La inestabilidad del terreno en este caso ocurre por el deslizamiento y caída de estas pequeñas piezas y fragmentos rocosos desde las superficies de la excavación, la cual puede ir agrandando progresivamente la excavación y eventualmente llevarla al colapso si no se utiliza elementos de sostenimiento oportunamente (SNMPE, 2004).



Figura 12. Roca intensamente fracturada.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.7.4. Excavaciones en Roca Estratificada

Los planos de estratificación se caracterizan por su geometría planar y su alta persistencia, estos planos tienen baja resistencia los cuales generan debilidades en el macizo rocoso.

Según la SNMPE (2004), “cuando los estratos tienen bajo buzamiento ($<20^\circ$) generalmente el techo y piso de los tajeos recomienda asegurar la estabilidad de la excavación, principalmente del techo de la labor”. Los principales problemas que pueden generarse en estos casos es la separación o despegue de los bloques tabulares del techo inmediato y su cargado, así como la deflexión hacia el vacío del minado por efecto de la gravedad.



Figura 13. Liberación de los estratos subhorizontales, flexión y caída hacia el vacío del minado.
Fuente: SNMPE, 2004.

Las rocas sedimentarias también presentan otros tipos de discontinuidades como las diaclasas que forman sistemas secundarios a los planos de estratificación, fallas, diques, etc. Todos estos tipos de discontinuidades pueden interceptarse formando varias combinaciones de cuñas o bloques (SNMPE, 2004).

2.2.7.5. Excavaciones con Presencia de Fallas y Zonas de Corte

Principalmente las fallas geológicas y las zonas de corte, son rasgos estructurales prominentes de la masa rocosa que representan estructuras donde ya hubo movimientos antes del minado, estos movimientos podrían volver a ocurrir por la operación del minado generando condiciones de inestabilidad en las labores mineras subterráneas (SNMPE, 2004).

Según SNMPE (2004) “las fallas y zonas de corte están relacionadas a terrenos débiles que pueden estar muy fracturados y la falla misma puede contener arcilla débil o panizo”. La influencia de las fallas y zonas de corte pueden ser de varios metros de ancho, pudiendo influenciar significativamente en la inestabilidad de las excavaciones mineras.

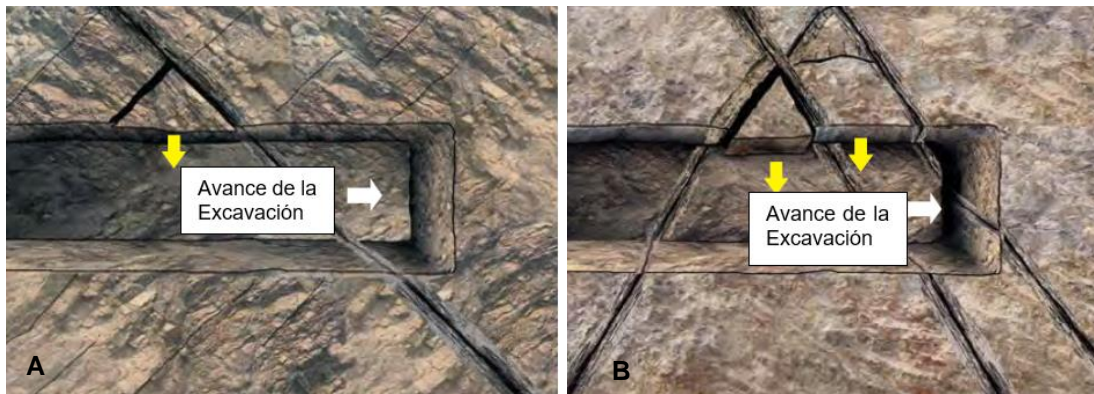


Figura 14. A: Falla como estructura aislada; B: Fallas como estructuras múltiples.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.8. REPRESENTACIÓN ESTEREOGRÁFICA DE CUÑAS Y BLOQUES POTENCIALMENTE INESTABLES

En el proyecto deben definirse los mecanismos cinemáticamente admisibles de inestabilidad basados en el mapeo estructural que se lleva a cabo durante la campaña de estudios y posteriormente durante el seguimiento de la obra. El procedimiento más común para definir cuñas-tipo es basándose en técnicas estadísticas y con éstas proponer el sostenimiento adecuado para la excavación. Para fines de cálculo estructural, resulta conveniente implementar técnicas de análisis de sensibilidad tales que, puedan acotar los niveles de seguridad para rangos de posibles situaciones geotécnicas (Gavilanes y Andrade, 2004).

Una cuña se forma a partir de la intersección de dos o más planos de discontinuidad. Para elaborar una proyección estereográfica es necesario la inclinación respecto a la horizontal del plano de discontinuidad; a esta inclinación se le denomina buzamiento (Dip) y la orientación azimutal de la línea de máxima pendiente se le denomina dirección del buzamiento (Dip Direction); para lo cual es necesario:

- Recolectar los datos estructurales más representativos de la zona de estudio y determinar las familias de discontinuidades.
- Definir la orientación de los planos mayores de falla.

- Conocer la orientación del eje del túnel.
- Determinar las combinaciones de familias más desfavorables para la corona y los hastiales del túnel.

La proyección estereográfica es una herramienta esencial que permite realizar una representación visual de los planos de discontinuidad en 3D (o en 2D) y comprender la geometría de las cuñas potenciales. (Evert Hoek, 1995).

Según Osinergmin (2017), “si los círculos máximos (Triángulo) de las familias de discontinuidades encierran al centro, es posible una caída por la fuerza de gravedad. En el caso contrario, si los círculos máximos no encierran al centro, ocurrirá un deslizamiento de cuña”.

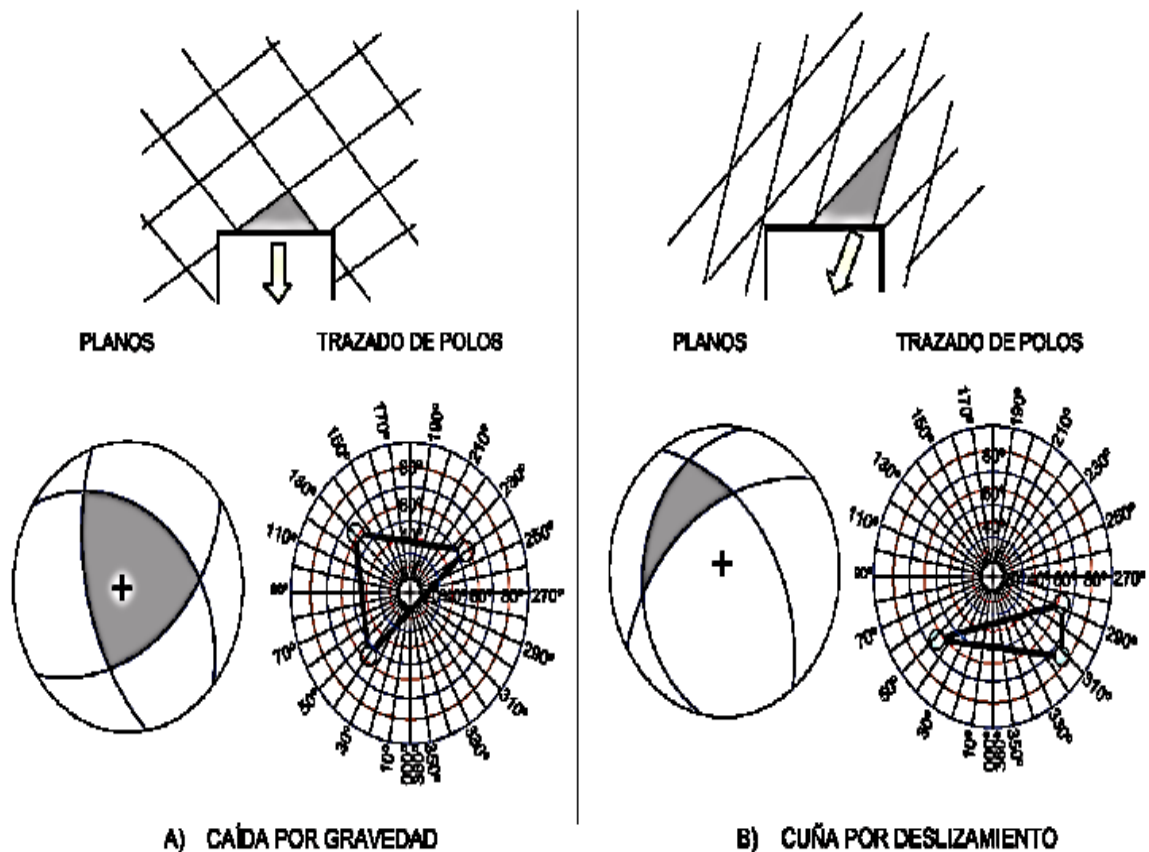


Figura 15. Análisis estereográfico para evaluar la caída de cuñas por gravedad o deslizamiento.

Fuente: Osinergmin, 2017.

2.2.9. INESTABILIDAD EN EXCAVACIÓN DE TÚNELES

Osinergmin (2017), en su guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas señala que: “al realizar una excavación se origina una cara libre, quedando expuestos bloques o cuñas definidos como un volumen de roca que se puede deslizar sobre una superficie o caer por su propio peso”. Se debe realizar la evaluación de las discontinuidades y de los factores que influyen en la inestabilidad como los parámetros de resistencia (cohesión y ángulo de fricción). Es importante identificar si los principales sistemas de discontinuidades son paralelos o perpendiculares a la excavación; una excavación con avance paralelo a un sistema de discontinuidades será crítica, a diferencia de una excavación que avanza perpendicularmente ya que en la primera se generaran cuñas de mayor volumen; el tamaño de la cuña permitirá determinar la cantidad de sostenimiento requerido para estabilizarla.

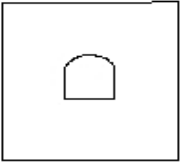
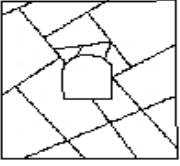
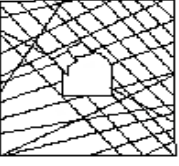
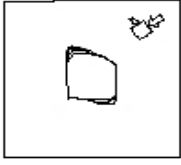

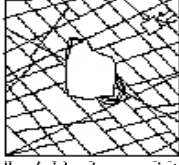


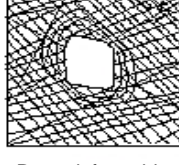
	Masivo (RMR>75)	Moderadamente Fracturada (50>RMR<75)	Altamente Fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 <p>Respuesta elástica lineal</p>	 <p>Deslizamiento o caída de bloques y cuñas</p>	 <p>Deslajamiento de bloques de la superficie de excavación</p>
Esfuerzos in situ intermedios	 <p>Falla rígida adyacente al contorno de la excavación</p>	 <p>Falla rígida localizada de roca intacta y movimiento de bloques</p>	 <p>Falla rígida de roca intacta deslajamiento a lo largo de las discontinuidades</p>
Esfuerzos in situ altos	 <p>Falla rígida alrededor de la excavación</p>	 <p>Falla rígida de roca intacta alrededor de la excavación y movimiento de bloques</p>	 <p>Roca deformable, comportamiento plástico</p>

Figura 16. Ejemplos de mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso.
Fuente: Osinergmin, 2017.

2.2.10. SOSTENIMIENTO

Todos estos elementos de sostenimiento son utilizados para minimizar la inestabilidad de la roca alrededor de las excavaciones mineras.

2.2.10.1. Pernos de Varilla Cementados o con Resina

La SNMPE (2004), lo define como “una varilla de hierro o acero, con un extremo biselado, que es confinado dentro del taladro por medio de cemento (en cartuchos o inyectados), resina (en cartuchos) o resina y cemento”.

El anclaje entre la varilla y la roca es proporcionado a lo largo de la longitud completa del elemento de refuerzo, por tres mecanismos: adhesión química, fricción y fijación, siendo los dos últimos mecanismos los de mayor importancia, puesto que la eficacia de estos pernos está en función de la adherencia entre el hierro y la roca proporcionada por el cementante, que a su vez cumple una función de protección contra la corrosión, aumentando la vida útil del perno. De acuerdo a esta función, en presencia de agua (particularmente en agua ácida), el agente cementante recomendado será la resina, en condiciones de ausencia de agua será el cemento. Los pernos cementados son utilizados mayormente para reforzamiento de labores permanentes (SNMPE, 2004).

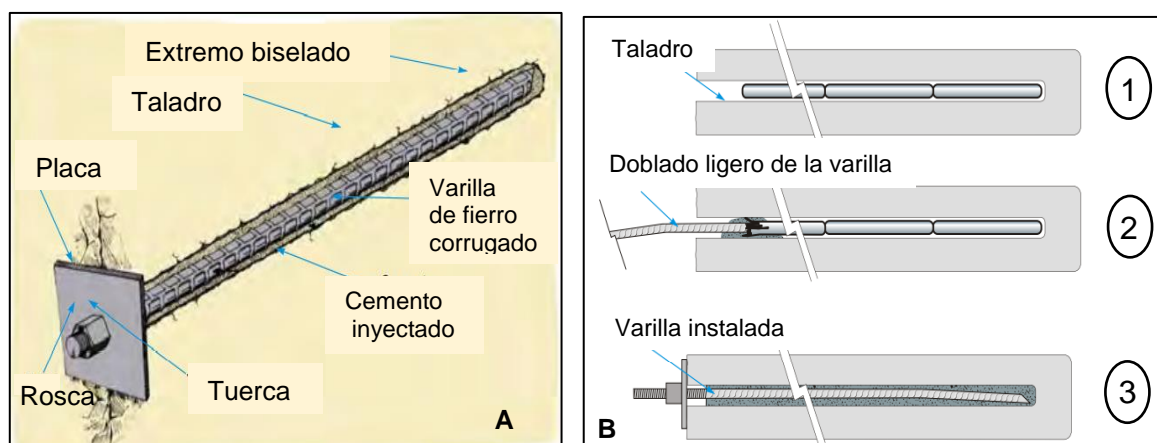


Figura 17. A: Perno de varilla corrugada; B: Instalación de un perno de varilla de hierro corrugada usando cartuchos de cemento, cartuchos de resina o ambos.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.10.2. Split Sets

La SNMPE (2004), define al Split set como un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina. El Split set al ser introducido a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

Los Split Sets pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por pie de longitud del perno, dependiendo principalmente del diámetro de la perforación, la longitud de la zona del anclaje y el tipo roca (SNMPE, 2004).

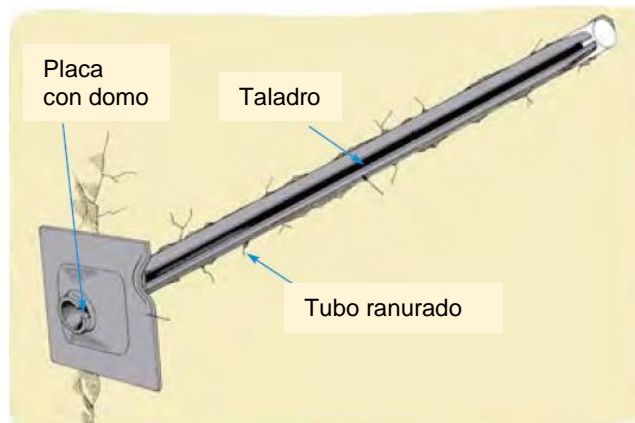


Figura 18. Perno de fricción Split Set.
Fuente: SNMPE, 2004.



Figura 19. Mecanismo de anclaje del Split Set.
Fuente: SNMPE, 2004.

La SNMPE (2004) recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para su utilización:

- Los Split sets son utilizados mayormente para reforzamiento en labores temporales, conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de regular a mala calidad. No es recomendable su uso en roca intensamente fracturada y débil.
- Su instalación es sencilla, solo se requiere una máquina jackleg o un jumbo. Proporciona acción de refuerzo inmediato después de su instalación.
- El diámetro del taladro es crucial para su eficacia, el diámetro recomendado para los Split sets de 39 mm es de 35 a 38 mm, con diámetros más grandes se corre el riesgo de un sostenimiento deficiente y con diámetros más pequeños es muy difícil introducirlos.
- En presencia de agua son susceptibles a la corrosión.
- Su instalación es dificultosa cuando son de longitudes largas.

2.2.10.3. Malla Metálica

Según la SNMPE (2004), la malla metálica es utilizada para los siguientes tres fines: “primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca; segundo, para retener los trozos de roca, actuando en este caso como un elemento de seguridad; y tercero, como refuerzo del shotcrete”. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.

La malla electrosoldada es la más utilizada que consiste en una cuadrícula de alambres soldados en sus intersecciones, generalmente de N° 10/08, con cocadas de 4"x4", construidas en material de acero negro que pueden ser galvanizada. Esta

malla es recomendada para su uso como refuerzo del concreto lanzado (shotcrete) (SNMPE, 2004).

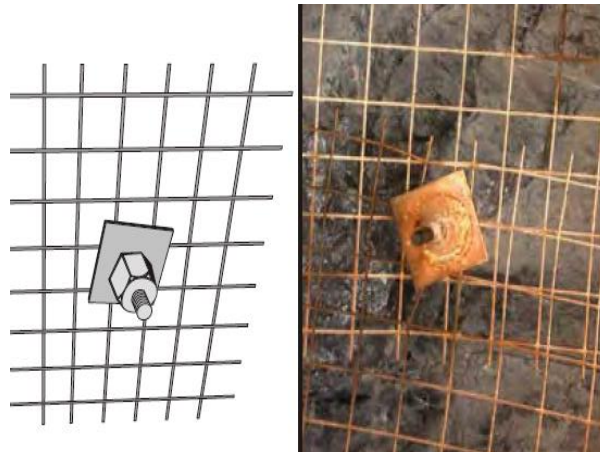


Figura 20. Malla electrosoldada.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.10.4. Cuadros de Madera.

Cáceres (2017), en su tesis de pregrado sostiene que los cuadros de madera son generalmente usados en rocas de tipo IVA y IVB cuyo RMR se encuentra en el rango de 21 a 40. El uso de los cuadros de madera radica en su alta resistencia a las presiones ejercidas en las excavaciones (45 MPa), sin embargo, la colocación de este sostenimiento involucra una menor productividad debido a que su implementación requiere de como mínimo 3 personas en un turno y el avance diario sería como máximo de 6' (1.8m) en las dos guardias. Además, se debe considerar que los cuadros actúan cuando el macizo rocoso ya logró el punto de deformación máxima y sostienen las cargas sobre sus postes y sombreros logrando de esta manera fallas por pandeamiento horizontal o vertical.

Según la SNMPE (2004), tenemos tres tipos de cuadros y se describe a continuación:

Cuadros rectos: usados cuando la mayor presión procede del techo. Están compuestos por tres piezas, un sombrero y dos postes, asegurados con bloques y cuñas, en donde los postes forman un ángulo de 90° con el sombrero. En ciertos casos los postes van sobre una solera. Estos cuadros están unidos por los tirantes, los cuales determinan el espaciamiento de los mismo (SNMPE, 2004).

Cuadros cónicos: usados cuando la mayor presión procede de los hastiales. La diferencia con los cuadros rectos es la longitud del sombrero, inclinando los postes, de tal manera de formar ángulos de 78° a 82° respecto al piso, quedando el cuadro de forma trapezoidal (SNMPE, 2004).

Cuadros cojos: usados cuando una de las cajas es competente. Están compuestos por solo un poste y un sombrero. Pueden ser verticales o inclinados según el buzamiento de la estructura mineralizada (SNMPE, 2004).

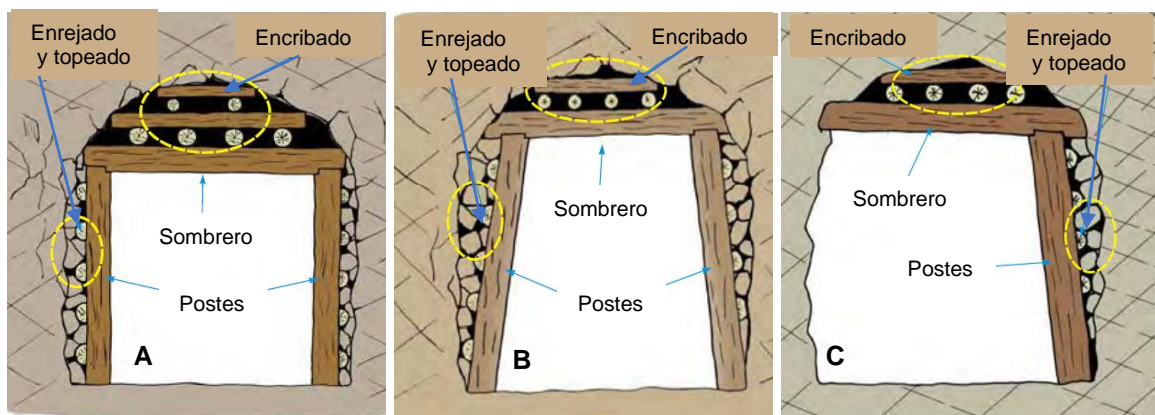


Figura 21. A: Esquema de un cuadro recto; B: Esquema de un cuadro cónico; C: Esquema de un cuadro cojo.
Fuente: SNMPE, 2004.

2.2.11. PROPIEDADES Y PARÁMETROS DE LAS DISCONTINUIDADES

La descripción y recolección de datos de las discontinuidades según González de Vallejo (2004), se realiza a cada familia de discontinuidades para cada afloramiento. Usando como parámetros: la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno y grado de meteorización / alteración.

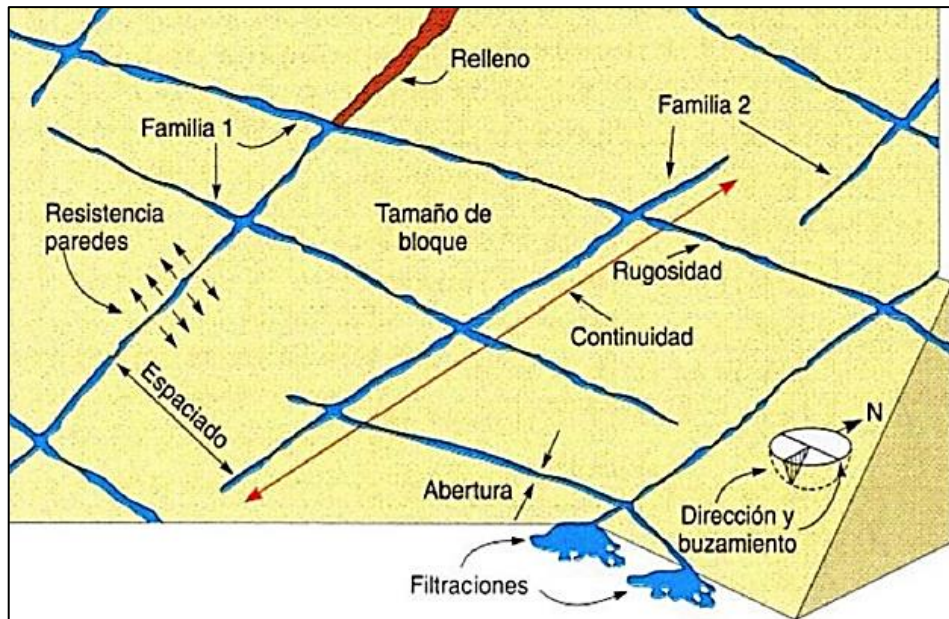


Figura 22. Propiedades geométricas de las discontinuidades.
Fuente: González de Vallejo, 2004.

Según González de Vallejo (2004) tenemos los siguientes tipos de discontinuidades:

Diaclasas o Juntas: Superficies de fractura, de desplazamiento inexistente o muy pequeño.

Fallas: Superficies de fractura, de desplazamiento relativo entre los bloques.

Planos de estratificación: Propio de rocas sedimentarias.

Planos de esquistosidad: Propio de rocas metamórficas deformadas.

Superficies de laminación: Propio de rocas sedimentarias, se encuentran limitadas por láminas.

Superficies de contacto: límite entre litologías, en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

González de Vallejo (2004) toma los siguientes parámetros para describir a las discontinuidades:

Orientación: referida al Dip (D) y Dip-Direction (DD) de las discontinuidades.

Espaciado: distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia y la medición es de forma perpendicular entre los dos planos, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes.

Continuidad o Persistencia: Longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad.

Rugosidad: Son las irregularidades observadas a lo largo de las superficies de discontinuidad. La descripción de la rugosidad se realiza de acuerdo a dos escalas: métrica y milimétrica, según la primera las superficies pueden ser: planas, onduladas o escalonadas y por la segunda pueden ser: pulidas, lisas o rugosas.

Resistencia de las paredes: Influye en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad. Se determina a partir del martillo Schmidt o mediante los índices de campo: R0 – R6.

Abertura: distancia medida sobre la perpendicular entre las paredes de la discontinuidad y su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros.

Relleno: Es el material de naturaleza distinta a la roca de las paredes encontrado entre las discontinuidades.

Filtraciones: flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), cuando las filtraciones son a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria).

Grado de alteración: la evaluación se realiza por observación directa en las superficies de las discontinuidades.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Túnel: Galería subterránea grande abierta artificialmente a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo. Obra minera subterránea prácticamente horizontal, cuyos extremos comunican con superficie (González de Vallejo, 2004).

Macizo rocoso: Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales (SNMPE, 2004).

Rock Mass Rating (RMR): Caracterización de los macizos rocosos en donde se consideran las siguientes variables: orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia de las paredes de la roca, apertura, relleno, filtraciones (González de Vallejo, 2004).

Deslizamiento en cuñas: Deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad a favor de su línea de intersección. Se cumple que el ángulo de talud es mayor que el buzamiento de la línea de intersección y éste mayor que el ángulo de rozamiento interno (González de Vallejo, 2004).

Zonificación geomecánica: Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar (SNMPE, 2004).

Sostenimiento: Término usado para describir los materiales y procedimientos utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca en los bordes de una excavación subterránea (SNMPE, 2004).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La Unidad Minera Esperanza se encuentra en la faja litoral que comprende la cadena costanera, con una altura promedio de 1940 m.s.n.m., políticamente está ubicada en el paraje Cebadilla del distrito de Atico, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.

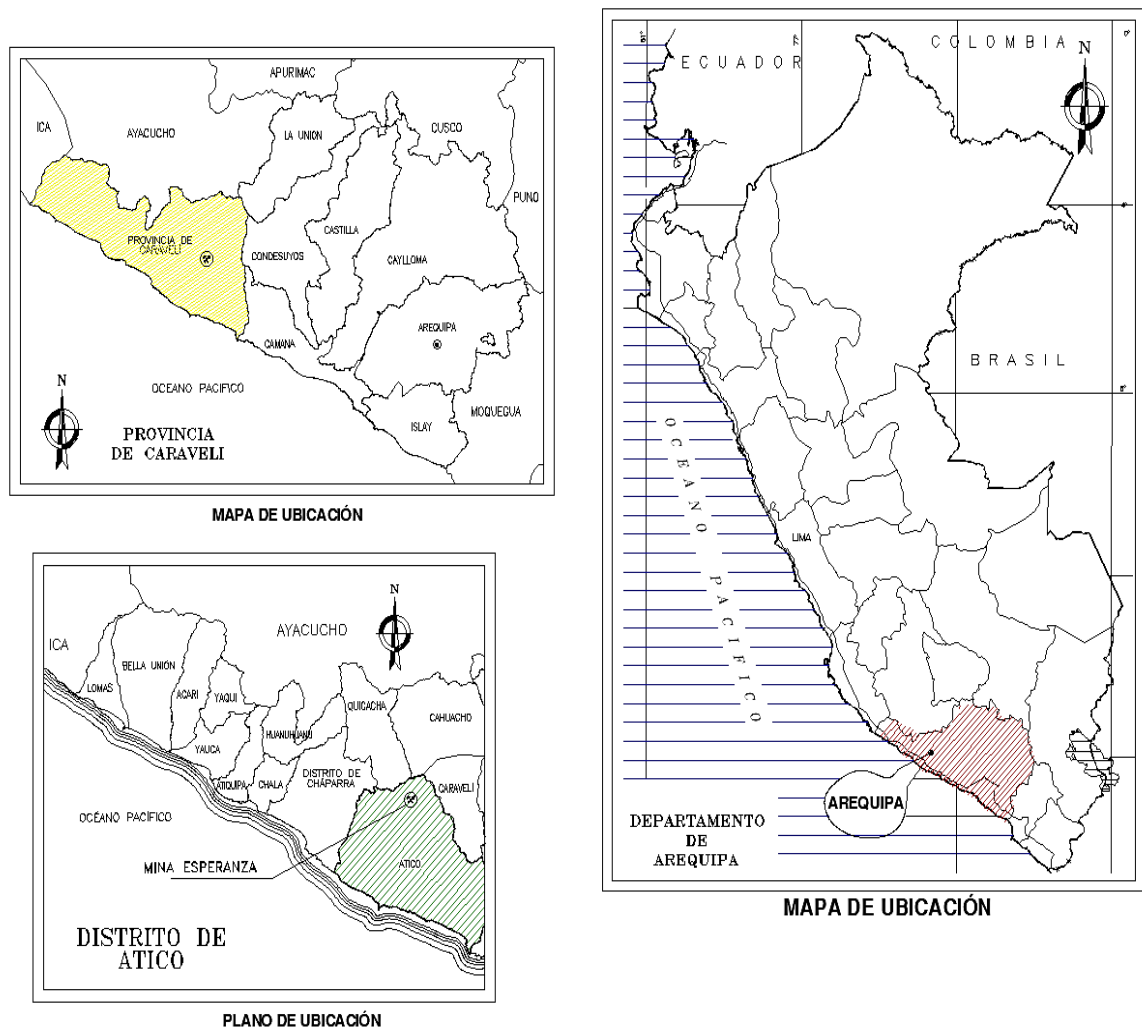


Figura 23. Ubicación geográfica de la mina Esperanza de Caravelí.
Fuente: Minera Croacia, 2019.

3.2 ACCESIBILIDAD

El acceso desde la ciudad de Lima hasta la unidad minera Esperanza se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5. Ruta de acceso a la mina Esperanza.

Origen - Destino	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Tipo de carretera
Lima – Atico	706	09: 39	Asfaltada
Atico – Km 40	40	00: 34	Asfaltada
Km 40 - Mina	34	01:30	Trocha carrozable



Figura 24. Ruta de acceso a la Mina Esperanza.

3.3 CLIMA

El clima es seco, desértico, con algunas hierbas presentes en los arroyos y que solo aparecen en temporadas de lluvias.

En la zona de mina Esperanza se observan dos estaciones; de noviembre a abril, las temperaturas llegan en el día a 30°C y en las noches a 12°C, presentando escasas lluvias y vientos alisios provenientes del mar, la precipitación registrada en la zona es casi de 0.10 Lts/m². y de mayo a octubre el clima es relativamente seco, con vientos fríos en las noches provenientes de las partes altas, la temperatura durante el día alcanza los 25 °C y en la noche llega a los 5 °C (Mena, 2012).



Figura 25. Vista W-E del Proyecto Esperanza – Minera Croacia E.I.R.L.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo básica, nivel analítico, de diseño no experimental teniendo como base los datos obtenidos en campo, posteriormente en gabinete proponer los puntos y estaciones geomecánicas de control, así como reconocer las unidades estructurales a largo del eje de las dos galerías en estudio, con los que se generaran las interpretaciones y conclusiones, usando una metodología inductivo – deductivo.

Tabla 6. Metodología de la investigación.

Clasificación	Categoría
Tipo	Básica
Nivel	Analítico
Diseño	No experimental
Método de investigación	Inductivo - Deductivo

Fuente: Hernández, 2010

3.4.2. POBLACIÓN

Macizo rocoso de los niveles 1665 y 1720 (220m. lineales) de mina Esperanza.

3.4.3. MUESTRA

Puntos de control (seis estaciones geomecánicas).

3.4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

Las unidades de análisis están relacionadas con las variables: geoestructuras, matriz rocosa, discontinuidades (Dip, Dip Direction).

3.4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La metodología seguida, consta de tres etapas principales los cuales a su vez tienen ítems secundarios que ayudaron a cumplir los diferentes procesos de la investigación.

3.4.5.1. Primera Etapa

En esta primera etapa se recopiló información en base al problema planteado, se recogió información bibliográfica precedentes y actuales, se elaboró un cronograma de ejecución y acopio de datos ya sean cuantitativos como cualitativos, asimismo se definieron las etapas y puntos de recolección de información específica de campo.

3.4.5.2. Segunda Etapa

Está basado en la calidad de información de campo como el reconocimiento de la zona de estudio, mapeos progresivos como: geológicos, estructurales, geomecánicos, inestabilidad y tipo de sostenimiento; fraccionados en estaciones geomecánicas y etapas de avance hasta obtener información consistente que muestre el estado real del área de investigación. Por consiguiente, también se basó en la utilización de equipos topográficos, geomecánicos y mapeos de datos geológicos, estructurales y mineralógicos de la excavación subterránea teniendo relación directa con la calibración de equipos siendo aspectos muy importantes en todo trabajo, de esta manera se minimiza el error que se podrían obtener en la obtención de información.

3.4.5.3. Tercera Etapa

Todos los datos recopilados en campo han sido traspasados a una base de datos y trabajados con los siguientes softwares: Dips para el análisis estructural, Unwedge para el análisis de cuñas, AutoCAD para realizar la representación de la zona de estudio en planos topográficos, geológicos-estructurales y geomecánicos. Como último aspecto se muestran las conclusiones y recomendaciones.

3.4.6. RECURSOS MATERIALES

Los equipos y materiales que se usaron en el presente trabajo de investigación son:

3.4.6.1. Equipos

Brújula Brunton, se utilizó para obtener datos de la orientación e inclinación de las geoestructuras (DIP y DD) y también para la orientación la excavación subterránea.

Cámara fotográfica, dispositivo utilizado para tomar y almacenar las evidencias de las condiciones que presenta la labor.

Picota, utilizada para obtener de manera empírica la resistencia del macizo rocoso.

Wincha, empleada para medir distancias prolongadas en las estaciones geomecánicas analizadas.

Flexómetro, para medir las dimensiones de la labor, así como para el mapeo geológico-geotécnico.

Lap Top, empleada para la elaboración de informes y análisis de cada estación geomecánica mediante softwares.

Lampara minera, utilizada para la iluminación en el interior mina.

EPP, equipo de protección personal.

3.4.6.2. Materiales

Planos topográficos de la mina, utilizado para describir, dibujar y dimensionar; las condiciones que presentan las galerías.

Libreta de campo, utilizada para anotar los datos obtenidos en campo.

3.4.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.4.7.1. Variables independientes

Macizo rocoso: Medio rocoso definido por discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y la matriz rocosa.

Litología: Características de la conformación de las rocas.

Geoestructuras: estructuras con movimiento relativo, planos de debilidad.

3.4.7.2. Variable dependiente

Inestabilidad geomecánica: comportamiento de un macizo rocoso cuando está afectado por condiciones externas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas predominantes en mina Esperanza son de origen volcánico e hipabisales de composición andesítica pertenecientes al complejo Bella Unión (Cretácico medio), también se presentan rocas intrusivas de composición diorítica y monzonitas de grano medio a fino.

Sobre las rocas del complejo Bella Unión se encuentra la Formación Moquegua con tobas dacíticas - riolíticas de la Formación Huaylillas (Paleógeno - Neógeno). Al lado sur de las concesiones afloran rocas sedimentarias de la formación Millo (Paleógeno - Neógeno) que cubren a las rocas del complejo Bella Unión que son las que alojan a la mineralización (Mena, 2012).

4.1.1. COMPLEJO BASAL BELLA UNIÓN

Se trata de rocas no diferenciadas, al ser tan variables en su composición, pero de naturaleza andesítica a dacítica, intruida por plutones menores de andesita a dacita con diques de naturaleza andesíticas (Mena, 2012).

En la zona de investigación la roca predominante es de composición andesita de coloración gris clara a gris verdosa en forma de stock, en muestra de mano son de color verdoso de grano fino de apariencia porfirítica por la presencia de cristales de plagioclasa en matriz afanítica, con cuarzo y algunos minerales oscuros. Estas rocas son las encajonantes de las estructuras mineralizadas en la mina Esperanza (Mena, 2012).

4.1.1.1. Andesita

Roca ígnea volcánica (intermedia) de textura afanítica generalmente de color verde, pudiendo variar según la alteración de rojizas a otros colores. Presentando como minerales esenciales: Plagioclasa, ferromagnesianos y con cuarzo que se presenta en mínimas cantidades (10%). Estas rocas se presentan generalmente al Este de la concesión minera (Mena, 2012).

4.1.1.2. Sienita

Roca ígnea plutónica de color blanco, textura granular presentando como minerales esenciales: Feldespatos (ortosa y plagioclasa), anfíboles (hornblenda), accesorios como piroxenos además de pocas cantidades de cuarzo y mayor porcentaje de biotitas que presentan una fuerte cloritización y diabasas porfiríticas de grano medio grises a verdosos. Se presenta muy pegada hacia la veta Aurora, al norte del campamento minero (Mena, 2012).

4.1.1.3. Diques Andesíticos

Alrededor de la veta Aurora encontramos abundantes diques andesíticos y aplíticos de rumbo NE a SW de anchos de 0.50m hasta 2.0m, con diseminación de pirita fina muy localizada hacia las cajas (Mena, 2012).

4.1.1.4. Stocks Dioríticos

Está formado por roca grises moteadas, de grano muy grueso, compuesto principalmente por plagioclasa, con abundantes fenocristales (hornblenda bien desarrolladas y biotitas), estas ocurren al sur de la concesión, muy pegado hacia la veta Carmen y se orienta hacia la veta Esperanza Este, estos diques han sido intruidos posteriormente a la mineralización debido a que no afecta en nada su intrusión (Mena, 2012).

4.1.1.5. Monzonitas

Se encuentran al oeste de la concesión, son rocas de grano medio a fino con abundante ortosa, plagioclasa y cuarzo con pocos fenocristales, presenta un color gris claro a rosáceo, tiene una edad cretácico superior (Mena, 2012).

4.1.2. FORMACIÓN MOQUEGUA

Se describe con este nombre a afloramientos de depósitos continentales en la quebrada Millo, están formados por rodados de cuarcitas y calizas en una matriz arenosa-tobácea, sobre yace al complejo Bella Unión, en la quebrada Pan de azúcar tiene un afloramiento de 400 m y los elementos están redondeados a subredondeados. Es de edad Neógeno-Miocena, en la zona de mina Esperanza afloran en todo el petitorio minero, ocultando gran parte de las vetas mineralizadas (Mena, 2012).

4.1.3. FORMACIÓN HUAYLILLAS

Se presenta al NE de la concesión, está formada por una secuencia piroclástica. Son rocas volcánicas, ignimbritas de color rosado claro, siendo clasificadas como riolitas, riodacitas y andesíticas. Esta descansa en discordancia sobre la Formación Moquegua, se presenta en forma de horizontes de 10m y 200m. Esta formación presenta una edad Neógeno Miocena (Mena, 2012).

4.2. GEOLOGÍA LOCAL

La Mina Esperanza está dentro de una faja de cobre-oro, que sigue un alineamiento Este-Oeste y en ella se encuentran yacimientos de oro de mediana y pequeña escala como: Ocoña, Calpa, Caravelí, Ishihuinca, Orión entre otros. Esta faja forma parte del cinturón aurífero Nazca-Ocoña; Mina Esperanza se sitúa en la parte central de esta faja (Mena, 2012).

La geología del área de estudio está conformada por vetas delgadas y medianas (potencia entre 0.15 y 0.80 metros) emplazadas dentro del paquete intrusivo del

Batolito de la costa peruana. Este paquete intrusivo tiene sus respectivas variaciones que van desde intrusivos faneríticos como granodioritas, dioritas de grano medio y paquetes sub-volcánicos con pórfidos andesíticos (Mena, 2012).

Es un yacimiento epitermal de baja sulfuración con alcance mesotermal; emplazadas en rocas intrusivas a sub-volcánicas. La característica principal de las vetas es la formación de cimoides de pequeño y gran tamaño con estructuras menores como tensionales. Otra característica importante son las aureolas de alteración propílica e intensa cloritización en las cajas cercanas a las vetas y aureolas de alteración mayores en las intersecciones de los cimoides (Mena, 2012).

La litología en los niveles 1665 y 1720 de veta Miriam está conformada por una roca andesita, roca ígnea volcánica de textura afanítica generalmente de color verde con algunas variaciones a rojizas a otros colores por la alteración presentes.

4.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA

En mina Esperanza la mineralización está en vetas epitermales de baja sulfuración (adularia-sericita). Las principales alteraciones hidrotermales que afectan a las rocas encajonantes son la propílica (clorita, epidota, calcita) y la argílica (caolinita). Las vetas destacan por su contenido de oro y cobre (Minera Croacia, 2019).

La mineralogía de las vetas está constituida por minerales de cobre como: calcosina, calcopirita, covelina, cuprita, malaquita y crisocola. El oro se encuentra en estado nativo y como inclusiones en la piritita y la cuprita. Los minerales de ganga son: cuarzo, calcita, yeso, piritita, óxido de manganeso, limonita, hematita y oligisto. En Esperanza las vetas tienen los siguientes ensambles mineralógicos:

- Óxido de hierro con contenido de oro para ser tratado por cianuración.
- Mineral con óxidos de hierro y cobre con contenido de oro.
- Mineral con sulfuros de cobre con contenido de oro, para ser tratado por flotación (Minera Croacia, 2019).

4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Por los alrededores de la mina Esperanza pasa una falla regional denominada Los Médanos, con orientación N 80° W y cambiando a N 50° W. Esta falla sirve como control de mineralización, formando a su vez fallas de rumbo E-W, asimismo ejercen un control en su deposición (fallas inversas), con buzamiento muy sinuoso hacia el norte y sur, cuando se inclina hacia el sur no son favorables para la mineralización y cuando se inclinan hacia el norte son muy favorables.

En general las zonas mineralizadas están controladas por esfuerzos principales de compresión tanto en vertical como en longitudinal, asimismo ocurren fallas de un segundo orden de rumbos N-S que provocan desplazamientos gravitacionales, generalmente dextrales. Las estructuras y fracturamientos están asociados con la dirección del emplazamiento del Batolito de la costa en el área E-W y NW-SE principalmente, los cuales están relacionados con los movimientos tectónicos del ciclo andino (Minera Croacia, 2019).

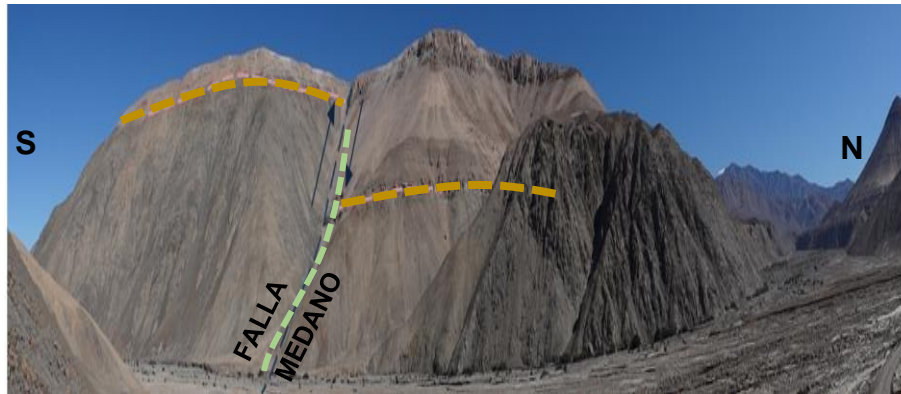


Figura 26. Falla Médano.
Fuente: Minera Croacia, 2019.

Vista Panorámica de la falla Médano, mirando hacia el oeste, tomada a la altura del Km 40 de la carretera hacia Caravelí (desvío a la mina Esperanza). Se estima que la falla Médano que se trataría del último evento en su ocurrencia estructural dentro del tiempo geológico, podría tener un salto de aproximadamente 200m. Esta falla a su vez ha formado 3 fallas paralelas hacia el sur, estas fallas denominadas Miriam, Gisela y Carminia están separadas unos 200m entre sí y tienen rumbo N 110° E.

Dentro de la falla Miriam se encuentra una estructura mineralizada (veta) llamada Miriam (Minera Croacia, 2019).

Por consiguiente, en la GAL 455E y GAL 486E de los niveles 1720 y 1665 respectivamente de veta Miriam están controladas por una falla principal E-W con el mismo nombre de la veta, a lo largo de las excavaciones se puede observar en la caja techo espejos de falla, fallas dextrales y microfallas transversales.

En la figura 27. A: se puede apreciar espejos de falla en el hastial sur (caja techo) de la estructura mineralizada (veta Miriam), este espejo de falla sirve como un control litológico- estructural ya que solo se observa panizo sin indicios de mineralización. B: se observa en las galerías de ambos niveles formación de falsas cajas con espejos de falla, las estrías indican que es una falla inversa dextral con $Az=85^\circ$ y $Bz=58^\circ$ SE. C: En la corona se observa una falla transversal $Az=100^\circ$ y $Bz=85^\circ$ SW con relleno de falla arcillosa pulverulenta (fault gouge) y panizo. D. Falla transversal en el hastial N (caja piso) con $Az=353^\circ$ y $Bz=58^\circ$ NE.

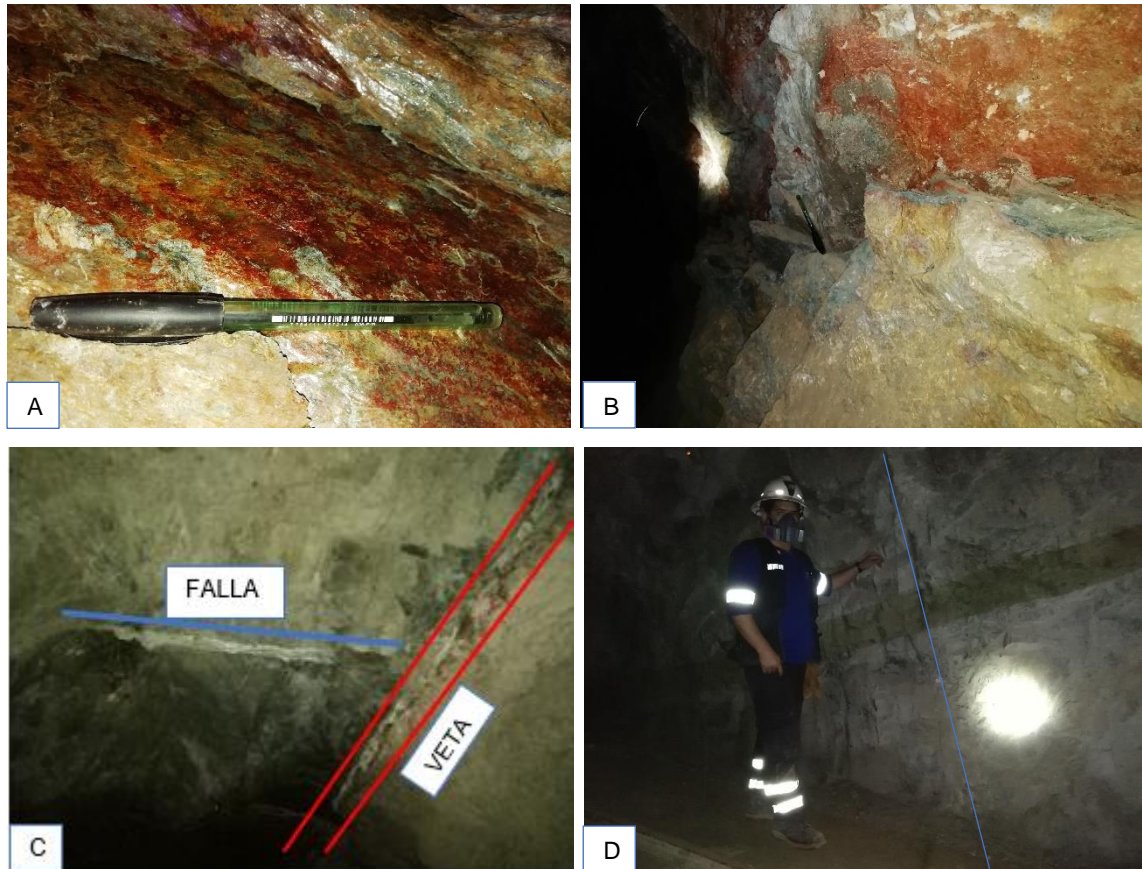


Figura 27. A. Espejos de falla, B. Falla inversa dextral, C y D. Fallas transversales.

4.5. GEOHIDROLOGÍA

En mina Esperanza de Caravelí no se genera agua subterránea, por ser una zona árida y seca, la escasa agua que se genera posteriormente a la perforación se emplea en el regado de las labores y en la carga de mineral y/o desmonte; después de la voladura.

En el interior de las excavaciones de los niveles NV. 1720 y NV.1665 encontramos presencia de humedad y goteo a lo largo de las galerías 455E y 486E producto de la perforación en niveles superiores ya explotados en años anteriores, con el pasar del tiempo genera pequeños flujos de aguas subterráneas en las secciones de análisis de la excavación. En muchos de los casos se encuentran minerales que se asocian a la humedad en las partes superiores del basamento rocoso.

El goteo de agua subterránea se ubica en el nivel 1720 desde el BzC 669 hasta los 15 m al E, presentando acumulación de agua constantemente en la sección de la excavación siendo abastecidas sobre todo por la corona de esta sección; en el nivel 1665 a lo largo de la galería GAL 486E presenta humedad en el hastial sur (caja techo de la veta Miriam). Sin embargo, en ambos niveles se observa zonas completamente secas en los cruceros que dan con las galerías, no presentando en los hastiales ni en la corona zonas de humedades persistentes en estas secciones de análisis geomecánico.

En la Figura 28 A. Zona de humedad y goteo de agua desde el BzC 669 + 0.0 m. hasta BzC 669 + 15 m. B. Presencia de humedad constante siendo aprovechada por minerales como malaquita y crisocola para su recristalización, ubicada en la corona y hastiales.

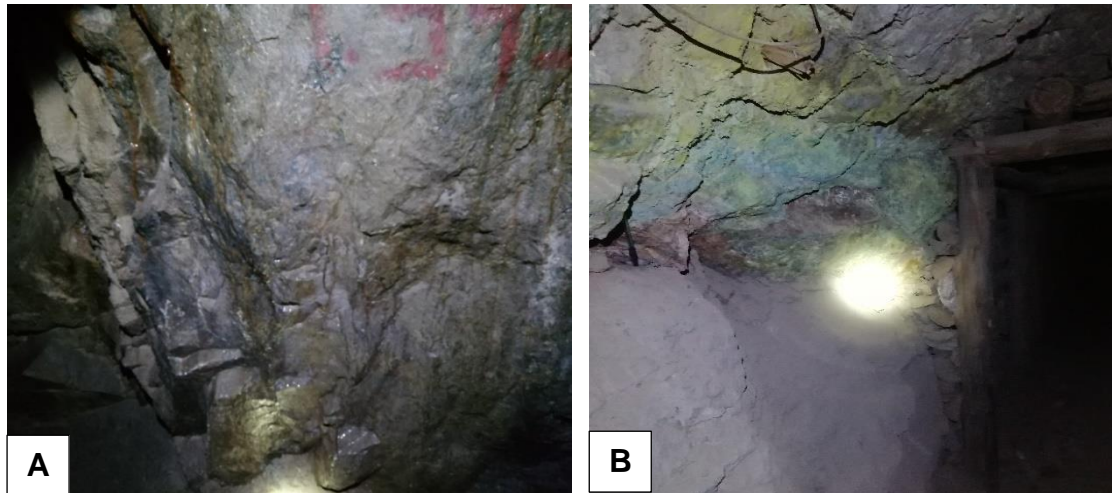


Figura 28. A.Zona de goteo de agua BzC 669 + 15m. B. Presencia de humedad.

4.6. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN CORTE Y RELLENO ASCENDENTE

El método de explotación empleado en mina Esperanza es de Corte y Relleno Ascendente (OverCut and Fill), el cual garantiza una adecuada recuperación, estabilidad y selectividad del mineral. Todos los trabajos se realizan convencionalmente (Minera Croacia, 2019).

Para los casos de vetas muy angostas e irregulares en potencia y mineralización se emplea el “circado” como un sub-método de explotación, que tiene la particularidad de ser muy selectivo. El método consiste en disparar solamente la caja (roca estéril) y luego se tiende este material como relleno y luego se dispara mineral puro. Las labores donde se realizan la explotación de mineral, está compuesto por uno o más blocks, las dimensiones del block son de promedio 30mx50m. la explotación se realiza en forma convencional y los equipos a utilizar son:

- Perforadoras tipo Jack Leg y/o Sttoper
- Carretilla tipo Buggy.
- Winches de arrastre de 10 HP.
- Extracción con locomotoras de 1.5 TM, 2.5 TM y carros mineros U-35.

El espacio dejado por la rotura y limpieza de mineral es rellenado con desmonte producido en las labores mineras de exploraciones y desarrollo, permitiendo reciclar

el material estéril dentro del interior de mina, también se utiliza como relleno la rotura de la corona pobre. Para esto se procede al descaje del tajeo, con la finalidad de dar el ancho ergonómico para el perforista, para luego hacer el pampillado dejando una altura de 2.30m del piso al techo de la labor, hasta formar un piso que permita realizar la perforación del siguiente corte, luego de la perforación se realiza otro relleno del tajeo hasta una altura de 1.0m que es la altura de voladura (Minera Croacia, 2019).

4.7. GEOMECÁNICA

Las condiciones geomecánicas que presentan los niveles 1720 y 1665 (Veta Miriam) de la Mina Esperanza, están relacionadas con la inestabilidad y la deformación progresiva de las secciones de la excavación subterránea. Para la toma de datos se utilizó una matriz donde se registraron: coordenadas geográficas de las galerías, características del macizo rocoso (litología, meteorización, grado de fracturamiento y RQD) como también propiedades de las discontinuidades (orientación, espaciado, persistencia, abertura, tipo de relleno, meteorización y filtraciones de agua). El análisis del macizo rocoso de las galerías GAL 455E y GAL 486E, se utilizó los softwares: DIPS para el análisis estructural y Unwedge para la representación gráfica de cuñas y sostenimiento.

4.7.1. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA GAL 455E – NV 1720

En el diagrama de rosetas Figura 29, se observa que la densidad más alta es la orientación principal (Falla veta) que es sub horizontal, siendo muy desfavorable para la construcción del túnel, en segundo lugar, se encuentran las estructuras transversales al Trend de la GAL 455E, la densidad de las estas estructuras relacionadas a la veta es menores.

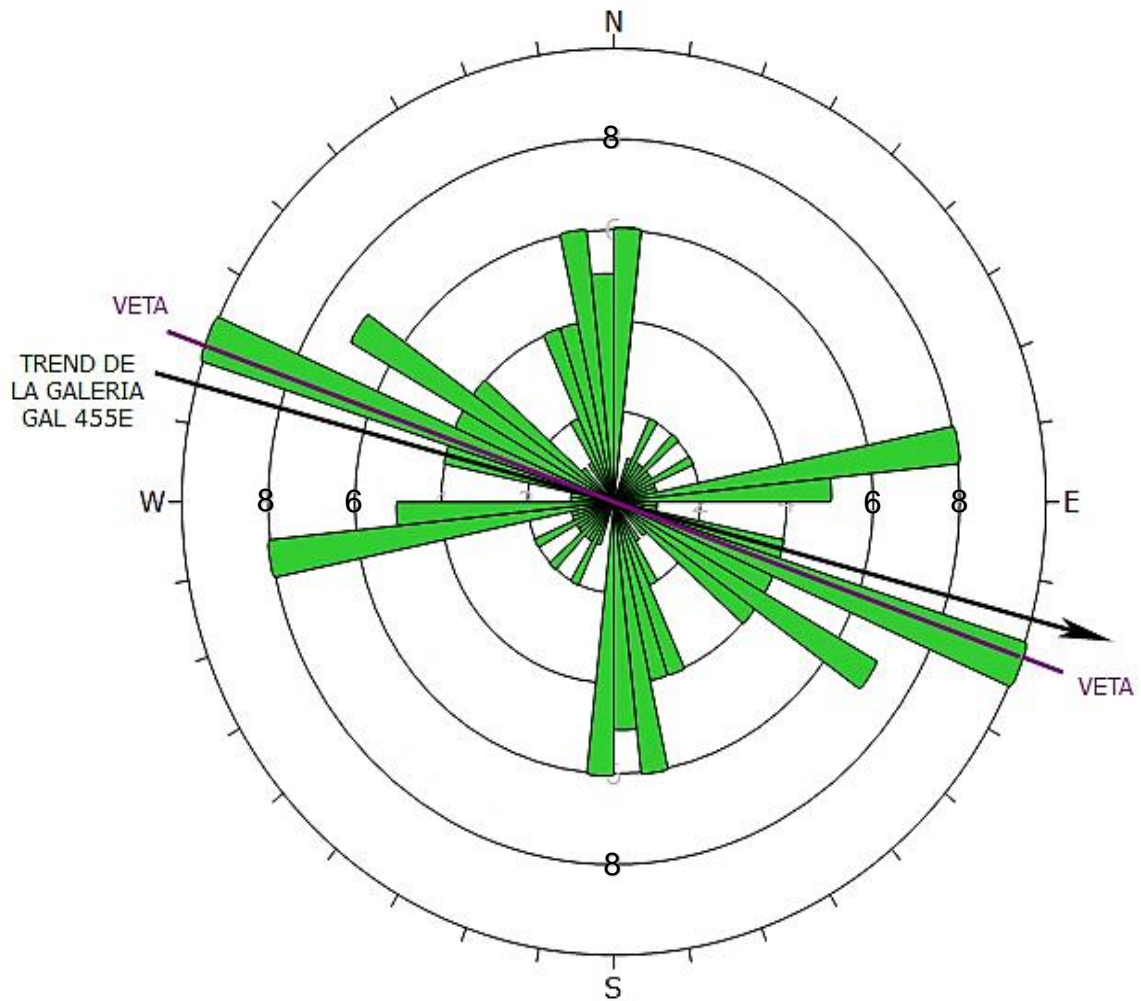


Figura 29. Diagrama de rosetas GAL 455E.

4.7.1.1. Estación Geomecánica 1

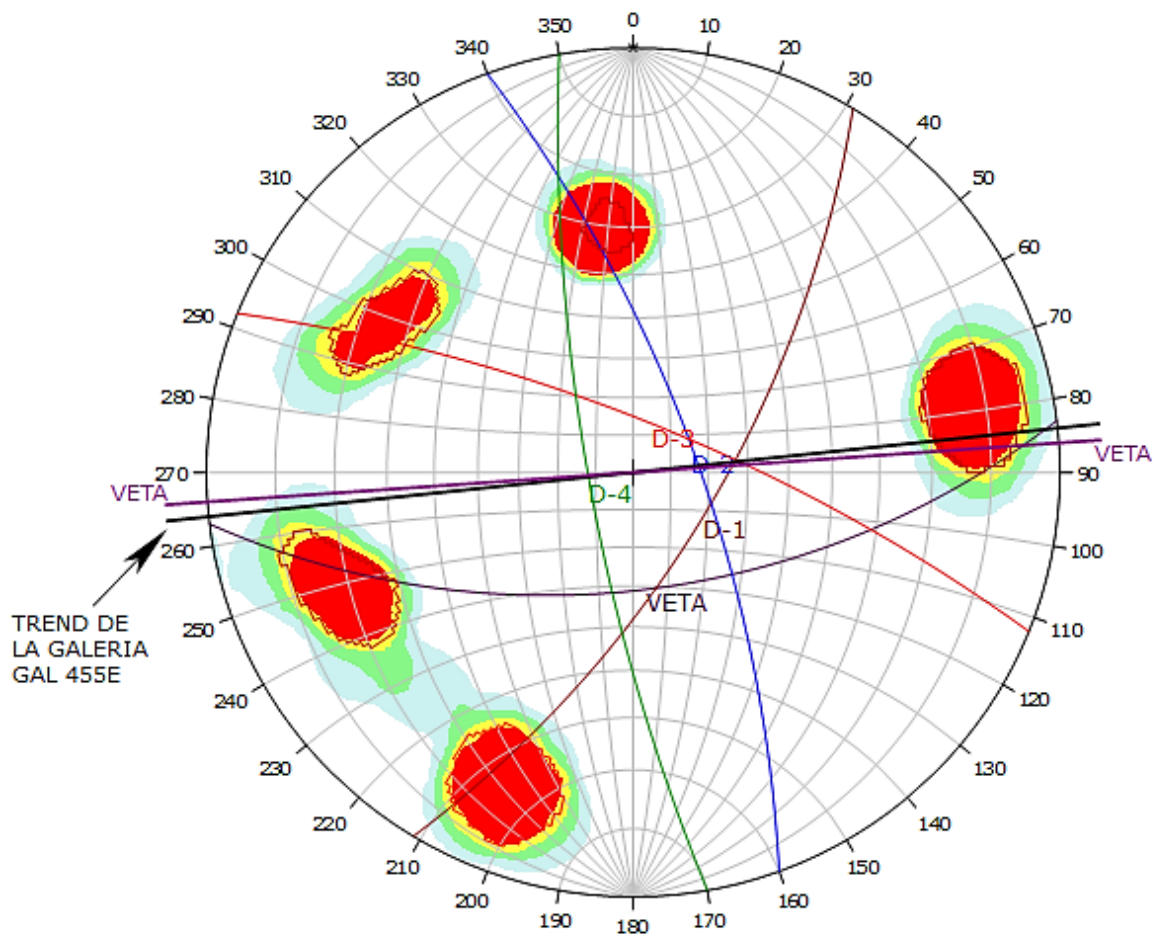
Está conformada litológicamente por andesitas afaníticas con estimación de resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad que presenta la estación geomecánica 1. El RMR para esta estación geomecánica es de 31, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 7. Clasificación RMR₈₉ - Estación Geomecánica 1.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	1
	RUGOSIDAD	1
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA	10	
RMR BÁSICO	43	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	31	
TIPO DE ROCA	IV	

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 1.

En la Figura 30, se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de las familias (Dip y Dip Direction). Entre estas familias forman cuñas de diferentes tamaños, la de mayor consideración es la cuña formada por los planos de discontinuidad de la veta: 59°/173° (D/DD), D-3: 76°/22° (D/DD) y D-4: 78°/260°(D/DD), esta cuña se ubica en la corona y parte del hastial sur de la galería (caja techo) con un alto potencial de caída.



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.60		
	1.60 - 3.20		
	3.20 - 4.80		
	4.80 - 6.40		
	6.40 <		
Maximum Density 20.75%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	59	173	VETA
2m	68	121	D-1
3m	73	70	D-2
4m	76	22	D-3
5m	78	260	D-4
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 36 (36 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Figura 30. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 1.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 1, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 1:

- *Sección de labor*: galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento*: 13 fracturas/m.
- *Resistencia*: se rompe con dos golpes de picota.
- *Factores influyentes*: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1*: muy fracturada (MF).
- *Paso 2*: regular (R).
- *Paso 3*: muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4*: malla electrosoldada y split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 1 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1 x 2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 1 se tiene 13 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y lisas a onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 31. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica

1 es Muy Fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 1

Con el fin de corroborar el soporte del diseño para el tipo de roca IV y así asegurar la estabilidad de la galería 455E se realizó el siguiente análisis estructural de cuñas con el software Unwedge; el cual nos muestra en forma gráfica la presencia de cuñas y de igual manera nos alerta del factor de seguridad de cada una de ellas. Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades:
 - Dip.
 - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split Set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 1 se puede observar tres sistemas principales de discontinuidades las cuales forman cuñas; la cuña número 8 ubicada en la corona con un factor de seguridad de 0.392 y peso de 1.343 Ton la cual la hace inestable con un alto potencial de caída de rocas; de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento con malla y Split Set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.00m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

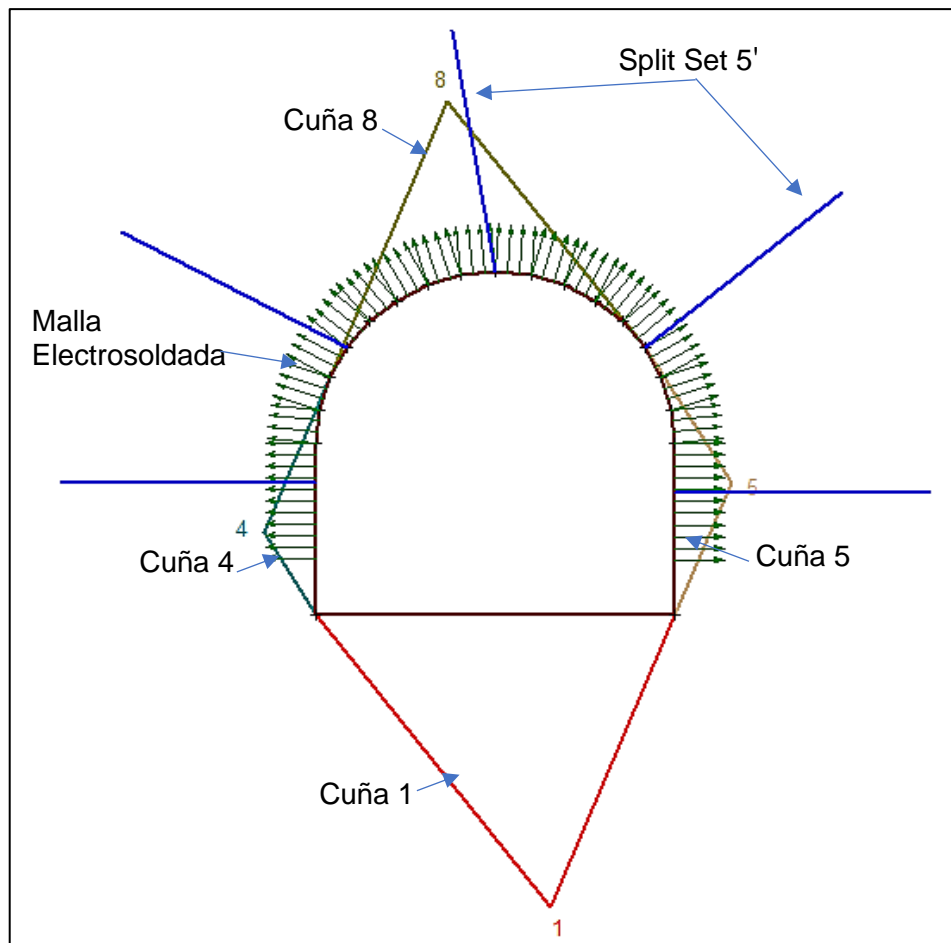


Figura 31. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 1.

Tabla 8. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 1.

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	5.812	0.153	0.200	1.343
Altura Aprox (m)	1.80	0.31	0.33	1.07
FS	Estable	21.066	40.463	1.957
Factor de seguridad diseño 1.5				

4.7.1.2. Estación Geomecánica 2

Esta estación lo conforman rocas alteradas constituidas por andesitas afaníticas, generadas por los flujos epitermales de baja sulfuración que cambiaron la composición mineralógica y textura de la roca caja, definiendo laminaciones en el hastial sur (caja techo) paralelas a la excavación ocasionando desprendimiento de rocas en laminas, a la vez existen fallas transversales a la excavación que generan desprendimiento de rocas en cuñas, no proporcionando seguridad a la caja techo

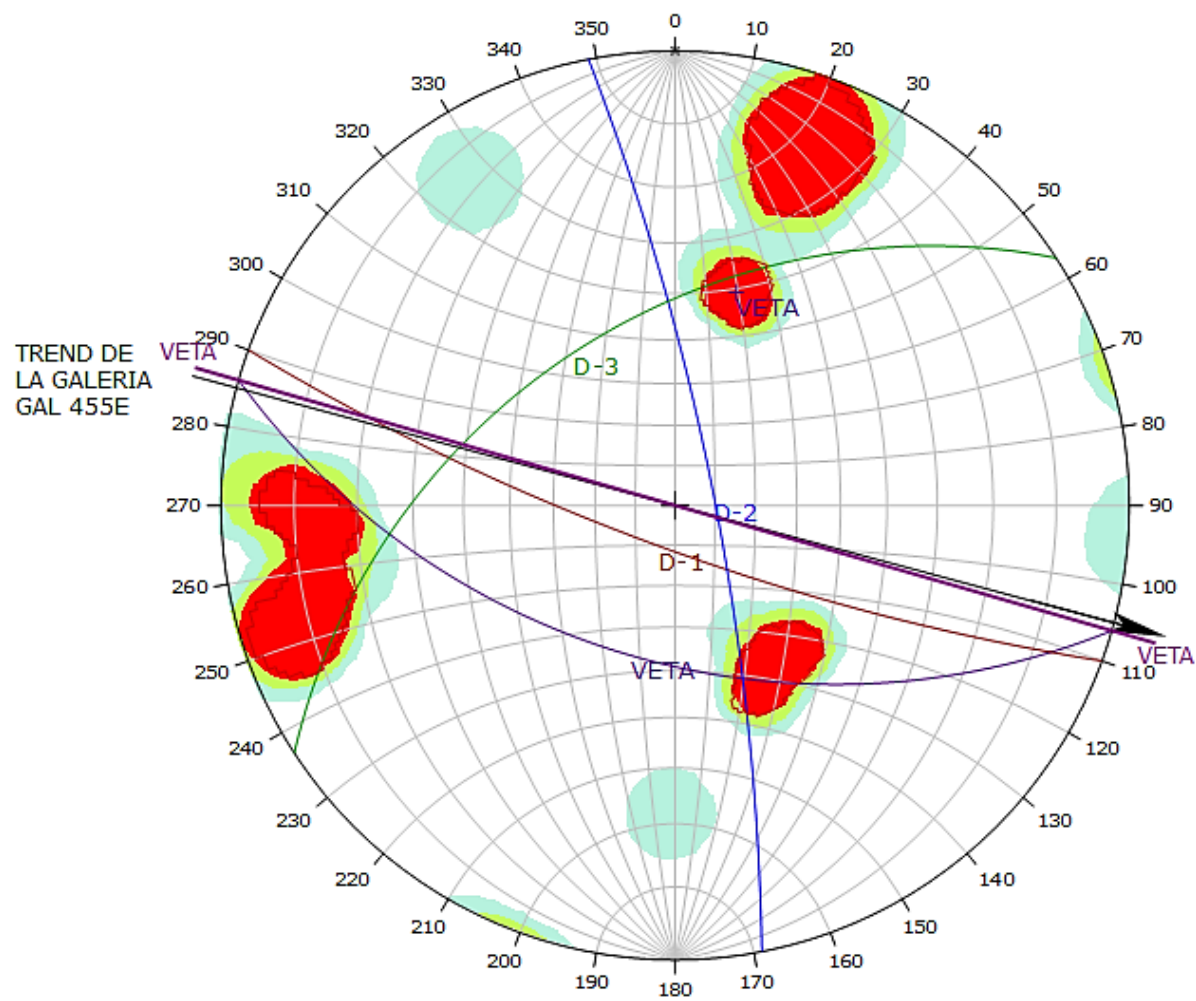
por su baja resistencia en comparación con la caja piso, con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para fracturarla. Siendo definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo y óxidos, moderadamente alterada, siendo afectada por el goteo constante proveniente de la corona y hastial sur (caja techo). El RMR para esta estación geomecánica es de 28, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 9. Clasificación RMR₈₉, Estación Geomecánica 2.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA	2	
RMR BÁSICO	40	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	28	
TIPO DE ROCA	IV	

Análisis mediante el software DIPS de la Estación Geomecánica 2.

En la Figura 32, se puede observar la formación de dos cuñas representativas, la de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 52°/192° (D/DD), D-2: 80°/79° (D/DD) y D-3: 46°/327°(D/DD), la cuña se ubica en la corona de la galería con un alto potencial de caída.



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 2.25		
	2.25 - 4.50		
	4.50 - 6.75		
	6.75 <		
Maximum Density 19.79%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	52	196	VETA
2m	79	200	D-1
3m	80	79	D-2
4m	46	327	D-3
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 23 (23 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Figura 32. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 2.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 2, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 2:

- *Sección de labor*: galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento*: 18 fracturas/m.
- *Resistencia*: se rompe con un golpe de picota.
- *Factores influyentes*: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1*: muy fracturada (MF).
- *Paso 2*: regular (R).
- *Paso 3*: muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4*: cuadro de madera espaciado a 1.20m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: cuadro de madera espaciado a 1.20m.

La estación geomecánica 2 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 2 se tiene 18 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y lisas a onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 28. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 2 es Muy Fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento

recomendado según la cartilla geomecánica GSI es cuadros de madera espaciados a 1.20m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 2

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades:
 - Dip.
 - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del cuadro de madera: 12 Ton/m².
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

En la estación geomecánica 2 se puede observar la formación de cuatro cuñas, la más inestable es la número 8 que está ubicada en la corona y presenta un factor de seguridad de 0.0 con un peso de 0.406 Ton la cual la hace inestable y con un alto potencial de caída por la presencia de goteo de agua; de acuerdo a la tabla GSI recomienda sostenimiento con cuadros de madera espaciados a 1.20m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

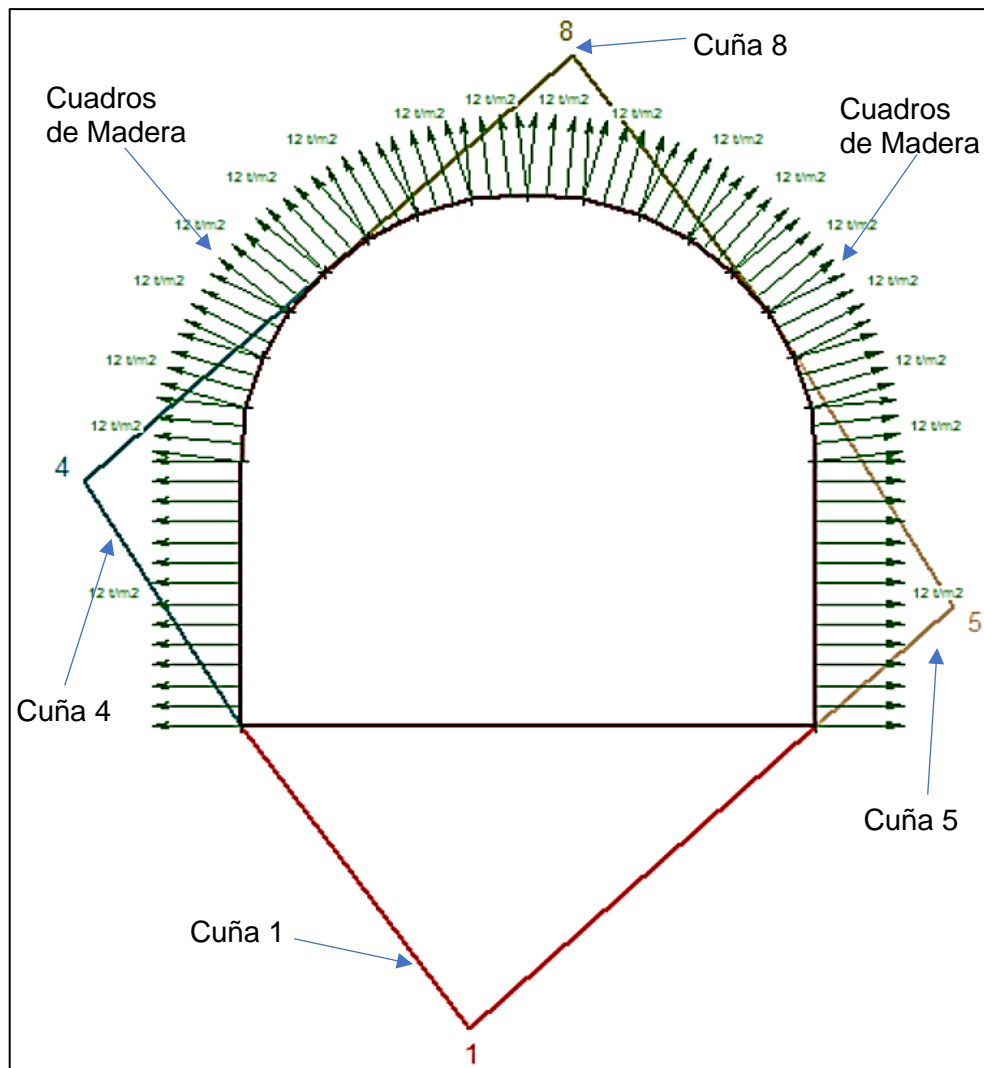


Figura 33. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 2.

Tabla 10. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 2.

	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	2.925	0.739	0.521	0.406
Altura Aprox (m)	1.19	0.57	0.50	0.56
FS	Estable	50.897	92.443	27.343
Factor de seguridad diseño 1.5				

4.7.1.3. Estación Geomecánica 3

Está estación lo conforman rocas andesitas afaníticas, la potencia de veta en esta estación se reduce y solo se observa estructura (falla veta) y discontinuidades paralelas a la excavación, a la vez existen fallas transversales a la excavación, no proporcionando seguridad a la excavación subterránea, con estimación de

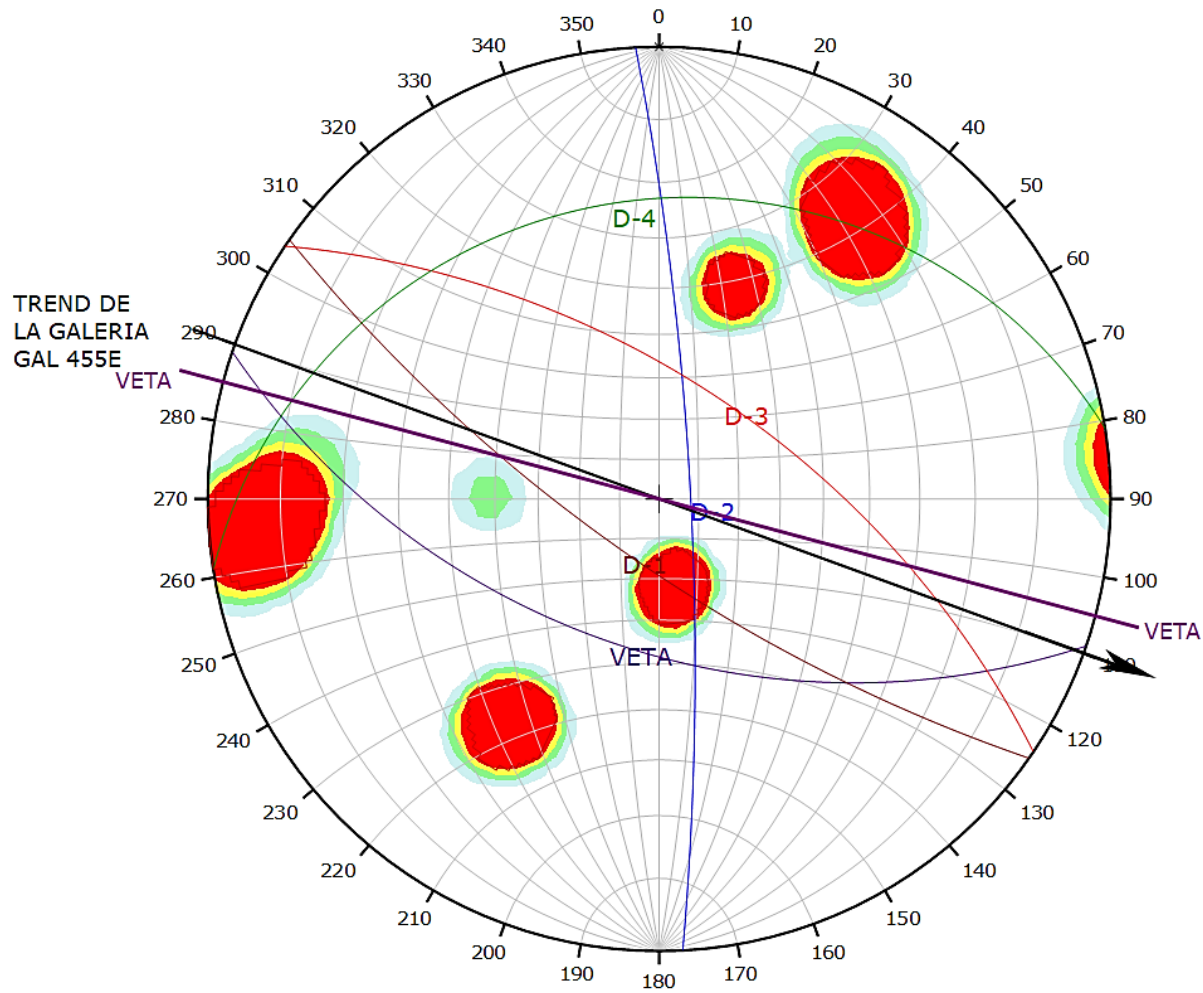
resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo, arcilla y óxidos, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 39, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 11. Clasificación RMR₈₉, Estación Geomecánica 3.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		13
ESPACIAMIENTO		8
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	4
	ABERTURA	5
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRANEA		7
RMR BÁSICO		51
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		39
TIPO DE ROCA		IV

Análisis mediante el software DIPS de la Estación Geomecánica 3.

En la Figura 33, se puede observar la formación de tres cuñas representativas, la de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 53°/199° (D/DD), D-2: 82°/87° (D/DD) y D-3: 61°/34°(D/DD), la cuña se ubica en la corona de la galería y parte del hastial izquierdo (caja piso) con un alto potencial de caída de rocas.



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.60		
	1.60 - 3.20		
	3.20 - 4.80		
	4.80 - 6.40		
	6.40 <		
Maximum Density 21.08%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	53	199	VETA
2m	74	215	D-1
3m	82	87	D-2
4m	61	34	D-3
5m	23	351	D-4
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 27 (27 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Figura 34. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 3

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 3, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 2:

- *Sección de labor:* galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento:* 14 fracturas/m.
- *Resistencia:* se rompe con dos golpes de picota.
- *Factores influyentes:* orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1:* muy fracturada (MF).
- *Paso 2:* regular (R).
- *Paso 3:* muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4:* malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70x1.0m

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 3 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 3 se tiene 14 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 39. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 3 es Muy Fracturada/Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado

según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5' espaciados 1.70x1.0m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 3

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades.
Dip.
Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 3, se puede observar la formación de cuatro cuñas principales, de las cuales dos presentan un factor de seguridad de 0.0. La cuña número 4 es la más inestable e insegura por su peso de 4.203 Ton. ubicada en el hastial izquierdo de la excavación, la número 8 que está ubicada en la corona con un peso de 0.254 Ton la cual la hace inestable y con un alto potencial de caída por la presencia de humedad y relleno con panizo entre las discontinuidades; de acuerdo a la tabla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

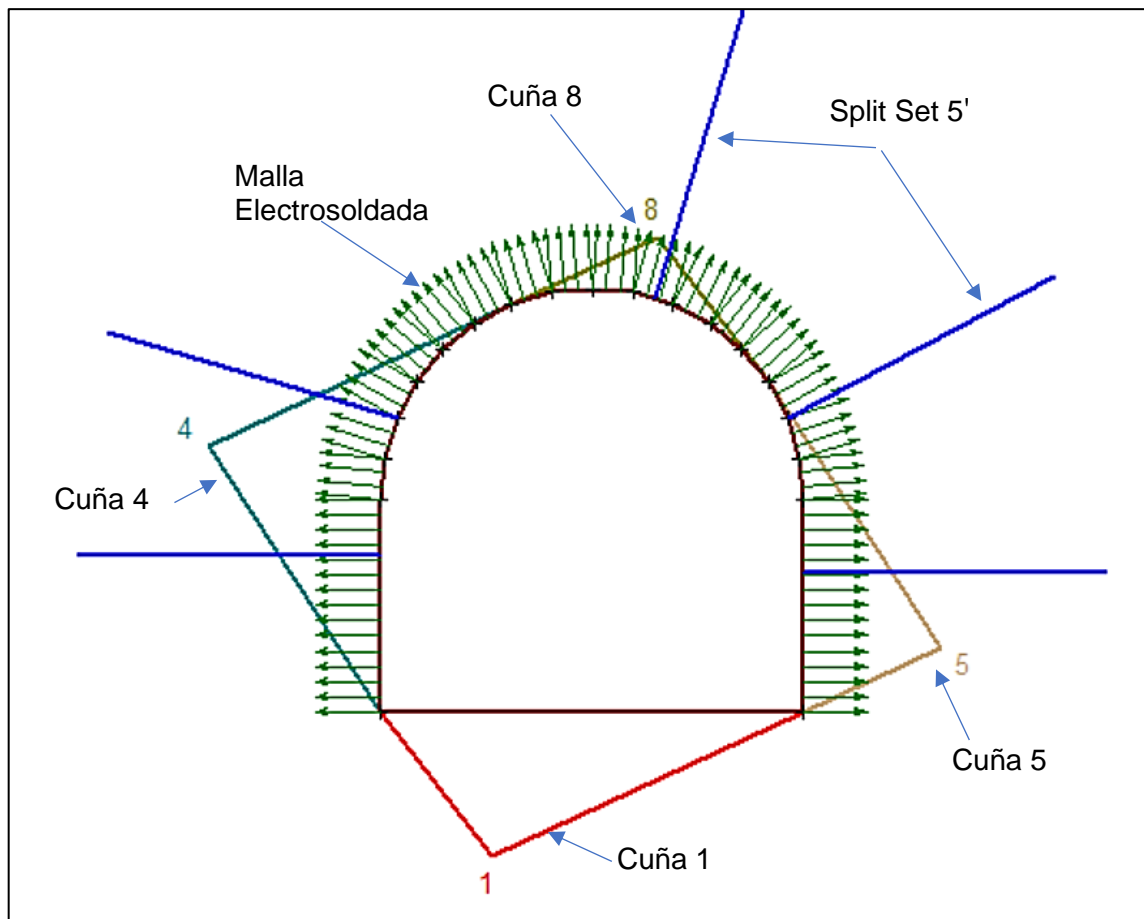


Figura 35. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 3.

Tabla 12. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 3

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	2.554	4.203	2.074	0.254
Altura Aprox (m)	0.72	0.88	0.68	0.30
FS	Estable	21.066	40.463	1.957
Factor de seguridad diseño 1.5				

4.7.2. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA GAL 486E – NV 1665.

En el diagrama de rosetas Figura 36, se observa que la densidad más alta es la orientación principal (Falla - veta) que es sub horizontal, siendo muy desfavorable para la construcción del túnel, en segundo lugar, se encuentran las estructuras transversales al Trend de la GAL 486E, la densidad de las estas estructuras relacionadas a la veta es menores.

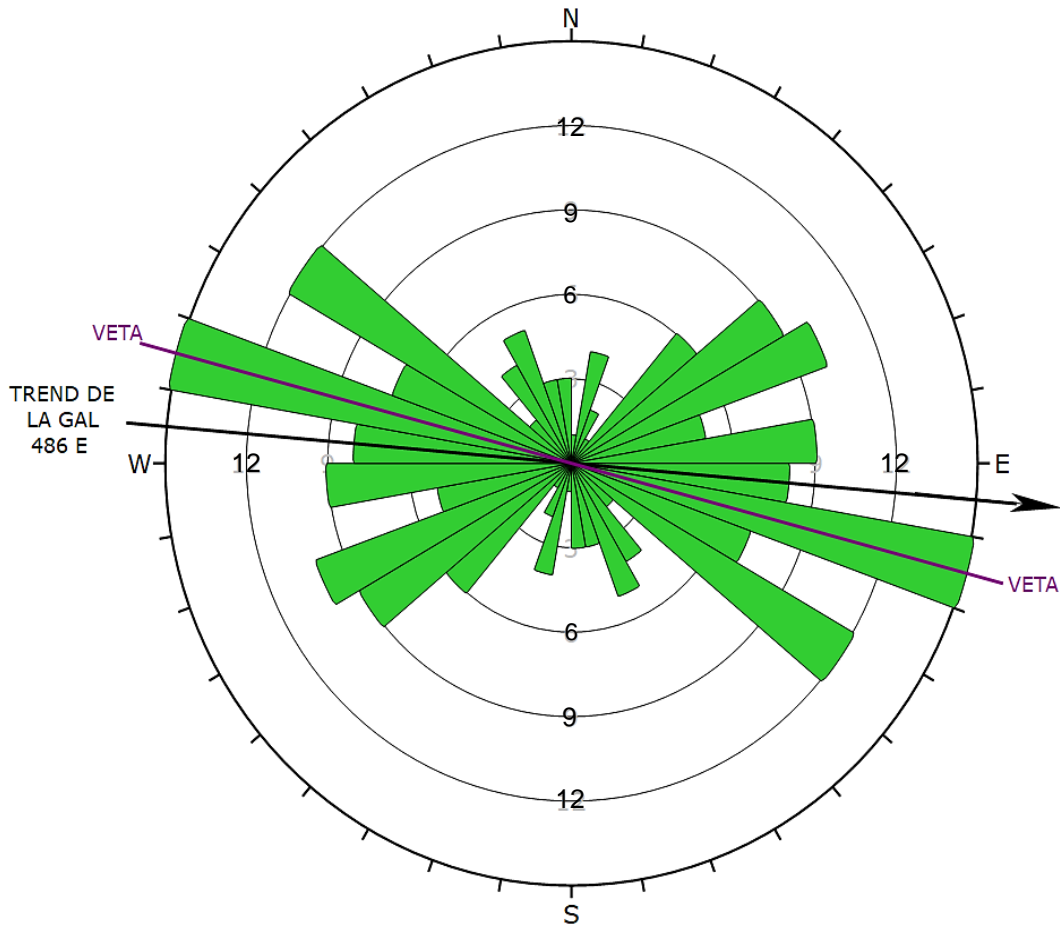


Figura 36. Diagrama de rosetas GAL 486E.

4.7.2.1. Estación Geomecánica 4

Está estación lo conforman rocas andesitas afaníticas, se observa fallas transversales que generan desplazamiento a la veta N-S, están bien definidas por los espejos de falla, hacia el hastial sur (caja techo de veta) las discontinuidades son paralelas a la excavación generando falsas cajas ocasionando desprendimiento de rocas en laminas, no proporcionando seguridad; con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas (lisas), con rellenos de panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad. El RMR para esta estación geomecánica es de 36, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 13. Clasificación RMR₈₉, Estación Geomecánica 4.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA	10	
RMR BÁSICO	48	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	36	
TIPO DE ROCA	IV	

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 4.

En la Figura 37, se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y bloques tabulares por las discontinuidades paralelas a la excavación, la cuña de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 52°/176° (D/DD), D-3: 82°/237° (D/DD) y D-4: 66°/337°(D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.

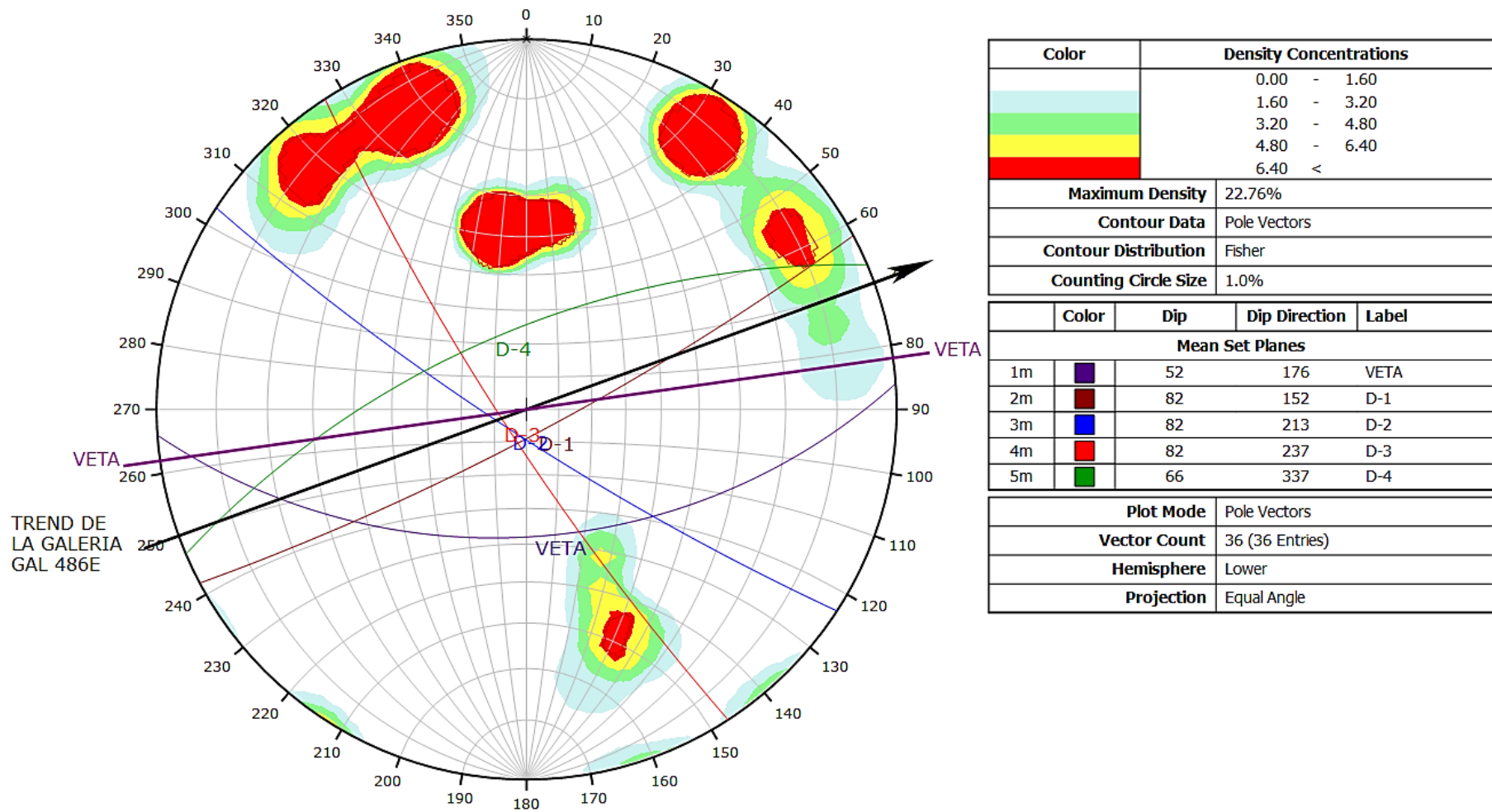


Figura 37. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 4.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 4, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 4:

- *Tipo de labor:* galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento:* 15 fracturas/m.
- *Resistencia:* se rompe con un golpe de picota.
- *Factores influyentes:* orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1:* muy fracturada (MF).
- *Paso 2:* regular (R).
- *Paso 3:* muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4:* malla electrosoldada y Split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 4 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 4 se tiene 15 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 36. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica

4 es Muy Fracturada/Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 4

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.0m.
- Orientación de las discontinuidades:
 - Dip.
 - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 4, se puede observar la formación de cinco cuñas principales, de las cuales la número 2, 7 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. La cuña número 8 es la más insegura por su peso de 3.001 Ton. ubicada en la corona con un alto potencial de caída por la presencia de humedad y espejos de fallas entre las discontinuidades, también se puede observar cuñas de menor tamaño; de acuerdo a la tabla GSI recomienda sostenimiento malla y Split Set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

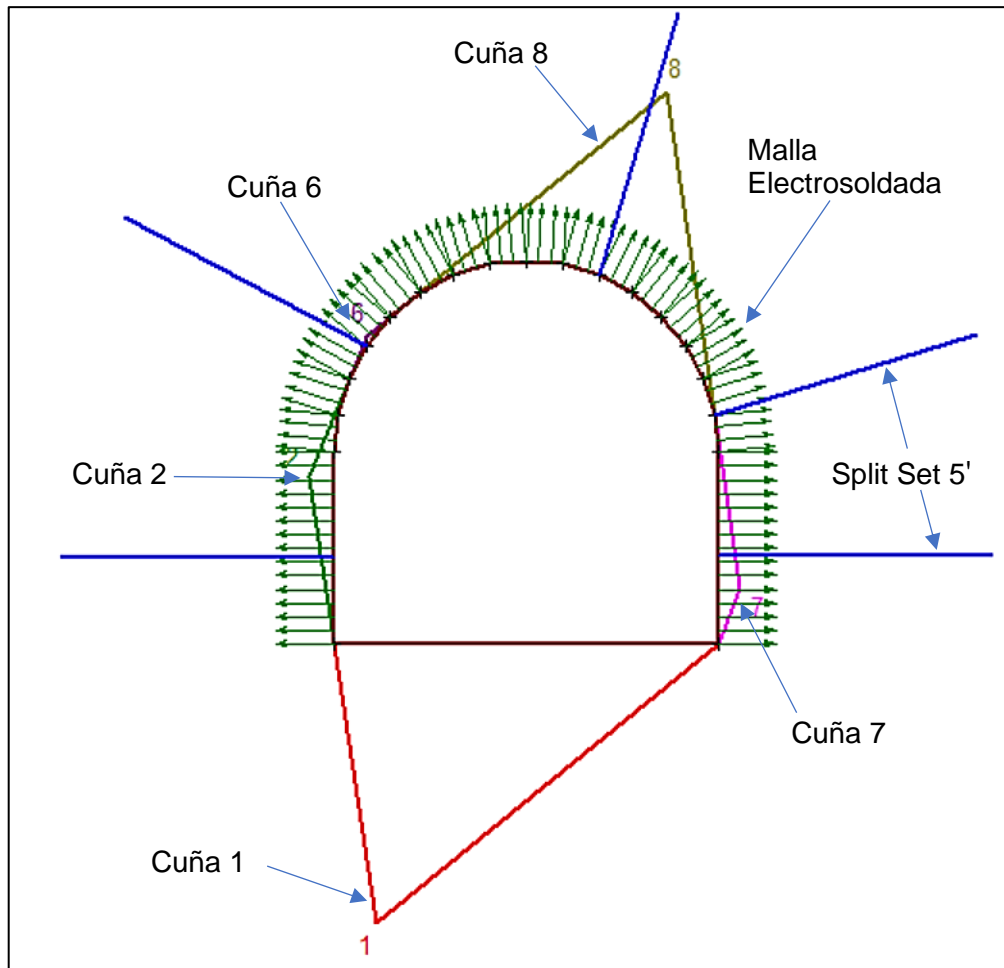


Figura 38. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 4.

Tabla 14. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 4

Descripción	Cuña 1	Cuña 2	Cuña 6	Cuña 7	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial izquierdo superior	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	10.221	0.104	0.002	0.071	3.001
Altura Aprox (m)	1.53	0.14	0.003	0.12	1.07
FS	Estable	3.229	8.271	3.454	2.273
Factor de seguridad diseño 1.5					

4.7.2.2. Estación Geomecánica 5

Está conformada por rocas andesitas afaníticas, en el hastial norte (caja piso) las rocas son muy fracturadas y en el hastial sur (caja techo) formación de falsas cajas paralelas a la excavación con espejos de fallas ocasionando desprendimiento de rocas en bloques tabulares; con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de

discontinuidades, con espaciados de 0.06m. – 0.2 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas, onduladas y lisas, con rellenos de óxidos y panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 31, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 15. Clasificación RMR₈₉, Estación Geomecánica 5.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	8	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA	7	
RMR BÁSICO	43	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	31	
TIPO DE ROCA	IV	

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 5.

En la Figura 39, se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y bloques tabulares por las discontinuidades paralelas a la excavación, la cuña de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 41°/209° (D/DD), D-2: 79°/184° (D/DD) y D-3: 84°/104°(D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.

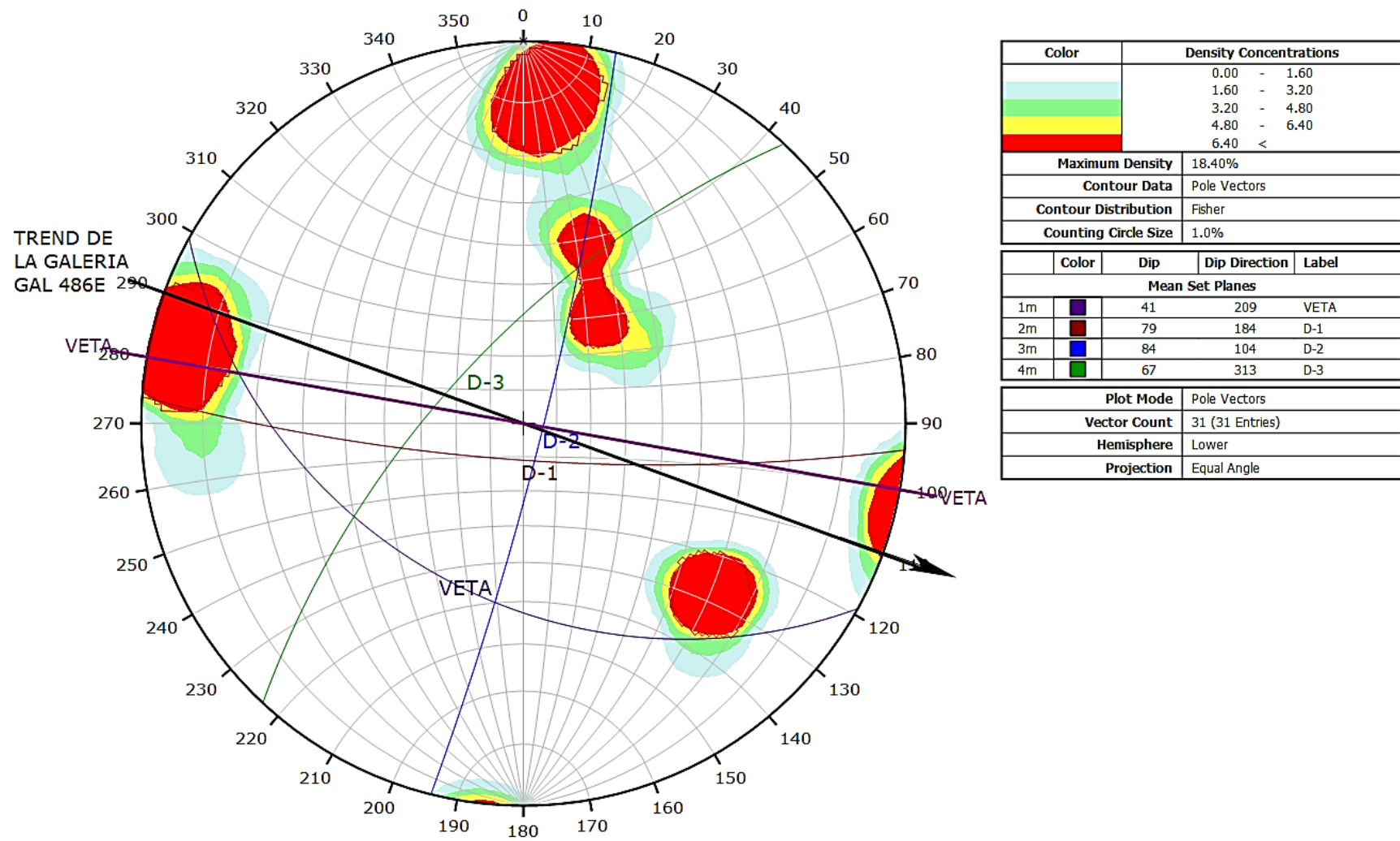


Figura 39. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 5.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 5, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 5:

- *Sección de labor:* galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento:* 12 fracturas/m.
- *Resistencia:* se rompe con un golpe de picota.
- *Factores influyentes:* orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1:* muy fracturada (MF).
- *Paso 2:* regular (R).
- *Paso 3:* muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4:* malla electrosoldada y Split Set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 5 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 5 se tiene 12 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad en toda la sección de la labor, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 31. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia

(GSI) para la Estación geomecánica 5 es Muy Fracturada / Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 5

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.0m.
- Orientación de las discontinuidades:
 - Dip.
 - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 5, se puede observar la formación de cuatro cuñas principales, de las cuales la número 4, 5 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. Las cuñas número 4 y 5 tienen un peso de 0.398 Ton. ubicadas en los hastiales de la excavación y la número 8 ubicada en la corona con un peso de 0.057 Ton. Las tres representan un alto potencial de caída por su Fs y la presencia de humedad con espejos de fallas entre las discontinuidades y fallas transversales; de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

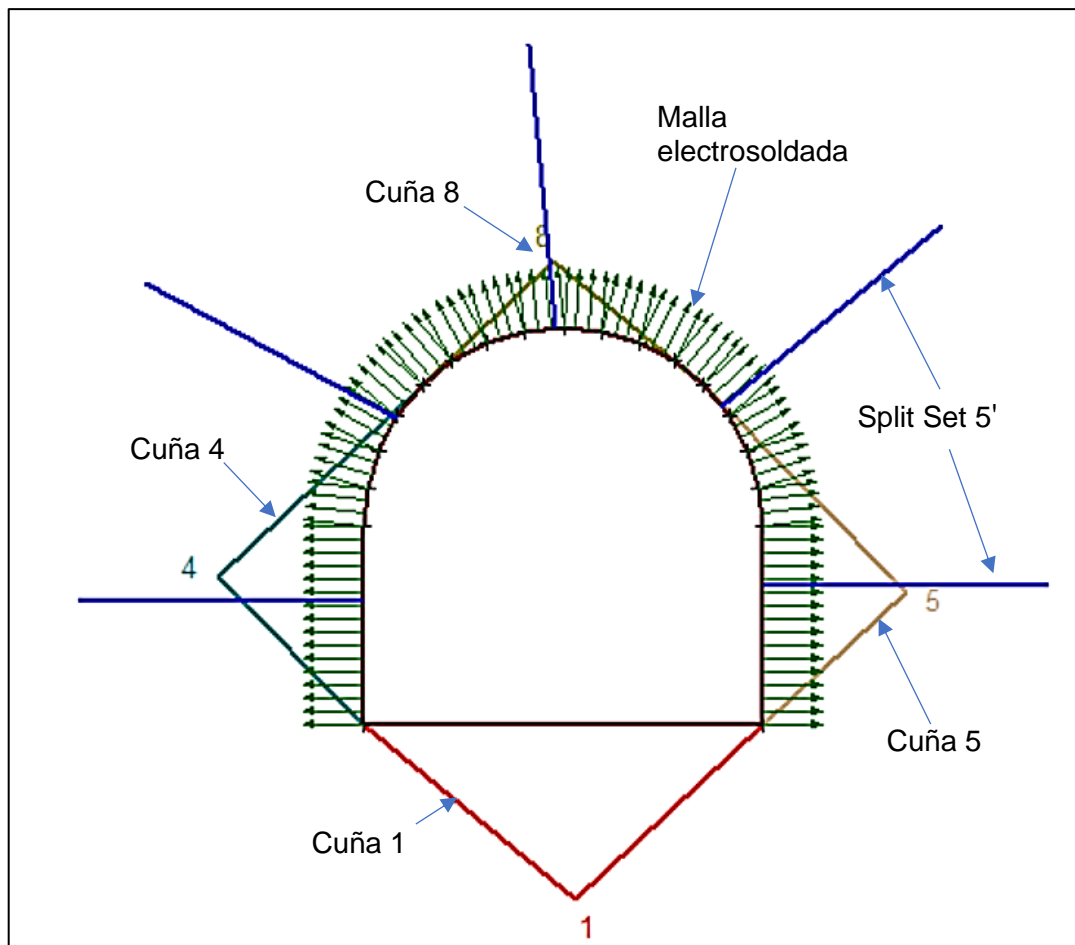


Figura 40. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 5.

Tabla 16. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 5.

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	0.849	0.398	0.398	0.057
Altura Aprox (m)	0.92	0.77	0.76	0.34
FS	Estable	3.834	3.919	6.305
Factor de seguridad diseño 1.5				

4.7.2.3. Estación Geomecánica 6

Conformada por rocas andesitas afaníticas, la potencia de veta en esta estación se reduce y solo se observa una estructura (falla veta) y discontinuidades paralelas a la excavación con estimación de resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con

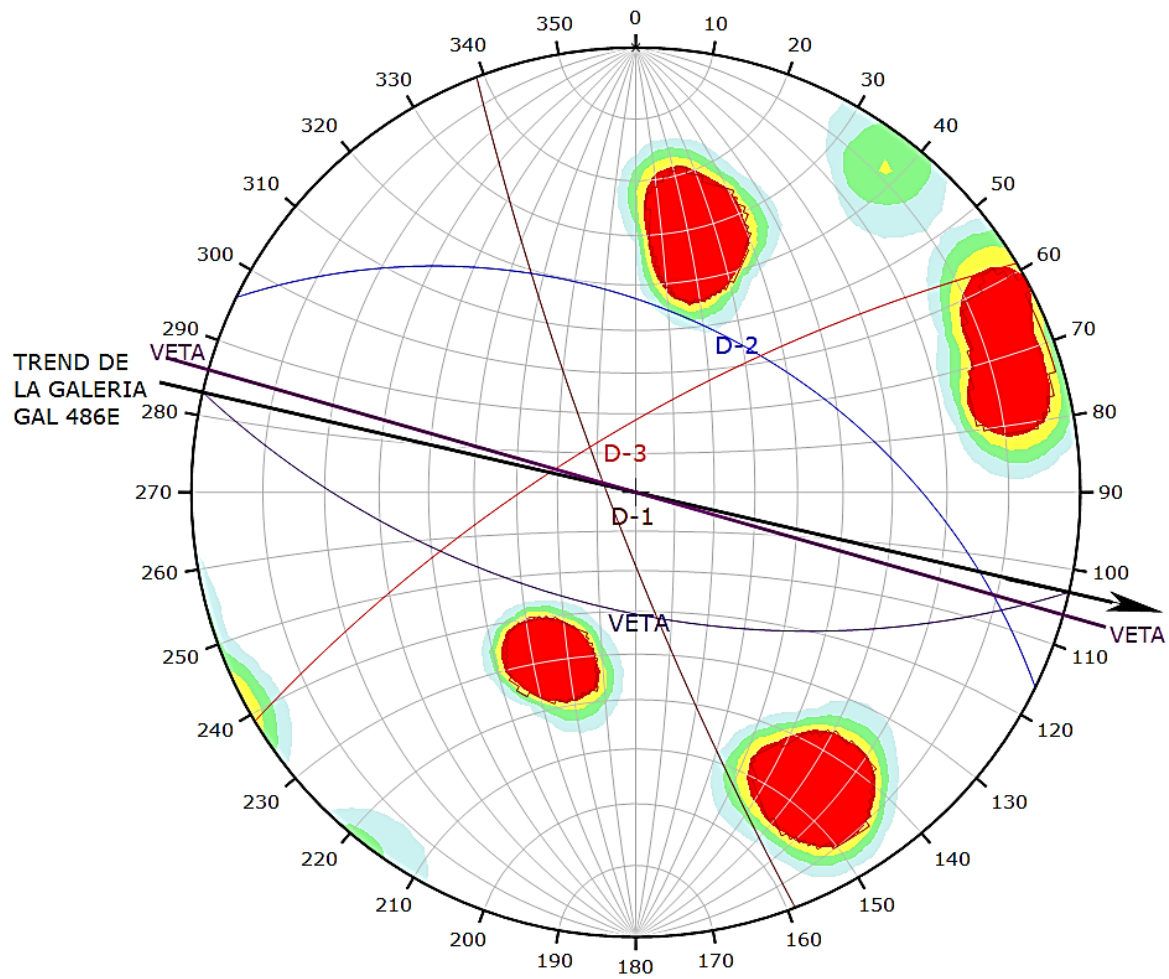
rellenos de panizo y arcillas, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 33, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 17. Clasificación RMR₈₉, Estación Geomecánica 6.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		8
ESPACIAMIENTO		10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA		7
RMR BÁSICO		45
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		33
TIPO DE ROCA		IV

Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 6.

En la Figura 41, se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y biplanares, la cuña de mayor tamaño está conformada por la intersección de los planos de discontinuidad de la veta: 60°/193° (D/DD), D-2: 46°/26° (D/DD) y D-3: 74°/329°(D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.60		
	1.60 - 3.20		
	3.20 - 4.80		
	4.80 - 6.40		
	6.40 <		
Maximum Density 19.50%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	60	193	VETA
2m	83	249	D-1
3m	46	26	D-2
4m	74	329	D-3
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count 39 (39 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Angle			

Figura 41. Proyección estereográfica de la estación geomecánica 6.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 6, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 6:

- *Sección de labor:* galería 2.1 x 2.1m.
- *Fracturamiento:* 12 fracturas/m.
- *Resistencia:* se rompe con dos golpes de picota.
- *Factores influyentes:* orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- *Paso 1:* muy fracturada (MF).
- *Paso 2:* regular (R).
- *Paso 3:* muy fracturada / regular (MF/R).
- *Paso 4:* malla electrosoldada y Split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 6 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 6 se tiene 12 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 33. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica

6 es Muy Fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 6

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.m.
- Orientación de las discontinuidades:
 - Dip.
 - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 6, se puede observar la formación de cinco cuñas principales, de las cuales la número 4, 5, 7 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. Las cuñas número 4 y 5 ubicadas en los hastiales izquierdo y derecho tienen un peso de 2.186 Ton y 1.543 Ton respectivamente, la número 7 es de un tamaño pequeño ubicada en el hastial derecho superior con un peso de 0.002 ton, por último la número 8 ubicada en la corona con un peso de 0.612 Ton, todas estas cuñas no prestan seguridad a la excavación, de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

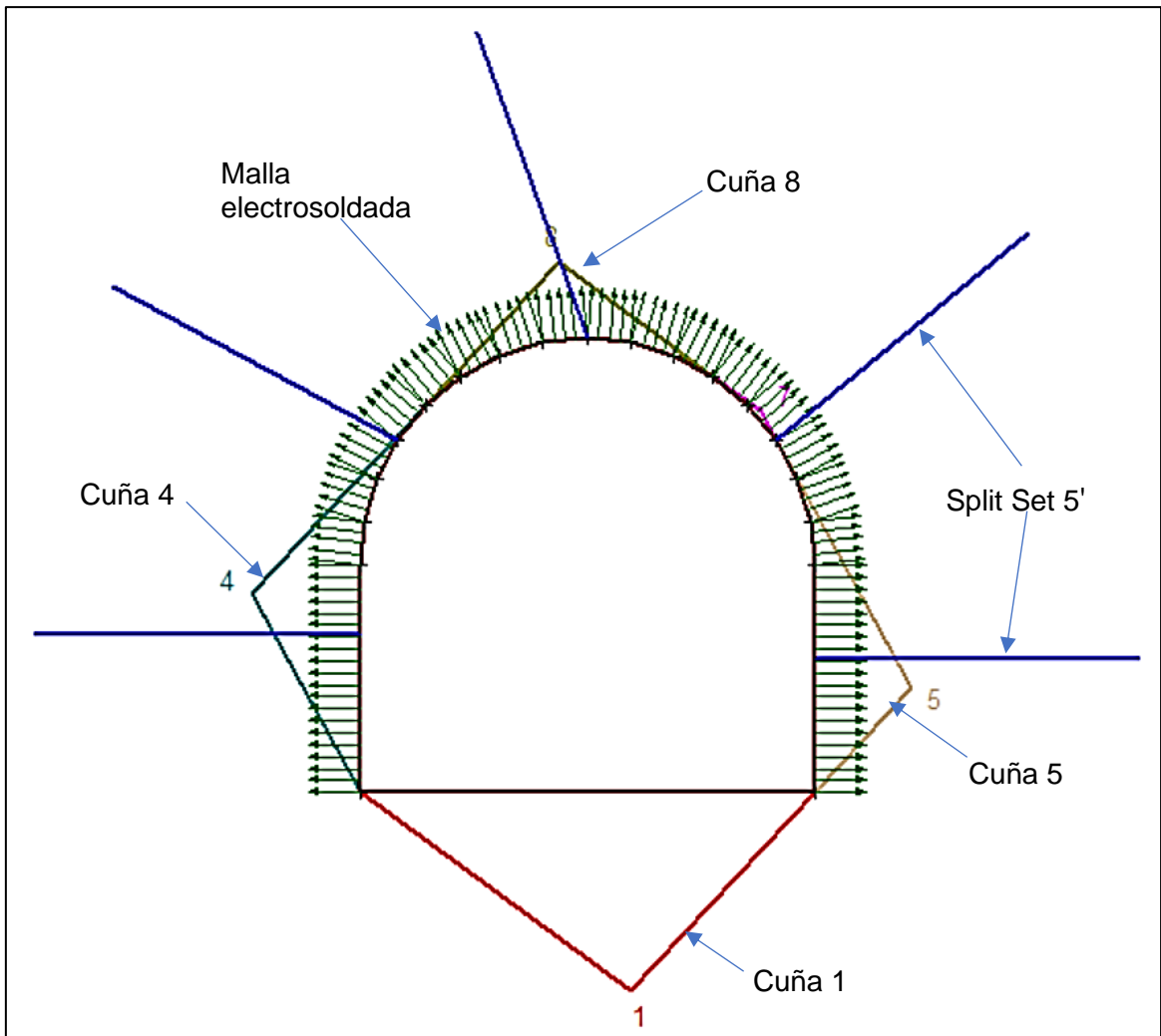


Figura 42. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 6.

Tabla 18. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 6.

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 7	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Hastial derecho superior	Corona
Peso (Ton.)	9.165	2.186	1.543	0.002	0.612
Altura Aprox (m)	0.92	0.50	0.44	0.03	0.36
FS	Estable	3.543	15.815	9.504	6.192
Factor de seguridad diseño 1.5					

4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la presente evaluación geomecánica de los niveles NV 1720 y NV 1665 de veta Miriam se hizo uso del sistema de clasificación de macizo rocoso RMR de Bieniawski 1989. Las seis (6) estaciones geomecánicas muestran valores de roca tipo IV de mala calidad, siendo definida por las condiciones de afectación como: la litología, geoestructuras, alteración y agua subterránea.

Tabla 19. Resumen del cálculo del RMR por estaciones geomecánicas.

PARÁMETRO		EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5	EG-6
RCU		7	7	7	7	7	7
RQD		8	8	13	8	8	8
ESPACIAMIENTO		10	10	8	10	8	10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2	2	4	2	2	2
	ABERTURA	1	4	5	4	4	4
	RUGOSIDAD	1	3	3	3	3	3
	RELLENO	1	1	1	1	1	1
	ALTERACIÓN	3	3	3	3	3	3
AGUA SUBTERRÁNEA		10	2	7	10	7	7
RMR BÁSICO		43	40	51	48	43	45
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12	-12	-12	-12	-12	-12
RMR LABOR		31	28	39	36	31	33
TIPO DE ROCA		IV	IV	IV	IV	IV	IV

Como muestra el cuadro las galerías tienen rocas de mala calidad (Tipo IV), lo cual es desfavorable para la construcción de las galerías y es necesario el empleo de elementos de sostenimiento para garantizar la estabilidad de las excavaciones. Para el valor RMR corregido se utilizó el ajuste por orientación de discontinuidades, obteniendo valores que se ajustan a la realidad del comportamiento del macizo rocoso. La estación E-2, es la que tiene menor valor RMR, debido al goteo de agua, que la hace más inestable en comparación a las otras estaciones de la GAL 455E y GAL 486E.

El sostenimiento recomendado por la cartilla GSI se analizó con el software Unwedge para cada una de las seis (6) estaciones geomecánicas con el objetivo de verificar que el soporte que ofrece el sostenimiento cumpla con estabilizar la labor, para cumplir con este objetivo el Factor de Seguridad debe ser mayor de 1.5

que es el Factor de Seguridad mínimo que se requiere para brindar condiciones de trabajo seguro. De igual manera con el software Unwedge se verificó que todas las estaciones geomecánicas presentan cuñas tetrahedrales en la corona, las cuales generan una condición insegura por ello el empleo de elementos de sostenimiento.

4.9. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La inestabilidad de los túneles en los NV 1720 y NV 1665 de veta Miriam, si está vinculada a las variables: macizo rocoso, litología y geoestructuras afectando de manera gradual la inestabilidad por la constante humedad que presenta, ocasionando desprendiendo de rocas en forma de cuñas y bloques tabulares. Para la caracterización del macizo rocoso se utilizó una matriz y para el análisis se emplearon los softwares DIPS y Unwedge mostrando la realidad del comportamiento del macizo rocoso en cada una de las estaciones tomadas, demostrando que si existe inestabilidad de tipo Altamente Peligrosa y Peligrosa. Para esta inestabilidad, será necesario su reforzamiento con malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70m x 1.0m para las estaciones E-1, E-3, E-4, E-5, E-6 y para la E-2 se empleará cuadros de madera espaciados a 1.20m.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El mapeo geológico determinó las geoestructuras y principales sistemas de discontinuidades en los niveles 1720 y 1665 de la Veta Miriam, cuyo comportamiento tiene orientación NW-SE paralela a la veta, presentando fuerte brechamiento en la caja techo la cual genera una condición insegura para la excavación.

El compartimiento geomecánico en las seis estaciones geomecánicas del macizo rocoso de las labores subterráneas en el nivel 1720 y nivel 1665 de la veta Miriam, determinan valores de RMR entre 29 hasta 39 indicando tipo IV, roca de mala calidad.

La evaluación geomecánica de las galerías GAL 455E y GAL 486E nos determina un ambiente homogéneo, presentando desde el inicio hasta el final macizo rocoso Tipo IV o roca mala. Geomecánicamente la zona más inestable se encuentra en la Estación 2, debido a la filtración de agua por las principales diaclasas aumentando los parámetros de inestabilidad en la excavación.

El sostenimiento para las Estaciones Geomecánicas E-1, E-3, E-4, E-5, E-6 será malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70m x 1.0m y para la Estación Geomecánica E-2 se empleará cuadros de madera espaciados a 1.20m.

5.2. RECOMENDACIONES

La empresa debe realizar mapeos geológicos y geomecánicos detallados a medida que se desarrollan las excavaciones mineras en la veta Miriam, para identificar posibles cambios litológicos en futuros proyectos.

Realizar ensayos especiales como triaxiales y corte directo para establecer con precisión el comportamiento de la roca en la veta Miriam.

Para evitar una sobre excavación es importante el paralelismo de las perforaciones de los taladros, para ello se debe emplear voladura controlada por ser una roca de Mala calidad o tipo IV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, E. 2018. Innovación de controles para la reducción de accidentes generados por desprendimiento de rocas en Unidad Minera Huachocolpa Uno de Compañía Minera Kolpa S.A.(Tesis) Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Barreda, K. 2018. Estudio geotécnico – geomecánico de la Mina Fortuna – Veta Esperanza en el distrito de Rio Grande – Condesuyos plan de minado 2018. (Tesina) Arequipa, Perú. Centro Geotécnico Nacional.
- Bieniawski. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons. New York.
- Bustamante, A. 2008. Aplicación de la geomecánica en Mina Huanzalá para la prevención de caída de rocas (Tesis) Lima, Perú. UNI.
- Cáceres, E. 2017. Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcán S.A.A. – 2015-2016. (Tesis) Ica, Perú: Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Cartaya, M. 2001. Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país (Tesis) Cuba, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Córdova, N. 2008. Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable. (Tesis) Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cruz, Y. 2004. Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Lima, Perú, Sociedad nacional de minería, petróleo y energía.

- Gavilanes, H; Andrade Haro, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito, Ecuador, Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- González De Vallejo, LI. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid, España, Prentice Hall.
- Hernández Sampieri, R. 2010. Metodología de la Investigación Científica: Diseños con hipótesis explicativas. Lima, Perú, UDEGRAF SA.
- López Jimeno, C. 2011. Manual de túneles y obras subterráneas. Tomo II. Madrid, España, Gráficas Arias Montano, S.A.
- Mena, A. 2012. Planeamiento de minado subterráneo para vetas angostas: caso práctico; mina "Esperanza de Caravelí" de Compañía Minera Titán S.R.L (Tesis) Lima, Perú. Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Minera Croacia. 2019. Plan de Minado – U.E.A. Esperanza de Caravelí (libro electrónico). Superintendencia General. Atico, Perú.
- Ortiz, M. 2019. Evaluación geológica y geomecánica del proyecto minero Víboras III, nivel 2160-distrito de Chaparra-Caraveli-Arequipa (Tesis) Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano.
- OSINERGMIN. 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores mineras. Magdalena del mar, Lima, Perú, INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- SNMPE (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía). (2004). Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.
- Zorrilla, L. 2015. La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la central Hidroeléctrica Cerro del Águila. (Tesis) Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

ANEXOS

Anexo 01. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 01.

Anexo 02. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 02.

Anexo 03. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 03.

Anexo 04. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 04.

Anexo 05. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 05.

Anexo 06. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 06.

Anexo 07. Autorización de Minera Croacia E.I.R.L.

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO										UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS												
PROGRESIVA: GAL 455E Km 0 + 0.0 m - Km 0 + 3.0 m.										TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.												
SISTEMA: UTM WGS 84										ATICO - AREQUIPA - PERÚ												
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N84																						
RESPONSABLE: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL																						
CÓDIGO: EGC-01					FECHA: Mayo 2020																	
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO					PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES													
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGÍA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS		RESIST. COMPR. UNIAXIAL	RQD Tramo	ORIENTACIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC- METEORI.	AGUA	CALIDAD DE INFORM
								E=Estratif. D=Diapirica	Oci (Mpa)			DIRECCIÓN	DIP					DD	TIPO			
										SE= Sobrees. C= Contacto	Prom. Golpes			L: 3 A: 18	1=>2 2= 2-0,6 3= 0,6-0,2 4= 0,2-0,06 5=<0,06	1=<1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5=>20	1=Nada 2=<0,1 3= 0,1-1,0 4= 1,0-5,0 5=>5			1= Muy Rug. 2= Rugoso 3= Lig. Rug. 4= Ondulada - Lisa 5= Suave	1= Arcilloso 2= Qz / Silic 3= Calcita 4= Oxidos 5= Roca Tritur 6= Bx 7= Panizo 8= Veta	1= Ninguna 2= Duro < 5mm 3= Mod. Alt. 4= Muy Alt. 5= Descomp
Agrega MB,B,M, P,MP		SE= Sobrees. C= Contacto		Yp:																		
1	642622	8242524	1720	Veta- Sulfuro Cu	2	3	2M	E	3	62	57	175	3	4	3	2	8	3	3	1	1	
2								E			65	170										
3								E			60	177										
4				Andesita	3	2	3P	D1	1	46	80	15	3	2	3	3	5	5	3	1	1	
5								D1			81	20										
6								D1			79	22										
7								D1			77	18										
8								D1			80	23										
9								D1			78	21										
10								D1			79	20										
11				Andesita	3	2	3P	D2	2	44	76	258	3	3	3	4	7	4	3	2	1	
12								D2			80	265										
13								D2			77	255										
14								D2			79	260										
15								D2			80	260										
16								D2			78	262										
17								D2			80	259										
18				Andesita	3	2	2P	D3	2	46	68	65	3	3	4	4	7	4	3	2	1	
19								D3			70	62										
20								D3			75	66										
21								D3			72	70										
22								D3			75	67										
23								D3			69	68										
24								D3			73	70										
25								D3			74	68										
26				Andesita	3	2	3P	D4	2	46	65	135	4	3	3	3	7	4	3	2	1	
27								D4			70	126										
28								D4			65	124										
29								D4			68	132										
30								D4			69	129										
31								D4			67	130										
																			RMR	31	MALA	
																			TIPO	IV		

Anexo 01. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 01

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO										UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																									
PROGRESIVA: GAL 455E Km 0 + 65.0 - Km 0 + 68.0 m										FACULTAD DE INGENIERÍA																									
SISTEMA: UTM WGS 84										ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS																									
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N105										TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.																									
RESPONSABLE: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL										ATICO - AREQUIPA - PERÚ																									
CÓDIGO: EGC-02					FECHA: Mayo 2020					PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES																									
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMPR. UNIAXIAL	RQD Tramo	ORIENTACIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC-METEORI.	AGUA	CALIDAD DE INFORM														
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGÍA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI				E=Estratíf.	σci (Mpa)					DIRECCIÓN	ND: 57				L: 3	λ: 19	DIP	DD	1=>2	1=<1	1=Nada	1= Muy Rug.	TIPO		1= Arcilloso	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco
								D=Diaclasa	6= Bx	7= Panizo	8= Veta																								
								E=Fract-Intenso					SE= Sobrees.	2= >2	2=<1	2=<0,1			2= Rugoso	2= Qz / Silic	2= Duro < 5mm									2= Lig. Alt.	2= Humedo				
Agregar MB.B. M. P, MP	3= 0,6-0,2	3= 3-10	3= 0,1-1,0	3= Lig. Rug.	3= Calcita	3= Duro > 5mm	3= Mod. Alt.		3= Mojado	3= Lect. Proy.																									
1	642686	8242505	1721	Veta-sulfuro Cu	3	3	2M	E	3	62	52	198	3	4	2	2	8	3	2	2	1														
2								E			55	190																							
3								E			50	200																							
4				Andesita	2	2	2P	D1	2	43	71	80	3	2	2	3	4	2	2	4	1														
5								D1			75	90																							
6								D1			80	73																							
7								D1			82	73																							
8								D1			88	94																							
9								D1			85	71																							
10								D1			79	88																							
11				Andesita	3	2	3MP	D2	2	43	70	202	2	3	3	3	7	4	3	4	1														
12								D2			78	203																							
13								D2			80	148																							
14								D2			84	205																							
15								D2			75	195																							
16								D2			82	200																							
17								D2			83	197																							
18				Andesita	3	2	3P	D3	1	43	68	1	3	3	3	4	4	4	3	4	1														
19								D3			44	321																							
20								D3			35	332																							
21								D3			47	337																							
22								D3			45	316																							
23								D3			49	334																							
																			RMR	28	MALA														
																			TIPO		IV														

Diseño original: I. M. Sc. Víctor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación final: Bach. José E. Cayao Coronel.

Anexo 02. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 02

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO										UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS																									
PROGRESIVA: GAL 45E Km 0 + 82.0m - Km 0 + 85.0 m										TESIS: EVALUACIÓN GEOMECAÍNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L. ATICO - AREQUIPA - PERÚ																									
SISTEMA: UTM WGS84																																			
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N110°																																			
RESPONSABLE: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL																																			
CÓDIGO: EGC-03					FECHA: Mayo 2020					PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES																									
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO							TIPOS	RESIST. COMPR.	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC- METEORI.	AGUA	CALIDAD DE INFORM										
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓGÍA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratíf. D=Diaclasa Fn=F. Nom Fi=F. Inversa Fd=F. Direcc Mf= Microfalla SE= Sobrees. C= Contacto	UNIAXIAL	ND: 45 L: 3 λ: 15				DIRECCIÓN	Z / R	DIP					DD	1= >2 2= 2-0,6 3= 0,6-0,2 4= 0,2-0,06 5= <0,06				1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1=Nada 2= < 0,1 3= 0,1-1,0 4= 1,0-5,0 5= > 5	1= Muy Rug. 2= Rugoso 3= Lig. Rug. 4= Ondulada - Lisa 5= Suave	TIPO	DUREZA	1= Arcilloso 2= Qz / Sílic 3= Calcita 4= Óxidos 5= Roca Tritur 6= Bx 7= Panizo 8= Veta	1= Ninguna 2= Duro < 5mm 3= Duro > 5mm 4= Suave < 5mm 5= Suave > 5mm	1= Inalterada 2= Lig. Alt. 3= Mod. Alt. 4= Muy Alt. 5= Descomp	1= Seco 2= Humedo 3= Mojado 4= Goteo	1= Lect. Real 2= Lect. Apar. 3= Lect. Proy.
1	642699	8242501	1721	ANDESITA				Mf					76	95	2	3	2	4	7	5	4	3	1												
2				ANDESITA				Mf					41	91	2	3	3	5	4	3	3	3	1												
3				Veta Sulfuro Cu	2	3	1M	E	80	67			50	197	3	4	2	2	8	3	2	3	1												
4								E					53	201																					
5								E					56	200																					
6				ANDESITA	3	2	3M	D1	50	52			74	215	2	2	2	4	4	4	3	3	1												
7								D1					70	220																					
8								D1					72	216																					
9								D1					78	210																					
10								D1					74	212																					
11								D1					75	217																					
12				ANDESITA	3	2	3B	D2	45	55			22	355	4	2	2	3	4	4	3	3	1												
13								D2					25	350																					
14								D2					19	349																					
15								D2					22	348																					
16								D2					21	342																					
17								D2					27	358																					
18				ANDESITA	3	2	2M	D3	40	52			87	85	4	2	2	3	4	5	2	3	1												
19								D3					80	90																					
20								D3					85	83																					
21								D3					80	85																					
22								D3					82	87																					
23				ANDESITA	2	2	3M	D4	40	55			62	35	4	2	2	3	4	4	3	3	1												
24								D4					58	35																					
25								D4					60	30																					
26								D4					62	33																					
27								D4					65	36																					
																					RMR	39	MALA												
																						TIPO	IV												

Diseño original: I. M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación final: Bach. José E. Cayao Coronel.

Anexo 03. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 03

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO										UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS														
PROGRESIVA: GAL 486E Km 0 + 0.0 m - Km 0 + 3.0 m.										TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.														
SISTEMA: WGS-84										ATICO - AREQUIPA - PERÚ														
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N70																								
RESPONSABLE: JOSÉ EL DEN CAYAO CORONEL																								
CÓDIGO: EGC-04										FECHA: Mayo 2020														
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO							PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES													
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓGIA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMPR. UNIAXIAL	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC- METEORL.	AGUA	CALIDAD DE INFORM		
								E=Estratíf. D=Diaclasa	σ _{ci}	ND: 53 L: 3 λ: 17	DIRECCIÓN			1=>2 2= 2-0,6 3= 0,6-0,2 4= 0,2-0,06 5=<0,06	1=<1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5=>20	1=Nada 2=<0,1 3= 0,1-1,0 4= 1,0-5,0 5=>5	1= Muy Rug. 2= Rugoso 3= Lig. Rug. 4= Ondulada - Lisa 5= Suave	TIPO	DUREZA	1= Inalterada 2= Lij. Alt. 3= Mod. Alt. 4= Muy Alt. 5= Descomp	1= Seco 2= Humedo 3= Mojado 5= Flujo	1= Lect. Real 2= Lect. Apar 3= Lect. Proy.		
																		6= Bx 7= Pamizo 8= Veta						
Z/ R	DIP	DD																						
1	642624.5	8242492	1670	veta: Sulfuro Cu	3	2	3B	E	74	63		52	185	3	4	3	2	8	3	3	2	1		
2								E				55	190											
3								E				56	190											
4				Andesita	3	2	3M	D1	36	49		80	212	4	3	3	3	4	2	2	2	1		
5								D1				84	215											
6								D1				80	248											
7								D1				81	261											
8								D1				83	212											
9								D1				82	211											
10								D1				79	230											
11								D1				81	240											
12								D1				83	235											
13				Andesita	3	2	3P	D2	36	45		82	156	3	3	3	3	4	4	2	2	1		
14								D2				85	142											
15								D2				78	130											
16								D2				85	166											
17								D2				80	161											
18								D2				82	140											
19								D2				83	135											
20								D2				79	151											
21								D2				82	160											
22								D2				81	158											
23				Andesita	2	2	2M	D3	38	45		45	329	3	3	3	3	7	4	2	2	1		
24								D3				73	346											
25								D3				51	336											
26								D3				60	340											
27								D3				70	333											
28								D3				66	337											
29				Andesita	3	2	3P	D4	36	40		51	171	3	3	3	4	7	4	3	2	1		
30								D4				54	172											
31								D4				52	170											
32								D4				53	171											
33								D4				50	175											
34								D4				51	170											
35								D4				54	170											
36								D4				52	172											
																				RMR	36	MALA		
																				TIPO		IV		

Diseño original: I. M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación final: Bach. José E. Cayao Coronel.

Anexo 04. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 04

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO											UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS																	
PROGRESIVA: GAL 486E Km 0 + 60.0 m - Km 0 + 63.0 m.											TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.																	
SISTEMA: UTM WGS84											ATICO - AREQUIPA - PERÚ																	
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N105°																												
RESPONSABLE: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL																												
CÓDIGO: EGC-05											FECHA: Mayo 2020																	
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO					PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES																			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGÍA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS E=Estratíf. D=Diaclasa	RESIST. COMPR. UNIAXIAL σ_{ci}	RQD Tramo ND: 56 L: 2.8 λ : 20	ORIENTACIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC- METEORL.	AGUA	CALIDAD DE INFORM.							
											DIP	DD					1=>2 2=2-0,6 3=0,6-0,2 4=0,2-0,06 5=<0,06	1=<1 2=1-3 3=3-10 4=10-20 5=>20				1=Nada 2=<0,1 3=0,1-1,0 4=1,0-5,0 5=>5	1= Muy Rug. 2= Rugoso 3= Lig. Rug. 4= Ondulada - Lisa 5= Suave	1= Arcilloso 2= Qz / Silic 3= Calcita 4= Oxidos 5= Roca Tritur 6= Bx 7= Panizo 8= Veta	1= Ninguna 2= Duro < 5mm 3= Duro > 5mm 4= Suave < 5mm 5= Suave > 5mm	1= Inalterada 2= Lig. Alt. 3= Mod. Alt. 4= Muy Alt. 5= Descomp	1= Seco 2= Humedo 3= Mojado 4= Goteo 5= Flujo	
																												TIPO
TIPO																												
1	642675.2	8242477	1670	Veta Sulfuro Cu	2	3	2B	E	70	60	50	202	3	4	3	2			8	3	3							2
2								E			60	205																
3								E			52	198																
4								E			56	190																
5					1	1	4MP	Mf			80	85	4	4	3	5	7	5	4	2	1							
6				Andesita	3	2	3P	D1	40	40	41	211	4	3	3	3	4	2	3	2	1							
7								D1			45	230																
8								D1			38	215																
9								D1			37	240																
10								D1			35	212																
11								D1			30	220																
12				Andesita	3	2	3P	D2	42	40	84	184	4	3	2	4	7	4	3	2	1							
13								D2			80	183																
14								D2			72	190																
15								D2			84	188																
16								D2			77	180																
17								D2			83	186																
18								D2			75	178																
19				Andesita	3	2	3M	D3	30	40	67	311	4	3	3	3	4	2	2	2	1							
20								D3			60	315																
21								D3			70	308																
22								D3			65	314																
23								D3			72	320																
24								D3			68	310																
25				Andesita	3	2	3P	D4	40	40	88	102	4	3	3	4	7	4	3	2	1							
26								D4			85	105																
27								D4			88	100																
28								D4			87	110																
29								D4			83	100																
30								D4			79	110																
31								D4			81	99																
																				RMR	31	MALA						
																				TIPO	IV							

Diseño original: I. M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación final: Bach. José E. Cayao Coronel.

Anexo 05. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 05

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO						UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS																
PROGRESIVA: GAL 486E Km 0 + 101.0 m - Km 0 + 103.0 m.						TESIS: EVALUACIÓN GEOMECAÍNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.																
SISTEMA: UTM WGS 84						ATICO - AREQUIPA - PERÚ																
ORIENTACIÓN DEL TUNEL: N101°																						
RESPONSABLE: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL																						
CÓDIGO: EGC-06						FECHA: Mayo 2020						PROPIEDAD DE LAS DISCONTINUIDADES										
DIS Nro.	DATA			MACIZO ROCOSO					TIPOS	RESIST. COMPR.	RQD Tramo	ORIENTACIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSI.	RELLENO		ALTERAC- METEORI.	AGUA	CALIDAD DE INFORM
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOGÍA - FORMACIÓN	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratif. D=Diaclasa	UNIAXIAL	ND: 35	DIP	DD	1= >2	1= <1	1=Nada	1= Muy Rug.	TIPO		DUREZA	ALTERAC- METEORI.	AGUA	CALIDAD DE INFORM
					1= Fresco 2= Lev Met 3= Mod 4= Alt Met 5= Compl	1= Alto 2= Med. 3= Bajo	1= Bloq-Regul 2= Bloq-Iregul 3= Bloq y Capas 4= Fract-Intenso	Fn=F. Nom Fi=F. Inversa Fd=F. Direcc Mf= Microfalla	σci (Mpa)	λ: 17			3= 0,6-0,2	3= 3-10	3= 0,1-1,0	3= Lig. Rug.	3= Calcita	3= Duro < 5mm	3= Mod. Alt.			
					SE= Sobrees. C= Contacto	2	Yp:						5= <0,06	5= >20	5= >5	5= Suave	5= Roca Tritur 6= Bx 7= Panizo 8= Veta	5= Suave > 5mm	5= Descomp	5= Flujo		
1	642711.2	8242456	1670	Veta- Sulfuro Cu	2	3	2B	E	3	70	52	193	3	4	3	2	8	3	3	3	1	
2								E			67	190										
3								E			58	195										
4				Andesita	3	2	3P	D1	30	46	69	334	3	2	3	3	4	2	3	3	1	
5								D1			80	329										
6								D1			75	325										
7								D1			70	330										
8								D1			78	327										
9								D1			75	329										
10								D1			71	338										
11								D1			79	331										
12								D1			73	320										
13				Andesita	3	2	3P	D2	2	49	47	35	3	3	3	3	7	4	3	2	1	
14								D2			45	30										
15								D2			50	15										
16								D2			49	20										
17								D2			43	17										
18								D2			45	26										
19								D2			47	32										
20								D2			40	28										
21								D2			46	33										
22				Andesita	3	2	2	D3	2	48	84	239	3	2	2	3	7	4	3	3	1	
23								D3			81	260										
24								D3			88	215										
25								D3			80	250										
26								D3			83	257										
27								D3			83	220										
28								D3			85	245										
29								D3			82	254										
30								D3			87	240										
31				Andesita	3	2	3	D4	1	49	62	191	4	3	3	3	4	2	3	3	1	
32								D4			50	200										
33								D4			67	185										
34								D4			63	198										
35								D4			58	193										
36								D4			65	201										
37								D4			55	191										
38								D4			60	195										
39								D4			69	188										

Diseño original: E. M. Sc. Víctor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación final: Bach. José E. Cayao Coronel.

Anexo 06. Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 06.

Anexo 07. Autorización de Minera Croacia E.I.R.L.



Minera Croacia E.I.R.L.

EL Superintendente General de Minera Croacia E.I.R.L.:

AUTORIZA:

Al Sr. José Elden Cayao Coronel, identificado con DNI 48434801, el tratamiento de información y uso de la razón social de la empresa para la elaboración del proyecto denominado: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.** que se presentará y sustentará en la Universidad Nacional de Cajamarca.

Se expide el presente para los fines que el interesado estime conveniente,

25 de agosto de 2019

Atentamente,

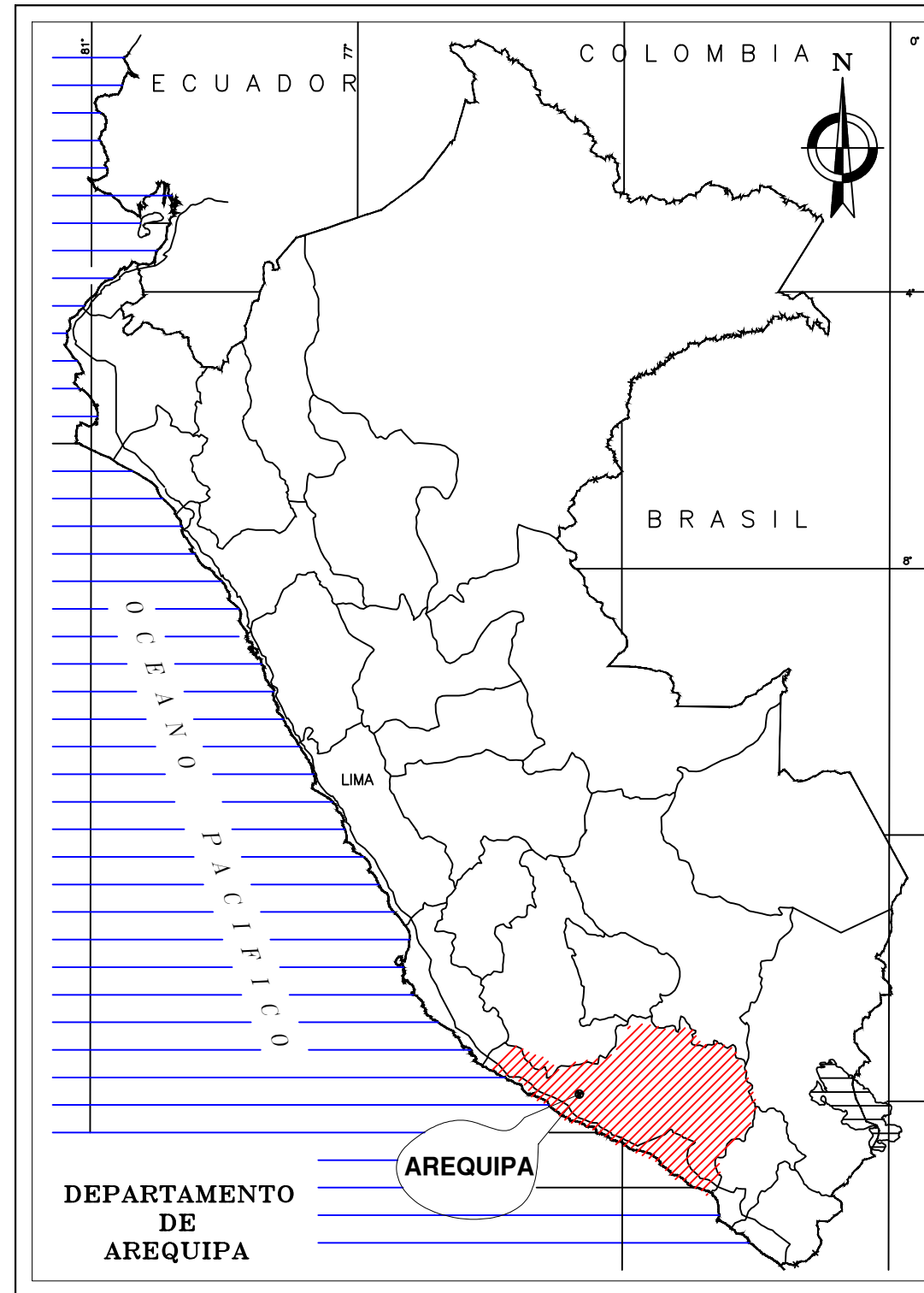

MINERA CROACIA E.I.R.L.
MINA ESPERANZA
.....
Ing. Anibal Chumbe Robles
SUPERINTENDENTE GENERAL



MAPA DE UBICACIÓN



PLANO DE UBICACIÓN



MAPA DE UBICACIÓN

UBICACIÓN

VERTICE	ESTE (X)	NORTE (Y)
1	642,350	8243,050
2	642,500	8243,050
3	642,500	8242,900
4	642,350	8242,900



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

TESISTA: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO DE UBICACIÓN

TESISTA: **JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL**

FECHA : **11/05/20**

UTM : **WGS 84 - ZONA 18S**

ASESOR: **DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO**

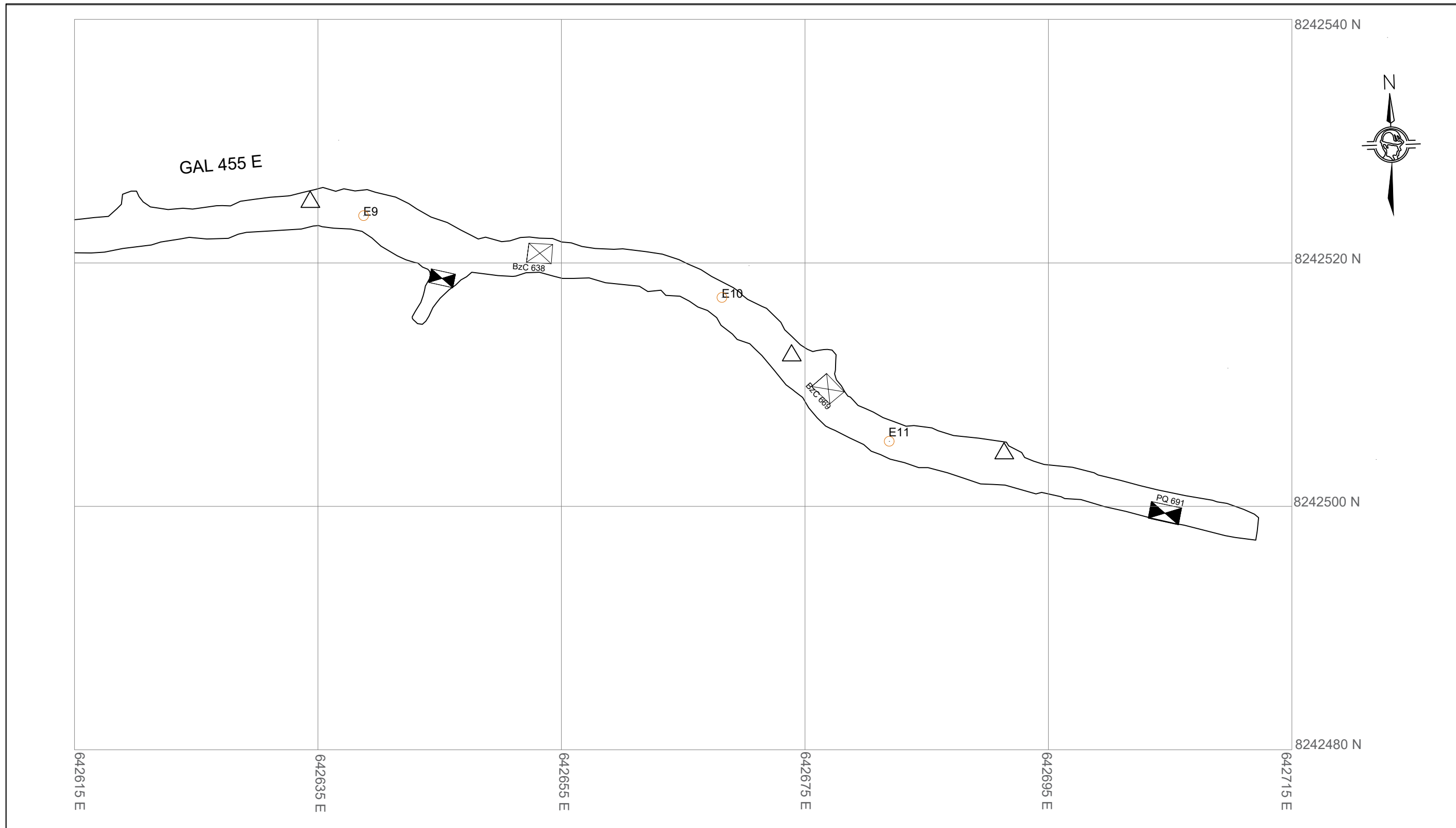
ESCALA : **S.E**



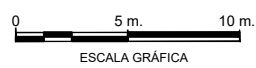
Minera Croacia E.I.R.L.

PLANO:

01



LEYENDA	
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA
	PUNTO TOPOGRÁFICO
	LABOR SUBTERRÁNEA
	PIQUE
	BUZÓN CAMINO



UTM :
WGS 84 - ZONA 18S

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

TESISTA: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO TOPOGRÁFICO NV 1720

TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL

FECHA : 11/05/20

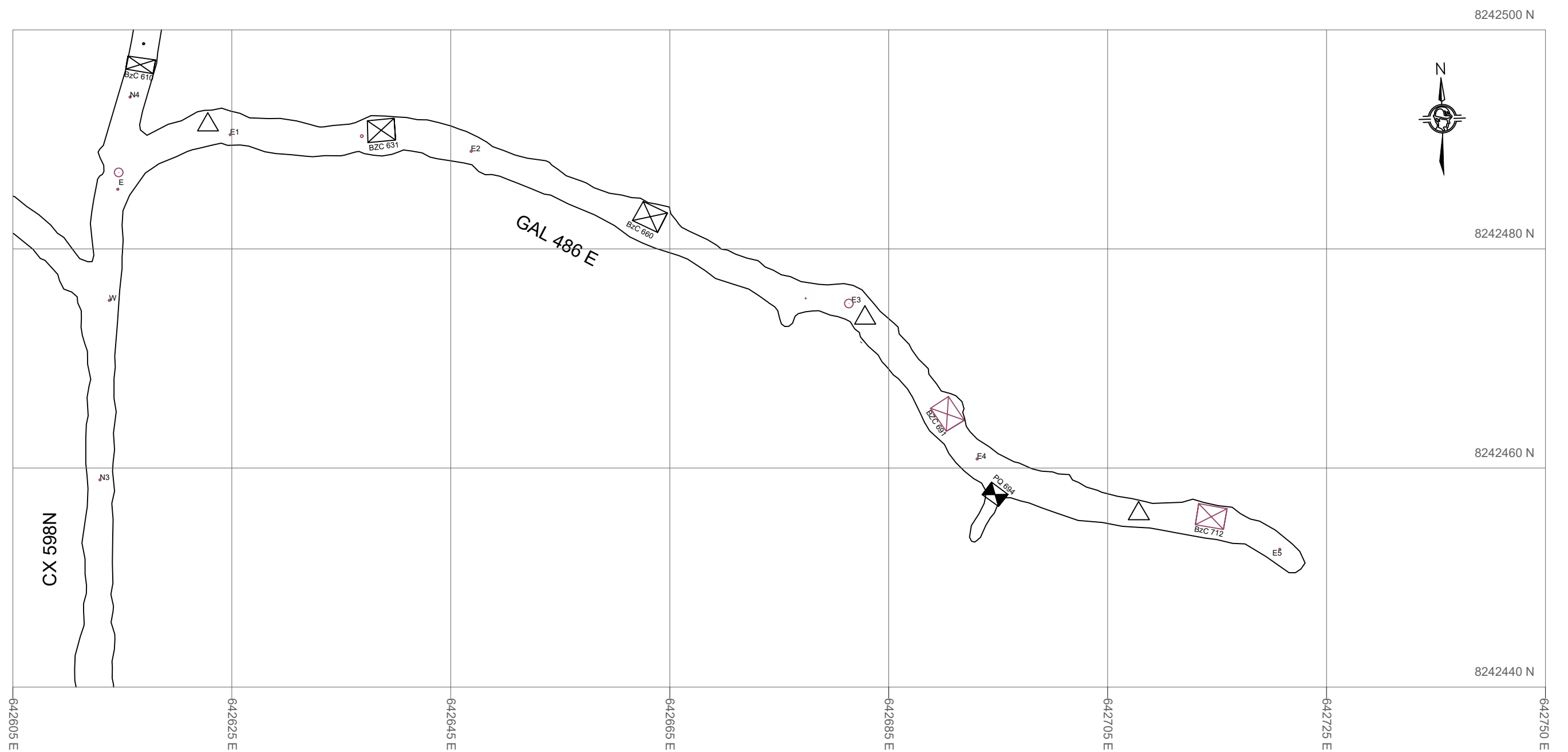
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA : 1/250

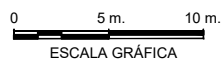


PLANO:

02



LEYENDA	
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA
	PUNTO TOPOGRÁFICO
	LABOR SUBTERRÁNEA
	PIQUE
	BUZON CAMINO



UTM :
WGS 84 - ZONA 18S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO TOPOGRÁFICO NV 1665

TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL

FECHA : 11/05/20

ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

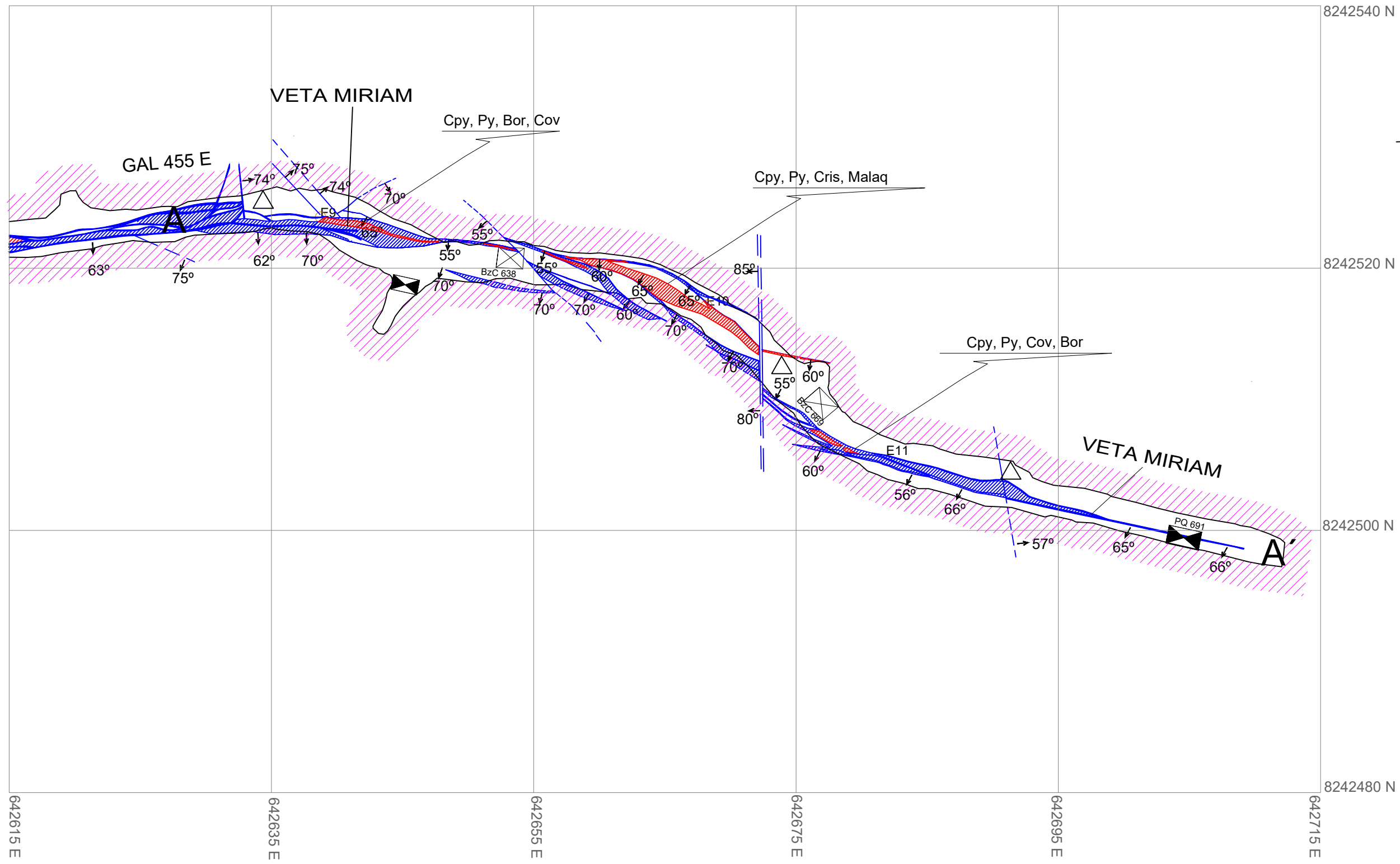
ESCALA : 1/250



Minera Croacia E.I.R.L.

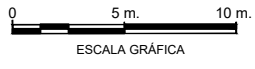
PLANO:

03



LEYENDA	
	ANDESITA
Py	PIRITA
Cpy	CALCOPIRITA
Bor	BORNITA
Cov	COVELINA
Cris	CRISOCOLA
Malaq	MALAQUITA

SIMBOLOGÍA			
	FALLA CONOCIDA		PIQUE
	FALLA INFERIDA		BUZÓN CAMINO
	VETA CONOCIDA		
	VETA INFERIDA		
	LABOR SUBTERRÁNEA		
	RUMBO Y BUZAMIENTO		
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESISTA: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y MINERALÓGICO NV 1720

TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL

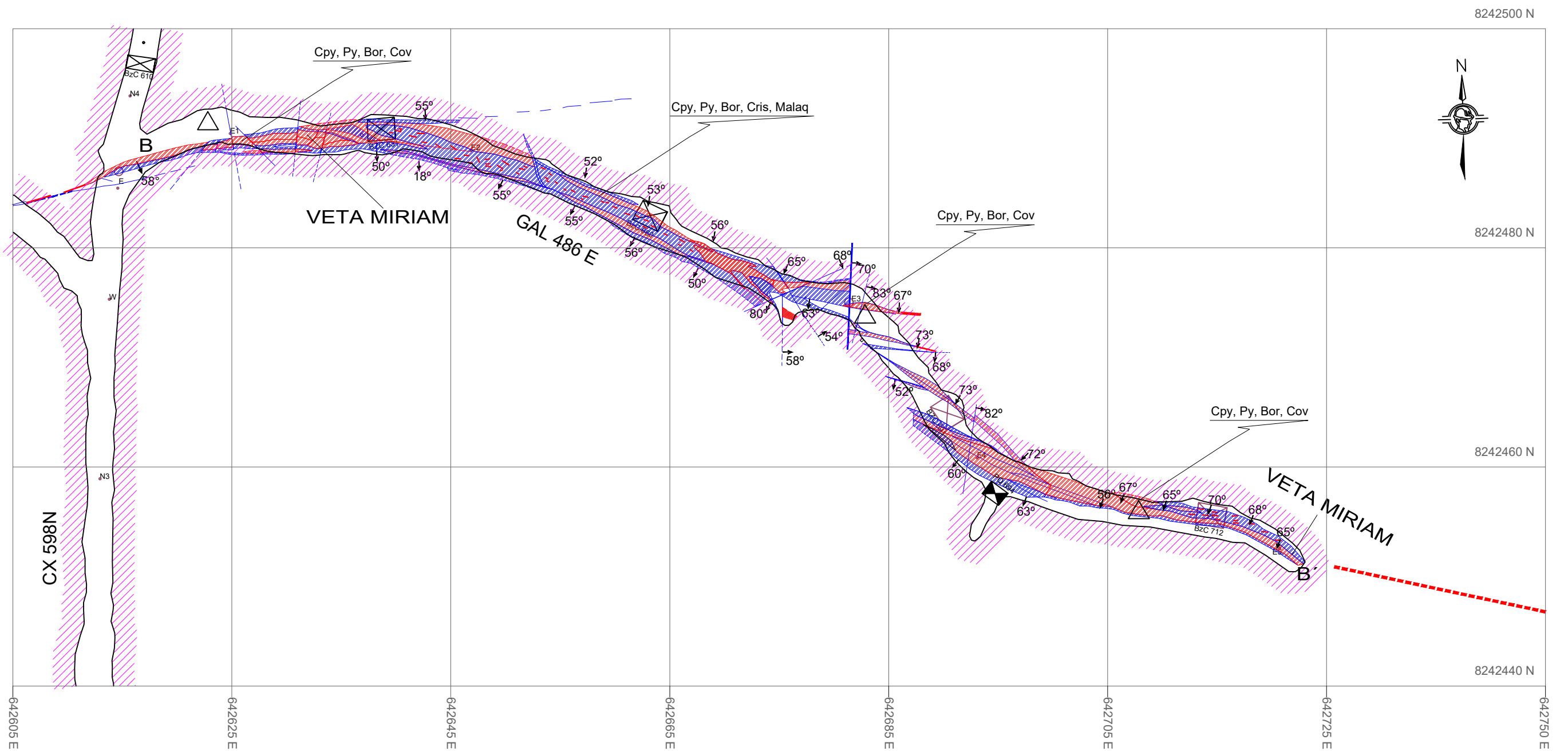
FECHA : 11/05/20

ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA : 1/250

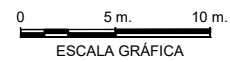


PLANO:
04



LEYENDA	
	ANDESITA
	Py PIRITA
	Cpy CALCOPIRITA
	Bor BORNITA
	Cov COVELINA
	Cris CRISOCOLA
	Malaq MALAQUITA

SIMBOLOGÍA			
	FALLA CONOCIDA		PIQUE
	FALLA INFERIDA		BUZÓN CAMINO
	VETA CONOCIDA		
	VETA INFERIDA		
	LABOR SUBTERRÁNEA		
	RUMBO Y BUZAMIENTO		
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA		



UTM :
WGS 84 - ZONA 18S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESISTA: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO GEOLÓGICO, ESTRUCTURAL Y MINERALÓGICO NV 1665

TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL

FECHA : 11/05/20

ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

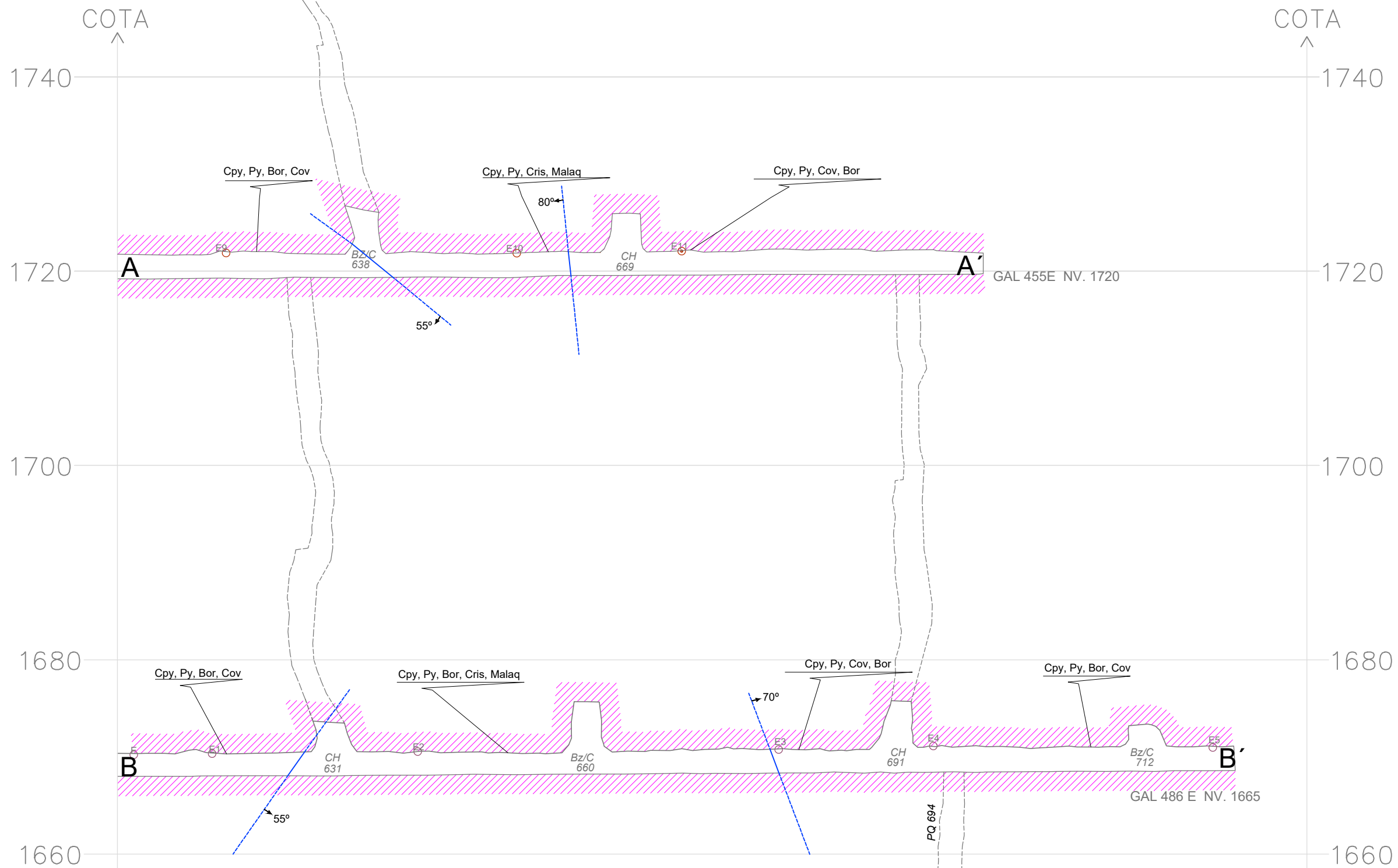
ESCALA : 1/250



Minera Croacia E.I.R.L.

PLANO:

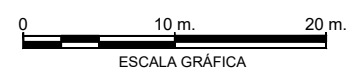
05



Plano Geológico de la Mina: B.U.

LEYENDA	
	ANDESITA
Py	PIRITA
Cpy	CALCOPIRITA
Bor	BORNITA
Cov	COVELINA
Cris	CRISOCOLA
Malaq	MALAQUITA
CH	CHIMENEA
BZ/C	BUZÓN CAMINO
PQ	PIQUE

SIMBOLOGÍA	
	PUNTO TOPOGRÁFICO
	LABOR SUBTERRÁNEA
	FALLA CONOCIDA
	FALLA INFERIDA
	BUZAMIENTO

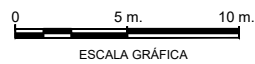
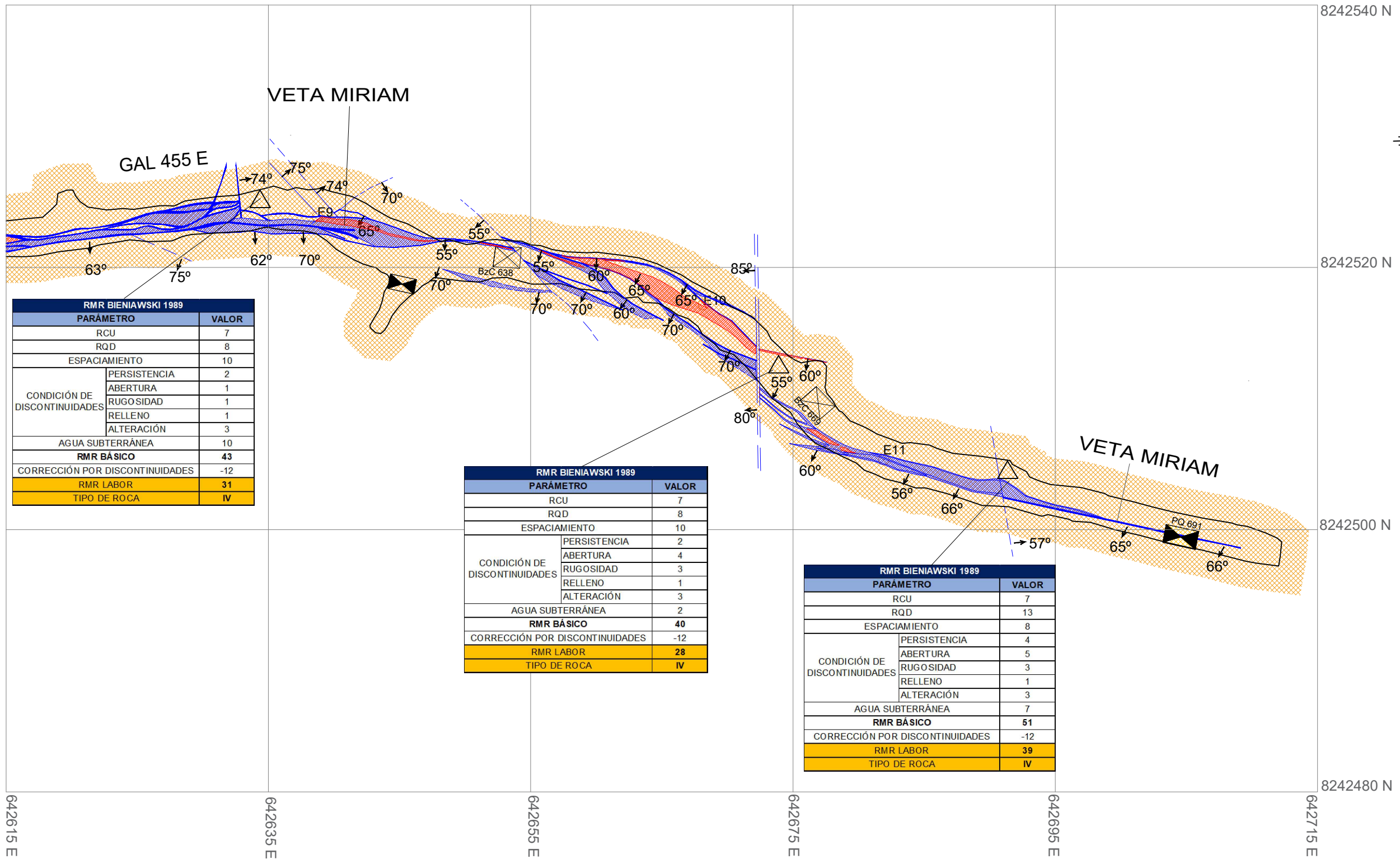


UTM : WGS 84 - ZONA 18S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.		
PLANO EN PERFIL NV 1720 Y NV 1665		
TESISTA:	JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL	FECHA : 11/05/20
ASESOR:	DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	ESCALA : 1/500

Minera Croacia E.I.R.L.

PLANO: **06**



SIMBOLOGÍA	
	FALLA CONOCIDA
	FALLA INFERIDA
	VETA CONOCIDA
	VETA INFERIDA
	LABOR SUBTERRÁNEA
	PIQUE
	BUZÓN CAMINO
	RUMBO Y BUZAMIENTO
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA

LEYENDA					
TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	AUTO SOPORTE	R. M. R.	TIPO DE SOSTENIMIENTO	RIESGO
4	MALA	< 3-7 Dias	41 - 60	- Malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70 x 1.0m. - Cuadro de madera espaciado a 1.20m de acuerdo a la Evaluación Geomecanica	ALTO

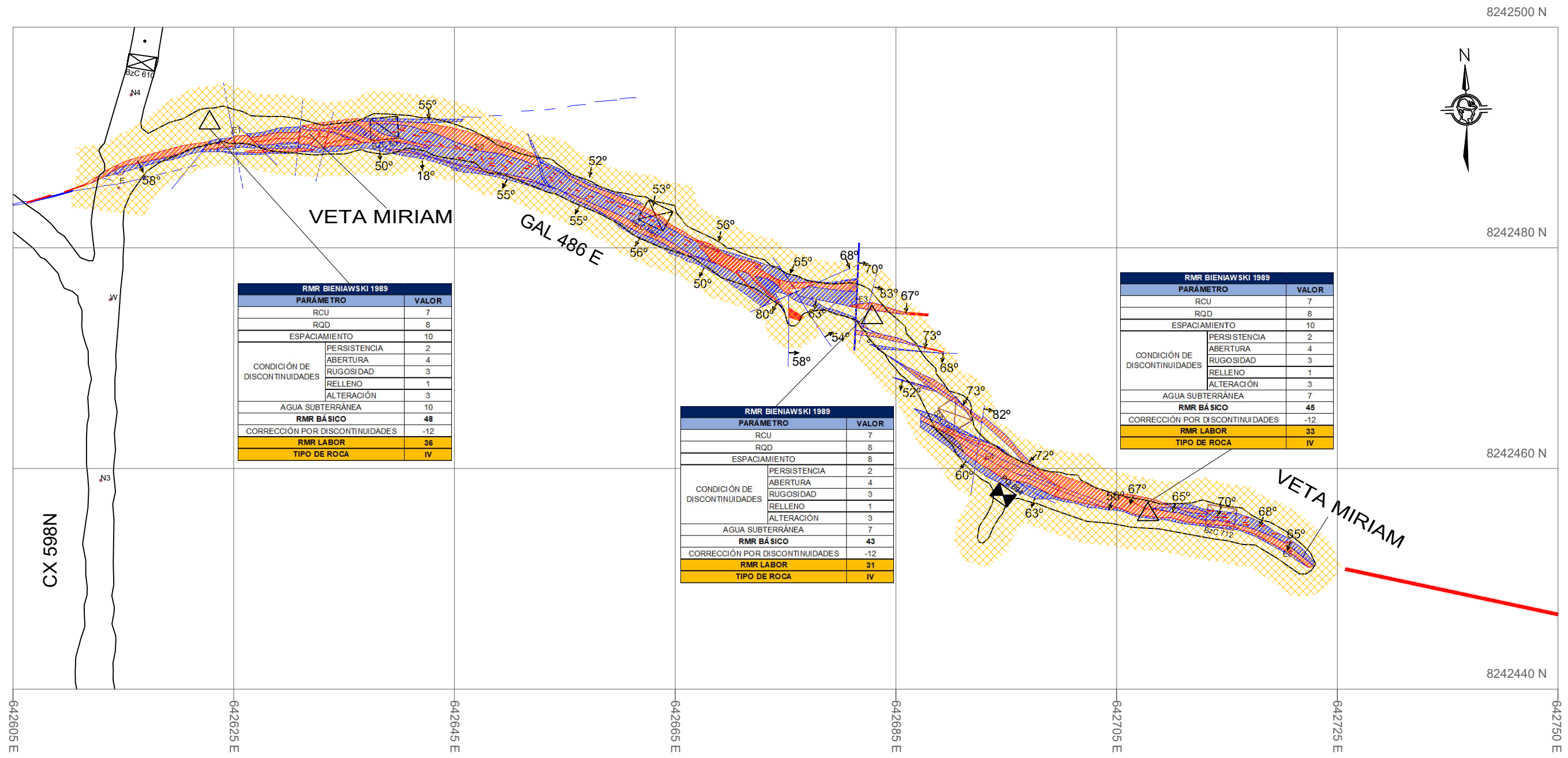


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.	
PLANO GEOMECÁNICO NV 1720	
TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL	FECHA: 11/05/20
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	ESCALA: 1/250



Minera Croacia E.I.R.L.

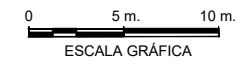
PLANO: **07**



RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
ALTERACIÓN	3	
AGUA SUBTERRÁNEA	10	
RMR BÁSICO	48	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	36	
TIPO DE ROCA	IV	

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	8	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
ALTERACIÓN	3	
AGUA SUBTERRÁNEA	7	
RMR BÁSICO	43	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	31	
TIPO DE ROCA	IV	

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
ALTERACIÓN	3	
AGUA SUBTERRÁNEA	7	
RMR BÁSICO	45	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	33	
TIPO DE ROCA	IV	



SIMBOLOGÍA	
	FALLA CONOCIDA
	FALLA INFERIDA
	VETA CONOCIDA
	VETA INFERIDA
	LABOR SUBTERRÁNEA
	PIQUE
	BUZÓN CAMINO
	RUMBO Y BUZAMIENTO
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA

LEYENDA					
TIPO DE ROCA	CALIDAD DE ROCA	AUTO SOPORTE	R. M. R.	TIPO DE SOSTENIMIENTO	RIESGO
4	MALA	<3 - 7 Días	41 - 60	- Malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70 x 1.0m. - Cuadro de madera espaciado a 1.20m de acuerdo a la Evaluación Geomecanica	ALTO



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

TESISTA: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS NIVELES 1665 Y 1720 DE LA MINA ESPERANZA DE MINERA CROACIA E.I.R.L.**

PLANO GEOMECÁNICO NV 1665

TESISTA: JOSÉ ELDEN CAYAO CORONEL FECHA: 11/05/20

ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO ESCALA: 1/250

UTM : WGS 84 - ZONA 18S

Minera Croacia E.I.R.L.

PLANO: **08**