

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINAS Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL
TÚNEL DE TRASVASE DESDE LA QUEBRADA CAÑIPIA HASTA LA
QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO”**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. GUIDO JUNIOR HUACAC CASTILLO

Bach. ALEXANDRA YAMELYN URQUIZO OCHOA

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO.

ASESORA:

Mgt. Ing. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ

CUSCO – PERÚ

2019

AGRADECIMIENTOS

La paciencia, la dedicación y el amor recibido con el que cada día se preocupaban nuestros padres por el avance y desarrollo de esta tesis, es único y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias a Dios por la vida de nuestros padres, también porque cada día bendice nuestra vida con la maravillosa oportunidad de estar y disfrutar a lado de las personas que amamos.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros logros, gracias a ellos por confiar y creer en nosotros y en nuestras expectativas, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que guiaron nuestra vida.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que nos apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos a nuestros padres, porque ellos siempre estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo y sus consejos para hacer de nosotros una mejor persona.

A los ingenieros de nuestra Escuela profesional, por todos los conocimientos adquiridos en toda la etapa de aprendizaje.

A nuestra asesora de tesis, quien nos apoyó en la realización de la tesis, dándonos ánimos y tiempo necesario para realizarnos profesionalmente, a nuestros amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de nuestros objetivos.

RESUMEN

El presente estudio de investigación titulado “Evaluación geotécnica para la construcción del túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo en el distrito de Espinar – Cusco” se ha realizado con la finalidad de dar respuesta al siguiente problema: ¿Cuáles son las características geológicas, hidrológicas, geotécnicas que presenta la zona de estudio para la ejecución del Túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hacia la quebrada Tucsamayo? Así mismo, el proyecto del túnel de trasvase es necesario para optimizar el curso del agua en la quebrada Tucsamayo. Se plantea como objetivo general de investigación: Determinar las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrológicas para la construcción del túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo en el distrito de Espinar. Para dar respuesta al problema general se ha planteado la siguiente hipótesis: Determinando las condiciones geológicas, hidrológicas y geotécnicas se logrará evaluar si dichas condiciones favorecen a la ejecución del túnel de trasvase.

Para la evaluación geotécnica del ingreso del túnel se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple con martillo de geólogo de un valor aproximado de 5 a 25 Mpa, o 50 a 250 kg/cm², que corresponde a una roca tipo R2, roca blanda. En el eje del túnel se realizaron evaluaciones de estabilidad mediante el programa PHASE 2, a través de los resultados obtenidos de cuatro muestras del ensayo de corte directo: en la primera muestra PD-M-01 un ángulo de fricción interna de 31.3 grados y cohesión de 2.47 Mpa., en la segunda muestra PD-M-02 un ángulo de fricción interna de 28.1 grados y cohesión de 2.70 Mpa., en la tercera muestra PD-M-03 un ángulo de fricción interna de 25.4 grados y cohesión de 2.58 Mpa., y en la cuarta muestra PD-M-04 un ángulo de fricción interna de 25.5 grados y cohesión de 2.98 Mpa. Dichos datos indican un factor de seguridad promedio de 0.95 que muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado siendo este inestable. En la salida del túnel se obtuvo que las propiedades resistentes del material conformado por arena limosa se clasifican en un suelo de tipo S2, con valores aproximados de 0.025 – 0.05 Mpa, y en unidades de kg/cm² sería de 0.25 a 0.5. y de acuerdo con la evaluación de clasificación de materiales se tiene una predominancia de material uniforme de baja compacidad desde la progresiva 0+120 hasta 0+880 y desde la progresiva 0+70 hasta 0+110 de roca con alteración media fuerte.

ABSTRACT

This research study entitled "Geotechnical evaluation for the construction of the transfer tunnel from the Cañipia creek to the Tucsamayo creek in the Espinar district - Cusco" has been carried out in order to respond to the following problem: What are the characteristics geological, hydrological, geotechnical that presents the study area for the execution of the transfer tunnel from the Cañipia creek to the Tucsamayo creek? Likewise, the transfer tunnel project is necessary to optimize the water course in the Tucsamayo gorge. The general objective of research is to determine: Determine the geotechnical, geological and hydrological conditions for the construction of the transfer tunnel from the Cañipia creek to the Tucsamayo creek in the Espinar district. To respond to the general problem, the following hypothesis has been raised: By determining the geological, hydrological and geotechnical conditions, it will be possible to assess whether these conditions favor the execution of the transfer tunnel.

For the geotechnical evaluation of the entrance of the tunnel, a simple compression resistance value was obtained with a geologist hammer of an approximate value of 5 to 25 Mpa, or 50 to 250 kg / cm², which corresponds to a rock type R2, soft rock . In the tunnel axis, stability evaluations were carried out using the PHASE 2 program, through the results obtained from four samples of the direct cut test: in the first sample PD-M-01 an internal friction angle of 31.3 degrees and cohesion 2.47 Mpa., in the second sample PD-M-02 an internal friction angle of 28.1 degrees and cohesion of 2.70 Mpa., in the third sample PD-M-03 an internal friction angle of 25.4 degrees and cohesion of 2.58 Mpa., And in the fourth sample PD-M-04 an internal friction angle of 25.5 degrees and cohesion of 2.98 Mpa. These data indicate an average safety factor of 0.95 that shows the tendency of the pressures horizontally, this generates weakness in the gables of the projected tunnel being this unstable. At the exit of the tunnel it was obtained that the resistant properties of the material formed by silty sand are classified in a soil of type S2, with approximate values of 0.025 - 0.05 Mpa, and in units of kg / cm² it would be 0.25 to 0.5. and according to the evaluation of classification of materials there is a predominance of uniform material of low compactness from the progressive 0 + 120 to 0 + 880 and from the progressive 0 + 70 to 0 + 110 of rock with strong average alteration.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. UBICACIÓN	1
1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	1
1.2.2. UBICACIÓN POLÍTICA.....	2
1.3. ACCESIBILIDAD	2
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	4
1.6. HIPÓTESIS	4
1.7. OBJETIVOS	5
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.8. METODOLOGÍA	5
1.8.1. TIPO DE DOCUMENTACIÓN.....	5
1.8.2. ANÁLISIS DE DATOS	5
1.8.3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	6
1.8.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
1.9. MARCO TEÓRICO	7
1.10. MARCO CONCEPTUAL.....	8
1.10.1. CONCEPTOS GENERALES	8
1.10.2. CONCEPTOS ESPECÍFICOS	10

1.11.	ASPECTOS GEOGRÁFICOS	14
1.11.1.	CLIMA.....	14
1.11.2.	VEGETACIÓN.....	15
1.11.3.	HIDROGRAFÍA.....	15
CAPÍTULO II. GEOMORFOLOGÍA.....		18
2.1.	GENERALIDADES.....	18
2.2.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	18
2.2.1.	CADENA DE CERROS.....	18
2.2.2.	ZONA DE ALTIPLANICIES	19
2.2.3.	ZONA DE COORDILLERA	19
2.2.4.	ZONA DE VALLES	20
2.3.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	20
2.3.1.	LADERAS.....	20
2.3.2.	ESCARPAS.....	21
2.3.3.	TERRAZAS	21
2.3.4.	PLANICIE DE INUNDACIÓN	22
CAPÍTULO III. GEOLOGÍA.....		27
3.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	27
3.1.1.	GRUPO MAURE	27
3.1.2.	FORMACIONES RECIENTES – CUATERNARIO	27
3.2.	GEOLOGÍA LOCAL	28
3.2.1.	ESTRATIGRAFÍA.....	28
3.2.5.	DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-AI)	30
3.2.6.	DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl)	30
CAPÍTULO IV. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....		35
4.1.	UNIDADES MORFOESTRUCTURALES	35

4.1.1. DOMINIOS PALEOGRÁFICOS	35
4.1.2. PLEGAMIENTO.....	35
4.1.3. FALLAMIENTO.....	36
4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	36
4.2.1. SISTEMA DE FALLA YAURI	36
CAPÍTULO V. GEODINÁMICA.....	38
5.1. GEODINÁMICA INTERNA.....	38
5.1.1. SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	38
5.2. GEODINÁMICA EXTERNA.....	39
5.2.1. AGENTES GEODINÁMICOS EXTERNOS	39
5.2.2. FACTORES GEODINÁMICOS EXTERNOS	40
5.2.3. PROCESOS DE GEODINÁMICA EXTERNA	42
CAPÍTULO VI. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA	45
6.1. PARÁMETROS HIDROMETEREOLÓGICOS	45
6.1.1. PRECIPITACIÓN	45
6.1.2. TEMPERATURA.....	49
6.1.3. ESCURRIMIENTO.....	50
6.2. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	52
6.2.1. CAUDALES.....	52
6.3. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	54
6.3.1. FORMACIONES HIDROGEOLOGICAS	54
6.3.2. PERMEABILIDAD Y POROSIDAD	55
CAPÍTULO VII. GEOTECNIA.....	62
7.1. GEOMECÁNICA DE ROCAS.....	63
7.1.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO	63
7.2. GEOMECÁNICA DE SUELOS	68

7.2.1. TRABAJOS DE LABORATORIO	68
7.3. TRABAJOS REALIZADOS	77
7.3.1. PERFORACIÓN DIAMANTINA	77
7.3.2. LOGUEO GEOTÉCNICO	79
7.4. MAPEO GEOTÉCNICO Y TRAZADO DEL TÚNEL DE TRASVASE.....	85
7.5. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL DE TRASVASE	86
7.5.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL INGRESO DEL TÚNEL	86
7.5.2. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL EJE DEL TÚNEL	94
7.5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE SALIDA DEL TÚNEL	112
7.5.4. ANÁLISIS DE SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE TRASVASE.....	118
7.6. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES	122
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	130
A. FOTOGRAFÍAS	130
B. LOGUEO GEOTÉCNICO	133
B.1. PRIMERA PERFORACIÓN	133
B.2. SEGUNDA PERFORACIÓN.....	138
B.3. TERCERA PERFORACIÓN	145
B.4. CUARTA PERFORACIÓN	152
C. ENSAYO DE PERMEABILIDAD	158
C.1. PRIMER ENSAYO - LEFRANC.....	158
C.2. SEGUNDO ENSAYO – LEFRANC.....	159
C.3. TERCER ENSAYO – LEFRANC.....	160
C.4. CUARTO ENSAYO – LEFRANC.....	161

D.	ENSAYOS DE LABORATORIO	162
D.1.	PRIMERA PERFORACIÓN.....	162
D.2.	SEGUNDA PERFORACIÓN	164
D.3.	TERCERA PERFORACIÓN.....	166
D.4.	CUARTA PERFORACIÓN	168
E.	MODELAMIENTO DE LA SECCIÓN DEL EJE DEL TÚNEL.....	170
F.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	180

CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1. Se observa la vegetación predominante en la zona de estudio.....	15
Fotografía N° 2. Cadena de cerros hacia el nor-este de la zona de estudio.....	18
Fotografía N° 3. Zona de altiplanicie en la zona de estudio.....	19
Fotografía N° 4. Laderas bajas con ángulo de 15°.....	21
Fotografía N° 5. Zona de planicie en el área de estudio.....	22
Fotografía N° 6. Material geológico representativo en la zona de salida del túnel proyectado, que viene a ser toba volcánica residual, observamos que se halla erosionado y cubierto por material coluvial.....	28
Fotografía N° 7. Material volcánico en la quebrada Tucsamayo.....	29
Fotografía N° 8. Material aluvial presente en el río Cañipia.....	30
Fotografía N° 9. Observación del Río Cañipia con mayor caudal.....	45
Fotografía N° 10. Medición del caudal en época seca.....	52
Fotografía N° 11. Medición del caudal en época de lluvias.....	53
Fotografía N° 14. Ensayo Granulométrico.....	71
Fotografía N° 15. Ensayo de límite Líquido.....	72
Fotografía N° 16. Ensayo de Limite Plástico.....	74
Fotografía N° 12. Equipo de perforación LY-38.....	77
Fotografía N° 13. Equipo de perforación UDM-10.....	78
Fotografía N° 17. Localización del área de ingreso del túnel proyectado.....	88
Fotografía N° 18. Estación geomecánica 01 en el ingreso del túnel.....	91
Fotografía N° 19. Determinación del área de estudio.....	130
Fotografía N° 20. Reconocimiento litológico con ayuda del mapa geológico proporcionado por INGEMMET.....	130
Fotografía N° 21. Localización del ingreso del túnel.....	131
Fotografía N° 22. Determinación del rumbo de las estructuras representativas.....	131
Fotografía N° 23. Zona de salida del túnel proyectado.....	132
Fotografía N° 24. Quebrada cañipia, en la que se halla el caudal mayor.....	132
Fotografía N° 25. Sondaje DHT-01. Caja 1 desde 0.00 hasta 3.00.....	133
Fotografía N° 26. Sondaje DHT-01 Caja 2 desde 3.00 hasta 6.00.....	133
Fotografía N° 27. Sondaje DHT-01 Caja 3 desde 6.00 hasta 9.00.....	133
Fotografía N° 28. Sondaje DHT-01 Caja 4 desde 9.00 hasta 11.90.....	134
Fotografía N° 29. Sondaje DHT-01 Caja 5 desde 11.90 hasta 14.90.....	134

Fotografía N° 30. Sondaje DHT-01 Caja 6 desde 14.90 hasta 17.80.....	134
Fotografía N° 31. Sondaje DHT-01 Caja 7 desde 17.80 hasta 20.80.....	135
Fotografía N° 32. Sondaje DHT-01 Caja 8 desde 20.80 hasta 24.40.....	135
Fotografía N° 33. Sondaje DHT-01 Caja 9 desde 24.40 hasta 26.60.....	135
Fotografía N° 34. Sondaje DHT-02 Caja 1 desde 0.00 hasta 4.00.....	138
Fotografía N° 35. Sondaje DHT-02 Caja 2 desde 4.00 hasta 8.00.....	139
Fotografía N° 36. Sondaje DHT-02 Caja 3 desde 8.00 hasta 11.70.....	139
Fotografía N° 37. Sondaje DHT-02 Caja 4 desde 11.70 hasta 15.60.....	139
Fotografía N° 38. Sondaje DHT-02 Caja 5 desde 15.60 hasta 19.60.....	140
Fotografía N° 39. Sondaje DHT-02 Caja 6 desde 19.60 hasta 22.70.....	140
Fotografía N° 40. Sondaje DHT-02 Caja 7 desde 22.70 hasta 27.10.....	140
Fotografía N° 41. Sondaje DHT-02 Caja 8 desde 27.10 hasta 30.90.....	141
Fotografía N° 42. Sondaje DHT-02 Caja 9 desde 30.90 hasta 34.50.....	141
Fotografía N° 43. Sondaje DHT-02 Caja 10 desde 34.50 hasta 36.10.....	141
Fotografía N° 44. Sondaje DHT-03 Caja 1 desde 0.00 hasta 3.00.....	145
Fotografía N° 45. Sondaje DHT-03 Caja 2 desde 3.00 hasta 7.90.....	146
Fotografía N° 46. Sondaje DHT-03 Caja 3 desde 7.90 hasta 10.90.....	146
Fotografía N° 47. Sondaje DHT-03 Caja 4 desde 10.90 hasta 13.80.....	146
Fotografía N° 48. Sondaje DHT-03 Caja 5 desde 13.80 hasta 16.60.....	147
Fotografía N° 49. Sondaje DHT-03 Caja 6 desde 16.60 hasta 19.40.....	147
Fotografía N° 50. Sondaje DHT-03 Caja 7 desde 19.40 hasta 22.30.....	147
Fotografía N° 51. Sondaje DHT-03 Caja 8 desde 22.30 hasta 25.20.....	148
Fotografía N° 52. Sondaje DHT-03 Caja 9 desde 25.20 hasta 28.00.....	148
Fotografía N° 53. Sondaje DHT-03 Caja 10 desde 28.00 hasta 30.20.....	148
Fotografía N° 54. Sondaje DHT-04 Caja 1 desde 0.00 hasta 2.80.....	152
Fotografía N° 55. Sondaje DHT-04 Caja 2 desde 2.80 hasta 5.50.....	152
Fotografía N° 56. Sondaje DHT-04 Caja 3 desde 5.50 hasta 8.40.....	152
Fotografía N° 57. Sondaje DHT-04 Caja 4 desde 8.40 hasta 11.10.....	153
Fotografía N° 58. Sondaje DHT-04 Caja 5 desde 11.10 hasta 14.00.....	153
Fotografía N° 59. Sondaje DHT-04 Caja 6 desde 14.00 hasta 16.60.....	153
Fotografía N° 60. Sondaje DHT-04 Caja 7 desde 16.60 hasta 19.50.....	154
Fotografía N° 61. Sondaje DHT-04 Caja 8 desde 19.50 hasta 22.40.....	154
Fotografía N° 62. Sondaje DHT-04 Caja 9 desde 22.40 hasta 25.20.....	154
Fotografía N° 63. Sondaje DHT-04 Caja 10 desde 25.20 hasta 25.60.....	155

CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen N° 1. Vista Satelital de la Ubicación del túnel de trasvase. (Fuente: SAS PLANET).	3
Imagen N° 2. Relación entre la precipitación y el escurrimiento total. (Fuente: Villón Bejar - Hidrología).....	51
Imagen N° 3. Esquema de la prueba de permeabilidad Lefran. (Fuente: Hidrogeología FISCH).	58
Imagen N° 4. Eje del túnel de trasvase proyectado.	62
Imagen N° 5. Esquema del ensayo del corte sencillo y del corte doble. (Fuente: Normativa ASTM D 3080).....	75
Imagen N° 6. Dispositivo para el ensayo de corte directo. (Fuente: Normativa ASTM D 3080).....	76
Imagen N° 7. Eje del túnel de trasvase con la ubicación de las perforaciones diamantinas realizadas.	78
Imagen N° 8. Determinación del largo de los testigos y el ángulo con respecto al eje del sondaje. (Fuente: Gonzales de Vallejo).....	80
Imagen N° 9. Corte de sección de túnel proyectado. (Elaboración: propia).	85
Imagen N° 10. Análisis cinemático en el ingreso del túnel con el software Dips 6.0. (Elaboración: propia).....	92
Imagen N° 11. Estereofalcilla del análisis cinemático con el software Dips 6.0. (Elaboración: propia).....	93
Imagen N° 12. Diagrama Rossette del análisis cinemático en el ingreso del túnel. (Elaboración: propia).....	93
Imagen N° 13. Localización de las perforaciones diamantinas.(Elaboración: propia) ..	94
Imagen N° 14. Sección del sondaje DHT-01, en la progresiva 0+120 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).....	104
Imagen N° 15. Sección del sondaje DHT-01, en la progresiva 0+120 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).	105
Imagen N° 16. Sección del sondaje DHT-02, en la progresiva 0+400 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).....	106
Imagen N° 17. Sección del sondaje DHT-2, en la progresiva 0+400 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).	107

Imagen N° 18. Sección del sondaje DHT-3, en la progresiva 0+480 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).....	108
Imagen N° 19. Sección del sondaje DHT-3, en la progresiva 0+480 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).....	109
Imagen N° 20. Sección del sondaje DHT-04, en la progresiva 0+710 (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).....	110
Imagen N° 21. Sección del sondaje DHT-04, en la progresiva 0+710 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).....	111
Imagen N° 22. Análisis de estabilidad de talud de la salida del túnel - Método de BISHOP. (Elaboración: propia).....	117
Imagen N° 23. Análisis de estabilidad de talud de la salida del túnel - Método de JAMBU SIMPLIFICADO. (Elaboración: propia).....	117

CONTENIDO DE CUADROS Y DIAGRAMAS

Cuadro N° 1. Coordenadas Geográficas (Elaboración Propia).....	1
Cuadro N° 2. Coordenadas UTM. (Elaboración propia).....	2
Cuadro N° 3. Ubicación política. (Elaboración Propia).....	2
Cuadro N° 4. Coordenadas UTM de acceso al túnel de trasvase. (Elaboración Propia)..	2
Cuadro N° 5. Unidades Geomorfológicas en la zona de estudio.	23
Cuadro N° 6. Unidades Litoestratigraficas de la zona del túnel de trasvase. (Fuente INGEMMET – Editado Propio).....	31
Cuadro N° 7. Factores de zona "Z"	39
Cuadro N° 8. Estaciones regionales disponibles. (Fuente: SENAMHI)	46
Cuadro N° 9. Precipitación Total mensual y anual (mm). (Fuente: SENAMHI).....	47
Cuadro N° 10. Precipitación anual media y distribución mensual para el área de estudio. (Elaboración: Propia).....	48
Cuadro N° 11. Datos de caudal registrados en época seca en la Quebrada Tucsamayo y en la Quebrada Cañipia. (Fuente: propia).....	53
Cuadro N° 12. Datos de caudal registrados en época de lluvias en la Quebrada Tucsamayo y en la Quebrada Cañipia. (Fuente: propia).....	54
Diagrama N° 1. Climograma de Espinar . (Fuente: Data climática).....	49
Diagrama N° 2. Temperatura mensual en Espinar- (Elaboración Propia)	49
Diagrama N° 3. Sostenimientos según el índice Q.....	120
Diagrama N° 4. Longitudes de Pase y tiempos de estabilidad sin soporte.....	122

CONTENIDO DE PLANOS

<u>PLANO 01. UBICACIÓN</u>	16
<u>PLANO 02. ACCESIBILIDAD</u>	17
<u>PLANO 03. GEOMORFOLÓGICO REGIONAL</u>	24
<u>PLANO 04. GEOMORFOLÓGICO LOCAL</u>	25
<u>PLANO 05. PENDIENTES</u>	26
<u>PLANO 06. GEOLÓGICO REGIONAL</u>	32
<u>PLANO 07. GEOLÓGICO LOCAL</u>	33
<u>PLANO 08. SECCIÓN GEOLÓGICA</u>	34
<u>PLANO 09. ESTRUCTURAL</u>	37
<u>PLANO 10. ZONIFICACIÓN SÍSMICA</u>	44
<u>PLANO 11. HIDROLÓGICO</u>	60
<u>PLANO 12. HIDROGEOLÓGICO</u>	61
<u>PLANO 13. GEOTÉCNICO</u>	125



CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación titulado “**Evaluación Geotécnica para la construcción del túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo en el Distrito de Espinar - Cusco**”, el área de estudio se encuentra al norte del Distrito de Espinar, Provincia de Espinar, Departamento del Cusco.

El estudio para la construcción del túnel de trasvase es necesario para optimizar el curso de agua en la Quebrada Tucsamayo y mejorar la calidad de vida de la población.

Dicho estudio comprende una serie de disciplinas, tales como: geología, realizar el reconocimiento de las distintas formaciones geológicas del substrato donde se proyecta el Túnel de trasvase de Espinar, reconocer las distintas unidades geomorfológicas donde se proyecta el Túnel de trasvase de Espinar, reconocer las condiciones hidrogeológicas de la zona, caracterizar la actividad estructural que nos permita saber si presenta actividad, investigaciones directas en base a perforaciones diamantinas, ensayos in-situ y ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas.

Los estudios a realizar tienen por finalidad determinar las características físicas y mecánicas del material geológico, así mismo, nos permitieron obtener la información necesaria para la evaluación y en consecuencia la elaboración de la tesis.

1.2. UBICACIÓN

El presente estudio está ubicado al norte del distrito de Espinar, provincia de Espinar, departamento de Cusco.

1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

A. Coordenadas Geográficas:

LATITUD	13°21'38.55"S
LONGITUD	72°14'17.02"E

Cuadro N° 1. Coordenadas Geográficas (Elaboración Propia).



B. Coordenadas UTM.

Coordenadas UTM	WGS 84
ZONA	18 L
X	240136
Y	8365478
Altitud	3896 m.s.n.m.

Cuadro N° 2. Coordenadas UTM. (Elaboración propia).

1.2.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Distrito	Espinar
Provincia	Espinar
Departamento	Cusco
Región	Cusco

Cuadro N° 3. Ubicación política. (Elaboración Propia).

1.3. ACCESIBILIDAD

Es accesible mediante tres vías diferente, como son: la carretera asfaltada desde la ciudad de Cusco – Sicuani – Espinar, la otra vía principal es por la carretera Arequipa – Negromayo – Occoruro – Pallpata- Espinar, adicionalmente se tiene otra vía desde la ciudad de Puno – Juliaca – Ayaviri – Llalli – Pallpata Espinar, todas estas vías son asfaltadas, entre 3:30 a 4:30 horas de viaje desde Cusco, seguidamente hasta la zona del proyecto del Túnel adicionalmente 10 minutos hacia el norte de la localidad por una vía de trocha carrozable.

N°	ESTE	NORTE	COTA	DETALLE
1	240450	8363217	3919	CIUDAD DE ESPINAR
2	239710	8365386	3890	INGRESO DEL TUNEL
3	239703	8365425	3890	INGRESO DEL TUNEL
4	240643	8365578	3888	SALIDA DEL TUNEL
5	240458	8365539	3888	SALIDA DEL TUNEL

Cuadro N° 4. Coordenadas UTM de acceso al túnel de trasvase. (Elaboración Propia).



Imagen N° 1. Vista Satelital de la Ubicación del túnel de trasvase. (Fuente: SAS PLANET).

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el distrito de Espinar no existe una evaluación geotécnica para la construcción del túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo, por lo que es necesario realizar una investigación que permita determinar las características geológicas, propiedades geotécnicas, condiciones hidrogeológicas, hidrologicas, las características para el diseño del túnel, tratamiento de estabilización y seguridad para la ejecución del túnel con la finalidad de optimizar el curso de agua en la quebrada Tucsamayo.



1.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.2.1. PREGUNTA GENERAL

¿Cuáles son las características geológicas, hidrológicas, geotécnicas que presenta la zona de estudio para la ejecución del Túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hacia la quebrada Tucsamayo?

1.4.2.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

1. ¿Qué caracterización geomorfológica presenta la zona de estudio?
2. ¿Cuáles son la características estratigráficas en el área de estudio?
3. ¿Cuáles son las condiciones estructurales que presenta la zona de estudio?
4. ¿Cuál es la sismicidad que presenta la zona de estudio?
5. ¿Qué condiciones hidrogeológicas e hidrológicas presenta la zona de estudio?
6. ¿Qué características geotécnicas presenta la zona de estudio?

1.5. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio de investigación tiene la necesidad de determinar las condiciones geotécnicas e hidrológicas para la construcción del túnel de trasvase desde la quebradas Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo para incrementar el caudal de agua en la zona de estudio.

1.6. HIPÓTESIS

Determinando las condiciones geológicas, hidrológicas y geotécnicas, así como la estabilidad y seguridad en la ejecución del túnel de trasvase para incrementar el caudal de agua en la quebrada Tucsamayo se logrará evaluar si dichas condiciones favorecen a la ejecución del túnel de trasvase.

Por consiguiente se logrará optimizar el curso de agua en la quebrada Tucsamayo y mejorar la calidad de vida de la población.



1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrológicas para la construcción del túnel de trasvase desde la quebrada Cañipia hasta la quebrada Tucsamayo en el distrito de Espinar.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar la geomorfología local de la zona de estudio.
2. Identificar las características estratigráficas de la zona de estudio.
3. Identificar la geología estructural de la zona del túnel de trasvase.
4. Determinar la sismicidad que presenta la zona de estudio.
5. Determinar las condiciones Hidrogeológicas e hidrológicas de la zona de estudio.
6. Evaluar geotécnicamente la zona de estudio.

1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. TIPO DE DOCUMENTACIÓN

Investigación hipotética, descriptiva y explicativa.

Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post-facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

1.8.2. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos deberán ser cuantitativos y cualitativos para su interpretación.

- Los datos serán analizados en el software Dips 6.0 del paquete Rocscience,
- El software Phase2 versión 8.0 del paquete Rocscience es un programa para aplicaciones de suelos y rocas.
- El programa Slide, del paquete Rocscience es el software de análisis de estabilidad de taludes



- Los mapas serán realizados con el programa ArcGis.

1.8.3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Organización

Trabajo de antecedentes bibliográficos de la zona de estudio y la evaluación en campo de los problemas geotécnicos.

Recursos

Recursos Humanos

Evaluador : Bach. Guido Junior Huacac Castillo

Bach. Alexandra Yamelyn Urquizo Ochoa

Asesora : Mgt. Josefina Escalante Gutiérrez

Recursos Físicos

- La quebrada de Tucsamayo y la quebrada de Cañipia.
- Instrumentación a utilizar.

Recursos Financieros

A cargo de los que suscriben.

1.8.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los estudios se realizaron siguiendo las siguientes etapas:

1.8.4.1. ETAPA DE RECONOCIMIENTO O PRE-CAMPO

Recopilación de información necesaria, procediéndose a su revisión bibliográfica. Para ello se obtuvo información de instituciones como: INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico), SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), ANA (Autoridad Nacional del Agua).



1.8.4.2. ETAPA DE CAMPO

Se realizó el método de levantamiento de datos superficiales de la calidad de la Roca mediante la clasificación RMR, se realizó por el método de ventanas, este método consiste en recoger datos de las características físicas de la roca como son el estado de las discontinuidades, en grado de alteración continuidad, persistencia, humedad, rugosidad, resistencia, RQD y lo más importante datos de rumbo y dirección de buzamiento de las discontinuidades, para la realización del análisis cinemático del talud.

1.8.4.3. ETAPIA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN O POST-CAMPO

Se desarrollaron trabajos de laboratorio los que se han orientado a determinar las características de los materiales obtenidos en campo.

Estos ensayos se han efectuado a las muestras disturbadas y según las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials (ASTM).

1.9. MARCO TEÓRICO

La Ingeniería Geotécnica es la ciencia y práctica de aquella parte de la Ingeniería Geológica que involucra materiales naturales encontrados cerca de la superficie de la tierra. En sentido general, incluye la aplicación de los principios fundamentales de la mecánica de suelos y de la mecánica de rocas a los problemas de diseño de cimentaciones. **(Braja M. Das, 2001).**

La estabilidad de las obras subterráneas en general y de los túneles en particular requiere, en la mayoría de los casos, reforzar la roca o el terreno circundante de modo que quede garantizada su estabilidad a corto y largo plazo, así como su adecuada funcionalidad durante su vida útil. El sostenimiento es un refuerzo provisional del terreno durante el tiempo de ejecución de la obra subterránea, en cambio el revestimiento o fortificación tiene el significado de refuerzo definitivo o final que garantice la estabilidad, durabilidad y adecuada funcionalidad de la obra subterránea a largo plazo. **(Mellado E. Miguel, 2010).**

El diseño y la construcción de túneles y obras subterráneas es una actividad dinámica, con condiciones geológicas, geotécnicas e hidrológicas cambiantes que requieren una rápida respuesta. Resulta imposible prever la totalidad de las contingencias que se



presentarán en una obra de este tipo, pero es factible minimizarlas si nos anticipamos a ellas, el trabajo de la supervisión y/o interventoría es una herramienta eficaz para llevar esto a cabo. Pues bien, el diseño de un túnel no puede seguir el proceso ordinariamente aplicado al resto de los tipos estructurales, porque existen hechos no habituales en otras especialidades de la ingeniería, entre los que hay que destacar, en primer lugar, la complejidad del propio elemento estructural. (López J. Carlos, 1997).

1.10. MARCO CONCEPTUAL

1.10.1. CONCEPTOS GENERALES

ESTUDIO GEOLÓGICO

Comprende el estudio de la estratigrafía, geomorfología, hidrología, geología estructural relacionados a los procesos dinámicos de la tierra como los deslizamientos de tierra o roca. (Gonzales de Vallejo, 2009)

GEOMECAÁNICA

Implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica, mecánica de suelos y mecánica de rocas.

El primero trata del comportamiento de suelo desde pequeña escala a una escala de talúd. Este último se refiere a temas en ciencias de la tierra relacionados con la caracterización de masas de las rocas y de la mecánica de las rocas, como se aplica a la industria del petróleo o altas profundidades, diseño de túneles, rotura de las rocas, y los útiles de perforación. (Muñoz L., 2005)

GEOTECNIA

Ciencia teórica-práctica dedicada a la investigación, estudio y solución de problemas relacionados con las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles que surgen como resultado de la interacción entre la geología, las obras y actividades del hombre, así como la predicción y desarrollo de medidas para la prevención o remediación de peligros geológicos. (Muñoz L., 2005)

INGENIERÍA GEOTÉCNICA

La Ingeniería Geotécnica es la rama de la ingeniería civil que emplea métodos científicos para determinar, evaluar y aplicar la interrelación entre el medio ambiente geológico y las obras de ingeniería. En un contexto práctico, la Ingeniería Geotécnica abarca la evaluación, diseño y construcción con materiales de la tierra. (Gonzales de Vallejo, 2009)



EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

La evaluación geotécnica consiste en recurrir a los preceptos de la ingeniería para el desarrollo de obras civiles de acuerdo a las cualidades de los materiales que se encuentran en dicho lugar de evaluación, también es necesario conocer las condiciones físicas del entorno y las propiedades mecánicas del material para el adecuado diseño y ejecución de obras de ingeniería. (Gonzales de Vallejo, 2009)

GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es una rama de la geografía física y de la geología que tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y su actual comportamiento. (Muñoz L., 2005)

GEODINÁMICA

Parte de la geología física o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) y acción de los esfuerzos externos (geodinámica externa). (Muñoz L., 2005)

MODELO GEOLÓGICO

Representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia.

MODELO GEOMECÁNICO

Representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica de los materiales y su clasificación geomecánica.

DISEÑO DE TALÚD

El diseño de talud debe incluir los siguientes elementos: Diseño de la forma del talud, pendientes; Diseño de las obras de manejo de aguas de escorrentía; Diseño de las obras de protección de la superficie del terreno; Diseño de las obras de control geotécnico (Subdrenajes, muros y otros sistemas de estabilización que se requieren). (Davila H., 2009)

PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico o peligrosidad sísmica de una región se denomina a la probabilidad de que se produzcan en ella movimientos sísmicos de una cierta importancia en un plazo



determinado. No debe confundirse este concepto con el de riesgo sísmico, que depende de factores antrópicos y se refiere a los daños potenciales.

GEOTECNIA DE TÚNELES

La geotecnia de túneles es esencial por que da a conocer con detalle las características del terreno involucrado, con este fin se debe realizar un reconocimiento del terreno, este debe definir la tipología y dimensiones de la obra, así como determinar los problemas constructivos.

La construcción de túneles subterráneos depende en gran medida de las características de los materiales (arcillas, rocas, etc.) a través de los cuales van a ser perforados, para definir el sistema de construcción, la duración de la obra y los costos. También investiga el riesgo para los seres humanos y los previsible fenómenos naturales o ambientales (movimientos sísmicos, porosidad del terreno ante las lluvias, etc.), así como los fenómenos que previsiblemente pueden provocar la actividad humana. (Davila H., 2009)

1.10.2. CONCEPTOS ESPECÍFICOS

○ TÚNELES

Son excavaciones subterráneas en las cuales las dimensiones de los lados de la sección transversal (ancho y altura) son similares, y adicionalmente bastante reducidas en comparación con la longitud del proyecto; además la pendiente de su eje longitudinal es aproximadamente horizontal y tiene dos salidas al exterior del terreno (portales de entrada y salida). (Tumialan P., 1994)

○ GALERÍAS

Las galerías se diferencian de los túneles en que éstas tienen secciones transversales más reducidas, se utilizan a menudo para el emplazamiento de tuberías hidráulicas o de redes secas, como obras de sub-drenaje, o también se incorporan como parte inicial de la excavación de la sección transversal por etapas de un túnel. Lo anterior, en algunas oportunidades sirve como complemento de la fase de estudios y exploración de suelos para completar los diseños, y de este modo programar las actividades de excavación y construcción del sistema de soporte de la mejor manera, ya que los problemas ingenieriles pueden ser pronosticados por observación a escala real. (Navarro S., 2000)



○ TÚNELES HIDRÁULICOS

Estos túneles se construyen para el transporte de agua, principalmente en hidroeléctricas, para sistemas de riego, abastecimiento humano y navegación. Dependiendo del régimen hidráulico como funcionen, se pueden clasificar en túneles a presión o a flujo libre, lo que conlleva cambios en las premisas de diseño para cada caso, sobre todo en los dispositivos de revestimiento y soporte. (Fernández E., 2011)

○ SOPORTE

Como su nombre lo indica, es un dispositivo colocado con el objetivo de ayudar en la función de sostener las paredes de la excavación, reforzando el trabajo auto-portante del terreno al mismo tiempo que lo rigidiza. Se instala una vez se termina parcial o totalmente el retiro de material que compone la sección transversal del túnel, y su función puede tener el alcance de estabilizar el terreno para que los trabajos de excavación se adelanten en condiciones seguras; para luego completar el refuerzo con un revestimiento estructural que garantice la durabilidad de la obra, o sencillamente cumplir con ambas metas temporales con la sola implementación del soporte. (Tumialan P., 1994)

○ BÓVEDA

Este tipo de secciones transversales se caracteriza desde el punto de vista geométrico por poseer techos curvos, hastiales rectos y soleras rectas; tienen el problema estructural de concentrar grandes esfuerzos en el punto de unión de los hastiales con la solera. Este tipo de túneles tienen ventajas cuando se trabaja con suelos expansivos, ya que la solera recta puede ser acompañada de elementos estructurales tales como losas o vigas de concreto para que trabajen a compresión, y de esta manera contrarrestar el evento de cierre de la excavación por la expansión del material circundante. (Tumialan P., 1994)

○ SOCAVÓN

Estas son excavaciones subterráneas en las cuales se tienen medidas en los lados de la sección transversal, alto y ancho, similares a la longitud del corte. En cuanto a las salidas al exterior del terreno pueden tener una o varias. A lo largo de la historia se han utilizado con fines de estrategia militar, para escenarios deportivos, turísticos-religiosos (Zipaquirá), etc. (Navarro S., 2000)



○ ACUÍFERO

Formación geológica que almacena agua y que es capaz de transmitirla de manera que puede ser aprovechada como recurso. El agua de superficie se infiltra a través del suelo hasta encontrarse con una capa impermeable; entonces se acumula y llena los poros y fisuras de las rocas, dando lugar a una zona de saturación. (Gonzales de Vallejo, 2004)

○ GRADIENTE HIDRAÚLICO

Diferencia de nivel piezométrico entre dos puntos de un acuífero relacionada con la distancia entre estos dos puntos. Es uno de los parámetros que se incorpora a la ley de Darcy para calcular los caudales de agua subterránea que circulan por un acuífero. (Gonzales de Vallejo, 2004)

○ LEY DE DARCY

Ecuación que relaciona el flujo de agua con el gradiente hidráulico, mediante la conductividad hidráulica. (Gonzales de Vallejo, 2004)

○ NIVEL FREÁTICO

También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea. El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

○ POZOS

Su definición es muy parecida a la de los túneles en cuanto a las dimensiones relativas de los lados de la sección transversal y longitud total de la excavación; pero sí tiene diferencias significativas en cuanto a la inclinación de su eje longitudinal, ya que para el caso de los pozos éste es cercano a la vertical y por lo general tienen una sola salida al exterior del terreno.

○ REVESTIMIENTO

Como ya se mencionó, puede o no, ser un elemento estructural, pero de cualquier manera sirve para mejorar el aspecto estético y las características operacionales del túnel, ya que en su interior se alojan las instalaciones eléctricas, drenajes, redes de telefonía y cableado en general; por otra parte, se mejora la rugosidad de las paredes internas dando un mejor aspecto visual y mejores condiciones para el flujo de aire, agua o cualquier otro fluido



que se quiera transportar. Los revestimientos en túneles hidráulicos también se utilizan para impermeabilizar el sistema, disminuyendo así las pérdidas de insumos en su recorrido.

Es preciso aclarar que en este proyecto se utilizan las palabras revestimiento y soporte sin ninguna distinción conceptual, bajo el precepto de ser estructuras o dispositivos que sirven para el sostenimiento de las paredes de la excavación en la construcción de obras subterráneas. (Davila H., 2009)

○ TALÚD

El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas.

Los estudios geológicos y geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación costo-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables.

Las investigaciones in situ para taludes tienen como objetivo reconocer geológica y geotécnicamente el terreno afectado por la excavación, con los fines de obtener los parámetros necesarios para analizar su estabilidad, diseñar los taludes, excavar los materiales, calcular las medidas de estabilización y proyectar obras de drenaje, entre otros. (Davila H., 2009)

○ CERCHAS METÁLICAS

Los arcos metálicos en la construcción de túneles son considerados como sistema clásico de sostenimiento pasivo, con utilización preferencial en terrenos de mala calidad. Los arcos de acero ofrecen la ventaja de ser resistentes tanto a los esfuerzos de tracción como de compresión, permitiendo de este modo la acción de cargas que lo exigen a flexión. Los módulos de los arcos, están compuestos por elementos rectos o circulares y se doblan de acuerdo con la sección del túnel. Para la conformación de los arcos se usan diferentes perfiles, en general con formas en H, I y U los cuales se seleccionan dependiendo de las condiciones del macizo rocoso donde se empleen.

○ PERNOS

Los pernos son también elementos estructurales muy económicos y sencillos de colocar; pueden construirse con varillas de acero, polietileno o madera. El perno se aloja en el



barreno previamente ejecutado, anclándose a éste mediante un dispositivo mecánico en la punta o un relleno en toda o parte de la longitud del hueco con mortero o resina epóxica. En el contorno del túnel el perno sobresale un poco exhibiendo textura roscada, para luego mediante una platina y una tuerca ajustarse al macizo rocoso.

○ MALLAS METÁLICAS

Estas son elementos estructurales que complementan el comportamiento mecánico del concreto al suministrarle capacidad de resistir esfuerzos de tensión en la capa de concreto ubicada en el contorno del túnel, útiles también para disminuir los efectos de retracción de fraguado. Adicionalmente, rebaja los volúmenes de pérdida de materiales por rebote cuando se aplica concreto lanzado.

○ EXCAVACIÓN

Se entiende por excavación al proceso de excavar y retirar volúmenes de tierra u otros materiales para la conformación de espacios donde serán alojados cimentaciones, tanques de agua, hormigones, mamposterías y secciones correspondientes a sistemas hidráulicos o sanitarios según los planos de cada proyecto.

○ VENTILACIÓN

Para la construcción de cualquier obra subterránea es necesario asegurar una ventilación constante y suficiente para garantizar un nivel de oxígeno admisible, conseguir unas concentraciones de gases nocivos por debajo de los límites máximos establecidos, eliminar las partículas de polvo y mantener una temperatura razonable en el interior de la obra subterránea.

1.11. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

1.11.1. CLIMA

En el área de estudio, presenta un clima en general frígido principalmente por la noche, con descensos de temperatura muy fuertes que llegan hasta -7°C en los meses más fríos por lo que se da el fenómeno de las heladas; durante el día es soleado, tibio a nublado, todas estas características se presentan en los meses de Marzo a Agosto. Durante los meses de diciembre a marzo con fuertes precipitaciones pluviales, acompañado de tempestades como nevada y granizo, temperaturas medias de 03° a 12° centígrados.



1.11.2. VEGETACIÓN

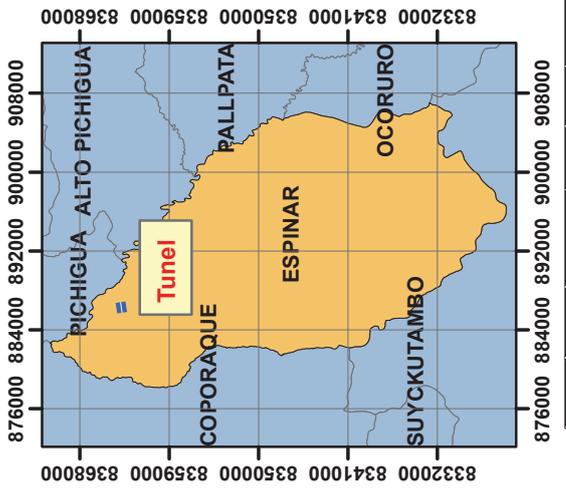
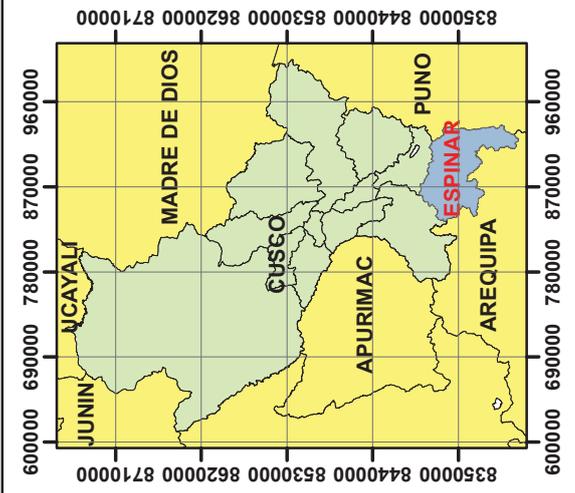
En la mayor parte del área crece el ichu y algunas plantas de tallo corto, por estar encima de los 3,800 m.s.n.m., así como pastos naturales como los musgos y líquenes. En las depresiones y faldas de cerros se aprovecha, en la época de lluvias, el cultivo de papa y avena. Principalmente los lugareños realizan sus sembríos en los meses de noviembre y diciembre, su producción es solo para consumo y la crianza de ganados típicos como vacunos y ovinos.



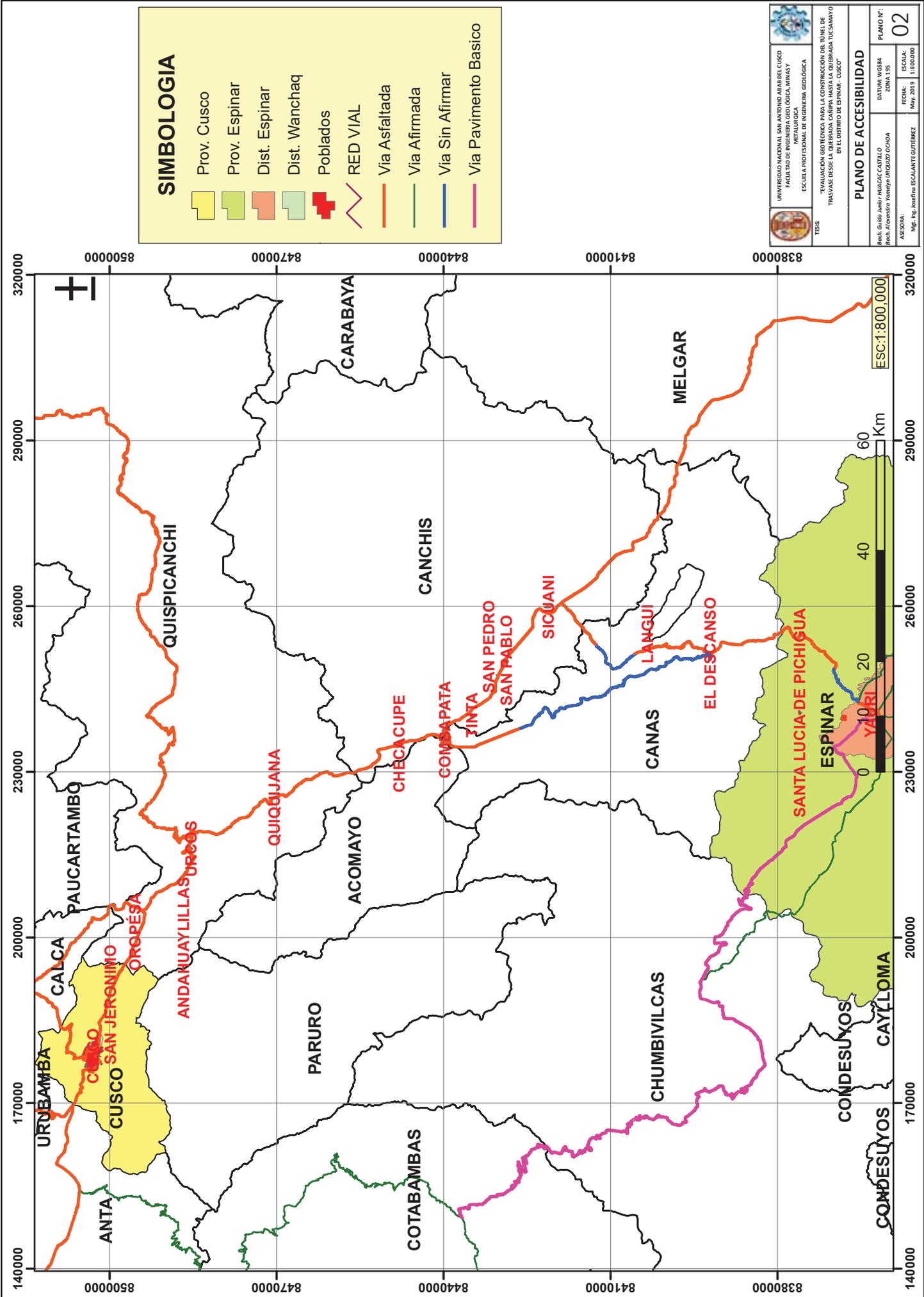
Fotografía N° 1. Se observa la vegetación predominante en la zona de estudio.

1.11.3. HIDROGRAFÍA

Hidrográficamente la zona de estudio se encuentra ubicado entre dos ríos, hacia el oeste el río Tucsamayo y hacia el este el río Cañipia que nacen del río Salado, que se encuentra hacia el norte, estos dos ríos tienen un recorrido de más de 2.5 km en su transcurso son alimentados por las quebradas el río Tucsamayo es alimentado por las filtraciones de un bofedal que se encuentre en la Hacienda Suero.



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>	<p>TESIS: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE DESDE LA QUEBRADA CANPIA HASTA LA QUEBRADA TUCAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"</p>	PLANO DE UBICACION	
		<p>Bach. Guido Jumbay HUACAC CASTILLO Bach. Alejandra Yomeylir URQUIZO OCHOA</p>	<p>PLANO N°: 01</p>
<p>ASOCIADA: Ing. Josefina ESCALANTE GUTIERREZ</p>	<p>FECHA: May. 2019</p>	<p>ESCALA: 1:13,000</p>	<p>DATUM: WGS84 ZONA 19S</p>



SIMBOLOGIA

- Prov. Cusco
- Prov. Espinar
- Dist. Espinar
- Dist. Wanchaq
- Poblados
- RED VIAL
- Via Asfaltada
- Via Afirmada
- Via Sin Afirmar
- Via Pavimento Basico



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRANSVASE DESDE LA COMUNIDAD TICAPAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

PLANO DE ACCESIBILIDAD	
Autor: Bech, Guadalupe YANACACASTILLO	DATUM: WGS84
Asesor: Bech, Alejandra Yomelyn URQUIZU OCHOA	ZONA 19S
FECHA: May 2019	ESCALA: 1:180000
REGIONAL: Mg. Josefina ESCOBAR GUTIERREZ	PLANO N°: 02



CAPÍTULO II. GEOMORFOLOGÍA

2.1. GENERALIDADES

La zona de estudio corresponde a un tipo de terraza rocosa – aluvial. En el lado oeste se presentan escarpas de roca seguida de terrazas menores con material aluvial pasando por el río Tucsamayo, que forma parte de un valle juvenil, al lado este se encuentra zonas de laderas compuestas por material aluvial- fluvial poco consolidados, en donde se halla al río Cañapia que forma parte de un valle senil muy antiguo, pasando por las terrazas de roca notoriamente erosionadas por el río en mención.

2.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

2.2.1. CADENA DE CERROS

La cadena de cerros comprende hacia el norte el cerro Quinsa cancha extendiéndose hacia el este, disminuyendo gradualmente en su cota, hacia el sur-este se tiene el cerro Pucara y hacia el sur se tiene al cerro Lacca Pucara, este conjunto de cerros están conformados por depósitos volcánicos de forma escarpada donde la parte alta de los cerros es plana, así mismo, están relacionados a la gran actividad volcánica de la zona formado por grandes extensiones de flujos volcánicos.

Estas formas están siendo continuamente modeladas por la actividad erosional, tales como el agua, viento, heladas, entre otros.



Fotografía N° 2. Cadena de cerros hacia el nor-este de la zona de estudio.



2.2.2. ZONA DE ALTIPLANICIES

Al lado oeste de la zona de estudio se halla una terraza de tipo escalonada apreciándose la erosión que sufrió esta zona, hacia el este se presenta una terraza del tipo aluvial en la parte superior y fluvial en la parte inferior de la ladera, así mismo, se presentan relieves fuertes con alturas que superan los 3850 m.s.n.m., formando laderas escarpadas, cuyas partes más elevadas alcanzan 3920 m.s.n.m. En toda la extensión del área de estudio predomina esta unidad fisiográfica constituidos por los cerros, colinas y escarpas, que están siendo modeladas por la acción fluvial.



Fotografía N° 3. Zona de altiplanicie en la zona de estudio.

2.2.3. ZONA DE COORDILLERA

Esta unidad se ubica al noreste del cuadrángulo de Condorama. En ella se han distinguido las siguientes unidades locales: depresión Yauri y la cadena de cerros Cuparaya, que presentan relieves fuertes con alturas que superan los 4300 m.s.n.m., formando laderas escarpadas de rumbo N-S, cuyas partes más elevadas alcanzan 4600 m.s.n.m., se compone principalmente de una sucesión litológica de aglomerados y areniscas de la formación Anta, cuyos espesores superan 2000 m. prolongándose hacia los cuadrángulos vecinos de Yauri, Ayaviri y Ocuvi.



Otra unidad cordillerana que ocupa gran parte del cuadrángulo de Condoroma, se encuentra en la unidad denominada Alto Condoroma – Caylloma, que limita al norte con el Altiplano-Cordillera Occidental y al sur con la Cordillera Occidental. El Alto Condoroma-Caylloma presenta escasos afloramientos de rocas mesozoicas, sin embargo, las rocas volcánicas cenozoicas muestran una superficie más amplia en sus afloramientos. Geomorfológicamente se caracteriza por ser una zona moderadamente escarpada con altitudes que varían entre 4000 a 4900 m.s.n.m., y por estar disectada por numerosos ríos y por la acción glaciaria.

2.2.4. ZONA DE VALLES

La zona de valles presenta dos tipos, hacia el oeste se presenta un valle juvenil formado por el río Tucsamayo, en las partes altas se aprecian rocas pertenecientes a la Formación Casablanca, hacia el este se puede apreciar un valle maduro conformado por materiales aluviales y fluviales que forma el río Cañipia.

2.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

2.3.1. LADERAS

2.3.1.1. LADERAS MODERADAS (M-Im)

Unidad presente en toda la margen izquierda del río Cañipía, compuestos por laderas moderadas en las zonas de pie de monte ubicado por debajo de los 3900 m.s.n.m., constituidos por materiales limosos con gravas (suelos aluviales), presentan una pendiente entre los 30°-60° grados.

2.3.1.2. LADERAS BAJAS (M-Ib)

Unidad presente en las partes bajas de las laderas moderadas, hacia el lado este de la zona en estudio, predominan las acumulaciones de materiales sueltos (suelos) por debajo de los 3895 m.s.n.m., puede abarcar zonas de la llanura de inundación con pendientes de ángulos menores a 20°.



Fotografía N° 4. Laderas bajas con ángulo de 15°.

2.3.2. ESCARPAS

Esta unidad está representada por elevaciones de afloramientos rocosos de pendiente fuerte entre los 75° a 90°, está ubicada en el lado oeste de la zona de estudio conformada por afloramientos de toba vitroclástica de composición riolítica mal cohesionadas por su recristalización durante su enfriamiento que corresponden a la formación Casablanca ignimbrítica del grupo Barroso, que se muestran en forma de escarpas provocando caídas de rocas por la alteración supérgenea, estas rocas tienen densidad baja y fuerte porosidad.

2.3.3. TERRAZAS

2.3.3.1. TERRAZAS FLUVIALES (C-fl)

Esta unidad se encuentra hacia el lado este de la zona en estudio, conformado por material transportado sedimentado, producto de las diferentes avenidas fluviales, formando una terraza fluvial.

2.3.3.2. TERRAZAS ESCALONADAS (C-ec)

Esta geoforma se encuentra hacia el oeste de la zona de estudio, conformado por terrazas escalonadas y escarpadas cubiertos por material aluvial y en la parte baja está compuesto por material transportado sedimentado producto de las diferentes avenidas fluviales.



2.3.4. PLANICIE DE INUNDACIÓN

Son relieves sub horizontales que se ubica en el cauce del río Tucsamayo y el río Cañipia, se presenta perpendicular al eje del túnel de trasvase proyectado, estos depósitos son producto de las avenidas fluviales que sufren estas zonas. Estas planicies corresponden casi en su totalidad al cauce del rio Cañipia que corresponden a un valle maduro.

El transporte de material depositado es propenso a las inundaciones, dependiendo del grado las precipitaciones que se presentan en épocas de lluvias, están compuestos por gravas y arenas de origen polimigtico y son de tamaños heterométricos.



Fotografía N° 5. Zona de planicie en el área de estudio.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las unidades geomorfológicas en la zona de estudio, en donde predomina la unidad de Planicie como se observa en el plano geomorfológico y de pendientes al final de este capítulo.



SISTEMA	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	SUB UNIDADES	SÍMBOLO	ORIGEN	PENDIENTE (GRADOS)	UBICACIÓN	PROCESOS EROSIVOS
Sistema de Montañas	Laderas	Escarpas	M-esc	Formación natural	75-90	Lado oeste de proyecto del túnel	Erosión laminar por escurrimiento superficial
		Laderas Moderadas	M-lm	Denudacional	30-60	Lado este de proyecto del túnel	Erosión laminar por escurrimiento superficial
		Laderas Bajas	M-lb		0-30	Lado este de proyecto del túnel	Erosión laminar por escurrimiento superficial
De curso	Fluvio Aluvial	Terraza Túnel	C-fl	Denudacional	0-5	Toda el área de estudio	Escurrecimiento y transporte superficial
		Terraza ecalonada	C-ec				
	Aluvial	Planicie de inundación	C-ap	Deposicional	0-5	Cauce de río	Erosión fluvial

Cuadro N° 5. Unidades Geomorfológicas en la zona de estudio.

SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Area de Estudio
- Tunel de trasvase

LEYENDA

GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Altiplanicies Allanadas	
Altiplanicies Disectadas	
Altiplanicies Onduladas	
Fondos de Valle Aluvial	
Fondos de Valle Glaciár-Aluvial	
Vertientes de Montaña Allanada	
Vertientes de Montaña Disectada	
Vertientes de Montaña Empinada	

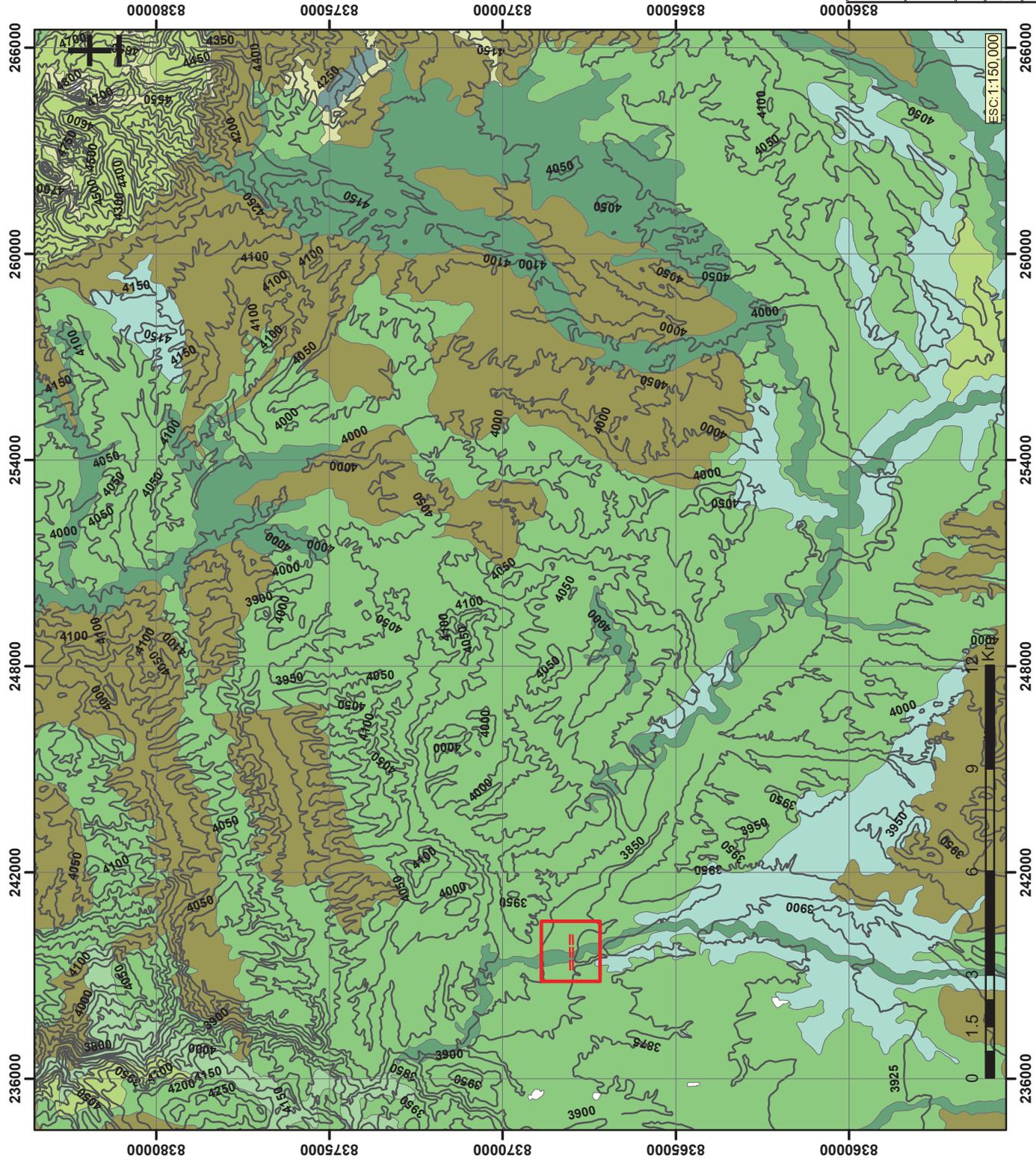
Fuente: Geocatmin



TESIS:
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TUNEL DE TRASFASE DESDE LA QUEBRADA CANPIA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

PLANO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

Bach. Guido Javier HUACAC CASTILLO	DATUM: WGS84	PLANO N°:
Bach. Alejandra Yomelín URQUIZO OCHOA	ZONA 19S	03
ASESORA: Mgt. Ing. José fina ESCALANTE GUTÉRREZ	FECHA: May, 2019	ESCALA: 1:150.000



SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Area de Estudio
- Eje del Tunel

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	SUB UNIDADES	SIMBOLO
LADERAS	TERRASA	M-co
	ESCARPE	M-esc
	LADERAS BAJAS	M-lb
FLUVIO ALUVIAL	BOFEDAL	C-bo
ALUVIAL	PLANICIE DE INUNDACIÓN	C-ap

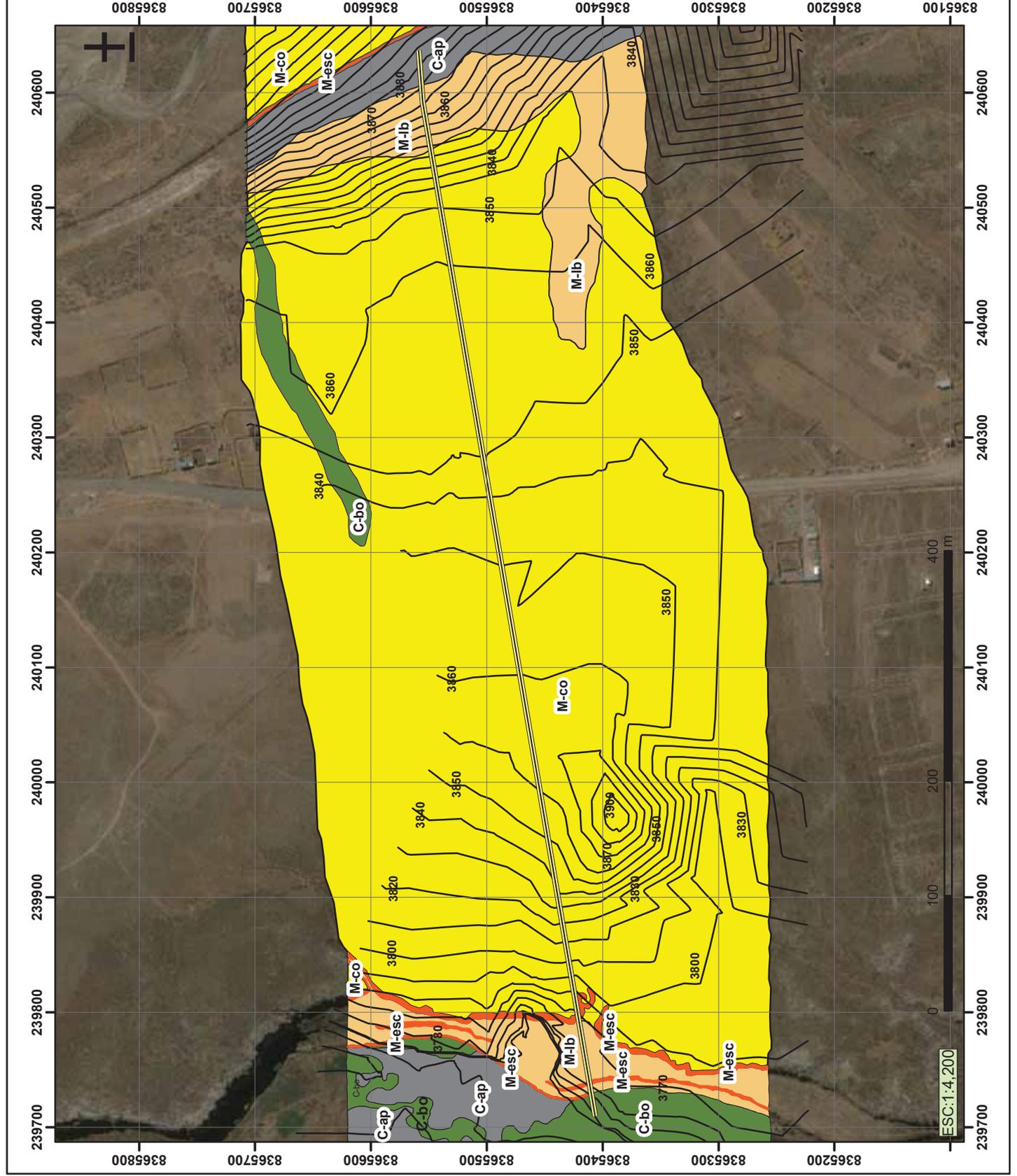
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

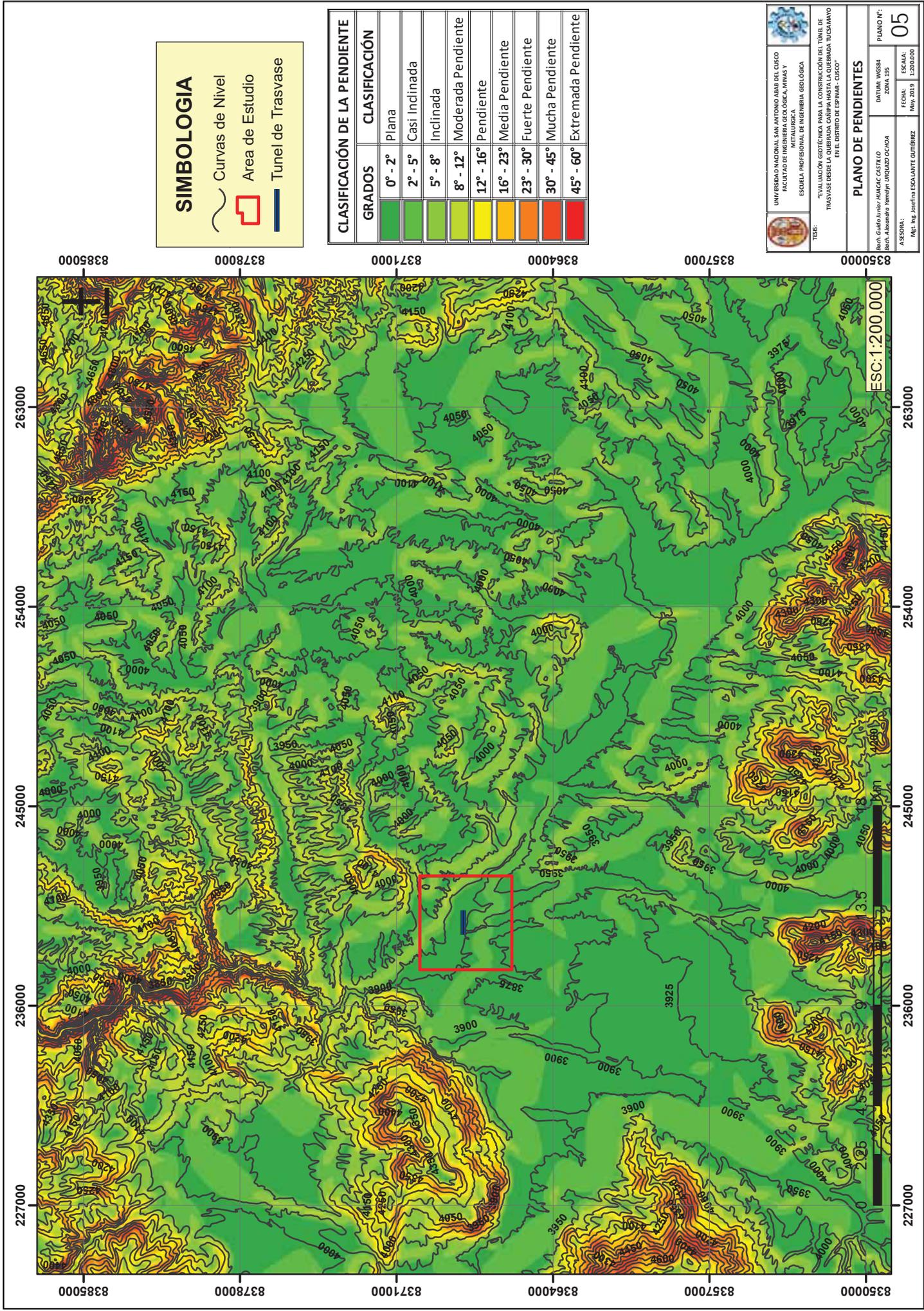
TESIS: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRAVESIA CERRO LA QUERRADA CAMPA MAYTA LA GOBBIADA TUCUMANO DE LA ZONA DE ESPERANZA, CUSCO"

PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

PLANO N°: 04

DATA: 10/05/2019
 ZONA: B5
 FECHA: 10/05/2019
 ESCALA: 1:4,200
 ASOORA: Mg. Ing. Josefina ESCALANTE GUTIERREZ





SIMBOLOGIA

-  Curvas de Nivel
-  Area de Estudio
-  Tunel de Trasvase

CLASIFICACIÓN DE LA PENDIENTE	
GRADOS	CLASIFICACIÓN
0° - 2°	Plana
2° - 5°	Casi inclinada
5° - 8°	Inclinada
8° - 12°	Moderada Pendiente
12° - 16°	Pendiente
16° - 23°	Media Pendiente
23° - 30°	Fuerte Pendiente
30° - 45°	Mucha Pendiente
45° - 60°	Extremada Pendiente



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
"EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE DESDE LA CUERBADA CAÑIRA HASTA LA CUERBADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

PLANO DE PENDIENTES	
Autores: Bach. Guido Jumbo / HUGAC CASTELLO Bach. Alexander Yampin / URQUIZO OCHOA	FECHA: May, 2019
Asesor: ING. Ing. Jovellina ESCALANTE GUMBERG	ESCALA: 1:200,000
PLANO N°: 05	

ESC: 1:200,000



CAPÍTULO III. GEOLOGÍA

La caracterización geológica regional y local nos permitirá determinar las unidades litoestratigráficas de la zona de estudio.

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El reconocimiento litoestratigráfico se realizó en base a la información recabada en gabinete previa a la revisión en campo. La información se obtuvo principalmente del INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú), Boletín N°143, GEOLOGÍA DEL CUADRÁNGULO DE CONDOROMA HOJA 31 – t, Serie A, de la Carta Geológica Nacional, así mismo se adquirió información del Boletín 58, Serie A de la Carta Geológica Nacional, GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULO DE VELILLE, YAURI, AYAVIRI Y AZANGARO, Hojas 30 – s, 30 – t, 30 – u, 30– v.

En el ámbito regional se tiene formaciones litológicas, las más antiguas identificadas en la zona de estudio, el Cenozoico – Neógeno, el Grupo Maure, hasta formaciones recientes del Cenozoico – Cuaternario Pleistoceno, Holoceno, compuesto por depósitos coluviales de terrazas.

3.1.1. GRUPO MAURE

Esta formación litológica se desarrolló en la edad del Mioceno, donde la actividad volcánica explosiva fue intensa en la Cordillera Oriental, desarrollándose una gruesa y variada secuencia de piroclastos mezclados en muchos lugares con sedimentos lacustrinos. Entre el Mioceno inferior y superior hay discordancias, de allí entonces que se puede ubicar la siguiente deformación importante compresiva después de la fase incaica denominada “Quechua I” entre los 15 a 14 M.A.

En el Centro y Sur del Perú, rocas volcánicas del Mioceno superior son cubiertas en discordancia por ignimbritas del Plioceno temprano (6 M.A., 5,1 M.A., 4,2 M.A.). Esto indica que una nueva fase tectónica se habría dado en el Mioceno terminal entre los 10 y 9 M.A. a la que podríamos llamar “Quechua 2”.

3.1.2. FORMACIONES RECIENTES – CUATERNARIO

Corresponde al Cuaternario reciente, es decir a los últimos 11,000 años, tiempo en el cual el territorio peruano llega a su actual fisonomía y donde la acción erosiva de los ríos se



acentúa; las acumulaciones fluvio-aluviales se van engrosando y la acción eólica va acumulando gran cantidad de arenas en las áreas desérticas de la Costa.

Los mares ocupan sus actuales límites y la vida marina y terrestre es la que conocemos en nuestros días. Asimismo, los climas adquieren una característica propia en cada una de las regiones, con 41 características locales que le dan al territorio peruano una variada gama en su hábitat.

3.2. GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1. ESTRATIGRAFÍA

3.2.1.1. FORMACIÓN MAURE 3 (Nm-ma3)

Pertenece a la serie o época del mioceno medio. Fue descrita por primera vez por Wilson J. y Garcia W. (1962). Esta formación contiene toba volcánica residual así como limos, arcillas y dolomitas de coloraciones que van desde el beish a gris claro con abundantes contenidos de diatomeas en su composición, se encuentra ampliamente distribuida en áreas cercanas del trabajo, aparece en exposiciones cubiertas por material aluvial y coluvial; sus mayores afloramientos se encuentran hacia el lado este del proyecto del túnel en el cuadrángulo de Yauri (30t).



Fotografía N° 6. Material geológico representativo en la zona de salida del túnel proyectado, que viene a ser toba volcánica residual, observamos que se halla erosionado y cubierto por material coluvial.



3.2.1.2. FORMACIÓN MAURE 4 (Nm-ma4)

Pertenece a la serie o época del final mioceno. Fue descrita por primera vez por Palacios O. j. De la Cruz B.A. Allison (1991) Estudio geológico del proyecto integrado del sur del Perú La formación Maure 4 se presenta de forma cristalolítica de composición riolitica a dacitica, constituye en toda la zona de estudio, también hacia el oeste en geofomas escarpadas formando terrazas escalonadas. El origen de esta formación se dio a consecuencia de varios eventos volcánicos (Quechua 2) hace más de 8 M.A.



Fotografía N° 7. Material volcánico en la quebrada Tucsamayo.

3.2.1.3. FORMACIÓN CASA BLANCA (Nq-cb)

Correspondiente a la serie o época del plioceno reciente de hace 2 M.A. aproximadamente, se presentan dentro de la zona de estudio consisten en tobas vitroclásticas de composición riolítica, cohesionadas por recristalización durante su enfriamiento. No presenta estratificación definida.

3.2.1.4. DEPÓSITOS FLUVIOGLACIARES (Qp-fg)

Estos depósitos al igual que los aluviales se encuentran formando amplias terrazas que se extienden en ambos flancos de los ríos principales, como son el rio Salado y Occoruro.

La composición litológica de los glaciofluviales es generalmente polimíctica, así, en el área de Yauri y Condorama están constituidos por clastos de rocas volcánicas,



sedimentarias e ígneas en menor proporción, de tamaño muy variable y matriz granuda, en algunas zonas la matriz puede presentarse limo arcillosa y arenosa. En todos los casos se encuentran cubiertos por una capa de suelo húmico de 0.20 a 0.50m. de grosor de composición limo arenosa con gravas, estos depósitos forman extensas planicies con suave inclinación hacia los ejes de drenaje, en la zona de estudio.

3.2.5. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-AI)

Están constituidos por la acumulación de materiales en el lecho de ríos y quebradas. Presentan su mejor distribución a lo largo de los cursos más importantes (ríos Tucsumayo y Cañipia); así como en sus quebradas principales. Consisten en materiales polimícticos de variado tamaño desde arcillas hasta gravas, moderadamente clasificados.



Fotografía N° 8. Material aluvial presente en el río Cañipia.

3.2.6. DEPÓSITOS FLUVIALES (Qh-fl)

Estos depósitos están conformados principalmente por materiales transportados por los ríos principales, específicamente en las partes bajas de la zona de estudio. Se presentan acumulados en los cauces de los ríos Tucsamayo y Cañipia, está constituido por gravas y arenas mal graduadas, sus fragmentos son redondeados con presencia regular de bolonería, estos materiales están acumulados importantemente en grandes volúmenes en todo el cauce, con el tratamiento necesario se puede dar uso como agregado para la construcción de obras conexas.



A continuación, presentamos un cuadro resumen de la litología presente en la zona de estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES	SÍMB.	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Fluviales	Qh-fl	Gravas y arenas mal graduadas mal graduados, fragmentos redondeados con bolonería de tamaños 43únel4343enes43, predominan las gravas, tiene una potencia de 10 metros aprox.
			Depósitos Aluviales	Qh-al	Cantos rodados y gravas con relleno arenoso y limo arenoso, depositados en fondos fluviales, Monomígticas provenientes del transporte de rocas polimígticas.
		PLEISTOCENO	Depósitos Fluvioglaciares	Qp-fg	Constituido por depósitos de cantos, gravas y arenas de composición heterogénea, sub angulosos, sedimentados por corrientes de agua, tiene una potencia de 5 a 10m.
	NEÓGENO	PLIOCENO	Formación Casablanca	NQ-cb	Roca tipo ignimbrita, color gris blanquecino en superficie, cambiando de coloración a partir de los 20 metros, tiene una textura afanítica con cristales de cuarzo y plagioclasas, presenta parches de magnetita y diseminación moderada de micas, se encuentra aflorando en la zona de estudio
		MIOCENO	Grupo Maure	Nm-ma4 Nm-ma3	Pequeños afloramientos constituidos por flujos de composición andesítica y andesítica-basáltica Otras rocas lávicas se encuentran en el corte que hace el río Apurímac al noroeste de la hoja de Yauri

Cuadro N° 6. Unidades Litoestratigráficas de la zona del túnel de trasvase. (Fuente INGEMMET – Editado Propio).

SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Area de Estudio
- Tunel de Trasvase

LEYENDA

GEOLOGIA REGIONAL

Nm-ma	Gpo. Maure
P-pu	Gpo. Puno
PN-t	Gpo. Tacaza
Np-b-tb	Gpo. Barroso
NQ-b-da, and	Gpo. Barroso
NQ-ca	Fm. Calasaya
Kis-a	Fm. Arcurquina
P-m	Fm. Muñani
Qh-al	Dep. Aluvial
Q-gfl	Dep. Glaci.-Fluv.

Fuente: Geocatmin

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL Cusco
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE TRASVASE DESDE LA CUERBADA GANPA HASTA LA CUERBADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPARZA - CUSCO"

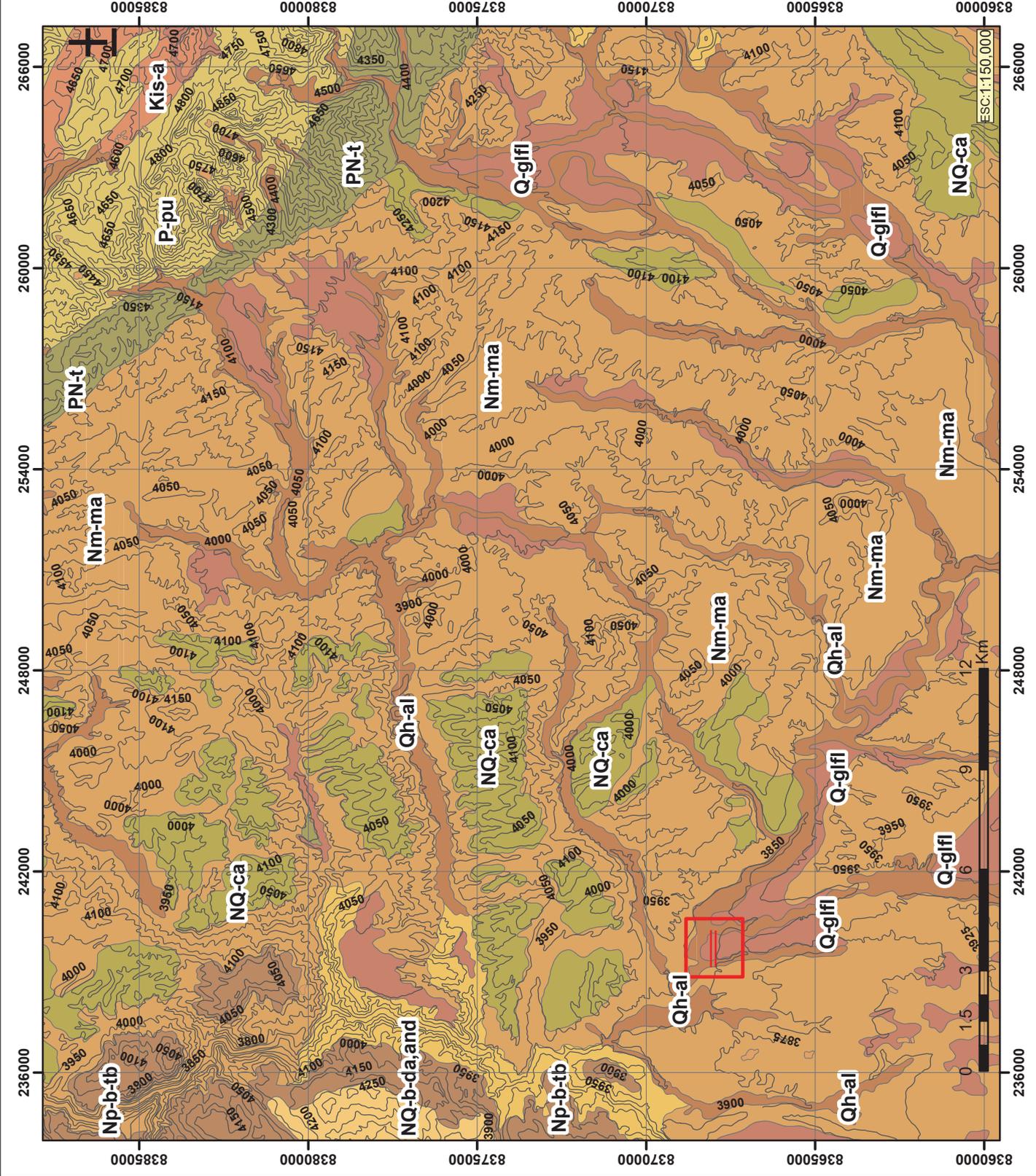
PLANO GEOLÓGICO REGIONAL

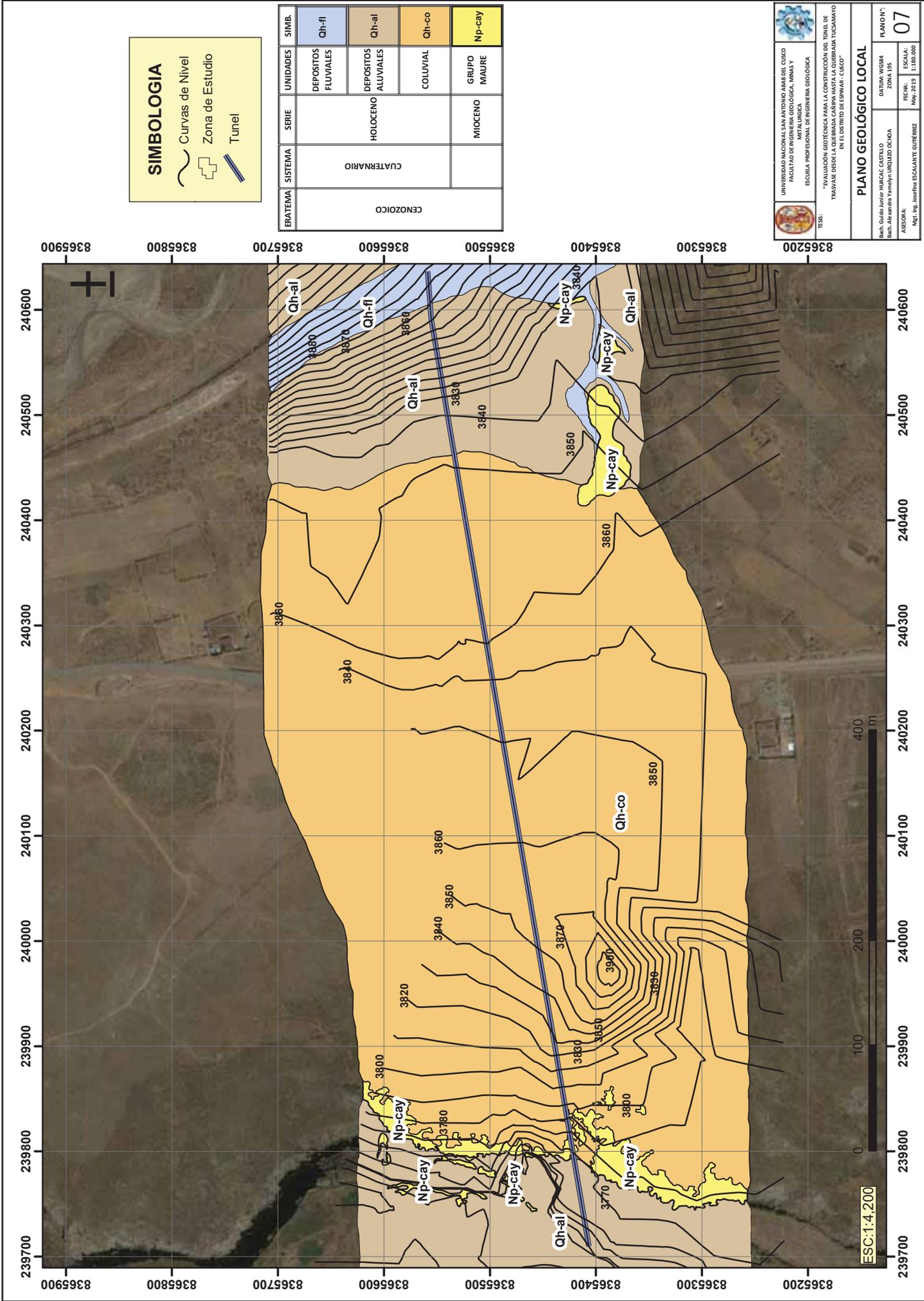
Revis. Geólogo Junior HUACAC CASTELLO
 ZONA 135

FECHA: May, 2019
 ESCALA: 1:150,000

ASESORA: Mg. Ing. Rosalinda ESCALANTE GUTIERREZ

PLANO N°: 06





SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Zona de Estudio
- Tunnel

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES	SIMB.
CENOZOICO	CUATERNARIO		DEPOSITOS FLUVIALES	Qh-fi
			DEPOSITOS ALUVIALES	Qh-al
			COLUVIAL	Qh-co
			GRUPO MAURE	Np-cay

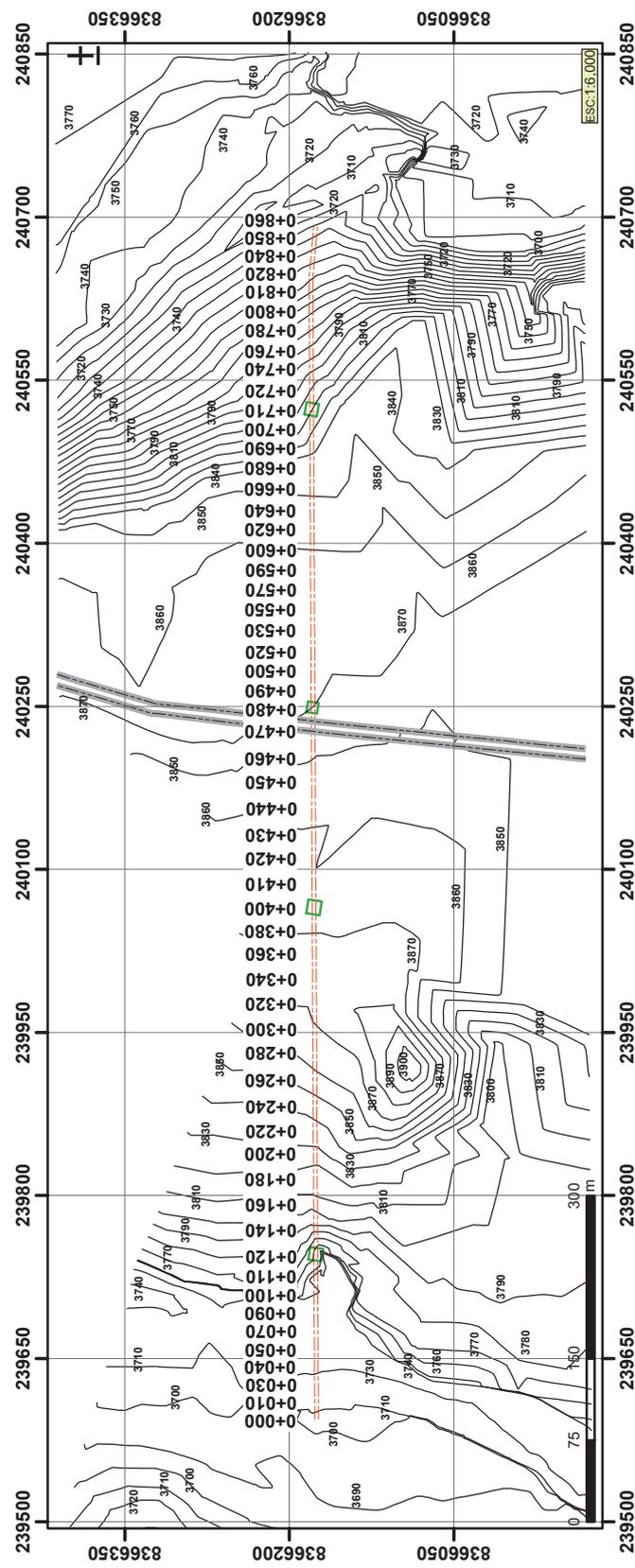



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA, MINAS Y METALURGIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
 "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRANSVASE DESDE LA QUEBRADA CAMPANA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO DE EL CENTRO DE LEPIPARI - CUSCO"

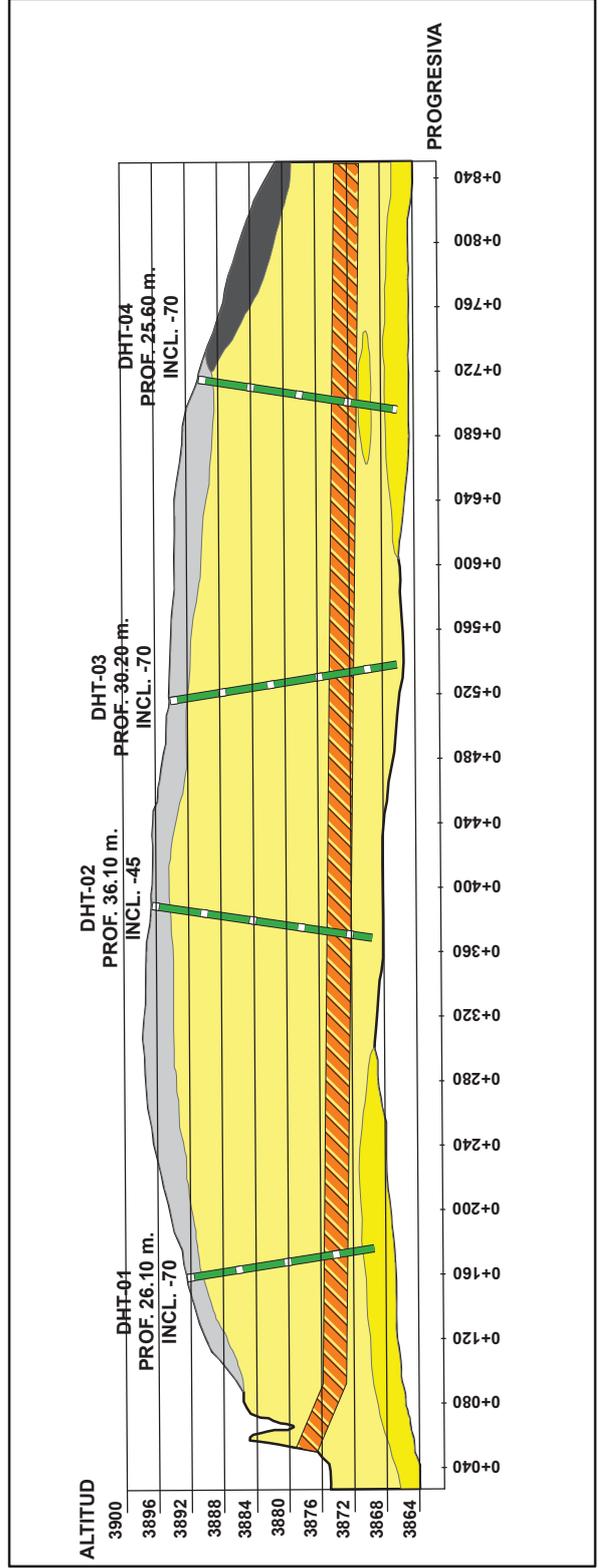
PLANO GEOLOGICO LOCAL

Bach. Guido Junior HUACAC CASTELLO	FECHA: WGS84	PLANO N°:
Bach. Alexander Ymehyn URQUIZO OCHOA	ZONA 1.95	07
AUSEORA: Ing. Mg. Leonidas ESCALANTE GUTIERREZ	FECHA: 15/03/23	ESCALA: 1:4,200



SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Via Asfaltada
- Puntos de perforacion
- Eje Tunnel de Trasvase



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES	SIMB.
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITOS FLUVIALES	[Symbol]
			DEPOSITOS ALUVIALES	[Symbol]
	NEOGENO	MIOCENO	GRUPO MAURE	[Symbol]
			COLUVIAL	[Symbol]

PERFIL GEOLOGICO

Rev. Ciudad Juarez / HUACAC CASTILLO
 Rev. Alcantarilla / Rancho URBANO GUERRA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABRA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TITULO: EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE
 TRANSVASE DESDE EL DISTRITO DE ESPAR - CUSCO

PROFESOR: ING. JOSEFINA ESCOBAR GUTIERREZ

PLANON°: 08

FECHA: May. 2019

ESCALA: 1:6000



CAPÍTULO IV. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En este capítulo se hace una breve descripción de las principales estructuras mediante el plano geológico y el esquema estructural. Para el análisis estructural se utilizaron datos de microtectónica a partir de estrías de fallas y esquistosidades, que afectan a las unidades estratigráficas de la zona de estudio.

4.1. UNIDADES MORFOESTRUCTURALES

El cuadrángulo de Condoroma y Yauri ha sido dividido en dos dominios paleogeográficos: Limite Altiplano - Cordillera Occidental y el Alto Condoroma - Caylloma, ambos se hallan separados por el sistema de fallas Yauri.

4.1.1. DOMINIOS PALEOGRÁFICOS

4.1.1.1. LIMITE ALTIPLANO-CORDILLERA OCCIDENTAL

Este dominio se encuentra al norte del cuadrángulo, con orientación NO-SE que se prolonga hacia el cuadrángulo de Yauri. Comprende la Formación Anta (Eoceno) y durante el Mioceno se depositaron los sedimentos de la cuenca Descanso-Yauri.

4.1.1.2. ALTO CONDOROMA – CAYLLOMA

El cuadrángulo de Condoroma abarca casi íntegramente esta unidad morfoestructural que controló parcialmente la sedimentación y posterior deformación del Mesozoico (Carlotto et al., 2009). Durante el Cenozoico, las fallas y estructuras locales presentes controlaron el emplazamiento de los centros volcánicos del grupo Tacaza (Ajopichaca, Cotacota e Hirupichu), Palca (Condorsayana, Jalcarane y Luli), Sillapaca (Huishuillane y Colquecahua) y Barroso inferior (Jañuma Pirhua); así como la sedimentación de las cuencas Condoroma y Tisco del Grupo Maure (Mio-Plioceno).

4.1.2. PLEGAMIENTO

Los Andes peruanos particularmente en la región Sur está muy plegada, donde aparece una esquistosidad importante, la variedad de pliegues es evidentemente muy grande y están sujetos a los mecanismos de deformación, que depende directamente de la reología, así mismo, se puede encontrar pliegues originados por flexión, aplanamiento y flujo, que han controlado una actividad ígnea importante.



Los pliegues mayores siguen la dirección de los Andes lo cual indica esfuerzos de compresión de oeste a este, resultado de las tres grandes fases de plegamiento andino, pero particularmente fue la fase incaica del eoceno que afectó a esta faja mio-geosinclinal, tal es así que, los planos axiales son mayormente inclinados entre 40 y 50 grados al noroeste.

4.1.3. FALLAMIENTO

Las fallas a escala regional más importantes son las que toman las direcciones NE-SO, NO-SE con buzamientos generalmente de 50° y 78°, por ser propios de pliegues y cabalgamientos asociados. Ocurren estructuras secundarias en la tendencia NW y NS así como algunos pliegues de orientación EW.

A nivel de la cadena, el acortamiento de esta se realiza en gran parte por fallas inversas que permanecen verticales. El mecanismo en el nivel estructural superior es el dominio del cizallamiento, por ende, el dominio de las fallas. En los niveles estructurales inferiores el mecanismo dominante es el aplanamiento y luego el flujo, todo este sistema de fallas tienen estrecha relación.

4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

4.2.1. SISTEMA DE FALLA YAURI

Se encuentra en la zona noreste del cuadrángulo de Condoroma, extendiéndose hasta el cuadrángulo de Yauri, donde pone en contacto a los aglomerados de la Formación Ocoruro y con los depósitos fluvio-lacustres de la Formación Yauri. El sistema de fallas Yauri, está conformado por la falla Yauri-Ocoruro (Cerpa y Meza, 2001) que tiene dirección general NO-SE convergencia hacia el suroeste, y es del tipo inverso, con orientación de compresión NE-SO.

Datos sedimentológicos indican que durante la sedimentación del tercer evento de la cuenca Descanso-Yauri, esta falla se constituyó en su borde suroeste controlando la evolución geodinámica durante el Mioceno superior.

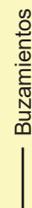
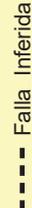
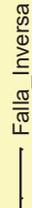
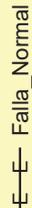
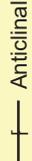
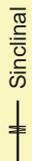
Respecto a la actividad tectónica en la zona de estudio se puede definir que no presenta actividad e influencia ya que las fallas regionales están ubicadas hacia la zona de Sibayo.

SIMBOLOGIA

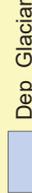
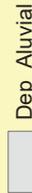
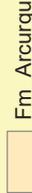
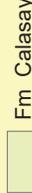
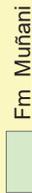
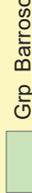
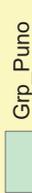
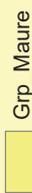
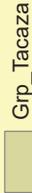
AREA DE ESTUDIO



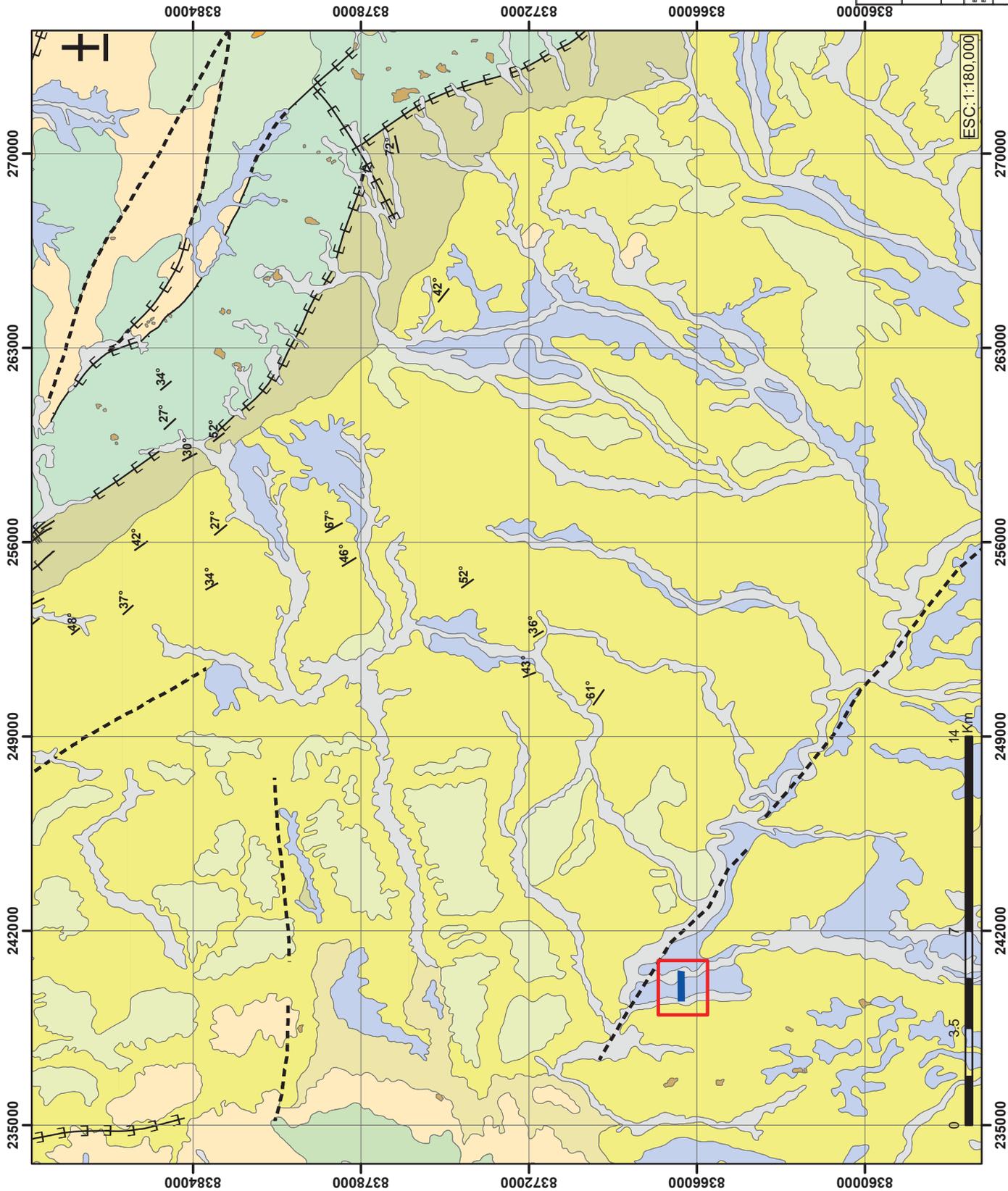
Tunel de Trasvase



LEYENDIA GEOLOGIA REGIONAL



Fuente: Geocatmin



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
"ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE TRÁNSVASE ENTRE LA QUEBRADA CAMPA HASTA LA QUEBRADA TUSCAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

PLANO ESTRUCTURAL	
Bach. Guido Junior HUACAC CASTILLO	DATA: WASHI
Bach. Abandón Yamayn URQUIZO OCHOA	ZONA: 19S
ASISTENTE:	FECHA:
Mg. Ing. Josefina ESCALANTE GUTIERREZ	May 2019
ESCALA: 1:180,000	PLANO N°: 09



CAPÍTULO V. GEODINÁMICA

Se refiere a la actividad natural de esfuerzos tensionales y distensionales que se generan por debajo de la epidermis de la corteza terrestre que genera el modelamiento superficial, denominados esfuerzos los cuales se clasifican como agentes internos y externos los cuales desarrollaremos a continuación:

5.1. GEODINÁMICA INTERNA

5.1.1. SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

El cálculo de la aceleración debe ser hecha para algún grado de peligro o periodo de retorno. La selección del grado de peligro o periodo de retorno depende de consideraciones sociales, económicas y políticas envueltas en su estimación. Para muchos análisis de peligro sísmico a nivel mundial, el movimiento sísmico de diseño para estructuras comunes ha sido establecido para un 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de exposición de 50 años.

De acuerdo con el DECRETO SUPREMO N° 003-2016, decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismorresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo n° 011-2006, modificada con DECRETO SUPREMO N° 002-2014.

De acuerdo a la zonificación, hace mención que el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica, en el Anexo N° 01 del DECRETO SUPREMO N° 002-2014, contiene el listado de las provincias y distritos que corresponden a cada zona donde nuestra zona de estudio está considerado en la zona 3, del mapa de aceleraciones del Perú, con un factor Z de 0.35 (fracción de aceleración de la gravedad con un periodo de retorno de 50 años).

Para la evaluación de este trabajo se considera un periodo de retorno de 50 años, de acuerdo al gráfico mostrado se observa que la zona de estudio está ubicada en la zona de 3 donde se le asigna un valor de $Z=0.35$ de aceleración sísmica.

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el Cuadro N°7. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad



de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Cuadro N° 7. Factores de zona "Z"

De acuerdo con la nueva Norma Técnica NTE E-30, y al lugar donde se emplaza el túnel proyectado, le corresponde la Zona 3 con un factor de zona “Z” 0.35. Como se observa en el Plano de Sismicidad al final de este Capítulo.

5.2. GEODINÁMICA EXTERNA

Las actividades geodinámicas naturales que pueden ocasionar movimientos de masas puede tratarse de masas rocosas y masas compuestos de suelos de diferentes características.

En la parte del eje del túnel de trasvase no existe zonas vulnerables que corren riesgo de movimientos de remoción en masa, pero si en zonas de pendiente alta, zonas saturadas por agua donde existe fracturamiento y diaclasamiento de rocas, en un talud fuerte pudiendo provocar la caída de todo el talud o parte de ella, todas estas zonas críticas requieren de un tratamiento especial para su estabilidad de acuerdo a la naturaleza de su inestabilidad.

5.2.1. AGENTES GEODINÁMICOS EXTERNOS

- AGUA

Es el agente geodinámico principal de erosión en el área de estudio, el cual provoca inestabilidad en el terreno.

- GRAVEDAD

Su acción es más evidente en los fenómenos de remoción en masa y en el desprendimiento de rocas.



- **RADIACION SOLAR**

Propicia cambios en el estado líquido o resistencia de los cuerpos (dilatación, contracción y ruptura de rocas).

- **ORGANISMOS**

Agente que incide en la baja resistencia de la capacidad de material portante de rocas y/o suelos.

- **VIENTO**

Transporta el material suelto desintegrado.

5.2.2. FACTORES GEODINÁMICOS EXTERNOS

Los fenómenos de geodinámica externa están ligados a diferentes factores condicionantes como:

- **FACTORES LITOLÓGICOS**

Las rocas que afloran en la zona de estudio según sea su naturaleza, composición mineral o propiedades físicas y químicas, van a tener un determinado comportamiento y modo de evolucionar en el ambiente en que se encuentran. Así tendremos, por ejemplo: Rocas duras, macizas, débiles, no consolidados, inestables, etc., que dan lugar a los materiales de carga que posteriormente serán remosionados.

- **FACTORES MORFOLÓGICOS**

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Las pendientes, agudeza, amplitud, profundidad de dicho relieve, nos darán la idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que la constituyen, y del modo o mecanismo de los procesos morfodinamicos que se desarrollan en dicha superficie.

- **FACTORES ESTRATIGRÁFICOS**

Es la posición geométrica de las rocas, las que determinan la estabilidad de los terrenos, estratigráficamente en el área de estudio, el macizo rocoso se encuentra en capas gruesas meteorizadas haciendo que las condiciones del terreno sean menores.



- **FACTORES CLIMATOLÓGICOS**

Las variables climatológicas como la temperatura, humedad, precipitación y otras, según sea su manifestación y ocurrencia, participan de las condiciones ambientales de una región y determinan la velocidad de meteorización de la roca, la intensidad, frecuencia y magnitud de los fenómenos hidrometeorológicos (lluvias torrenciales, huracanes), que desencadenan otras manifestaciones geodinámicas de magnitudes catastróficas.

- **FACTORES ESTRUCTURALES**

Está vinculado al tipo, modalidad y magnitud e intensidad de deformación que presentan los afloramientos rocosos tales como: fallas, pliegues, diaclasas que dislocan los macizos y rompen la estabilidad de la estructura primaria de la roca.

- **FACTORES HIDROLÓGICOS**

Se refiere a la acción de las aguas de escorrentía superficial y subterránea que provocan la saturación y sobrepeso de los materiales rocosos, el socavamiento y erosión de los taludes y la disolución de las rocas solubles. La presión que ejerce el agua sobre las rocas y suelos, hace que se alteren las condiciones de estabilidad de los taludes y se propicien fenómenos de deslizamientos, hundimientos, etc.

- **FACTORES ANTRÓPICOS**

Son todas las actividades mediante las cuales el hombre altera y rompe el equilibrio del medio natural, por ejemplo: la deforestación por la tala de bosques y sobre pastoreo que destruye la cobertura vegetal, la deficiente infraestructura de riego que sobre saturan los terrenos y facilitan la remoción del suelo, las inadecuadas prácticas agrícolas y agronómicas que empobrecen el suelo dejándolo improductivo, propiciando su abandono.

También la remoción de tierras en la ejecución de obras civiles, explotación de yacimientos y canteras, dejan taludes inestables, así como la acumulación y sobrecarga de desmonte o desperdicios sobre terrenos no apropiados. Todas estas actividades crean condiciones de desequilibrio que aceleran el desarrollo de fenómenos geodinámicos.



5.2.3. PROCESOS DE GEODINÁMICA EXTERNA

Dentro de los procesos de geodinámica externa tenemos:

5.2.3.1. EROSIÓN

La zona de estudio se ve afectada por factores estáticos y dinámicos que provocan una actividad geodinámica.

a) FACTORES ESTÁTICOS

- Grado de fracturación: Se encuentra moderadamente fracturado
- Pendiente: pendientes bastante elevadas que oscilan entre 60-70° a verticales, hacia las partes de las quebradas (macizo rocoso), y hacia la parte del eje del Túnel están en un promedio de 22° que forman la planicie, justamente donde se produce mayores procesos erosivos.
- Meteorización: es la destrucción de las rocas que están cercanas a la superficie por efecto del intemperismo físico, químico y biológico dependiendo del clima, a su vez está supeditada a la resistencia del suelo y su velocidad erosiva.

Por lo tanto, la zona está considerada como una zona de bajo intemperismo hacia la parte de las quebradas, debido a la mayor consistencia mecánica y mejores condiciones en el comportamiento físico, químico de las rocas, y hacia el eje del túnel, un alto grado de intemperismo físico, químico y biológico.

- Humedad: la humedad del suelo dependerá directamente de las precipitaciones pluviales, por consiguiente, el suelo se encuentra saturado. El agua aparte de ser un agente físico – mecánico de erosión, actúa en el proceso de descomposición de las diferentes rocas y minerales, especialmente afectando a los depósitos no consolidados.

b) FACTORES DINAMICOS

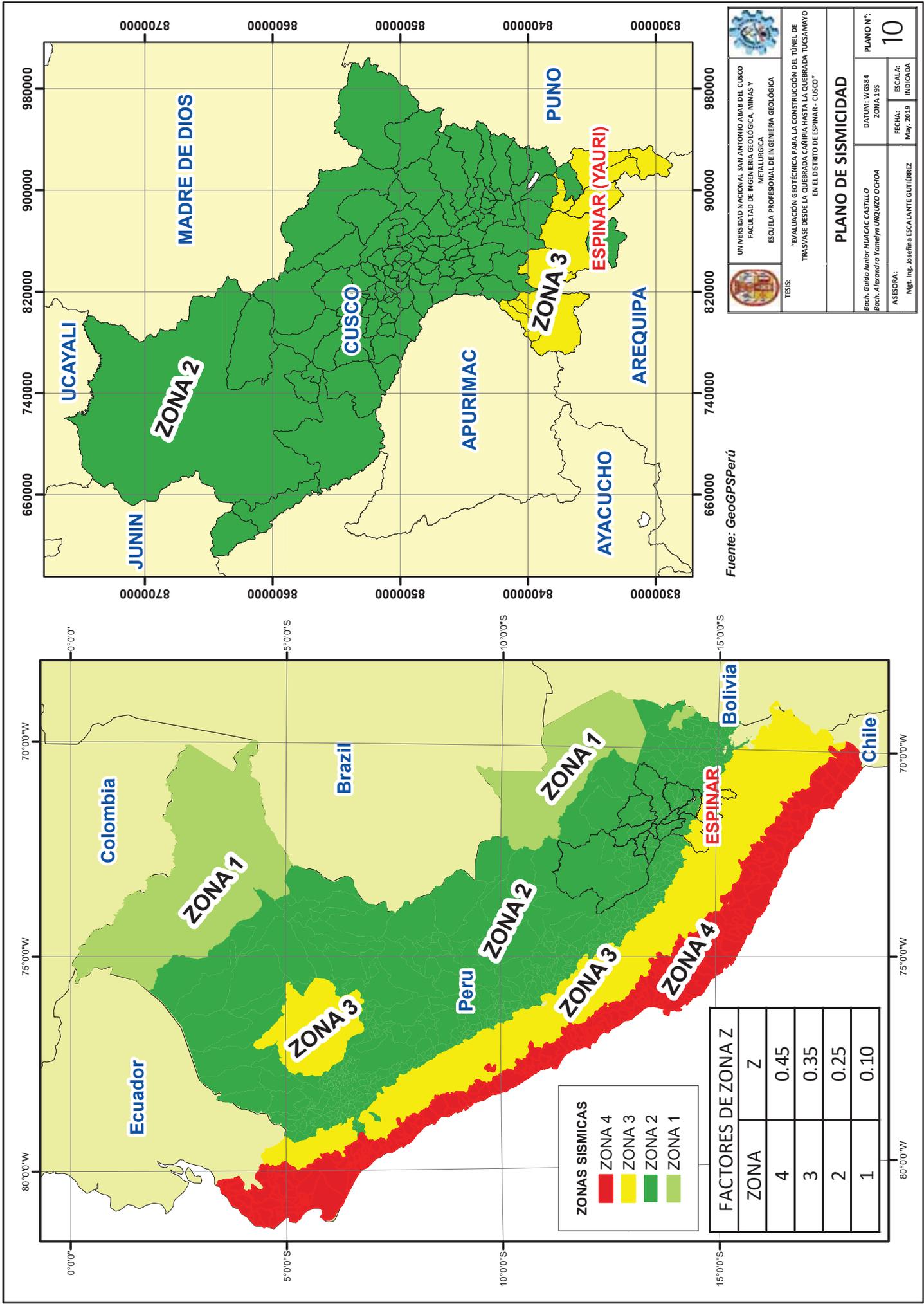
- Efecto hidráulico horizontal: ensanchamiento de causes.
- Efecto hidráulico vertical: producido generalmente en época de lluvias cuando el material de la base es deleznable. Efecto de profundidad de causes.

5.2.3.2. ACCIÓN DE LAS HELADAS

En los climas fríos las repetidas congelaciones separan escamas y fragmentos angulosos de rocas expuestas, lo cual es un proceso al que se denomina “acción de cuña del hielo”



y forma agujas en las pendientes de las montañas; este fenómeno causa afectación de: pastizales, alimentación de los animales, salud de personas en especial los niños y ancianos. Afectación de vías de comunicación por un determinado tiempo, tránsito de vehículos. Dificultades en la evaluación de daños al estar los caminos no operativos y la no existencia de equipos de radios en las comunidades mayor cantidad de tiempo en dar respuesta a la emergencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAAB DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE TRÁNSITO DESDE LA QUEBRADA CAÑAPA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

PLANO DE SISMICIDAD

Bach. Guido Junior HUACAC CASTILLO
 Bach. Alejandra Yamelyn URQUIZO OCHOA

ASESORA:
 Mgtr. Ing. Josefina ESCALANTE GUTIÉRREZ

DATUM: WGS84
 ZONA 135

FECHA:
 May, 2019

ESCALA:
 INDICADA

PLANO N°:
10

Fuente: GeoGPSPerú



CAPÍTULO VI. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Hidrográficamente la zona de estudio se encuentra dentro de las subcuencas de los ríos Salado y Cañipia, que se constituyen en los principales afluentes de la cuenca del río Apurímac.

Específicamente está ubicada entre dos ríos, hacia el oeste el río Tucsamayo y hacia el este el río Cañipia que nacen del río Salado, que se encuentra hacia el norte, estos dos ríos tienen un recorrido de más de 2.5 km en su transcurso.

La zona de estudio se caracteriza por presentar en el año hidrológico dos estaciones marcadamente diferentes:

1. Una estación de verano de precipitaciones esporádicas, que se extiende normalmente entre diciembre y abril.
2. Una estación de invierno que corresponde al resto del año y corresponde a los meses de mayo a noviembre. Esta estación se caracteriza por escasas precipitaciones.



Fotografía N° 9. Observación del Río Cañipia con mayor caudal.

6.1. PARÁMETROS HIDROMETEREOLÓGICOS

6.1.1. PRECIPITACIÓN

En la región andina, las lluvias se originan parcialmente por las corrientes húmedas que ascienden desde el Pacífico y desde la cuenca Amazónica. La altitud necesaria para



alcanzar el punto de condensación de estas masas de aire húmedo es mayor en la vertiente occidental (Pacífico) de la cordillera de los Andes debido a las peculiares características climáticas generadas por la corriente de Humboldt. Si a eso se agrega el hecho de que las corrientes de la Cuenca Amazónica trasladan mayor humedad que las del pacifico, se explica el por qué las precipitaciones en la vertiente oriental (Atlántico) de la Cordillera de los Andes sean mayores que las del Pacífico.

Las precipitaciones por lo general, se presentan después del mediodía, evidenciando el carácter convectivo de las mismas. En efecto, el sol calienta por las mañanas las masas de aire que suben hacia las zonas más frías provocando la precipitación.

Entre los 3500 m.s.n.m. y 4500 m.s.n.m., las precipitaciones son principalmente líquidas mientras que, a mayores altitudes, la precipitación sólida es la que predomina.

La nieve o granizo que pueda acumularse sobre el terreno solo permanece por cortos periodos de tiempo antes de derretirse durante las primeras horas de la mañana del día siguiente, lo cual es un indicativo que toda forma de precipitación escurrirá poco después de haberse registrado, por lo que ninguna parte de la escorrentía es debida a precipitaciones sólidas de meses anteriores.

Particularmente en el área de estudio, la precipitación ocurre principalmente en forma de lluvia. Entre los meses de diciembre a marzo se concentra el 75% de la precipitación total anual, con valores máximos en enero; mientras que entre los meses abril y noviembre, los registros descienden considerablemente, siendo julio el mes más seco. Los meses de abril, octubre y noviembre comprenden la época de transición, cuando las precipitaciones son escasas y aisladas.

6.1.1.1. REGISTROS DE SENAMHI

De acuerdo a la ubicación de la zona de estudio, la estación meteorológica más cercana operada por SENAMHI es la estación Yauri la cual se localiza a 15 Km de distancia y a una altitud de 3927 msnm.

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m.s.n.m.)	REGISTROS DISPONIBLES	REGISTRO OPERADO POR
Yauri	14° 49' S	71° 25' O	3927	Ene 82 - Oct 88	SENAMHI
				Ene 93 - Dic 2016	

Cuadro N° 8. Estaciones regionales disponibles. (Fuente: SENAMHI)



ESTACIÓN YAURI													
Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1982	92,7	98,5	130,0	59,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	14,0	33,4	102,2	539,8
1983	81,9	103,1	111,8	37,8	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9	21,3	33,1	203,9	610,8
1984	93,9	208,2	69,9	8,9	24,0	0,0	0,0	0,0	10,3	125,3	49,4	125,5	715,4
1985	65,4	92,6	169,1	41,4	11,2	0,0	9,9	18,3	31,4	89,5	25,2	107,2	661,2
1986	240,7	95,6	99,9	14,0	0,0	4,5	13,0	15,7	10,5	70,4	128,7	90,1	783,4
1987	210,7	149,9	73,2	51,0	0,0	0,0	5,0	8,9	0,0	0,0	78,0	110,9	687,4
1988	153,4	137,8	39,6	65,0	0,0	0,0	0,0	5,5	69,5	10,0	19,5	144,2	644,5
1993	174,3	284,4	111,7	49,6	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	10,1	6,0	119,3	757,9
1994	193,7	180,3	144,7	34,0	0,0	0,0	16,2	8,6	25,4	53,2	64,4	163,7	884,2
1995	266,3	202,4	123,2	186,6	15,6	0,0	3,3	5,9	69,2	24,8	71,1	104,7	1073,1
1996	248,9	253,4	187,9	63,8	2,6	18,6	0,0	115,4	28,2	23,3	12,2	45,0	999,3
1997	166,5	221,1	128,2	124,6	32,6	7,8	0,0	0,0	0,0	9,0	43,4	99,4	832,5
1998	192,8	182,4	119,1	26,4	1,8	37,4	0,0	31,8	77,0	1,6	23,6	71,6	775,5
1999	43,8	154,6	60,8	0,0	1,4	0,0	6,2	0,0	10,2	49,2	42,0	40,2	408,4
2000	204,2	39,0	44,0	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	116,1	142,6	573,3
2001	269,3	107,2	133,6	116,5	5,5	0,0	0,8	15,0	7,7	93,7	173,7	157,1	1080,1
2002	205,6	221,6	191,1	56,6	16,7	0,0	0,0	0,0	22,2	13,1	66,4	100,6	893,9
2003	165,8	141,2	209,4	81,7	2,7	0,0	0,0	2,8	13,0	51,6	37,6	128,2	834,0
2004	160,4	187,8	109,2	96,9	16,9	0,0	0,0	20,3	13,6	31,0	51,1	105,0	792,2
2005	246,5	209,7	116,4	66,7	3,2	0,0	0,0	26,2	39,4	14,6	91,7	122,6	936,0
2006	217,1	150,4	89,8	13,8	0,0	2,5	0,0	3,6	0,8	48,3	47,0	48,0	621,3
2007	141,6	229,3	159,1	125,5	3,6	0,0	0,0	0,8	47,8	52,9	45,3	155,3	961,2
2008	160,7	194,6	161,8	41,1	4,2	5,6	0,0	12,7	6,2	78,5	26,8	167,8	860,0
2009	265,9	230,5	254,9	99,5	32,0	0,9	4,3	4,8	4,2	32,2	25,8	67,5	1022,5
2010	111,4	294,3	148,0	67,6	24,7	0,5	16,7	0,0	40,5	56,0	94,0	142,8	996,5
2011	171,1	230,0	193,3	36,9	5,7	0,8	0,0	5,5	34,8	11,1	73,4	129,2	891,8
2012	215,7	166,5	84,5	48,4	0,0	1,8	10,7	17,7	25,6	25,7	56,7	105,4	758,7
2013	114,3	176,5	123,2	43,1	1,1	0,0	0,0	4,8	5,6	55,9	41,9	162,2	728,6
2014	295,0	119,9	175,6	45,8	1,4	5,4	0,0	9,7	18,6	59,1	64,1	122,6	917,2
2015	129,7	133,6	108,1	58,6	4,6	0,0	3,4	0,0	16,3	36,3	43,5	117,7	651,8
2016	197,9	107,5	72,5	1,2	4,9	5,8	0,0	0,0	0,2	43,4	24,8	103,3	561,5
Promedio	177,3	171,1	127,2	57,7	7,3	3,0	2,9	10,8	21,1	38,9	55,2	116,3	788,8
Desv. Est.	64,7	60,4	50,3	41,0	9,8	7,4	5,1	21,2	21,4	30,6	36,3	37,6	169,0
C.V.	0,4	0,4	0,4	0,7	1,3	2,4	1,8	2,0	1,0	0,8	0,7	0,3	0,2
Asimetría	-0,2	0,0	0,4	1,2	1,5	3,8	1,8	4,3	1,3	0,9	1,5	-0,1	-0,1
Mínimo	43,8	39,0	39,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	40,2	408,4
Máximo	295,0	294,3	254,9	186,6	32,6	37,4	16,7	115,4	77,0	125,3	173,7	203,9	1080,1

Cuadro N° 9. Precipitación Total mensual y anual (mm). (Fuente: SENAMHI)



6.1.1.2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

a. Precipitación promedio anual en el área de estudio.

Con ayuda de los datos de precipitación extraídos de SENAMHI tenemos como promedio anual para la Estación Yauri (siendo ésta la estación más cercana al área de estudio), el resultado de 788,8 mm, siendo el valor de precipitación anual mínima 408,4 mm y máxima 1080,1 mm.

b. Precipitación promedio mensual en el área de estudio.

A partir del análisis de la información de precipitación, es posible observar que alrededor del 73% de la precipitación total anual se espera que ocurra entre los meses de diciembre a marzo. De otro lado, históricamente el mes más lluvioso corresponde al mes de enero, mientras que el más seco corresponde al mes de julio.

MES	PRECIPITACIÓN (mm)	DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN (%)
Enero	171,4	21,7
Febrero	167,8	21,3
Marzo	133,9	17
Abril	50,9	6,5
Mayo	13,2	1,7
Junio	5,4	0,7
Julio	3,7	0,5
Agosto	15,1	1,9
Setiembre	15,2	1,9
Octubre	43,6	5,5
Noviembre	65,6	8,3
Diciembre	103,2	13,1
TOTAL	789	100

Cuadro N° 10. Precipitación anual media y distribución mensual para el área de estudio. (Elaboración: Propia).



6.1.2. TEMPERATURA

En nuestra zona de estudio, Febrero es el mes más cálido del año, la temperatura oscila entre 3.6°C a 9.5° C, en promedio Julio es el mes más frío del año. Dichos datos se corroboran con los siguientes cuadros:

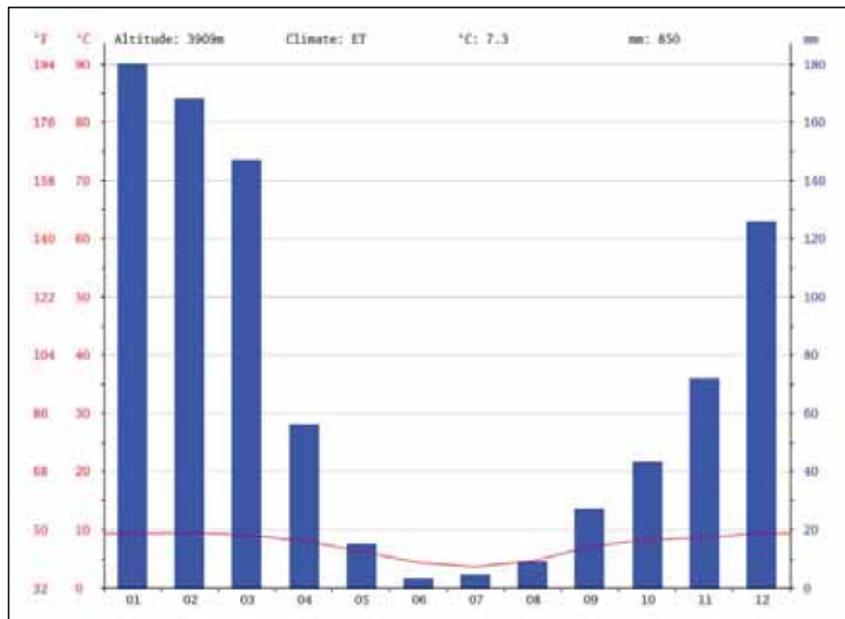


Diagrama N° 1. Climograma de Espinar . (Fuente: Data climática - editado Propio).

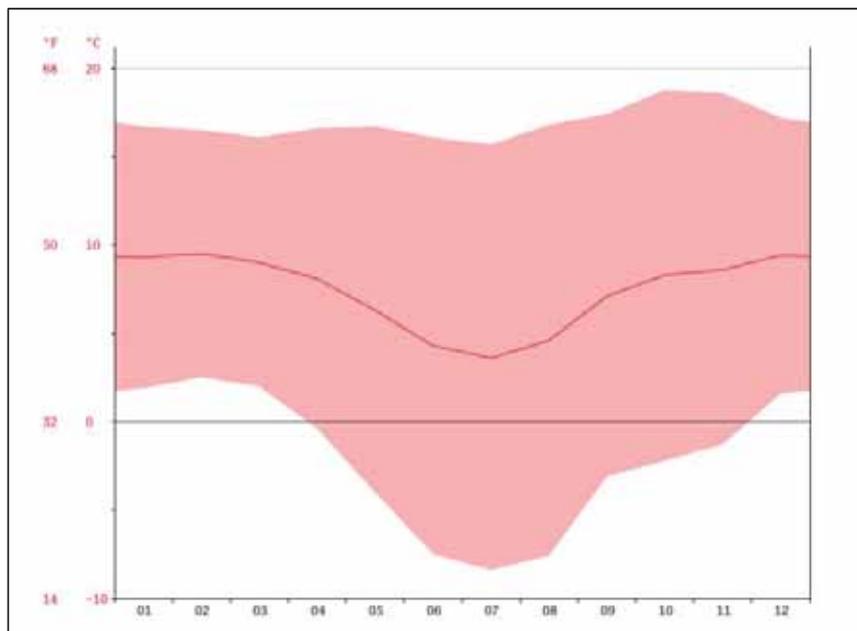


Diagrama N° 2. Temperatura mensual en Espinar- (Elaboración Propia)



6.1.3. ESCURRIMIENTO

El escurrimiento es componente del ciclo hidrológico, y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada.

La precipitación cuando llega a la superficie, se comporta de la siguiente manera:

1. Una parte de la precipitación se infiltra
 - Una parte de ésta, satisface la humedad del suelo, de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua.
 - Una vez que estas capas se han saturado, el agua subterránea es recargada, por la parte restante del agua que se infiltra.
2. Otra parte de la precipitación, tiende a escurrir sobre la superficie terrestre; a la precipitación que ocasiona este escurrimiento, se llama altura de precipitación en exceso.
3. Una pequeña porción se pierde.

Con base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

- a) Escurrimiento superficial (Q), es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.

Los factores que afectan el escurrimiento superficial son:

- Meteorológicos, se pueden considerar la forma, el tipo, la duración y la intensidad de la precipitación, la dirección y la velocidad de la tormenta, y la distribución de la lluvia en la cuenca.
 - Fisiográficos, se pueden considerar las características físicas de la cuenca (superficie, forma, elevación, pendiente), tipo y uso del suelo, humeado antecedente de mismo.
- b) Escurrimiento subsuperficial (Qs), es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total, puede ser inmediato o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, como escurrimiento subterráneo.



c) Ecurrimiento subterráneo (Q_g), es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado.

Con base en la forma en que contribuyen al escurrimiento total, el escurrimiento, se clasifica en escurrimiento directo, cuando su efecto es inmediato, y escurrimiento base si su efecto es retardado.

El hecho de presentarse una precipitación, no implica necesariamente que haya escurrimiento superficial, y en algunos casos tampoco escurrimiento subterráneo, esto depende de una serie de factores.

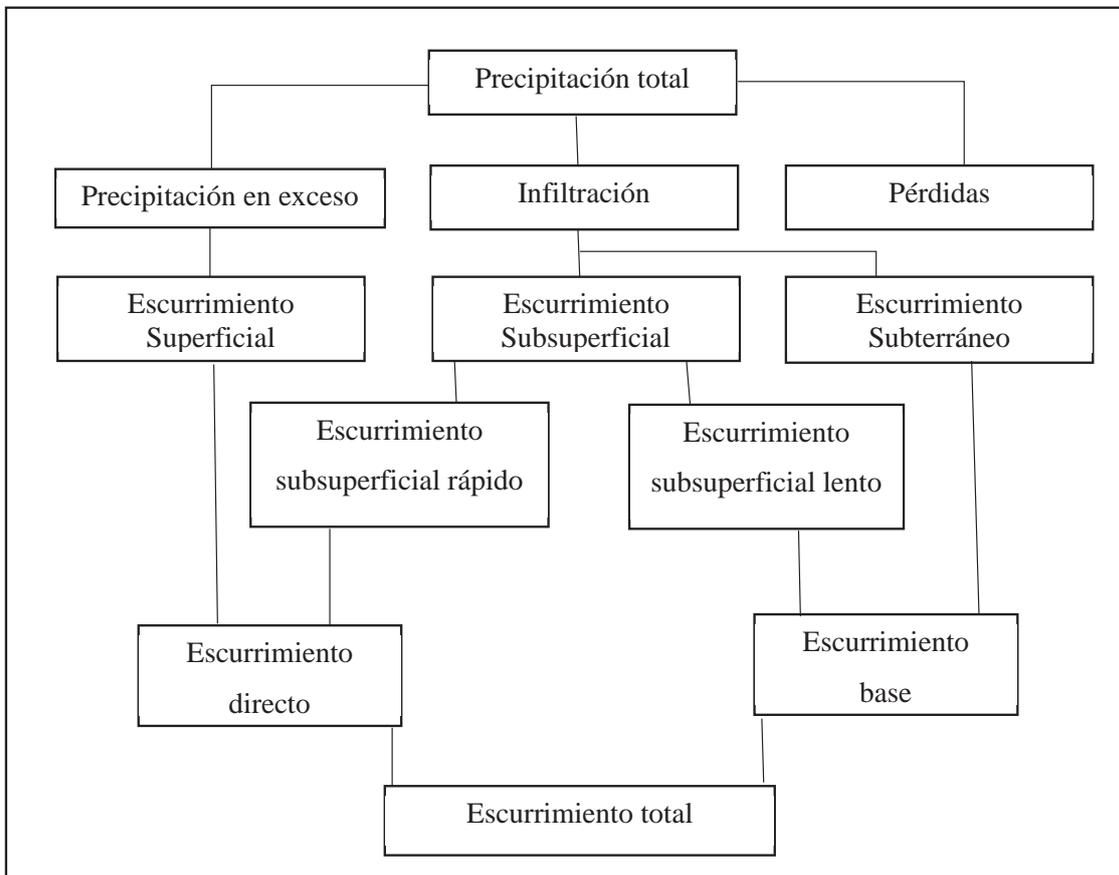


Imagen N° 2. Relación entre la precipitación y el escurrimiento total. (Fuente: Villón Bejar - Hidrología).



6.2. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.2.1. CAUDALES

Se refiere caudal como gasto al volumen de líquido que fluye (es decir que pasa por una sección transversal) en un determinado tiempo.

Por su definición se calcula como el cociente entre el volumen y el tiempo y por lo tanto se mide en unidades de volumen sobre unidades de tiempo, como por ejemplo en metros cúbicos/segundo, litros/segundo, etc.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = Caudal [m³/s]

V = Volumen [m³]

t = Tiempo [s]

6.2.1.1. MEDICIÓN DEL CAUDAL EN ÉPOCA SECA

Considerando época seca durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto se registraron los datos correspondientes a la Quebrada Tucsamayo y a la Quebrada Cañipia, aplicando el método directo.



Fotografía N° 10. Medición del caudal en época seca.



Datos de Caudal en época seca (L/s)		
Meses	Rio Tucsamayo	Rio Cañipia
Mayo	0.520	3.012
Junio	0.490	2.807
Julio	0.750	2.504
Agosto	0.765	3.620

Cuadro N° 11. Datos de caudal registrados en época seca en la Quebrada Tucsamayo y en la Quebrada Cañipia.
(Fuente: propia)

6.2.1.2. MEDICIÓN DEL CAUDAL EN ÉPOCA DE LLUVIAS

Considerando época de lluvias durante los meses de Setiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero se registraron los datos correspondientes a la Quebrada Tucsamayo y a la Quebrada Cañipia, aplicando el método directo.



Fotografía N° 11. Medición del caudal en época de lluvias.



Datos de Caudal en época de lluvias (L/s)		
Meses	Rio Tucsamayo	Rio Cañipia
Setiembre	0.720	5.050
Octubre	0.750	6.500
Noviembre	0.670	7.350
Diciembre	0.780	7.620
Enero	0.880	7.800
Febrero	0.950	11.500

Cuadro N° 12. Datos de caudal registrados en época de lluvias en la Quebrada Tucsamayo y en la Quebrada Cañipia. (Fuente: propia)

6.3. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

La caracterización hidrogeológica ha sido llevada a cabo en base a la información obtenida de las perforaciones diamantinas realizadas en el área de interés.

6.3.1. FORMACIONES HIDROGEOLÓGICAS

En función de la capacidad de los materiales del medio para almacenar y transmitir el agua subterránea, se distinguen:

- Acuífero: formación geológica que almacena y permite la circulación del agua subterránea. El material ha de ser poroso y permeable, como arenas, gravas o calizas karstificadas.
- Acuífugo: formación geológica que ni contiene agua en cantidades apreciables ni permite su circulación. Son materiales no porosos ni fisurados, e "impermeables", como los granitos o las cuarcitas no alterados.
- Acuicludo: formación geológica capaz de almacenar agua, pero que no permite su libre circulación. P.e., arcillas, margas o piedra pómez, de alta porosidad pero prácticamente impermeables.
- Acuitardo: formación geológica capaz de almacenar agua, pero que la transmite dificultosamente. Son materiales porosos pero poco permeables, como limos, arenas arcillosas o pizarras poco fisuradas. Son materiales semipermeables o semiconfinantes.



TIPO DE FORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA	EJEMPLOS	RANGOS DE PERMEABILIDAD	RANGOS DE POROSIDAD
Acuífero	Formaciones aluviales con gravas y arena.	1 - 1000 m/día	10% - 30%
	Formaciones calizas karstificadas.		
Acuitardo	Formaciones aluviales con arenas muy finas, limo y arcillas.	0.1 - 0.001 m/día	20% - 40%
	Formaciones margosas.		
Acuicludo	Formaciones arcillosas.	$10^{-4} - 10^{-7}$ m/día	>40%
Acuifugo	Rocas ígneas y metamórficas "sanas".	$< 10^{-7}$ m/día	>60%
	Formaciones carbonatadas sin fisuración ni karstificación.		

Cuadro N° 13. Tipos de formaciones hidrogeológicas y rangos característicos de porosidad y permeabilidad de las mismas. (Fuente: FISCH – Fundamentos de la Hidrogeología).

6.3.2. PERMEABILIDAD Y POROSIDAD

6.3.2.1. POROSIDAD (m)

Relación entre el volumen de huecos de un material (V_h) y su volumen total (V_t):

$$m = V_h / V_t$$

Es una propiedad adimensional, y se expresa normalmente en tantos por ciento. Su valor oscila entre el 1% (rocas muy compactas) y el 50% (en algunos depósitos de grano fino). Los medios sólidos pueden presentar una **porosidad primaria** (medios porosos, con porosidad intergranular o intersticial), adquirida durante su formación o depósito, o bien una **porosidad secundaria** (medios fisurados y kársticos, con porosidad por fisuración y por disolución), adquirida con posterioridad a su formación.

6.3.2.2. PERMEABILIDAD (K)

La permeabilidad o conductividad hidráulica de un material expresa la facilidad que éste presenta para que el agua circule a través de él.

Depende tanto de las características del medio, sobre todo del tamaño medio de los poros d , como de las propiedades del fluido en cuestión (de la viscosidad, μ , y del peso específico, γ).



La permeabilidad intrínseca, específica o coeficiente de permeabilidad (k_0), es un parámetro característico de cada medio en particular, que no depende del fluido:

$$K = C * d^2 * \frac{\gamma}{\mu} = k_0 * \frac{\gamma}{\mu}$$

La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad [LT-1], expresándose normalmente en m/día o en cm/s.

Existen materiales con una permeabilidad de diez o más órdenes de magnitud mayor que la de otros considerados "impermeables".

ÍTEM	TIPO DE SUELOS	SÍMBOLO	k (cm/s)
1	Grava mal graduada	GP	≥ 1
2	Grava uniforme	GP	0.2 - 1
3	Grava bien graduada	GW	0.05 - 0.3
4	Arena uniforme	SP	$5 \cdot 10^{-3}$ - 0.2
5	Arena bien graduada	SW	10^{-3} - 0.1
6	Arena limosa	SM	10^{-3} - $5 \cdot 10^{-3}$
7	Arena arcillosa	SC	10^{-4} - 10^{-3}
8	Limo de baja plasticidad	ML	$5 \cdot 10^{-5}$ - 10^{-4}
9	Arcilla de baja plasticidad	CL	10^{-5} - 10^{-8}

Cuadro N° 14. Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos (Fuente: Gonzales de Vallejo)

Para realizar una evaluación de la permeabilidad y porosidad, se ha utilizado la información procedente del mapeo geológico realizado en campo y de las perforaciones diamantinas.

6.3.2.1. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Durante la ejecución de los trabajos de perforación diamantina se han realizado pruebas de permeabilidad por tramos habiéndose cubierto toda la profundidad de perforación alcanzada, tal como se puede observar en las correspondientes hojas de cálculo de todas las perforaciones realizadas. (Ver anexos)

Se han realizado cuatro perforaciones diamantinas, en la zona de eje del túnel.



El tipo de prueba de permeabilidad en cada caso particular depende de numerosos factores, tales como tipo de material, localización del nivel freático y homogeneidad o heterogeneidad de los distintos estratos del suelo, en cuanto a permeabilidad se refiere.

Los ensayos de permeabilidad se realizaron durante la perforación diamantina estos ensayos nos permiten determinar in situ la permeabilidad del suelo y de la roca mediante los ensayos de permeabilidad tipo Lefran en los depósitos aluviales y suelos y tipo Lugeón en los tramos rocosos.

6.3.2.1.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRAN

El procedimiento para la ejecución del ensayo tipo Lefran es como sigue: Una vez determinada la profundidad deseada, debemos limpiar el pozo por un periodo aproximado de 10 minutos, se conecta la manguera de 1” de la bomba de agua de la perforadora a la botella rompe presiones y se arma una T con los nipples y las válvulas de paso se conecta el caudalímetro a una de las entradas de la llave, otra manguera a otra válvula de paso para retorno de agua, se conecta una manguera al caudalímetro la cual va a la tubería de menor diámetro en el taladro y posteriormente se mide el nivel de agua presente en el pozo.

De acuerdo al tipo de suelo atravesado se determinará el tipo de prueba. Para suelos finos (caso de las arcillas, limos, limos-arcillas, arcillas-limos, también para arcillas gravosas, gravas arcillosas, “diferenciando la presencia apreciable de finos”) se debe ejecutar el ensayo carga constante y para los suelos gruesos (gravas, arenas y algo de finos (limos-arcillas y/o mezcla de ellos) debemos ejecutar el ensayo carga variable.

El ensayo carga constante consiste en medir el caudal de agua que ingresa en un determinado tiempo podemos considerar cada minuto ($T=1$ min) hasta los 10 o 15 minutos, hay que tener presente que debemos mantener (en lo posible) un nivel constante, esto debe ser controlado desde la boca del revestimiento y/o de la tubería de perforación

El ensayo Carga Variable consiste en medir el nivel del agua en estado de descenso, es decir: vamos a llenar con agua hasta el ras de la tubería (sea revestimiento o tubería de perforación) y una vez que alcanzamos ello tenemos que controlar el descenso sincronizado con el cronometro (dando tiempos $T=1$, $T=2$, $T=5$, $T=10$, $T=20$, $T=30$, $T=60$ y $T=90$), medido en minutos. Debemos medir el descenso con una sonda de medición de nivel de agua.

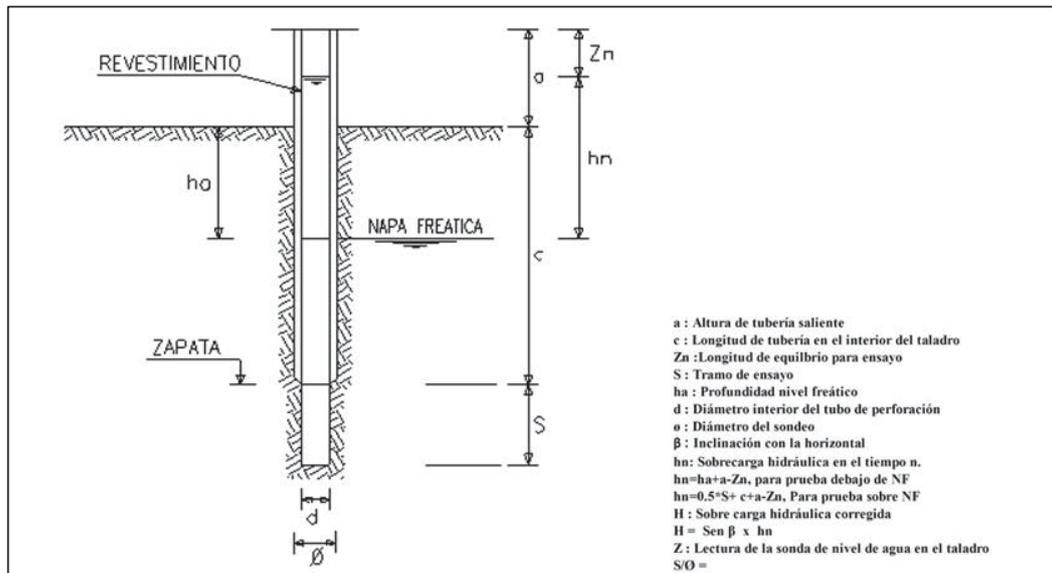


Imagen N° 3. Esquema de la prueba de permeabilidad Lefran. (Fuente: Hidrogeología FISCH).

En la zona del eje de túnel se tienen en 3 estratos definidos, conformado por una capa delgada de 0.60 a 1.00 metros de potencia de limos arcillosos con desarrollo orgánico moderado, seguido de un estrato de potencias variables de entre 4.60 a 1.20 metros de material limo arenoso, con presencia de arcillas, otro estrato masivo conformado por toba residual, secuencia del grupo Maure, conformado por arenas limosas de grano medio, mal graduadas, de baja cohesión, se deshace fácilmente con la compresión de la mano.

Se hace referencia que localmente no hay presencia de zonas de bofedales y de acuerdo de las pruebas de permeabilidad realizadas en los sondajes diamantinos, el material a profundidad presenta alta permeabilidad.

El nivel freático del perfil de la zona de túnel se ubica al nivel de las dos quebradas que están ubicadas tanto al ingreso y salida de túnel.

A partir del reconocimiento de las formaciones litológicas del área local la permeabilidad presentada está limitada a la porosidad secundaria del macizo rocoso presente, en toda la línea de sección del túnel, la porosidad caracterizada en las pruebas de permeabilidad realizadas en los sondajes diamantinos es de:



ÍTEM	SONDAJE	PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO	PERMEABILIDAD (cm/s)
1	DHT-01	19.60	SM	3.98
2	DHT-01	26.60	SM	1.97
3	DHT-02	36.10	SM	2.08
4	DHT-03	30.20	SM	2.43
5	DHT-04	25.60	SM	2.91

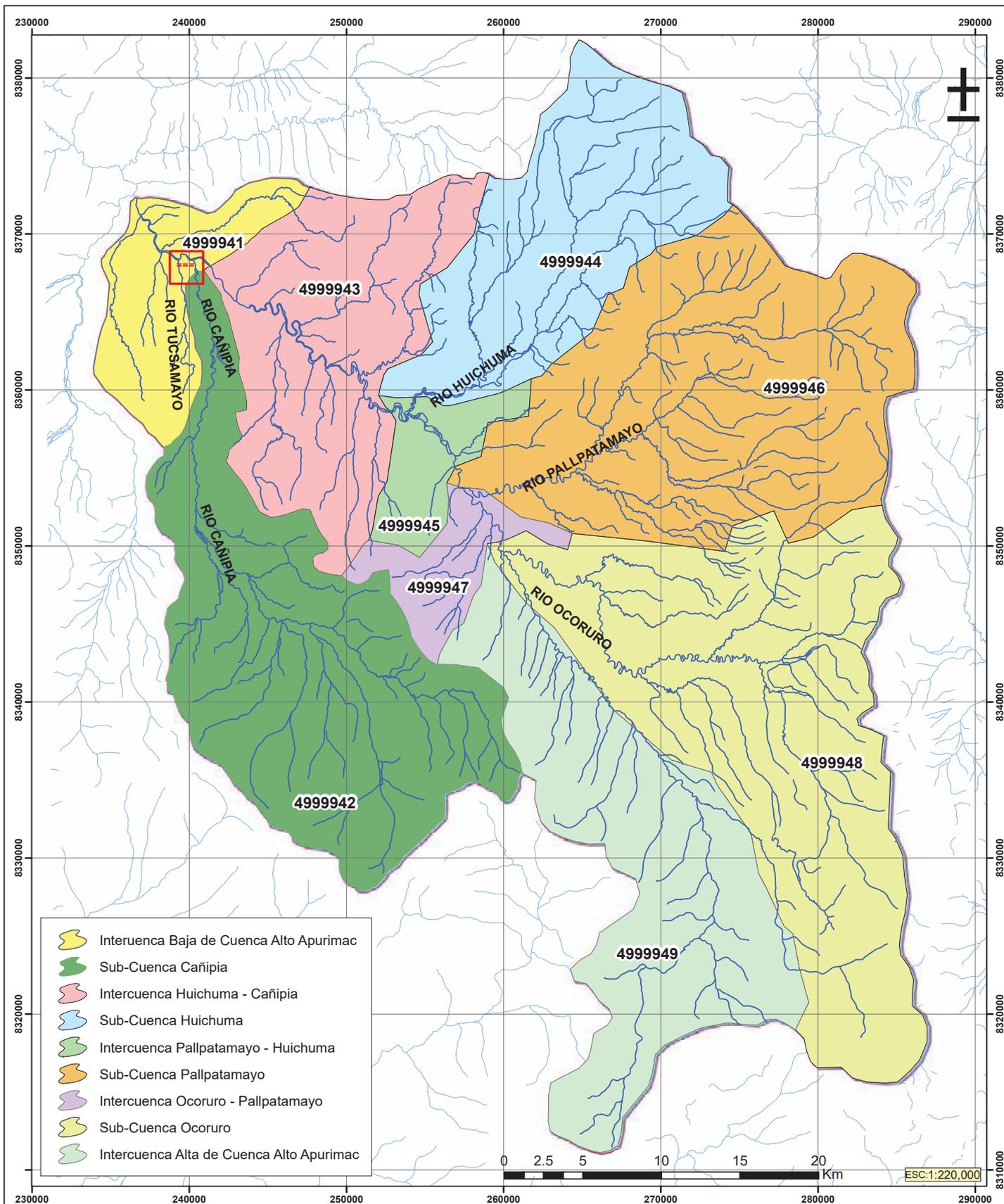
Cuadro N° 15. Datos de permeabilidad de tipo de suelo. (Elaboración: propia)

Hidrogeológicamente hablando se tiene suelos muy permeables conformados por arenas limosas, donde el consumo de agua es alto.

De acuerdo a las perforaciones diamantinas y los ensayos de permeabilidad, durante la perforación el retorno de agua en general era de 80%.

Podemos clasificarlo de acuerdo a la tipología de formaciones hidrogeológicas como un acuitardo ya que está conformado por arenas limosas, con un rango de permeabilidad de 0.1 – 0.001 m/día, con una porosidad de 20% a 40%.

De acuerdo al cuadro de rango de valores de permeabilidad de suelos areno limosos, tendría un valor de 10^{-3} – $5*10^{-3}$ cm/s, el cual se confirma con los valores de las pruebas de permeabilidad.

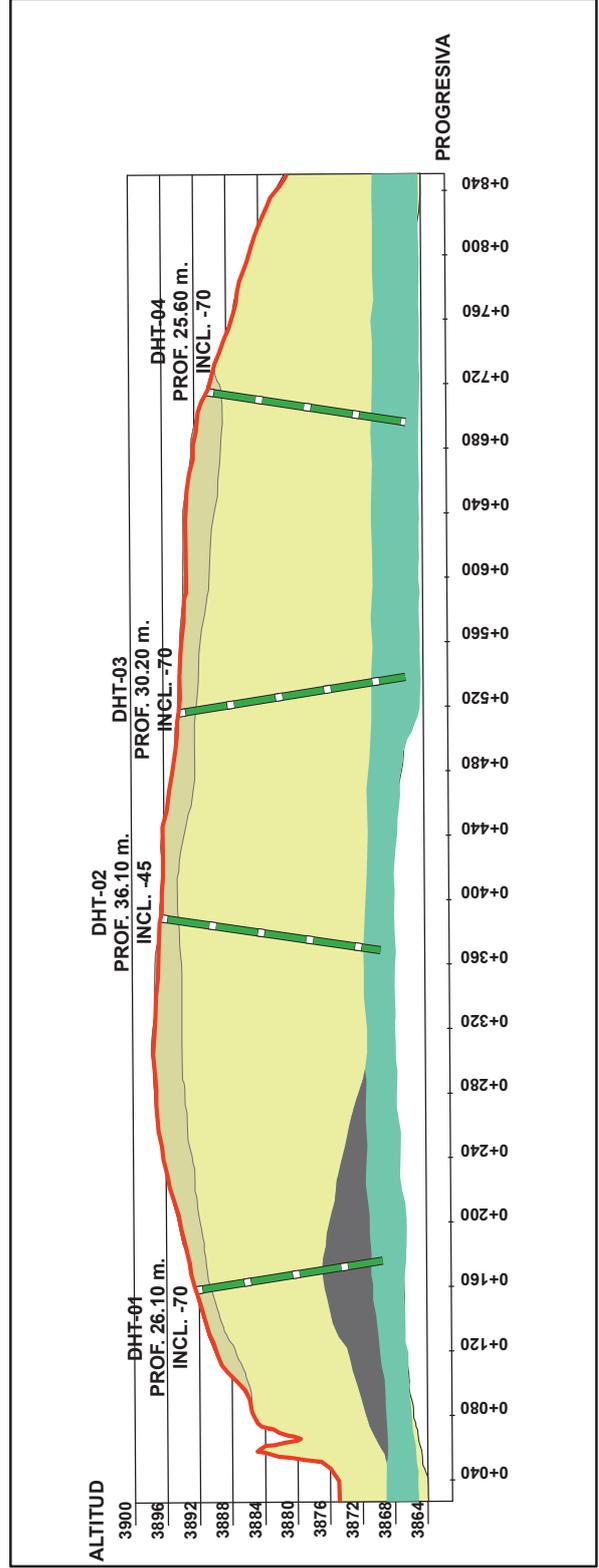
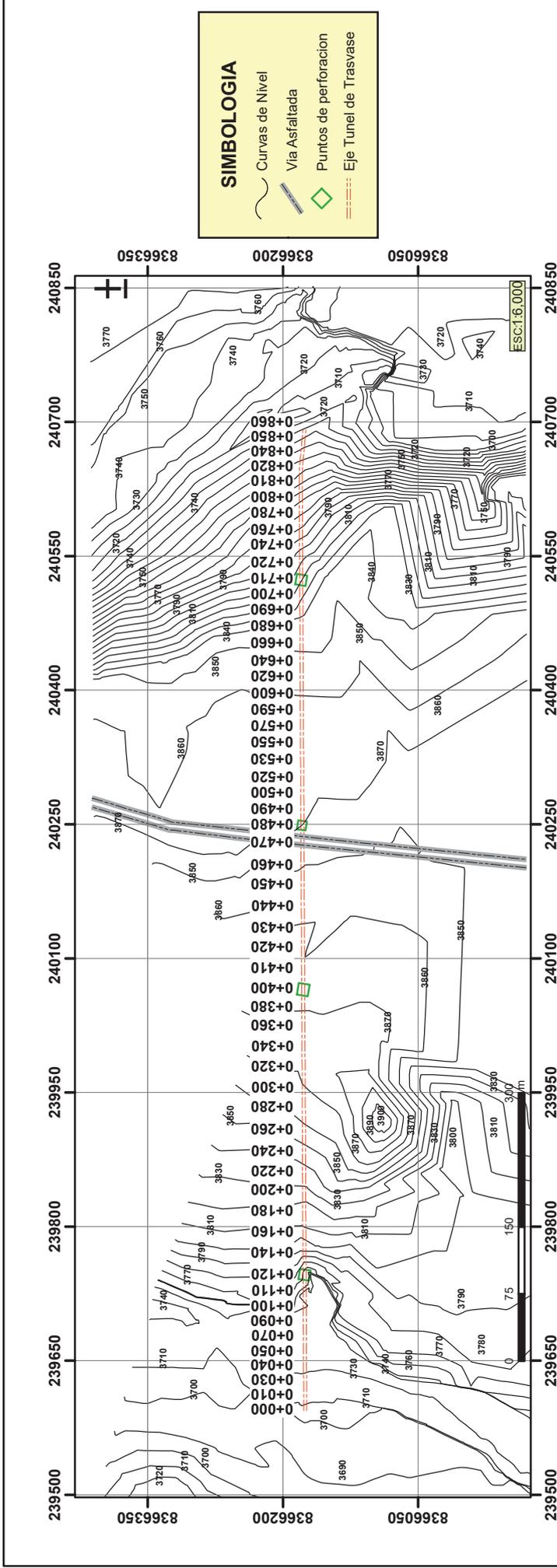


- Interuenca Baja de Cuenca Alto Apurimac
- Sub-Cuenca Cañipa
- Interuenca Huichuma - Cañipa
- Sub-Cuenca Huichuma
- Interuenca Pallpatamayo - Huichuma
- Sub-Cuenca Pallpatamayo
- Interuenca Ocoruro - Pallpatamayo
- Sub-Cuenca Ocoruro
- Interuenca Alta de Cuenca Alto Apurimac

SIMBOLOGIA

- Area de Estudio
- Tunnel de Traslase
- Rios
- Cuenca Hidrografica

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE TRASVASE DESDE LA QUEBRADA CAÑIPIA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"		
PLANO HIDROLÓGICO		
Bach. Guido Junior HUACAC CASTILLO Bach. Alexandra Yamelyn URQUIZO OCHOA		DATUM: WGS84 ZONA 19S
ASESORA: Mgt. Ing. Josefina ESCALANTE GUTIÉRREZ	FECHA: May. 2019	ESCALA: 1:220.000
		11



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD		
GRADOS DE PERMEABILIDAD	VALOR DE K (cm/s)	SIMBOLOGIA
ELEVADA	> 10-3	
MEDIA	10-1 A 10-3	
BAJA	< 10-1	

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
EN EL INSTITUTO DE ESPINAR - CUSCO

PLANO HIDROGEOLOGICO

Autor: Diego Javier Huaco Castillo Asesor: Araceli Trujillo Durand Asesor Inv.: Ing. Jherline Escalante Gutierrez	DATUM: WGS84 ZONA: EPSG FECHA: ESCALA: Mm: 20:1 1:5000
--	---

PLANO N°: 12



CAPÍTULO VII. GEOTECNIA

En el presente capítulo, se desarrollaron estudios directos consistentes en perforaciones diamantinas, mapeo geotécnico, clasificación geomecánica superficial, analisis de los testigos de perforación y cinemático de taludes.

Estos estudios nos permitirán determinar las propiedades geotécnicas del túnel de trasvase, definir las alternativas para el tratamiento de estabilización del túnel.

El túnel proyectado conecta dos quebradas: por un lado, la quebrada Cañipia y por el otro la quebrada Tucsamayo, tiene una longitud de 854.00 m. lineales de trazado, tal como se muestra en la imagen N°4, con el trazo definitivo de la línea de túnel de trasvase, debemos señalar que el presente estudio es realizado con fines de investigación geotécnica.

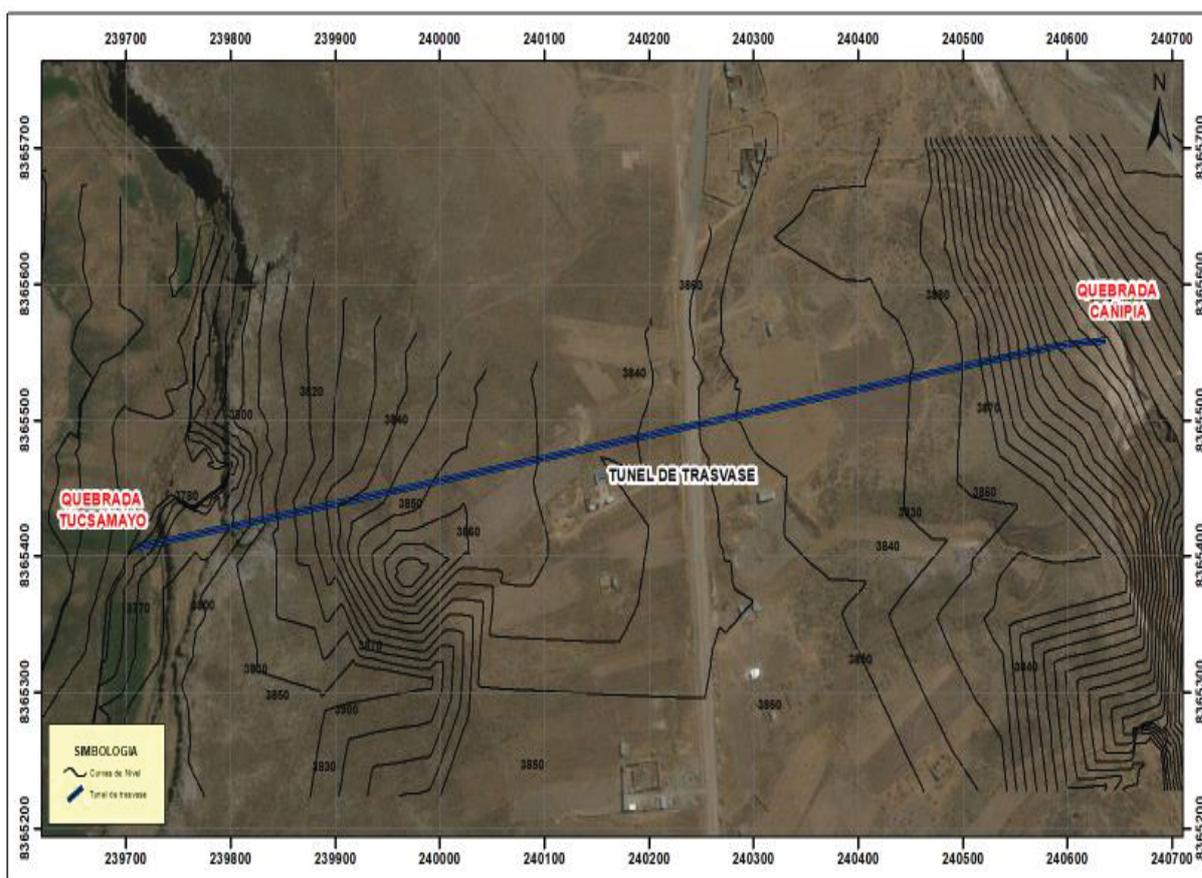


Imagen N° 4. Eje del túnel de trasvase proyectado.



7.1. GEOMECÁNICA DE ROCAS

Es importante conocer el comportamiento geomecánico de una masa rocosa, el cual depende de tres aspectos fundamentales e interrelacionados entre sí. El primer aspecto lo constituye la resistencia de la roca intacta; es decir, el comportamiento de un espécimen de roca exenta de discontinuidades y fisuras, cuya resistencia responde a las propiedades de las moléculas de los minerales que lo conforman, así como al material cementante que los une, si es el caso.

El segundo aspecto está referido al grado de fracturamiento o al número y distribución de discontinuidades que afectan a la masa rocosa. Un macizo rocoso puede abarcar a una masa sólida, continua, o bien llegar hasta el extremo de tener tantas fisuras que en conjunto se comportara como si estuviera compuesto de partículas íntimamente embonadas, sin resistencia alguna en condiciones de no confinamiento. Los planos de las discontinuidades ofrecerán diferentes grados de resistencia según estén cerradas, según la rugosidad que tengan, si estando abiertas poseen material de relleno ó no, y del tipo de material de relleno; así tendrán fisuras cerradas, con propagaciones irregulares y superficiales muy rugosas ofrecerán significativa mayor resistencia a los esfuerzos de corte que interesan a la estabilidad interbloques, que si se trataran de fracturas planas, de superficies listas y rellenas de arcillas sensitivas.

El tercer aspecto está referido a esfuerzos activos que actúan en el macizo rocoso. Por un lado, están los esfuerzos tensionales que transmiten las presiones hidrostáticas de las aguas subterráneas en las discontinuidades, y por otro los esfuerzos debido a cargas litostáticas con las subsecuentes deformaciones y esfuerzos horizontales, y los procesos de descompresión que pueden darse en las excavaciones y afloramientos.

De las consideraciones anteriores, fácilmente se deduce la imposibilidad de recoger la totalidad de información necesaria para evaluar el comportamiento del macizo rocoso, y más aún integrarlos para llegar a una solución única. Sin embargo, las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos son la alternativa que se nos brinda por ahora, para simplificar las evaluaciones en el campo de la mecánica de rocas.

7.1.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Para poder evaluar adecuadamente las características geotécnicas de los materiales, se han utilizado los criterios de evaluación Geomecánica de Bienawsky que se basan principalmente sobre una serie de factores de observación directa de los testigos



recuperados en el proceso de perforación. Los conceptos y criterios de la evaluación geomecánica de Bienawsky se resumen a continuación de la siguiente manera.

7.1.1.1. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO SISTEMA RMR DE BIENIAWSKY (1989)

Este sistema de clasificación fue desarrollado por el profesor Z.T. Bienawsky, en el Consejo Sudafricano para la Investigación Científica e industrial (CSIR) en 1973 y fue modificado en 1989. Esta clasificación tiene las siguientes ventajas:

- a) Proporciona las cualidades del sitio investigado, con un mínimo de parámetros de clasificación.
- b) Proporciona información cuantitativa para propósitos de diseño.
- c) Es simple y significativa en términos pues está basada en parámetros medibles que pueden ser determinados rápidamente y a bajo costo.

El sistema RMR, cuenta con cinco parámetros básicos. Cada uno de estos parámetros está subdivididos en rangos de aplicación con sus puntuaciones respectivas.

I. RESISTENCIA DE ROCA INTACTA

Bienawsky basa sus valuaciones en rangos de Resistencia Compresiva Uniaxial de la roca intacta, o de acuerdo al índice de la Carga Puntual (PLT).

II. DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA (RQD)

El RQD, propuesto por DEERE (1967), es de uso frecuente como una medida de la calidad de testigos de perforación, en función del fracturamiento del macizo. El RQD es definido como la relación porcentual de la suma de las longitudes de testigos exentos de fracturas de 10 cm. a más, respecto a la longitud total perforada.

$$RQD = \frac{\text{Longitud de Testigos } > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud Total Perforada}}$$

Cuando no se cuenta con testigos de perforaciones es posible estimar el RQD en un afloramiento rocoso haciendo uso de la siguiente relación propuesta por Barton et. En (1974).

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

$$J_v = \text{N}^\circ \text{ de discontinuidades / m}^3 \text{ de roca}$$



CLASE	CALIDAD	VARIACIÓN RMR	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 - 81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Cuadro N° 16. Clasificación de calidad de la roca según el RQD.

III. ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

Para esta característica del macizo rocoso, Bienawsky en su clasificación RMR modificada de 1979, considera los rangos recomendados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, para el estado de las discontinuidades.

Para la evaluación de este parámetro, toma en cuenta la separación o abertura de la discontinuidad, extensión, rugosidad y grado de alteración de las paredes, y el tipo de material de relleno.

IV. ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES

a) Espaciamiento entre Discontinuidades

Constituye otro factor de evaluación geo mecánica de la roca, en la cual se mide el espaciamiento o longitud de la roca sana entre una fractura y otra, (fallas, fracturas o fisuras). De acuerdo a la magnitud de dichos espaciamientos, la roca se clasifica en las siguientes clases:

CLASES	ESPACIAMIENTO
A	Más de 2 m
B	Entre 2 y 0.60 m
C	Entre 0.60 y 0.20 m
D	Entre 0.20 y 0.06 m
E	Entre 0.06 y 0.00 m

b) Condiciones de las juntas



- Superficies muy rugosas. las juntas son continuas. No hay separación entre las paredes de las juntas. Roca resistente en las paredes de las Juntas.
 - Superficies ligeramente o suave rugosas. Separación menor de 1 mm. Roca resistente en las paredes de las Juntas.
 - Superficies ligeramente o suave rugosas. Separación menor de 1 mm. Roca alterada y/o blanda en las paredes de las Juntas.
 - Superficies deslizadas o relleno con espesor menor de 5 mm o Juntas abiertas 1 a 5 mm.
 - Relleno con espesor mayor de 5 mm o Juntas abiertas más de 5 mm.
- c) Condiciones de la Napa
- Completamente seco
 - Húmedo o Semi Seco
 - Baja presión
 - Mediana presión
 - Alta presión
- d) Grado de Alteración.-

Este parámetro, no integrado en la clasificación de Bienawsky, se contempla en los cortes de sondeos.

ROCA MODERADAMENTE ALTERADA

- La meteorización se extiende a través de toda la masa rocosa, pero conserva suficiente resistencia para no ser desmenuzable con la mano.
- Menos de la mitad de la roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo. Se presentan zonas de roca sana o ligeramente decolorada, bien formando un marco continuo o bien como bloques o núcleos sanos.

ROCA MUY ALTERADA

- La meteorización se extiende a través de toda la masa rocosa, se desmenuza a mano.
- Más de la mitad de la roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo.
- Pueden presentarse zonas de roca sana o ligeramente decolorada formando bloques o núcleos sanos.



ROCA COMPLETAMENTE ALTERADA

- Toda la masa de roca esta desintegrada y/o descompuesta en forma de suelo en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original.

SUELO RESIDUAL

- Suelo donde no aparece la textura, ni la estructura, ni la mineralogía de la roca original. El suelo no ha sido transportado en modo significativo.

V. CONDICIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Toma en consideración la influencia del flujo de agua subterránea en rangos de flujo observado, la relación de la presión del agua en las discontinuidades con el esfuerzo principal mayor, o por alguna observación cualitativa general de las condiciones del agua subterránea. En nuestro caso, para los efectos de valuación de este parámetro se ha considerado que no existen presiones hidrostáticas.

PARAMETRO			RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	>10Mpa	4 - 10Mpa	2 - 4Mpa	1 - 2Mpa			
		Compresión simple	>250Mpa	100-250Mpa	50-100Mpa	25-50Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		>2m	0,6 - 2m	0,2 - 0,6m	6 - 20cm	<6cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m	>20m		
		valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1 - 1,0mm	1 - 5mm	>5mm		
		valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		valor	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
valor	6	5	3	1	0				
5		Relación Pagua/Pprinc	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		



Flujo de agua en las juntas	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
valor		15	10	7	4	0

Cuadro N° 17. Parámetros físicos de clasificación geomecánica RMR.

7.2. GEOMECAÍNCA DE SUELOS

La Mecánica de Suelos brinda las herramientas que permiten la solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos: el origen y la formación del suelo es el primer análisis para sectorizar o inferir sobre la presencia de formaciones litológicas diferentes, de comportamientos diversos; la relación de fases permite conocer los pesos y volúmenes de los suelos y sus variaciones cuando cambia su humedad; la clasificación de los suelos se realiza en los laboratorios, donde se identifican las propiedades de los suelos granulares, dependiendo de la cantidad y frecuencia de los tamaños de los granos que conforman el suelo o las cualidades de los suelos finos por la plasticidad que exponen sus partículas finas.

El suelo y el agua tienen vínculos muy estrechos y tanto la ausencia de agua dentro de la estructura del suelo cuando éste se seca, o el exceso hasta la saturación ejercen control sobre su peso, alteran la resistencia de ese suelo y cambia su volumen; además de la respuesta del suelo fino saturado por la aplicación de cargas estáticas, cuando se induce el flujo del agua libre, se deforma y sufre asentamiento la estructura apoyada en él.

Es importante determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, a continuación, se detallarán los ensayos realizados de las muestras obtenidas de la zona de estudio.

7.2.1. TRABAJOS DE LABORATORIO

Los trabajos del laboratorio se han orientado a determinar las características de los materiales obtenidos en el campo y en cada prospección efectuada. Estos ensayos se han efectuado a las muestras disturbadas y según las recomendaciones de la American Society of Testing and Materials, (ASTM).

Los ensayos físico-mecánicos efectuados a las muestras, acordes a las Normas de la ASTM y a los requerimientos del estudio, corresponden a los siguientes:



- Análisis Granulométrico (ASTM D-422)
- Límite Líquido (ASTM D-4318)
- Límite Plástico (ASTM D-4318)
- Corte directo.

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	CÓDIGO DE MUESTRA	DESDE	HASTA	ENSAYO
1	DHT-01	239905	8365439	3892	DHT-M-01	25.10	26.60	CORTE DIRECTO, GRANULOMETRIA, LIMITES
2	DHT-02	240136	8365478	3896	DHT-M-02	35.00	36.10	CORTE DIRECTO, GRANULOMETRIA, LIMITES
3	DHT-03	224026	8365500	3894	DHT-M-03	28.60	30.20	CORTE DIRECTO, GRANULOMETRIA, LIMITES
4	DHT-04	240458	8365533	3891	DHT-M-04	24.50	25.60	CORTE DIRECTO, GRANULOMETRÍA, LIMITES

Cuadro N° 18. Muestreo realizado de sondajes en la zona de Túnel proyectado. (Elaboración: propia).

7.2.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D-422)

El siguiente ensayo es usado para determinar la cantidad de partículas contenidas de acuerdo a un determinado tamaño, las cuales se verán reflejados durando su desarrollo, así mismo determinar el tipo de suelo con el cual estamos trabajando, obteniendo cuantitativamente la distribución de tamaño de las partículas.

7.2.1.1.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz N° 4. Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz N° 4.
- Horno eléctrico
- Tamices de malla cuadrada:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3”	75,000
1 ½”	38,100
¾”	19,000
⅜”	9,500
N° 4	4,760



N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

7.2.1.1.2. PROCEDIMIENTO

1. Se tiene una porción de material, puede trabajarse con todo el material extraído y con una cuarta parte del cuarteo, aproximadamente 2-3 kilos.
2. Seguidamente se pasa a separar el material por la malla N° 4 separando los finos que pasas y los gruesos que son retenidos.
3. Proceder lavando el material para sacar el material fino, previamente deben ser pesados totalmente para que el valor restante luego del lavado y secado sea añadido a la fracción fina.
4. Al obtener el material libre de finos se procede a llevarlos al horno y dejarlos hasta alcanzar el secado completo, luego dejar enfriar y preparar los tamices tanto para los finos como para los gruesos.
5. Se procede a pasar el material a través de los tamices.
6. Seguidamente se procede a pesar el material retenido en cada malla, anotando los datos obtenidos.

7.2.1.1.3. CALCULOS Y RESULTADOS

Se procede a tomar los cálculos de acuerdo a los datos obtenidos, los cuales serán pasados por la hoja de cálculo previamente elaborada.

Dichas hojas de cálculo se hallan en los anexos, teniendo como resultados en la primera muestra PD-M-01 un suelo tipo SM dentro de la clasificación de SUCS y suelo tipo A-4 dentro de la clasificación de AASHTO, en la segunda muestra PD-M-02 un suelo tipo SP-SM dentro de la clasificación de SUCS y suelo tipo A-1-a dentro de la clasificación de AASHTO, en la tercera muestra PD-M-03 un suelo tipo SP-SM dentro de la clasificación de SUCS y suelo tipo A-1-b dentro de la clasificación de AASHTO y por último en la cuarta muestra PD-M-04 un suelo tipo SP-SM dentro de la clasificación de SUCS y suelo tipo A-1-b dentro de la clasificación de AASHTO.



Fotografía N° 12. Ensayo Granulométrico.

7.2.1.2. LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4318)

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre el estado líquido y plástico, para determinar el límite máximo que alcanza un suelo antes de pasar el estado líquido.

7.2.1.2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Aparato de límite líquido o de Casagrande que consiste en una cuchara de bronce sobre una placa y una manivela para producir los golpes de la cuchara.
- Capsulas para Horno
- Horno eléctrico
- Agua en un gotero
- Tamiz N° 40
- Conservador de vidrio
- Recipientes de plástico
- Balanzas de precisión 0.01g

7.2.1.2.2. PROCEDIMIENTO

1. Se procede a extraer material de la fracción fina, el cual debe pasar por la malla N° 40 y se coloca en un envase de plástico hasta llenar más de la mitad de este.



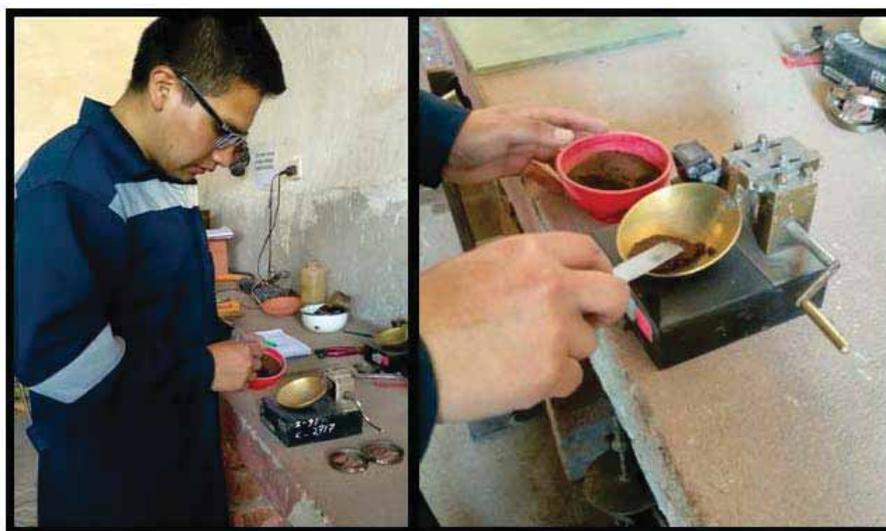
2. Seguidamente se satura el material al 50% y se deja en el conservador durante 24 horas.
3. Al pasar las 24 horas se procede a retirar el material y se empieza colocando un poco de material que cubra la cuchara del aparato de Casagrande hasta tener un ras parejo, con ayuda del ranurador en este caso para material fino (tres puntas) se hace un tajo en el centro de la cuchara, abriendo por la mitad el material, seguidamente con la manivela se da vueltas hasta que se cierre el hoyo, el punto medio es de 25 golpes; sin embargo al inicio como empezamos al seco será mayor el dato, seguidamente se lleva al material a un capsula que será llevada al horno hasta secar (anotar peso antes y después del ingreso al horno). Se repetirá el proceso y esta vez agregando una o dos gotas de agua según el criterio para q poco a poco vaya bajando el dato del número de golpes.

Se recomienda hacer 3 o 4 ensayos para ser más precisos.

7.2.1.2.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se procede a tomar los cálculos de acuerdo a los datos obtenidos, los cuales serán pasados por la hoja de cálculo previamente elaborada.

Dichas hojas de cálculo se hallan en los anexos, teniendo como resultados en la primera muestra PD-M-01 un límite líquido de 3.14%, en la segunda muestra PD-M-02 un límite líquido de 28.48%, en la tercera muestra PD-M-03 un límite líquido de 3.14% y finalmente en la cuarta muestra PD-M-04 un límite líquido de 3.14%.



Fotografía N° 13. Ensayo de límite Líquido.



7.2.1.3. LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318)

Con la realización de este ensayo se logra determinar el límite plástico que puede alcanzar un suelo, es decir la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm de diámetro.

7.2.1.3.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Lámina de vidrio gruesas.
- Capsulas
- Horno eléctrico
- Balanza de precisión 0.01g
- Porción de material saturado del ensayo del Limite Liquido sin manipulación en este.
- Espátula pequeña

7.2.1.3.2. PROCEDIMIENTO

1. Con una pequeña porción del material saturado en el ensayo anterior (limite liquido), cogemos y tratamos de sacar el exceso de humedad con ayuda de un papel u otra cosa.
2. Seguidamente colocamos el material en la lámina de vidrio y hacer cortes longitudinales del mismo tamaño, por ensayo unos 5-10, para luego con la palma de la mano y rodando con los dedos ejerciendo cierta presión hasta formar cilindros finos parecidos a la mina de un lapicero hasta que el trozo llegue a fracturarse, y sea ahí donde se termine el ensayo. Realizar el procedimiento varias veces.
3. Seguidamente los cilindros son colocados en una capsula y llevados al horno, tomando su peso antes de ingresar al horno y el peso al salir completamente seco. Repetimos el ensayo, se recomienda hacerlo 2 a 3.

7.2.1.3.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se procede a tomar los cálculos de acuerdo a los datos obtenidos, los cuales serán pasados por la hoja de cálculo previamente elaborada.

Dichas hojas de cálculo se hallan en los anexos, teniendo como resultados en la primera muestra PD-M-01 un límite plástico de 0%, en la segunda muestra PD-M-02 un límite plástico de 23.74%, en la tercera muestra PD-M-03 un límite plástico de 0% y finalmente en la cuarta muestra PD-M-04 tenemos un límite plástico de 0%.



Fotografía N° 14. Ensayo de Limite Plástico.

7.2.1.4. ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318

Después de obtener los resultados tanto del Limite Líquido como del Limite Plástico, procedemos a realizar un análisis para lograr la obtención del índice de plasticidad, el cual está dado por la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, teniendo como resultados:

- En la primera muestra PD-M-01, tenemos un índice de plasticidad de 3.14%, lo cual indica que el material es de baja plasticidad en este punto.
- En la segunda muestra PD-M-02, tenemos un índice de plasticidad de 4.74%, lo cual indica que el material es de baja plasticidad en este punto.
- En la tercera muestra PD-M-03, tenemos un índice de plasticidad de 3.14%, lo cual indica que el material es de baja plasticidad en este punto.
- En la cuarta muestra PD-M-04, tenemos un índice de plasticidad de 3.14%, lo cual indica que el material es de baja plasticidad en este punto.

7.2.1.5. CORTE DIRECTO ASTM D-3080

Tiene por objeto determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo. Este modo operativo es adecuado para la determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales. El ensayo puede ser



hecho en todo tipo de suelos inalterados, remoldeados o compactados. Hay sin embargo una limitación en el tamaño máximo de las partículas presentes en las muestras.

Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una completa consolidación bajo los esfuerzos normales actuales. La ruptura ocurre lentamente bajo condiciones drenadas, de tal manera que los excesos de presión en los poros quedan disipados. Los resultados de varios ensayos pueden ser utilizados para expresar la relación entre los esfuerzos de consolidación y la resistencia al corte en condiciones drenadas.

7.2.1.5.1. PROCEDIMIENTO

- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte.
- Aplicación de una carga normal.
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
- Consolidación de la muestra.
- Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra (Ver Imagen 7 y 8)

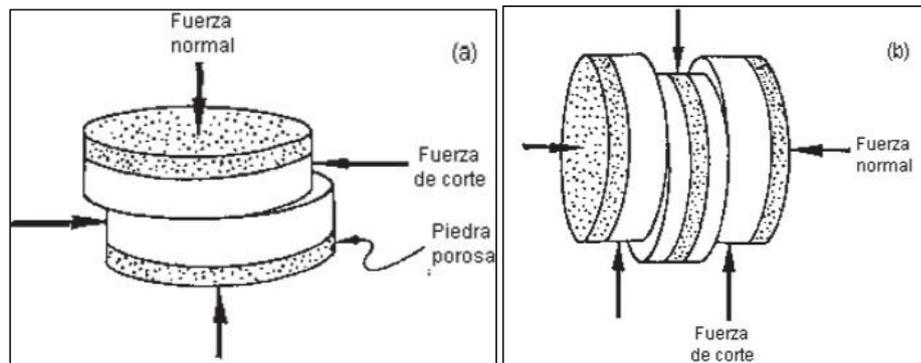


Imagen N° 5. Esquema del ensayo del corte sencillo y del corte doble. (Fuente: Normativa ASTM D 3080)

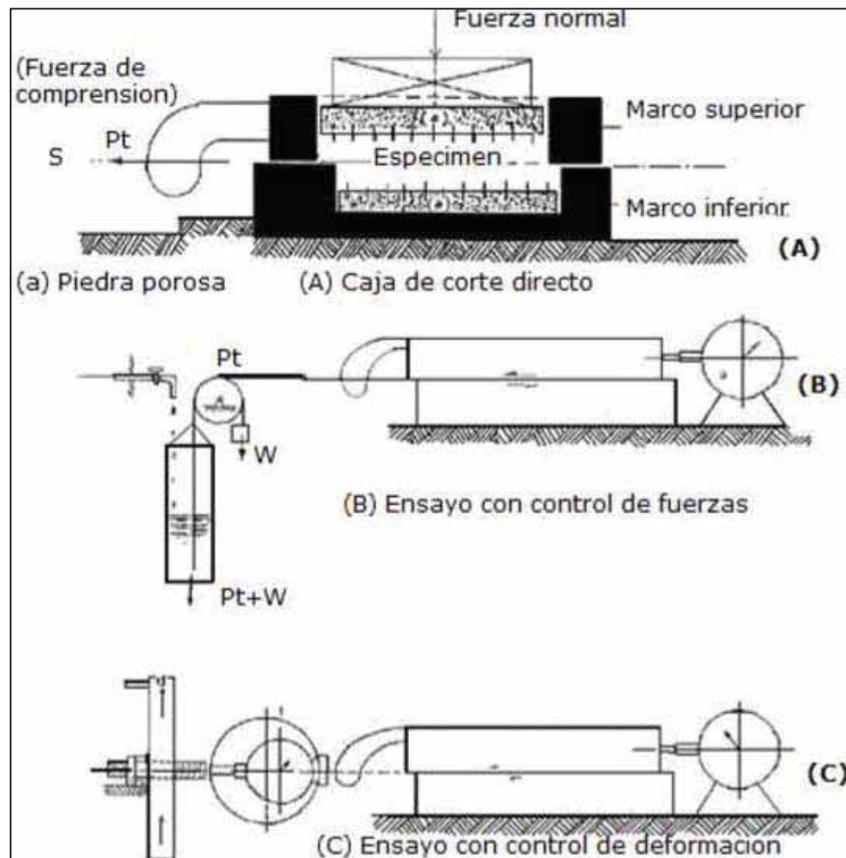


Imagen N° 6. Dispositivo para el ensayo de corte directo. (Fuente: Normativa ASTM D 3080)

7.2.1.5.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se procede a tomar los cálculos de acuerdo a los datos obtenidos, los cuales serán pasados por la hoja de cálculo previamente elaborada.

Dichas hojas de cálculo se hallan en los anexos, teniendo como resultados:

- En la primera muestra PD-M-01 un ángulo de fricción interna de 31.3 grados y cohesión de 2.47 Mpa.
- En la segunda muestra PD-M-02 un ángulo de fricción interna de 28.1 grados y cohesión de 2.70 Mpa.
- En la tercera muestra PD-M-03 un ángulo de fricción interna de 25.4 grados y cohesión de 2.58 Mpa.
- En la cuarta muestra PD-M-04 un ángulo de fricción interna de 25.5 grados y cohesión de 2.98 Mpa.



7.3. TRABAJOS REALIZADOS

Dentro del estudio geotécnico se realizaron estudios directos como perforación diamantina, logeo geológico y geotécnico de los cores de perforación, muestreo de testigos de perforación, entre otros.

7.3.1. PERFORACIÓN DIAMANTINA

En la zona de estudio se realizaron 04 sondajes de perforación diamantina, realizada por la empresa CÓNDOR EXPLORACIONES, S.A.C., se realizaron con dos máquinas de perforación diamantina, de modelos LY-38, y la otra es una UDM-10, estos equipos son especializados para la realización de estos estudios, total se realizaron 118.5 metros lineales con ángulos de inclinación de -70° y -45° , a continuación, presentamos las fotografías de los equipos utilizados.



Fotografía N° 15. Equipo de perforación LY-38.



Fotografía N° 16. Equipo de perforación UDM-10.

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD (m)
1	DHT-01	239905	8365439	3892	_70	26.60
2	DHT-02	240136	8365478	3896	_45	36.10
3	DHT-03	224026	8365500	3894	_70	30.20
4	DHT-04	240458	8365533	3891	_70	25.60

Cuadro N° 19. Puntos de perforación diamantina, ángulo y profundidad. (Elaboración: propia)

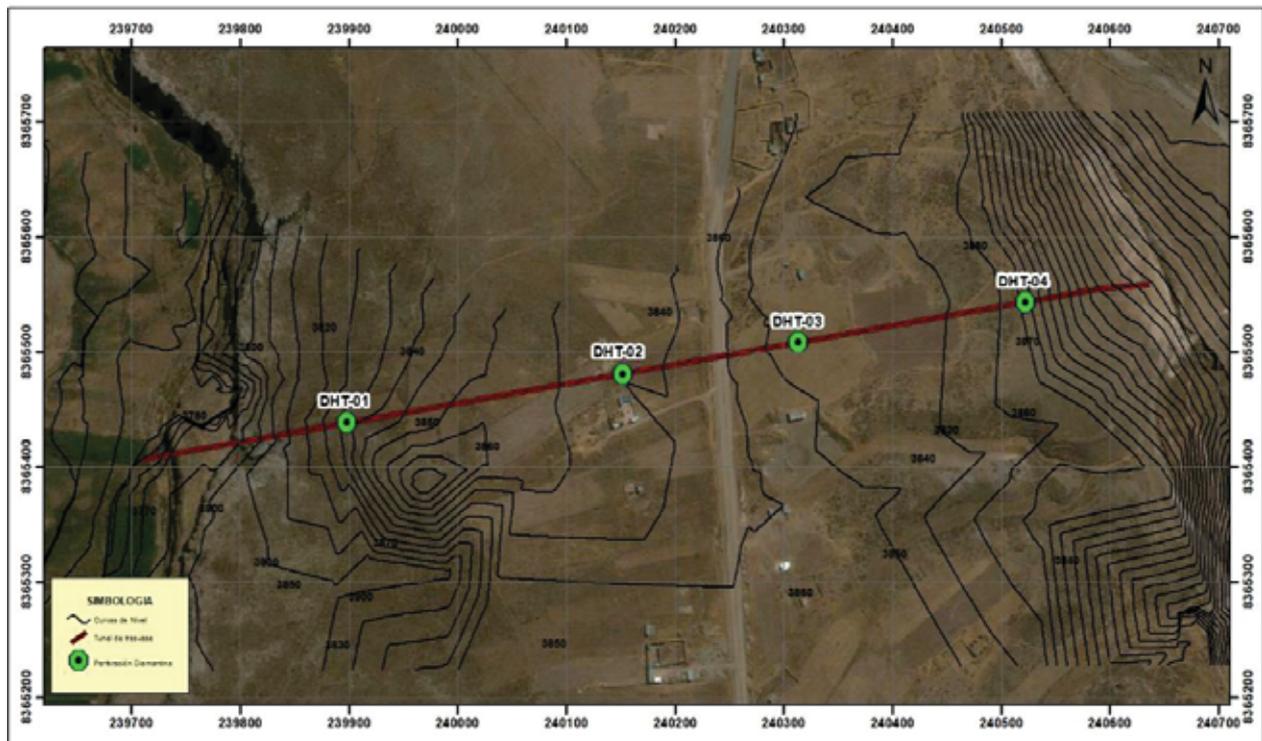


Imagen N° 7. Eje del túnel de trasvase con la ubicación de las perforaciones diamantinas realizadas.



7.3.2. LOGUEO GEOTÉCNICO

Se realizó el logueo geológico y geotécnico de los testigos de perforación, estos trabajos se realizan para la caracterización geológica y geotécnica de los cores de perforación.

7.3.2.1. METODOLOGÍA GEOTÉCNICA

El levantamiento de los datos geotécnicos consta de dos partes:

La primera, corresponde a un levantamiento sistemático de tramos de perforación o tramos entre tacos de perforación, es decir se determinan las propiedades geotécnicas básicas para cada tramo perforado.

La segunda parte del levantamiento corresponde a un levantamiento dirigido, el cual considera varios tramos de testigos de sondeos de igual aspecto y comportamiento geotécnico. Para este tramo se determinan las propiedades de las estructuras, la resistencia de la roca, el grado de meteorización y se realiza una estimación visual del GSI.

7.3.2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

A continuación, se describen los parámetros básicos considerados para las dos etapas del mapeo geotécnico, correspondientes a las etapas de “Mapeo Geotécnico Básico”, y, “Mapeo por Tramos Geotécnicos”.

I. MAPEO GEOTÉCNICO BÁSICO

Esta etapa corresponde a un levantamiento sistemático de parámetros geotécnicos, los cuales son registrados, entre tramos de perforación (tacos), y/o tramos sistemáticos. Para cada tramo se determinan el número de fracturas, el largo de los trozos de roca, el tipo de molido y el grado de meteorización, la forma de medición se describe a continuación:

Al tramo de perforación considerado, se incluye la posición de perforación de inicio (DESDE) y termino del tramo (HASTA). En algunos casos estos tramos de perforación son regularizados a tramos regulares, en cuyo caso se podrá utilizar los tramos regulares, con la debida precaución con respecto al corte artificial de trozos de sondajes.

- **NÚMERO DE FRACTURAS**

Se contabilizan todas las fracturas abiertas de origen geológico presentes en un determinado tramo de sondaje, evitando contar todas aquellas estructuras abiertas por la manipulación de los testigos ya sea a través de planos de debilidad o a través de la matriz



de la roca. Se agruparán las estructuras de acuerdo al ángulo menor que forman con respecto al eje del testigo o ángulo α , los rangos utilizados corresponden a: 0-30°, 30-60° y 60- 90°, además del total que es la suma de las estructuras contabilizadas en estos rangos, y que se describen en la imagen siguiente.

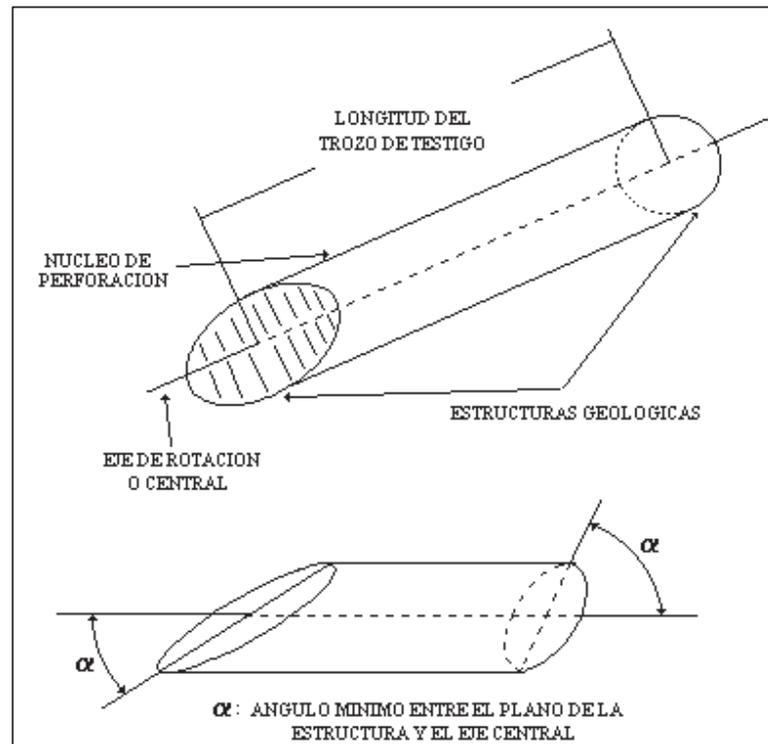


Imagen N° 8. Determinación del largo de los testigos y el ángulo con respecto al eje del sondaje. (Fuente: Gonzales de Vallejo)

- **LARGO DE TROZOS DE ROCA**

Este ítem considera la medición de todos los trozos de roca separados por estructuras geológicas abiertas (Deere 1968), que tengan un grado de meteorización bajo, entre I y III, los testigos con grados de IV, V, y VI no se deben medir. Se recomienda utilizar una línea o eje central para medir en ella la longitud de los tramos, este método es recomendado por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981). Las rupturas causadas por el proceso de perforación o el operador, que son usualmente evidenciadas por superficies rugosas frescas, no deben ser incluidas y se deben considerar como un solo trozo de testigo.

- **TIPO DE MOLIDO**



Corresponde a una descripción del material disgregado recuperado por la perforación del sondeo, que puede presentar un comportamiento como suelo, o los tramos de roca triturada que no es capaz de mantener la forma cilíndrica producida por la corona de perforación y las zonas con alto grado de meteorización (IV, V, y VI).

II. MAPEO POR TRAMOS GEOTÉCNICOS

Una vez completado el mapeo básico se procede a la definición de los tramos geotécnicos, para ello, se debe revisar los núcleos del sondaje completo y definir tramos de sondajes de iguales características geotécnicas.

Dentro de la definición de tramos geotécnicos se deberán considerar en especial los cambios litológicos, de alteración y mineralización. Es importante en este caso apoyarse en el registro del levantamiento geológico. Los tramos definidos serán caracterizados de acuerdo a los parámetros geotécnicos.

- **TRAMO GEOTÉCNICO:** Este parámetro está constituido por la posición de inicio (DESDE) y la posición de termino (HASTA) de un tramo de igual calidad geotécnica, el cual es definido por la persona que efectúa el levantamiento geotécnico.

• CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS

A continuación, se describen las propiedades geotécnicas de las estructuras geológicas las cuales son caracterizadas para cada tramo definido. Preferentemente se caracterizan las estructuras abiertas, más representativas de cada tramo, para el caso de fallas que presentan rellenos importantes, ellas se caracterizan individualmente.

- **RUGOSIDAD (JRC):** Este parámetro permite estimar el grado de aspereza natural presente en las discontinuidades de la roca a escala menor (10 cm), siendo un importante parámetro para la caracterización de la condición de las discontinuidades. El JRC ha sido definido por Barton y Choubey (1977) para el cálculo del coeficiente de rozamiento interno de la roca. Sin embargo, la medición del JRC, no permite conocer el comportamiento de las discontinuidades a gran escala, lo cual es de gran importancia, las mediciones de la rugosidad a gran escala deberán ser obtenidas a partir de levantamientos geotécnicos directos en terreno ya sea en galerías, afloramientos, o en taludes.



- **RESISTENCIA RELLENO:** Se define el relleno como el material que se ubica entre las paredes de las discontinuidades de la roca, en general las estructuras que presentan relleno son fallas o vetillas. Para la determinación de la resistencia del relleno, se considera el uso del cuadro de criterio empírico para la estimación de la resistencia del material (ISRM 1981). Los valores de S1 a S6 se deben aplicar a suelos y los valores R0 a R6 se deben aplicar a roca. En el caso de ocurrir más de un tipo de relleno, se debe preferir el de peor condición, sin embargo, se pueden también caracterizar los dos tipos en el mismo formato.

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE TERRENO	RANGO APROXIMADO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL (Mpa)
S1	Arcilla muy Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño.	<0,025
S2	Arcilla Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el pulgar.	0,025 - 0,05
S3	Arcilla Firme	Puede ser penetrada varias pulgadas con el pulgar, con esfuerzo moderado.	0,05 - 0,10
S4	Arcilla Rígida	Fácilmente marcada por el pulgar, solamente puede ser penetrada con gran esfuerzo.	0,10 - 0,25
S5	Arcilla muy Rígida	Fácilmente marcada por la uña.	0,25 - 0,50
S6	Arcilla Dura	Marcada con dificultad por la uña.	>0,50
R0	Roca Extremadamente Débil	Marcada por la uña.	0,25 - 1,0
R1	Roca muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	1,0 - 5,0
R2	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo geológico.	5,0 - 25
R3	Roca Medianamente Fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por un cortaplumas, la muestra se fractura con un solo golpe de la punta del martillo geológico.	25 - 50
R4	Roca Fuerte	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	50 - 100
R5	Roca muy Fuerte		100 - 250



		La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	
R6	Roca Extremadamente Fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	>250

- **RESISTENCIA PARED:** Para estimar la resistencia de las paredes se debe utilizar los criterios para la estimación de la resistencia del material, descritos en los cuadros siguientes, que ilustra los conceptos de relleno, pared de la estructura, y matriz. Generalmente las paredes de las estructuras, en especial las fallas y estructuras mayores, presentan un grado de meteorización y/o alteración hidrotermal más intensa que la matriz de la roca, o sea la roca que se encuentra alejada de las estructuras.

Cuadro N° 20. Criterios para la estimación de la resistencia del Material (Fuente: ISRM 1989)

- **ALTERACIÓN DE LAS PAREDES:** Se refiere al grado de alteración de éstas con respecto a la matriz de la roca, en este caso el núcleo del testigo. El siguiente cuadro muestra los criterios utilizados para determinar este parámetro. Es importante señalar que este parámetro se refiere a la variación comparativa en las propiedades resistentes de la roca.

CÓDIGO	GRADO DE ALTERACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Alta	La pared se encuentra totalmente alterada, y su grado de alteración es alto con respecto a la matriz de la roca.
2	Media	La pared se encuentra mediamente alterada, y su grado de alteración es medio con respecto a la matriz de la roca.
3	Baja	La pared se encuentra ligeramente alterada en relación a la matriz.
4	Igual Matriz	El grado de alteración entre la pared y la matriz es similar.
5	Menor Matriz	La pared se encuentra menos alterada que la matriz de la roca.

Cuadro N° 21. Criterios para determinar el grado de alteración de las paredes (Fuente: ISRM 1989)

- **TIPO DE RELLENO** Corresponde a los tipos mineralógicos que constituyen el relleno de la estructura, con énfasis en los de menor resistencia. Por ejemplo: Arcilla, Yeso, Brecha de Falla, etc.



• **CARACTERIZACIÓN MATRIZ DE LA ROCA**

Las propiedades de la matriz de la roca o “Roca Intacta”, se determinan principalmente a través de ensayos de laboratorio en probetas extraídas para las diferentes unidades geológico geotécnicas definidas, para lo cual se deberá, una vez finalizado el levantamiento geotécnico, extraer probetas para este fin. Dentro de la etapa de caracterización se estiman la resistencia de la matriz y el grado de meteorización del tramo geotécnico.

- **ESTIMACIÓN GSI**

El Índice Geológico de Resistencia (GSI), propuesto por Hoek (1994), Kaiser y Bawden

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES
INTACTO O MASIVO: Macizo rocoso in situ o especímenes de roca intacta, con escasa discontinuidades ampliamente espaciadas.	MUY BUENO: Superficies muy rugosas y paredes frescas sin meteorización.
FRACTURADO EN BLOQUES: Macizo rocoso conformado por trozos o bloques de roca bien trabados de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ortogonales entre sí.	BUENO: Superficies rugosas, paredes levemente meteorizadas, con pátines de óxido de hierro.
FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES: Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados de varias caras angulosos y definidos por cuatro o más sets de estructuras.	REGULAR: Superficies lisas, paredes moderadamente meteorizadas y alteradas.
FRACTURADO Y PERTURBADO: Macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de numerosos sets de estructuras.	MALA: Superficies lisas y cizalladas, paredes muy meteorizadas con recubrimientos compactos o rellenos de fragmentos angulares.
FOLIADO-LAMINADO-CIZALLADO: Rocas débiles plegadas y cizalladas tectónicamente. Carencia de formación de bloques debido a la esquistosidad que prevalece sobre otras estructuras.	MUY MALA: Superficies cizalladas, muy meteorizadas con recubrimientos o rellenos arcillosos blandos.

(1995), ha sido modificado para incorporar rocas masivas y foliadas por Hoek, Marinos y Benissi (1998), proponiéndose utilizar esta última para la metodología de esta investigación. Para determinar este índice, se analizan dos parámetros geológico-geotécnicos los cuales corresponden a la “Estructura del Macizo Rocosos” y la “Condición de las Discontinuidades” (ver cuadro siguiente). Si bien al revisar las cajas de los sondajes, no se puede realizar la mejor estimación del GSI, esta se mejora y ajusta con la obtención de las clasificaciones geotécnicas (RMR y Q).



Cuadro N° 22. Caracterización del índice de resistencia geológica (Fuente: Hoek 1998)

En el capítulo de anexos, se presenta las fotografías de los logueos geotécnicos de los 04 sondajes realizados en la zona de estudio.

7.4. MAPEO GEOTÉCNICO Y TRAZADO DEL TÚNEL DE TRASVASE

El túnel proyectado tiene una longitud de 854.00 metros lineales de trazado, conecta dos quebradas, donde la zona de ingreso se encuentra en una zona escarpada de tobas.

En la zona donde se proyecta el túnel, se presenta el diseño preliminar propuesto del túnel de trasvase.

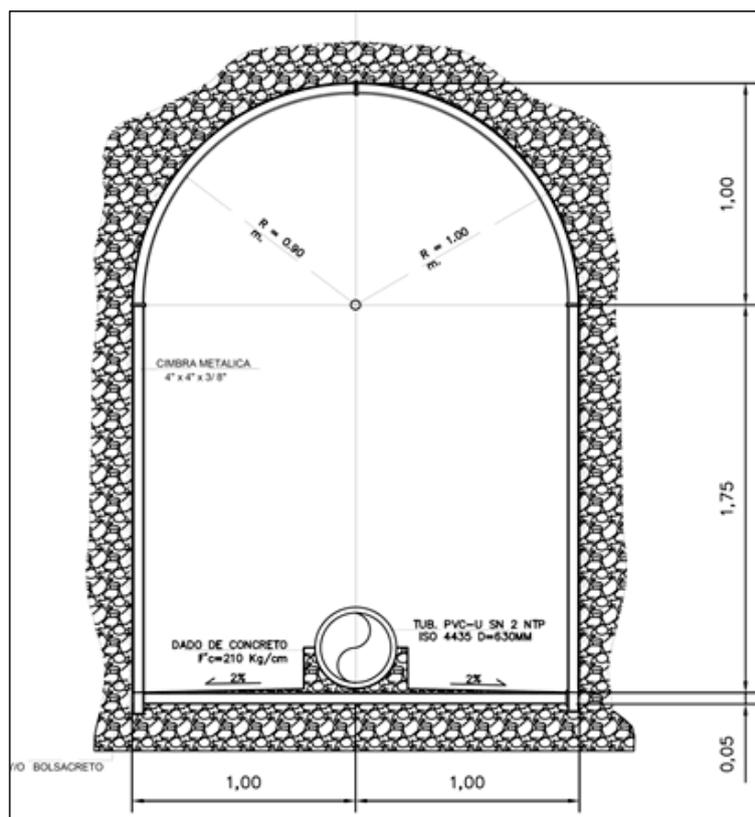


Imagen N° 9. Corte de sección de túnel proyectado. (Elaboración: propia).



Como se puede observar el corte tiene una media de hastiales de 1.75 m., y una bóveda de 1.00 m. de altura, haciendo un total de 2.75 m. de altura por 2.00 m. de ancho, de rasante.

7.5. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL DE TRASVASE

Dada la importancia de la realización del túnel de trasvase y señalar que el presente estudio se realizó con fines de investigación geotécnica, se ha dividido en 3 zonas el túnel para poder realizar la evaluación geotécnica:

- Ingreso de Túnel
- Eje de Túnel
- Salida de Túnel

7.5.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL INGRESO DEL TÚNEL

Para la evaluación del ingreso del túnel se ha realizado una estación geomecánica (EG-01), y para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes se han considerado la evaluación de los:

- **PERFILES ESTRATIGRÁFICOS**

En el Ingreso de Túnel se han realizado una estación Geomecánica N° EG-01, en los cuales se han encontrado materiales con la siguiente descripción estratigráfica: **(Ingreso de Túnel):** altura de talud 6.3 m, La unidad estratigráfica perteneciente al Grupo Maure, está constituida por roca volcánica toba volcánica de composición ignimbrítica, con fracturamiento moderado, se muestra masivo en toda el área de porosidad alta, presenta una fuerte alteración supergena. Se puede deducir por la forma de presentación del afloramiento, y zonas aflorantes circundantes que es masiva y homogénea.

7.5.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL INGRESO DE TÚNEL

Las características físicas y mecánicas del material rocoso de tipo ignimbrítica con nivel de fracturamiento media, se realizaron pruebas de resistencia con una caracterización in situ de las propiedades fisicoquímicas de la roca, y valores al golpe del martillo, lo que nos



proporciona un resultado aproximado, se tomó una muestra de mano de código MF-01, a continuación, se presenta las características físicas mecánicas y resistentes en el siguiente cuadro:

PROPIEDADES ES FÍSICAS VISUALES DE LA MATRIZ ROCOSA		PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATRIZ ROCOSA		COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LA ROCA	CLASIFICACIÓN DE LA ROCA
COLOR	Gris claro	COLOR	Gris claro	La roca presenta cuarzo en feno cristales transparentes (hialino) 50%, masa afanítica 30%, cristales de micas negras a doradas y feldspatos 15%, otros 5%	TIPO ÍGNEO VOLCANOCLASTICA NOMBRE: TOBA RIOLITICA
TEXTURA	Afanítica	RAYA	Blanco		
ESTRUCTURA	Masiva	HABITO	No presenta		
DUREZA	50 - 250 kg/cm ²	BRILLO	Opaco		
ALTERACIÓN	Grado III - Roca moderadamente meteorizada (según ISRM)	-	-		
ÍNDICE DE RESISTENCIA DE ROCA EN CAMPO (ISRM 1981)	Clase R2, 5 - 25 Mpa	-	-		

Cuadro N° 23. Propiedades físicas, ópticas mineralógicas de la roca, en el ingreso del túnel. (Elaboración: propia).



Fotografía N° 17. Localización del área de ingreso del túnel proyectado.

7.5.1.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES DEL INGRESO DEL TÚNEL

El valor de la resistencia compresiva se ha obtenido mediante un procedimiento práctico de campo que consiste en el número de golpes que se ejerce para fracturar la roca propuesto por la ISRM (International Society for Rock Mechanics), se presentan los siguientes cuadros referenciales:



Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la	
			Mpa	Kg/cm ²
S ₁	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S ₂	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 - 0.05	0.25 - 0.5
S ₄	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 - 0.25	1 - 2.5
S ₅	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 - 0.5	2.5 - 5.0
S ₆	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0.5	> 5.0
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 - 1.0	2.5 - 10
R ₁	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja.	1.0-5.0	10 - 50.
R ₂	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0-25	50-250
R ₃	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5mm.	25-50	250-500
R ₄	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, tuncles sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo.	50-100	500-1000
R ₅	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250	1000-2500
R ₆	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, sonido metálico de golper. Solo saltan esquirlas de roca.	> 250	> 2500

Cuadro N° 24. Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (Fuente: ISRM, 1981)

RESISTENCIA EN Mpa	CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
5 a 20	MUY DÉBIL	Sedimentarias alteradas y débilmente compactas
20 a 40	DÉBIL	Sedimentarias, esquistos débilmente cementados
40 a 80	RESISTENCIA MEDIA	Sedimentarias competentes y rocas ígneas cuarzosas de densidad un poco baja
80 a 160	RESISTENCIA ALTA	Areniscas de grano fino
160 a 320	RESISTENCIA MUY ALTA	Cuarcitas, rocas ígneas densas de grano fino.

Cuadro N° 25. Clasificación de las rocas respecto a su resistencia a la compresión. (Fuente: Manual de diseño de obras civiles).



Se presenta la clasificación de acuerdo a su resistencia a la compresión de distintos autores que clasifican la roca en función al rango de valores.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	ISMR (1981)	Geological Society of Túnel (1970)	Bienawsky (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1 a 5	Muy blanda	Blanda > 1.25	Muy Baja	Sal, lutitas, limolita, marga, toba,
5 a 12.5	Blanda	Moderadamente blanda		
12.5 a 25		Moderadamente dura	Baja	Esquisto, Pizarra
25 a 50	Moderadamente dura			
50 a 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas, esquistosa, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa
100 a 200	Muy dura	Muy Dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, areniscas
> 200		Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy Alta
> 250				

Cuadro N° 26. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple. (Fuente: Gonzales de Vallejo).

Dentro de las propiedades resistentes se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple con martillo de geólogo de un valor aproximado de 5 a 25 Mpa, o 50 a 250 kg/cm², que corresponde a una roca tipo R2, roca blanda.

De acuerdo a los cuadros que antecede este párrafo se puede clasificar:

- Según la ISMR (1981): moderadamente dura
- Según la Geological Society Of Túnel108 (1970): moderadamente dura
- Según Bienawsky (1973): Muy baja o blanda.

7.5.1.3. ESTABILIDAD DE TALUD EN EL INGRESO DEL TÚNEL

En el ingreso de túnel se realizaron estudios de geomecánica superficial, tomando datos de las estructuras que forman las discontinuidades, esto nos permitirá conocer las características de la roca en superficie, en tal sentido podremos obtener indirectamente información de la roca del subsuelo.



La metodología utilizada para el levantamiento de datos estructurales fue el método por ventanas, que requiere realizar un análisis visual de la superficie a ser caracterizada y tomar los datos. Para el análisis cinemático de taludes se tomaron principalmente dos datos con brújula azimutal, el buzamiento y la dirección de buzamiento, a continuación, presentamos los datos obtenidos en la zona de ingreso de túnel.

DIP	DIP DIR	DIP	DIP DIR
46	161	88	312
75	110	85	280
85	240	84	218
46	161	85	110
59	110	71	260
46	345	85	141
11	160	59	280
85	345	64	194
46	160	84	141
59	218	85	280

Cuadro N° 27. Datos estructurales de las discontinuidades. (Elaboración: propia).

7.5.1.3.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO

Se ubica en la zona de ingreso al túnel, donde se presenta un afloramiento de roca toba volcánica del grupo Maure, se tomaron estos datos se realizó 01 estación geomecánica.



Fotografía N° 18. Estación geomecánica 01 en el ingreso del túnel.

- ANÁLISIS CINEMÁTICO DE TALUD INGRESO DE TUNEL:



Para realizar el análisis cinemático del talud se utilizó el software Dips 6.0 del paquete Rockciense, para los datos ingresados de dip/dip dir, y un talud natural de 41° de azimut, 106° de inclinación y ángulo de fricción promedio de 15°, se tiene una tendencia de caída de deslizamiento mínimo de vuelco directo 2 % y vuelco oblicuo en un 6%, ya que las intersecciones de los planos en las falsillas es mínima, representa 02 planos que escasamente caen en la zona critica, en general el talud se muestra estable sin peligro de caída de rocas, se presenta el grafico a continuación:

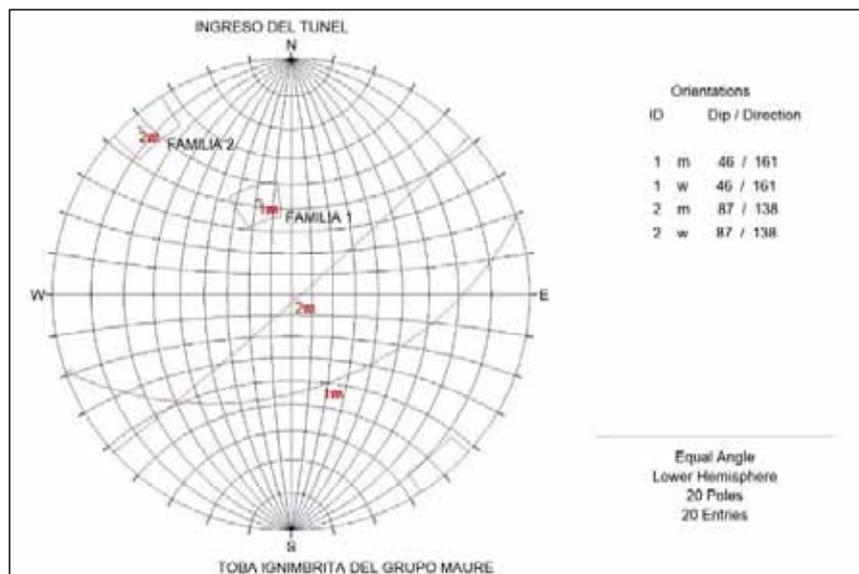


Imagen N° 10. Análisis cinemático en el ingreso del túnel con el software Dips 6.0. (Elaboración: propia).

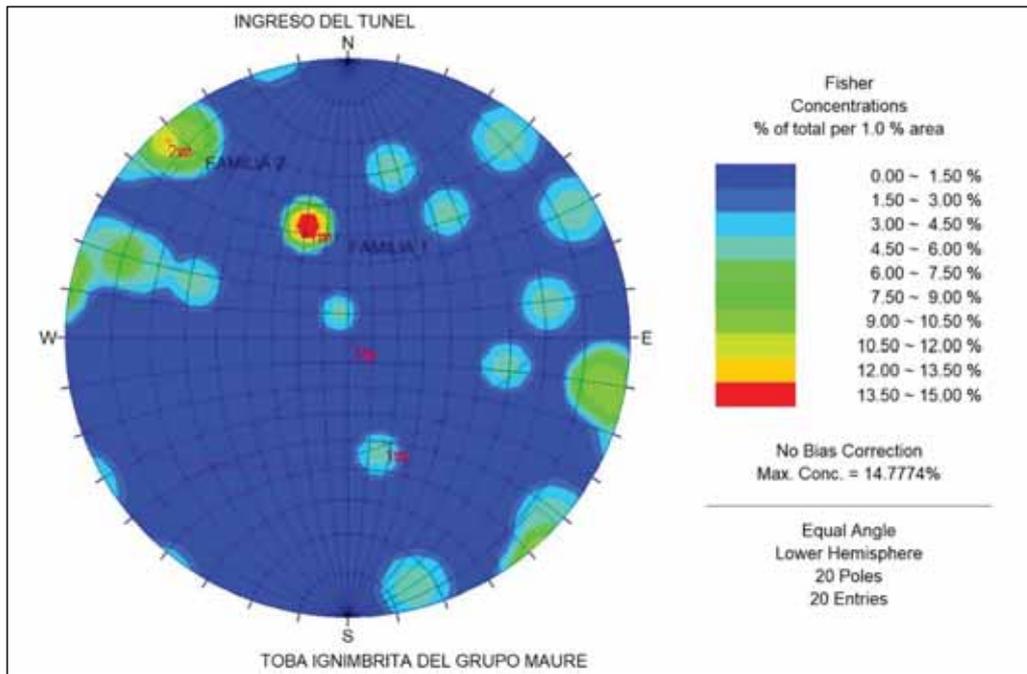


Imagen N° 11. Estereofalcilla del análisis cinemático con el software Dips 6.0. (Elaboración: propia)

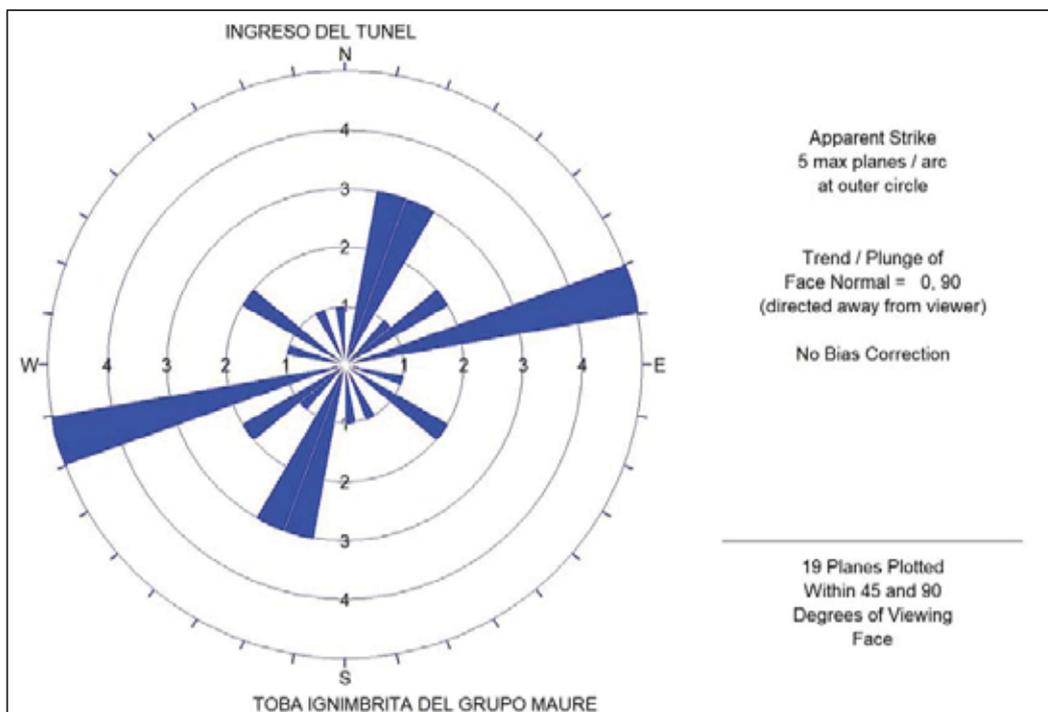


Imagen N° 12. Diagrama Rosette del análisis cinemático en el ingreso del túnel. (Elaboración: propia).



7.5.2. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL EJE DEL TÚNEL

Para la evaluación del eje del túnel se han realizado 04 sondajes de perforación en diamantina, con códigos DHT-01, DHT-02, DHT-03, DHT-04. Se grafica en el siguiente cuadro los detalles de los sondajes.

ÍTEM	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA	ANGULO	PROFUNDIDAD (m)
1	DHT-01	239905	8365439	3892	_70	26.60
2	DHT-02	240136	8365478	3896	_45	36.10
3	DHT-03	224026	8365500	3894	_70	30.20
4	DHT-04	240458	8365533	3891	_70	25.60

Cuadro N° 28. Perforaciones realizadas en la zona de eje de túnel. (Elaboración: propia).

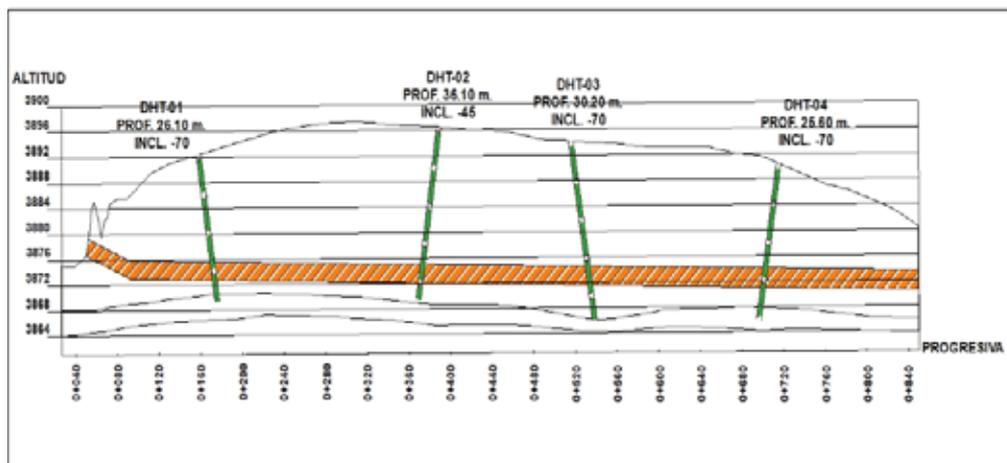


Imagen N° 13. Localización de las perforaciones diamantinas (Elaboración: propia)

Para la mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del eje de túnel, se ha considerado la evaluación de:

- **PERFILES ESTRATIGRÁFICOS**
- **DHT-01**

En el perfil DHT-01, se tiene una capa orgánica de 0.60m., conformado por limos arcillosos de color pardo claro, seguido de un estrato limo-arenoso con presencia de arcillas, compuesto de 50% de limos, 30% de arenas, 15% de arcillas y 5% de gravas, subyaciendo a este estrato se encuentra el material residual, que tiene por protolito de la



roca toba riolítica, del Grupo Maure, este suelo se presenta de forma masiva hasta los 25.10m., seguido de roca toba riolítica.

- **DHT-02**

En el perfil DHT-02, se tiene una capa orgánica de 0.20m., seguido de un estrato limo arenoso con presencia de arcillas, compuesto de 40% de limos, 40% de arenas, 20% de arcillas, subyaciendo a este estrato se encuentra el material residual, que tiene por protolito de la roca toba riolítica, del Grupo Maure, este suelo se presenta de forma masiva hasta el final de la perforación, este suelo está conformado por suelos limo arenosos.

- **DHT-03**

En el perfil DHT-03, se tiene una capa orgánica de 0.50m., conformado por limos arcillosos, seguido de suelos limo arenoso con gravas hasta los 1.20m., conformado por 60% de limo, 30% de arena y 10% de grava, de color pardo claro, seguido de un estrato limo-arenoso con presencia de arcillas, compuesto de 50% de limos, 30% de arenas, 15% de arcillas y 5% de gravas, hasta los 1.70 m. de profundidad, seguido de una capa de grava arenosa conformado por gravas 70%, arena 30%, con fragmento mayor de 4 cm, y fragmentos promedios de 0.5 cm, los clastos son redondeados a sub redondeados de color pardo oscuro, seguido de este estrato se encuentran los materiales de suelo residual, de protolito tobaceo riolitico, de baja compacidad, se disgrega con la presión de la mano, este estrato es masivo se presenta hasta la finalización del sondaje, la misma tipología de material continua.

- **DHT-04**

En el perfil DHT-04, se tiene una capa orgánica de 0.20m., conformado por materiales limos arcillosos con orgánicos, seguido de este estrato hasta los 0.90m., se tiene un suelo areno limoso con grava, conformado por porcentajes de arena 60%, grava 25%, limo 25%, de color pardo oscuro mal graduado, subyaciendo a este estrato se encuentra el material residual, que tiene por protolito de la roca toba riolítica, del Grupo Maure, este suelo se presenta Suelo residual (protolito, tobas volcánicas) el cuarzo se presenta en micro cristales transparentes (hialino) 50%, limos 30%, cristales de micas negras a doradas 15%, otros 5%, se presenta como suelo arena limosa, no tiene clasificación geomecánica por la alteración de la roca, baja resistencia a la compresión (se deshace con la mano), en el capítulo de anexos se presenta el perfil estratigráfico, como formato de logeo geotécnico.



7.5.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DEL EJE DEL TÚNEL

Las características físicas mecánicas del material residual de tipo areno limoso, este material predomina y se encuentra en área de influencia del túnel proyectado, presenta características de baja compacidad, se muestra deleznable con la presión de la mano, se presenta a partir de los 1.90 a 5.00 metros aproximadamente de acuerdo con los estudios, se presenta en forma masiva, hasta el fondo del sondaje, profundizando de forma masiva en todo el eje del túnel quedando en el área de influencia directa en la zona de túnel proyectado. Los estudios realizados de las propiedades físicas mecánicas se presentan en el ítem de anexos.

Se realizaron pruebas en laboratorio, de muestras en la zona donde se proyecta el túnel, los cuales nombramos a continuación:

- Corte Directo.
- Clasificación.
- Límites de consistencia.

A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas:

CÓDIGO	PROFUNDIDAD		UBICACIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS	COHESIÓN kg/cm ²	FRICCIÓN (°)	PESO UNITARIO (kN/m ³)	PESO ESPECIFICO (t/m ³)
	DESDE	HASTA						
M-PD-01	26.10	26.60	TÚNEL TRASVASE PD-01	SM	25.2	31.3	19.5	1.88
M-PD-02	35.80	36.10	TÚNEL TRASVASE PD-02	SP-SM	27.6	28.1	18	1.71
M-PD-03	29.90	30.20	TÚNEL TRASVASE PD-03	SP-SM	26.4	25.4	18	1.76
M-PD-04	25.35	25.60	TÚNEL TRASVASE PD-04	SP-SM	30.4	25.5	18	1.80

Cuadro N° 29. Cuadro resumen de resultados de las propiedades físicas mecánicas de estudio en el eje de túnel. (Elaboración: propia).

7.5.2.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES DEL EJE DEL TÚNEL

De acuerdo con las propiedades de los materiales que se tienen en la zona de eje de túnel, se considera que, para el nivel proyectado del túnel, se tiene materiales conformados por



arenas limosas de baja compacidad, de origen residual, proveniente de su protolito toba riolítica. Los distintos materiales se clasifican de acuerdo al siguiente cuadro:

Clase	Descripción	Identificación del campo	Valor aproximado de la resistencia compresión simple	
			Mpa	Kg/cm ²
S ₁	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S ₂	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 -0.05	0.25 – 0.5
S ₃	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo	0.05 – 0.1	0.5 – 1
S ₄	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25	1 – 2.5
S ₅	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5	2.5 – 5.0
S ₆	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0.5	> 5.0
R₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0	2.5 – 10
R₁	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja	1.0-5.0	10-50
R₂	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0-25	50-250
R₃	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5 mm.	25-50	250-500
R₄	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, túneles sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50-100	500-1000
R₅	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250	1000-2500
R₆	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, sonido metálico de golpe. Solo saltan esquirlas de roca.	> 250	> 2500

Cuadro N° 30. Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (Fuente: ISRM, 1981)



De acuerdo con esta tabla nuestro material se clasifica como S2, con un valor aproximado de la resistencia a compresión simple de 0.025 a 1.05 Mpa y un valor de 0.25 a 0.5 kg/cm², siendo esta su condición este tipo de material es considerado suelo residual, por lo tanto, no le corresponde la clasificación geomecánica.

7.5.2.3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS EN EL EJE DE TÚNEL

De acuerdo al logueo geotécnico de los sondeos diamantinos se prepararon unos cuadros resumen de sus distintas características mecánicas y valores índices realizadas in situ, estos cuadros los presentamos a continuación.

PROFUNDIDAD (m)	DESDE (m)	HASTA (m)	DIAMETRO PERFORADO	PERFORADO (m)	RECUPERADO (m)	SUMATORIA DE FRACTURAS >10 cm		UNIDAD GEOLÓGICA	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R M R	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHT-01	0.00	0.60	HQ	0.60	0.60	0.00	MC	CUATERNARIO	CAJA Nº 1	100%	0%	0	No tiene
	0.60	1.80	HQ	1.20	1.20	0.00	MS	CUATERNARIO		100%	0%	0	No tiene
	1.80	3.00	HQ	1.20	1.20	0.00	MS	CUATERNARIO		100%	0%	0	No tiene
	3.00	4.60	HQ	1.60	1.60	0.00	MS	CUATERNARIO	CAJA Nº 2	100%	0%	0	No tiene
	4.60	6.20	HQ	1.60	1.60	0.90	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	56	No tiene
	6.20	7.70	HQ	1.50	1.50	0.70	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 3	100%	0%	51	No tiene
	7.70	9.30	HQ	1.60	1.60	0.40	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	45	No tiene
	9.30	10.90	HQ	1.60	1.60	0.95	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 4	100%	0%	56	No tiene
	10.90	12.50	HQ	1.60	1.60	0.98	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	59	No tiene
	12.50	13.90	HQ	1.40	1.40	0.76	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 5	100%	0%	59	No tiene
	13.90	15.50	HQ	1.60	1.60	0.39	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	59	No tiene
	15.50	16.90	HQ	1.40	1.40	0.59	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 6	100%	0%	59	No tiene
	16.90	18.20	HQ	1.30	1.30	0.68	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	52	No tiene
	18.20	19.60	HQ	1.40	1.40	1.10	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 7	100%	0%	55	No tiene
	19.60	21.10	HQ	1.50	1.50	0.98	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	57	No tiene
	21.10	22.60	HQ	1.50	0.90	0.54	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 8	60%	0%	56	No tiene
	22.60	23.50	HQ	0.90	0.90	0.45	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	53	No tiene
	23.50	25.10	HQ	1.60	1.60	0.67	7b	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 9	100%	0%	55	No tiene
	25.10	26.60	HQ	1.50	1.50	0.76	7b	TOBA IGNIMBRITICA		100%	51%	62	Clase II - Buena

Cuadro Nº 31. Resumen descripciones geotécnicas sondeo PD-01. (Elaboración: propia)

Para el sondeo DHT-01, tiene una profundidad de 26.60 metros lineales, los materiales conformados en el substrato son suelos árenos limosos, con una recuperación del 100%, no presenta RQD, ya que no se trata de macizo rocoso, tampoco le corresponde clasificación geomecánica.



Son suelos masivos de origen residual, producto de la alteración de las tobas del grupo Maure en su secuencia N°04, como indica en el capítulo de geología, solo en la última corrida de 25.10m. a 26.60m., se tiene la presencia de roca dura de clase II de clasificación buena, esto es indicativo de posiblemente a partir de esa profundidad en ese sector se encuentre el contacto entre el suelos residual y la roca.

PROFUNDIDAD (m)	DESDE (m)	HASTA (m)	DIAMETRO PERFORADO	PERFORADO (m)	RECUPERADO (m)	SUMATORIA DE FRACTURAS >10 cm		UNIDAD GEOLÓGICA	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R M R	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHT-02	0.00	1.20	HQ	1.60	1.00	0.00	MS	CUATERNARIO	CAJA Nº 1	63%	0%	0	No tiene
	1.20	2.80	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	2.80	4.00	HQ	1.20	0.55	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		46%	0%	0	No tiene
	4.00	5.60	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 2	75%	0%	0	No tiene
	5.60	7.20	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		75%	0%	0	No tiene
	7.20	8.80	HQ	1.60	1.50	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		94%	0%	0	No tiene
	8.80	10.20	HQ	1.40	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 3	86%	0%	0	No tiene
	10.20	11.70	HQ	1.50	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		80%	0%	0	No tiene
	11.70	13.20	HQ	1.50	1.00	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 4	67%	0%	0	No tiene
	13.20	14.80	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	14.80	16.40	HQ	1.60	1.10	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 5	69%	0%	0	No tiene
	16.40	18.00	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		75%	0%	0	No tiene
	18.00	19.30	HQ	1.30	1.30	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	19.30	20.90	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 6	100%	0%	0	No tiene
	20.90	22.30	HQ	1.40	1.40	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	22.30	23.90	HQ	1.60	1.00	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 7	63%	0%	0	No tiene
	23.90	25.50	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		75%	0%	0	No tiene
	25.50	27.10	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		75%	0%	0	No tiene
	27.10	28.70	HQ	1.60	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 8	75%	0%	0	No tiene
	28.70	30.30	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
30.30	31.30	HQ	1.00	1.00	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 9	100%	0%	0	No tiene	
31.30	32.90	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene	
32.90	34.50	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 10	100%	0%	0	No tiene	
34.50	36.10	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene	

Cuadro N° 32. Resumen descripciones geotécnicas sondaje PD-02. (Elaboración: propia)

Para el sondaje DHT-02, tiene una profundidad de 36.10 metros lineales, los materiales conformados en el substrato son suelos árenos limosos, con un porcentaje de recuperación de 63% el más bajo y el máximo de 100%, no presenta RQD, ya que no se trata de macizo rocoso, tampoco le corresponde clasificación geomecánica.



Son suelos masivos de origen residual, producto de la alteración de las tobas del grupo Maure en su secuencia N°04, como indica en el capítulo de geología.

PROFUNDIDAD (m)	DESDE (m)	HASTA (m)	DIAMETRO PERFORADO	PERFORADO (m)	RECUPERADO (m)	SUMATORIA DE FRACTURAS >10 cm		UNIDAD GEOLÓGICA	N° CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R M R	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHT-03	0.00	0.50	HQ	0.60	0.60	0.00	ML	CUATERNARIO	CAJA N° 1	100%	0%	0	No tiene
	0.50	1.20	HQ	0.70	0.70	0.00	MS	CUATERNARIO		100%	0%	0	No tiene
	1.20	1.70	HQ	0.50	0.50	0.00	SG	CUATERNARIO		100%	0%	0	No tiene
	1.70	2.80	HQ	1.10	1.10	0.00	SG	CUATERNARIO		100%	0%	0	No tiene
	2.80	4.40	HQ	1.60	0.90	0.00	GIW	CUATERNARIO	CAJA N° 2	56%	0%	0	No tiene
	4.40	6.00	HQ	1.60	1.00	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		63%	0%	0	No tiene
	6.00	7.60	HQ	1.60	1.00	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		63%	0%	0	No tiene
	7.60	8.80	HQ	1.20	1.20	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 3	100%	0%	0	No tiene
	8.80	10.40	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	10.40	12.00	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 4	100%	0%	0	No tiene
	12.00	13.60	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	13.60	15.20	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 5	100%	0%	0	No tiene
	15.20	16.50	HQ	1.30	1.30	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	16.50	18.10	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 6	100%	0%	0	No tiene
	18.10	19.40	HQ	1.30	1.30	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	19.40	21.00	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 7	100%	0%	0	No tiene
	19.40	22.30	HQ	1.30	1.30	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	22.30	23.80	HQ	1.50	1.50	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 8	100%	0%	0	No tiene
	23.80	25.40	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	25.40	27.00	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 9	100%	0%	0	No tiene
27.00	28.60	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	100%		0%	0	No tiene	
28.60	30.20	HQ	1.60	1.60	0.00	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA N° 10	100%	0%	0	No tiene	

Cuadro N° 33. Resumen descripciones geotécnicas sondaje PD-03. (Elaboración: propia).

Para el sondaje DHT-03, tiene una profundidad de 30.20 metros lineales, los materiales conformados en el substrato son suelos árenos limosos, con un porcentaje de recuperación de 56% el más bajo y el máximo de 100%, no presenta RQD, ya que no se trata de macizo rocoso, tampoco le corresponde clasificación geomecánica.

Son suelos masivos de origen residual, producto de la alteración de las tobas del grupo Maure en su secuencia N°04, y al como indica en el capítulo de geología.



PROFUNDIDAD (m)	DESDE (m)	HASTA (m)	DIAMETRO PERFORADO	PERFORADO (m)	RECUPERADO (m)	SUMATORIA DE FRACTURAS >10 cm		UNIDAD GEOLÓGICA	Nº CAJAS DE TESTIGOS	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	R M R	CLASIFICACION DE MACIZO (RMR)
DHT-04	0	1.6	HQ	1.6	1.6	0	MS/SM	CUATERNARIO	CAJA Nº 1	100%	0%	0	No tiene
	1.6	3.2	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	3.2	4.8	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 2	100%	0%	0	No tiene
	4.8	6.3	HQ	1.5	1.5	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 3	100%	0%	0	No tiene
	6.3	7.9	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	7.9	9.5	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 4	100%	0%	0	No tiene
	9.5	11.1	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	11.1	12.8	HQ	1.7	1.7	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 5	100%	0%	0	No tiene
	12.8	14.4	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	14.4	16	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 6	100%	0%	0	No tiene
	16	17.6	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 7	100%	0%	0	No tiene
	17.6	19.2	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	19.2	20.8	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 8	100%	0%	0	No tiene
	20.8	22.4	HQ	1.6	1.6	0	Tb	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)		100%	0%	0	No tiene
	22.4	24	HQ	1.6	1.6	0	Tb-RS	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 9	100%	0%	0	No tiene
24	25.6	HQ	1.6	1.6	0	Tb	SUELOS RESIDUAL (SM) (TOBA)	CAJA Nº 10	100%	0%	0	No tiene	

Cuadro N° 34. Resumen descripciones geotécnicas sondaje PD-04. (Elaboración: propia)

Para el sondaje DHT-04, tiene una profundidad de 25.60 metros lineales, los materiales conformados en el substrato son suelos areno limosos, con un porcentaje de recuperación de 56% el más bajo y el máximo de 100%, no presenta RQD, ya que no se trata de macizo rocoso, tampoco le corresponde clasificación geomecánica.

Son suelos masivos de origen residual, producto de la alteración de las tobas del grupo Maure en su secuencia N°04, tal como se indica en el capítulo de geología.

7.5.2.4. ESTABILIDAD DEL EJE DEL TÚNEL

Para la estabilidad de la zona del eje del túnel se prepararon modelos con software Phase2 8.0, del paquete RockScience, en la progresiva de cada sondaje realizado donde se tienen resultados de las propiedades físicas de los suelos.



7.5.2.4.1. ELEMENTOS CONDICIONANTES PARA LA EVALUACIÓN DE TÚNEL:

En resumen, los condicionantes básicos para una correcta modelización y que definen un cálculo analítico o numérico suficientemente representativo de un túnel son los siguientes:

- a) Las condiciones iniciales del terreno (estado inicial de esfuerzos), que de manera muy general, están determinadas por:
 - La topografía en superficie
 - La presencia y, en su caso, la profundidad del nivel freático
 - El peso específico de los materiales en condiciones secas y húmedas
 - El coeficiente de esfuerzo lateral
 - La posibilidad de que existan esfuerzos tectónicos en el macizo
 - En su caso, el grado de consolidación del terreno
 - La disposición de las distintas unidades geológicas o geotécnicas
 - La presencia de estructuras en superficie

- b) Bajo la presencia de agua: condiciones drenadas o no drenadas, tipo de flujo, permeabilidades, etc.

- c) El modelo constitutivo del terreno:
 - Isótropo o anisótropo
 - Elastoplasticidad perfecta o con hardening-softening
 - Elastoplasticidad asociada o no asociada (control de la dilatancia)
 - Dependencia o no de la rigidez con el confinamiento y la deformación
 - Diferencia de comportamiento en procesos de carga o descarga-recarga

- d) Actividad sísmica de la zona de estudio, sismicidad y riesgo sísmico.

7.5.2.4.2. METODOLOGÍA

El software Phase2 versión 8.0, es un potente programa de elementos finitos 2D para aplicaciones de suelos y rocas. PHASE 2, se puede utilizar para una amplia gama de proyectos de ingeniería que incluyen diseño de excavación, estabilidad de taludes, filtración de aguas subterráneas, análisis probabilístico, consolidación y capacidades de análisis dinámico.



Los modelos complejos y de varias etapas se pueden crear y analizar rápidamente: túneles en roca débil o unida, cavernas subterráneas, minas y taludes a cielo abierto, terraplenes, estructuras de tierra estabilizada, etc. Se pueden abordar las fallas progresivas, la interacción de soporte y una variedad de otros problemas, Se puede usar con varios criterios de falla, incluidos Mohr-Coulomb y Hoek-Brown generalizado, por el método de elementos finitos, tratándose del tipo de material el método apropiado a emplearse es el de Mohr-Coulomb, cuyos datos a ingresarse en el software se presenta en el cuadro siguiente:

CÓDIGO	SUCS	COHESIÓN kg/cm ²	COHESIÓN Mpa	FRICCIÓN (°)	PESO UNIT. (KN/m ³)	PESO ESPEC. (t/m ³)	PROF. DESDE LA SUPERFICIE	PROGRESIVA SUPERFICIAL	COEFICIENTE DE POISSON
DHT- M-01	SM	25.2	2.47	31.3	19.5	1.88	18.00	0+120	0.35
DHT- M-02	SP- SM	27.6	2.70	28.1	18	1.71	24.00	0+400	0.35
DHT- M-03	SP- SM	26.4	2.58	25.4	18	1.76	23.00	0+480	0.35
DHT- M-04	SP- SM	30.4	2.98	25.5	18	1.80	20.00	0+710	0.35

Cuadro N° 35. Cuadro de parámetros físico mecánicos para modelamiento en Phase2.



- SECCIÓN DHT-01 (PROG. 0+120)

Presentamos las figuras generadas:

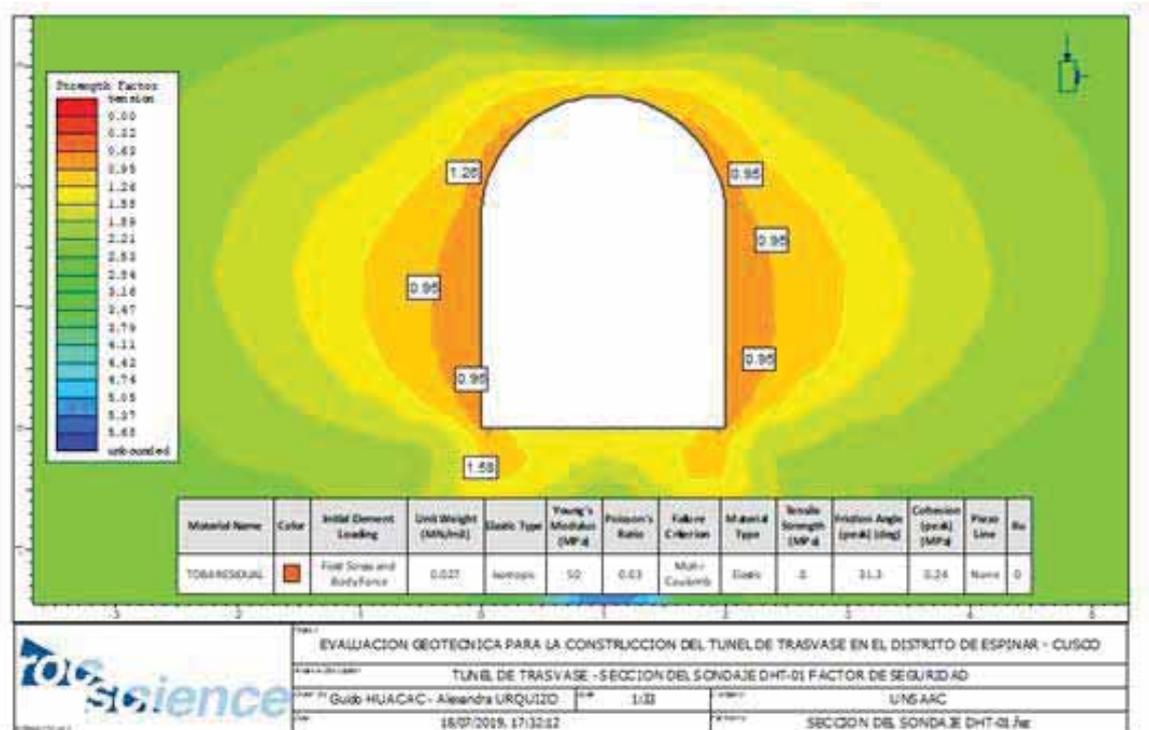


Imagen N° 14. Sección del sondaje DHT-01, en la progresiva 0+120 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).

De acuerdo con la figura generada por el software Phase2, se muestra el factor de seguridad que va en orden de 0.95 en los hastiales del túnel, los factores de seguridad menores a 1, corresponde a zonas críticas, debemos señalar que este modelo está realizado en un ambiente estático sin considerar la sismicidad de la zona, en resumen, se puede observar que los esfuerzos se encuentran afectando horizontalmente, el modelo muestra una sección inestable.

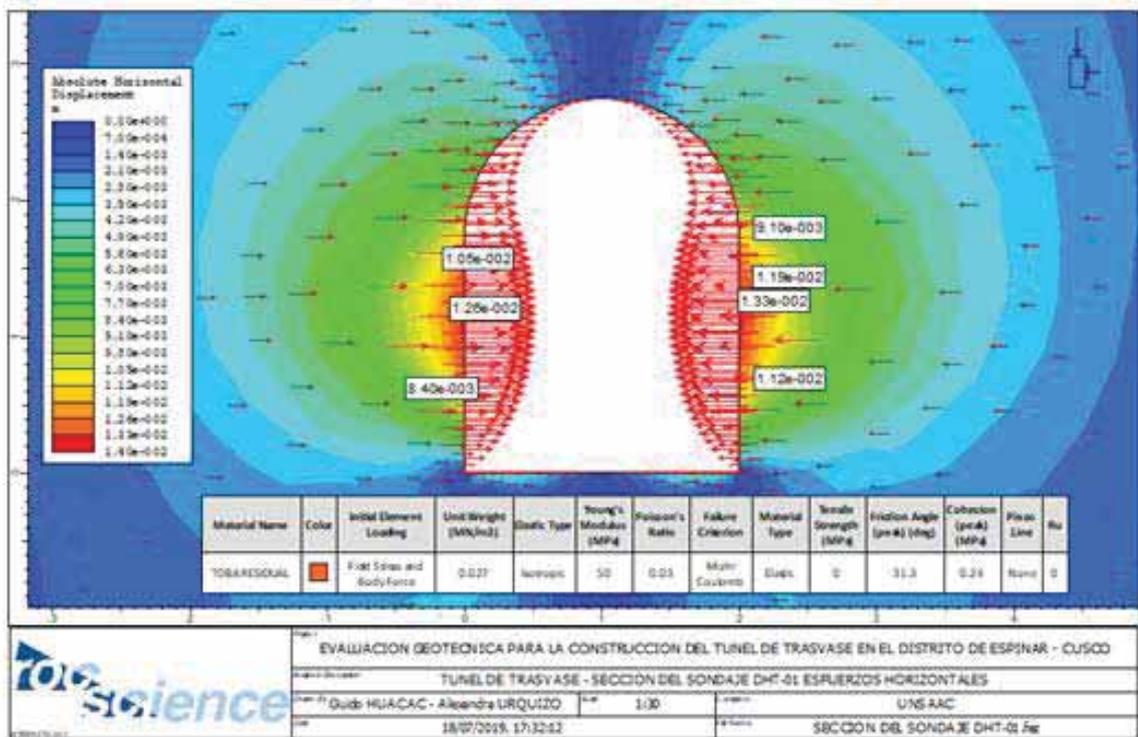


Imagen N° 15. Sección del sondaje DHT-01, en la progresiva 0+120 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).

El grafico anterior pertenece al modelo de esfuerzos horizontales los que se determinó los más críticos, las líneas en rojo muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado, zona inestable.



- SECCIÓN DHT-02 (PROG. 0+400)

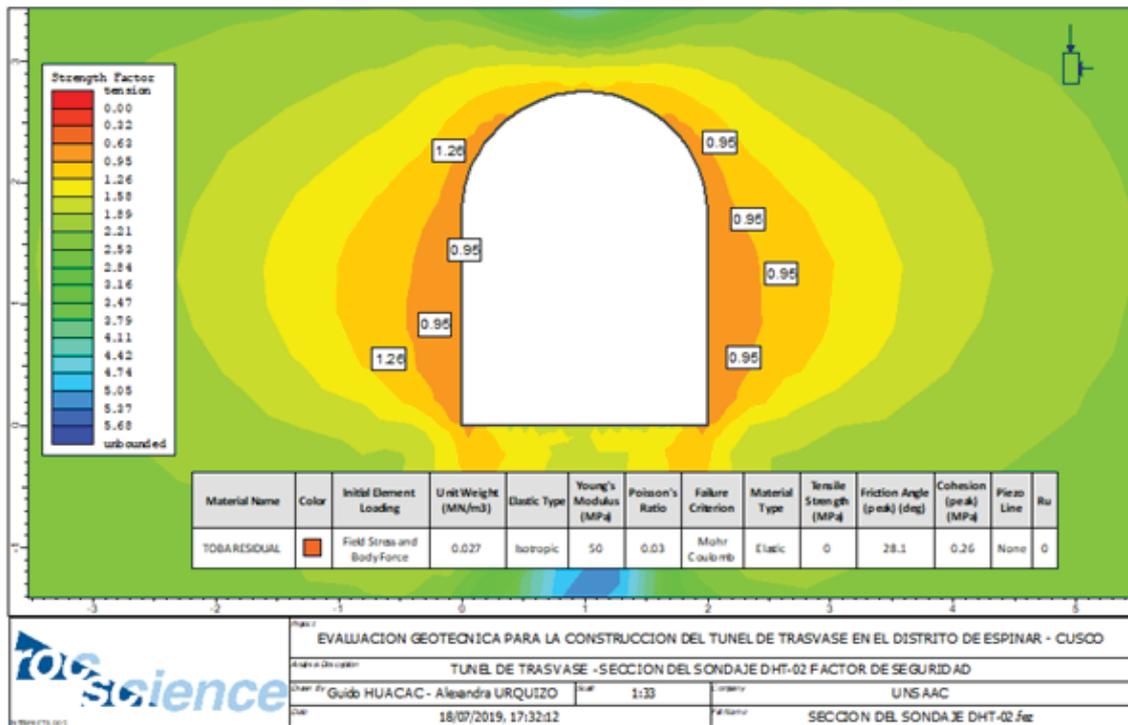


Imagen N° 16. Sección del sondaje DHT-02, en la progresiva 0+400 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).

El grafico muestra, se muestra el factor de seguridad que va en orden de 0.95 en los hastiales del túnel, los factores de seguridad menores a 1, corresponde a zonas críticas, debemos señalar que este modelo está realizado en un ambiente estático sin considerar la sismicidad de la zona, en resumen, se puede observar que los esfuerzos se encuentran afectando horizontalmente, el modelo muestra una sección inestable.

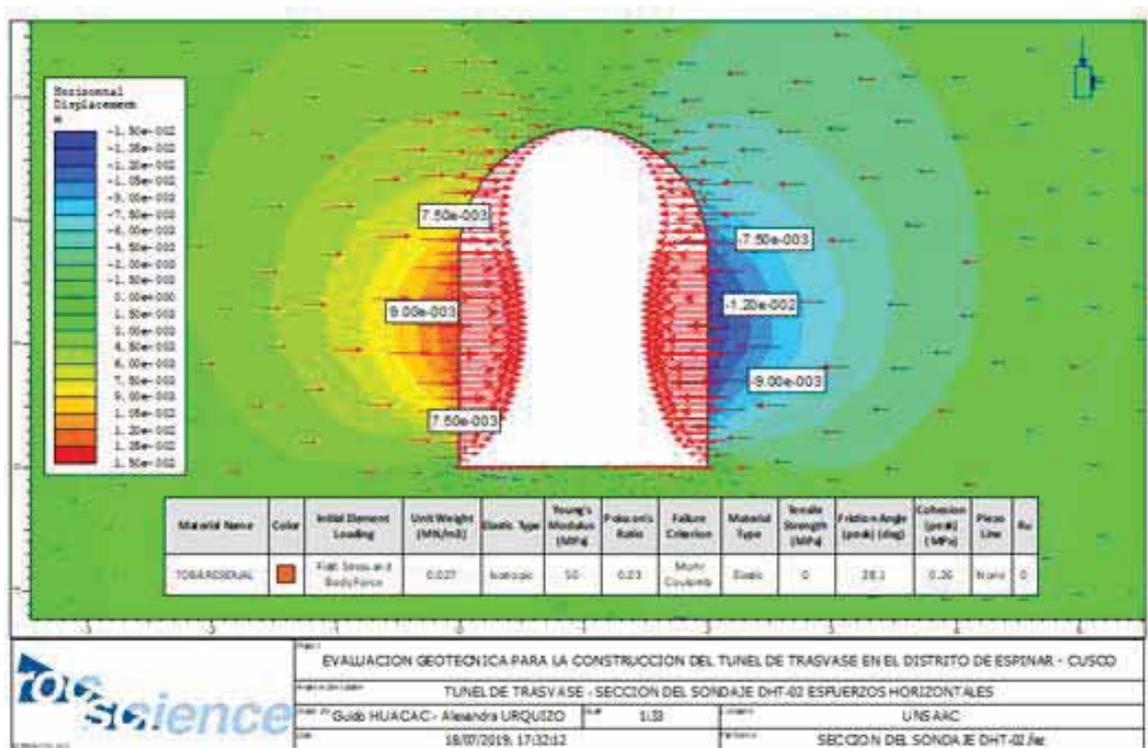


Imagen N° 17. Sección del sondaje DHT-2, en la progresiva 0+400 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).

El gráfico anterior pertenece al modelo de esfuerzos horizontales de la sección realizada en la progresiva 0+400, muestra la zona más crítica en los hastiales, las líneas en rojo muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado, zona inestable.



- SECCIÓN DHT-03 (PROG. 0+480)

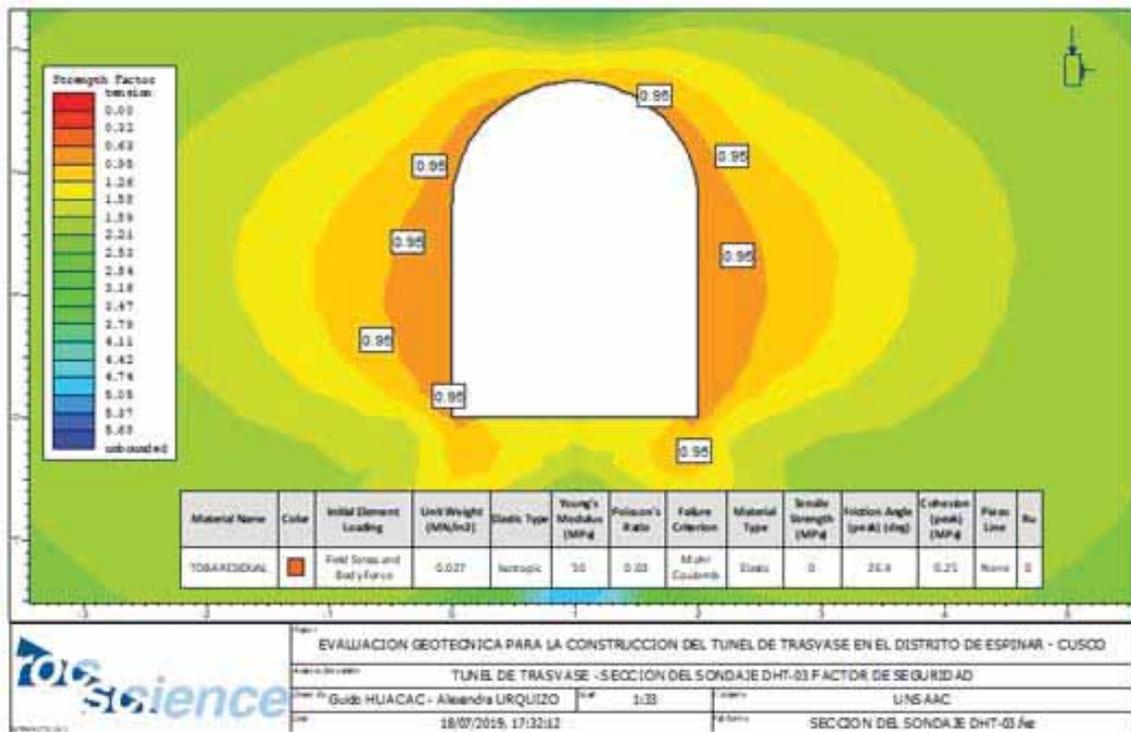


Imagen N° 18. Sección del sondeaje DHT-3, en la progresiva 0+480 del eje de túnel (FACTOR DE SEGURIDAD).
(Elaboración: propia).

El grafico muestra, en este punto la profundidad del túnel es de 23.00 metros, se muestra el factor de seguridad que va en orden de 0.95 en los hastiales del túnel, los factores de seguridad menores a 1, corresponde a zonas críticas, debemos señalar que este modelo está realizado en un ambiente estático sin considerar la sismicidad de la zona, en resumen, se puede observar que los esfuerzos se encuentran afectando horizontalmente, el modelo muestra una sección inestable.

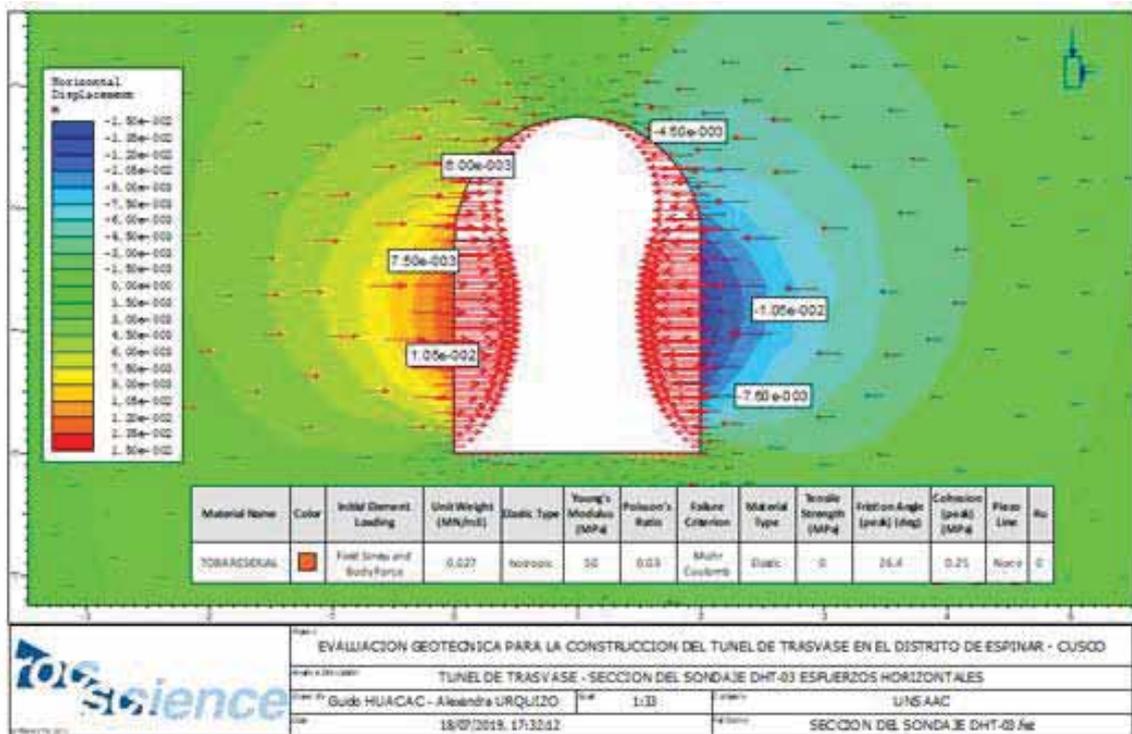


Imagen N° 19. Sección del sondaje DHT-3, en la progresiva 0+480 (ESFUERZOS HORIZONTALES). (Elaboración: propia).

El grafico anterior pertenece al modelo de esfuerzos horizontales de la sección realizada en la progresiva 0+480, muestra la zona más crítica en los hastiales, las líneas en rojo muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado, zona inestable.



- SECCIÓN DHT-04 (PROG. 0+710)

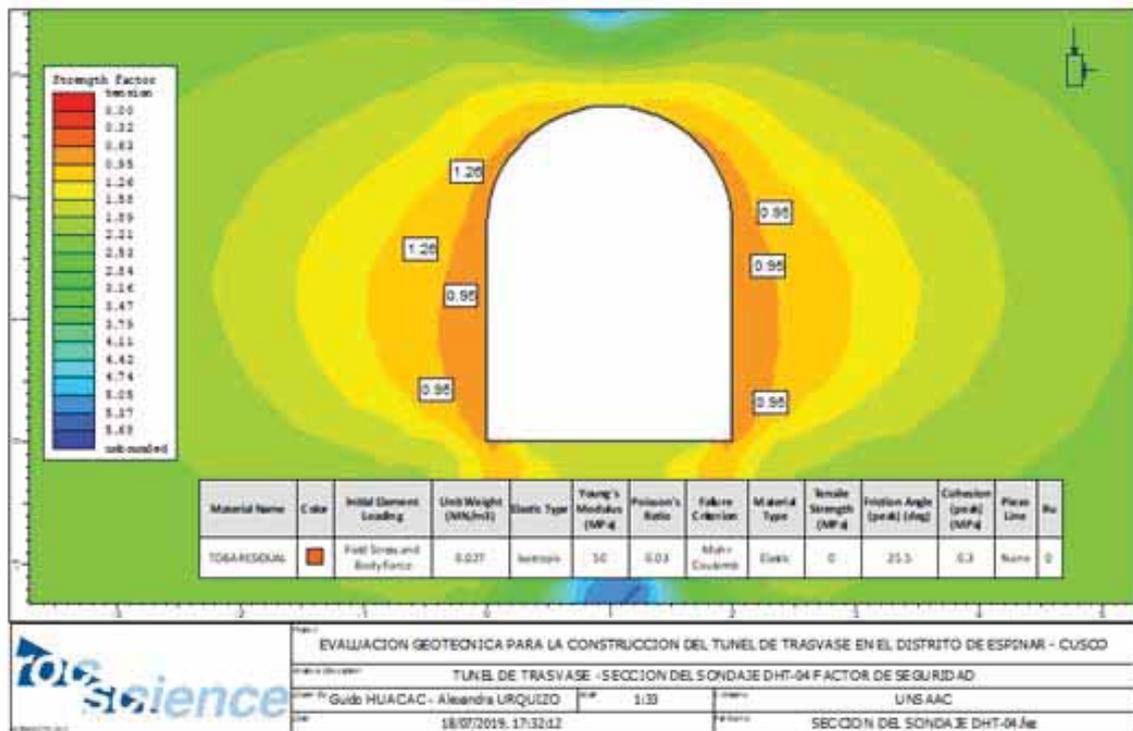


Imagen N° 20. Sección del sondaje DHT-04, en la progresiva 0+710 (FACTOR DE SEGURIDAD). (Elaboración: propia).

El grafico muestra, en este punto la profundidad del túnel es de 20.00 metros, se muestra el factor de seguridad que va en orden de 1.26 en los hastiales del túnel, este factor de seguridad es mayor a 1, corresponde a zona moderadamente estable, debemos señalar que este modelo está realizado en un ambiente estático sin considerar la sismicidad de la zona, en resumen, se puede observar que los esfuerzos se encuentran afectando horizontalmente, el modelo muestra una sección estable.

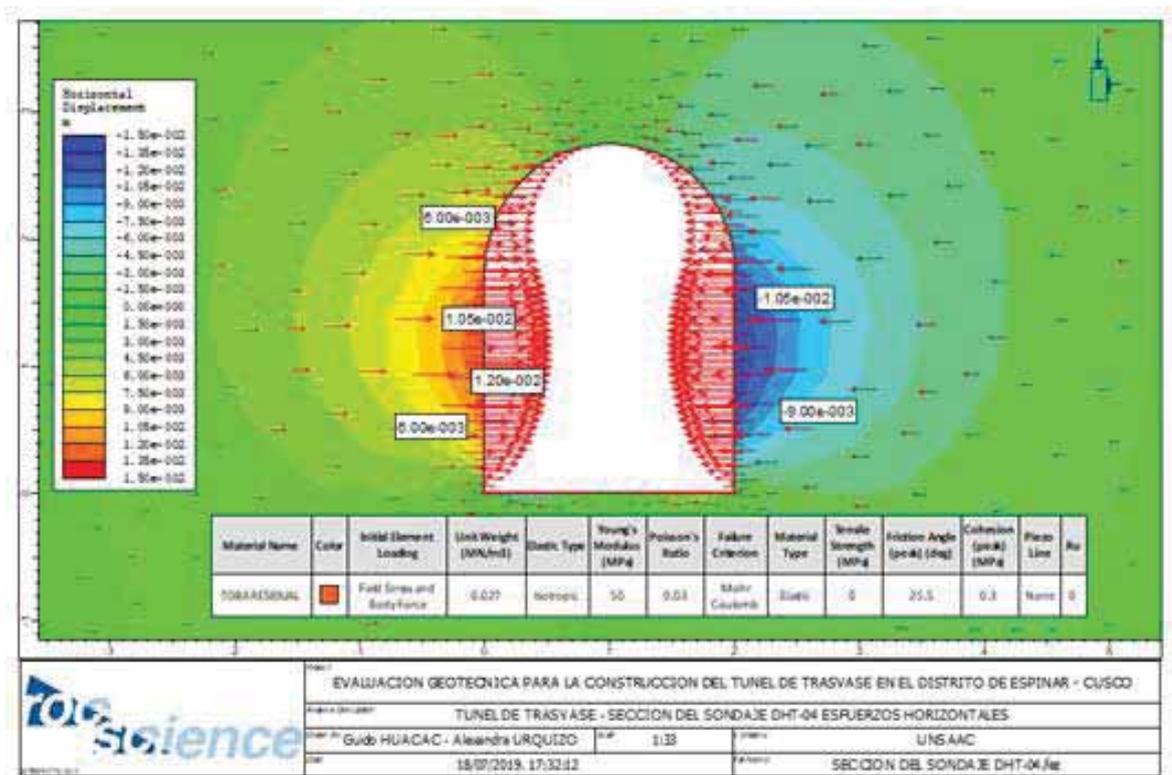


Imagen N° 21. Sección del sondaje DHT-04, en la progresiva 0+710 (ESFUERZOS HORIZONTALES).
(Elaboración: propia).

El grafico corresponde al modelo de esfuerzos horizontales de la sección realizada en la progresiva 0+710, muestra la zona más crítica en los hastiales, las líneas en rojo muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado, el factor de seguridad es de 1.26, se recomienda reforzar la zona de los hastiales.



7.5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE SALIDA DEL TÚNEL

En la zona salida de túnel se han realizado estudios de propiedades físicas de los suelos, para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes se ha considerado la evaluación de los Perfiles Estratigráficos: Para caracterizar la zona de salida de túnel se realizó un sondaje diamantino con código DHT-04, cuya ubicación es la más próxima a la zona de estudio. La estratigrafía de la zona está conformada por 03 estratos bien identificados los cuales describiremos a continuación:

- ESTRATO A: Conformado por suelos orgánico pardo oscuro con presencia de limos con una potencia de 0.20 m.
- ESTRATO B: Desde 0.20 hasta 0.90 metros, está compuesto de arena limosa con grava y arena, de color pardo oscuro mal graduado, con una compacidad baja, se deshace con la presión de la mano, con porcentajes de Arena 50%, grava 25%, limo 25%.
- ESTRATO C: Desde 0.90 m., hasta 25.60m., este estrato es masivo, y continuo corresponde al suelo residual, proveniente de su protolito toba riolítica de la formación Maure, de su cuarta secuencia, este material corresponde a un suelo limo arenoso, presenta cuarzo hialino en forma de microcristales heterometricos, en un 50%, limos 30%, micas de color negro 15%, y otros elementos traza 5%, este material se disgrega con la presión de la mano, presenta un compacidad baja, se encuentra en estado húmedo, el material es deleznable, de baja cohesión.

7.5.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE SALIDA DEL TÚNEL

Las características físicas mecánicas del material residual de tipo areno limoso, de características deleznales con la presión de la mano, presenta compacidad baja, se presenta a partir de los 0.90 m, se presenta en forma masiva, hasta el fondo del sondaje, profundizando de forma masiva en todo el eje del túnel. Se realizaron pruebas en laboratorio, de muestras en la zona donde se proyecta el túnel. A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas:

CÓDIGO	PROFUNDIDAD		UBICACIÓN	SUCS	COHESIÓN kg/cm ²	FRICCIÓN (°)	PESO UNITARIO (kN/m ³)	PESO ESPECIFICO (t/m ³)
	DESDE	HASTA						
DHT-M-04	25.35	25.60	TÚNEL EMISOR PD-04	SP-SM	30.4	25.5	18	1.80

Cuadro N° 36. Cuadro resumen de resultados de las propiedades físicas mecánicas.



7.5.3.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES DE SALIDA DEL TÚNEL

Dentro de las propiedades resistentes de este material el cual está conformado por arena limosa, en este caso de acuerdo a la clasificación de materiales predominantes en este punto de acuerdo a la identificación de campo se clasifican en un suelo de tipo S2, con valores aproximados de 0.025 – 0.05 Mpa, y en unidades de kg/cm² sería de 0.25 a 0.5.

CLASE	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DEL CAMPO	VALOR APROXIMADO DE LA RESISTENCIA	
			Mpa	Kg/cm ²
S1	Arcilla muy Blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	<0,025	<0,25
S2	Arcilla Blanda	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025 - 0,05	0,25 - 0,5
S3	Arcilla Firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05 - 0,10	0,5 - 1
S4	Arcilla Rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,10 - 0,25	1 - 2,5
S5	Arcilla muy Rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25 - 0,50	2,5 - 5,0
S6	Arcilla Dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña.	>0,50	>5,0
R0	Roca Extremadamente Débil	Se puede marcar con la uña.	0,25 - 1,0	2,5 - 10
R1	Roca muy Débil	Deleznable bajo golpes de martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja.	1,0 - 5,0	Oct-50
R2	Roca Débil	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo geológico.	5,0 - 25	50 - 250
R3	Roca Medianamente Fuerte	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indente hasta 5mm.	25 - 50	250 - 500
R4	Roca Fuerte	Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra.	50 - 100	500 - 1000
R5	Roca muy Fuerte	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romperla.	100 - 250	1000 - 2500
R6	Roca Extremadamente Fuerte	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, salen esquirlas de roca.	>250	>2500

Cuadro N° 37. Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981)

Se presenta la clasificación de acuerdo a su resistencia, en este este material se clasifica como suelos residuales, donde su protolito es la toba riolítica de la formación Maure de su cuarta secuencia.



7.5.3.3. ESTABILIDAD DE TALUD DE SALIDA DEL TÚNEL

En zona de salida de túnel se realizó el modelamiento del talud propuesto para el corte de salida de túnel, se propone excavar 20.00 metros antes del final de la luz del túnel, realizar un corte vertical, para la salida de túnel.

7.5.3.3.1. METODOLOGÍA

El programa Slide, de la casa Rocscience es el software de análisis de estabilidad de pendientes más completo a nivel mundial, permitiendo realizar, entre otras cosas, análisis de elementos finitos de infiltración de agua subterránea, análisis de sensibilidad, análisis dinámicos, análisis probabilísticos y análisis de variabilidad espacial, etc. Aplicado a múltiples escenarios y que se pueden visualizar simultáneamente en la pantalla del ordenador o pantalla de proyección, este potente programa se ha convertido en una herramienta principal para los profesionales en proyectos de obra civil y minería.

El análisis permitirá determinar si el ángulo proyectado es estable o no, de no ser estable se propondrá una alternativa de estabilidad, también se pretende calificar el estado actual del talud por donde se proyecta la salida del túnel. Se darán recomendaciones para incrementar el factor de seguridad de ser necesario.

Para la evaluación de taludes en roca se valoriza el macizo rocoso por medio de sistema RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski en 1979; este sistema de clasificación en base a valoraciones, ha sufrido modificaciones siendo la última la del año 1989 (RMR 89), la cual considera para el macizo rocoso valoraciones en condiciones secas y orientación de discontinuidades favorables.

Con el RMR se determina el grado de estabilidad mediante el sistema SMR (Slope Mass Rating). Este sistema toma como referencia el RMR 89 ajustándolo con factores que están en función de la orientación y buzamiento de las discontinuidades y talud de corte de la carretera. De esta manera se obtendrá la valoración del macizo rocoso, el grado de estabilidad para los taludes. También se utiliza el índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos

Se utilizó el software Slide 6.0, en cual utiliza el criterio del equilibrio límite, sobre superficies potenciales de deslizamiento. Se toma en cuenta el equilibrio pseudoestático,



no tiene en cuenta las deformaciones y las distribuciones de presiones en muchos casos no es muy realista.

En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad (FS = 1.5) en la condición estática, el valor del Factor de Seguridad mínimo para la condición Pseudoestático es de FS=1.0. Para la condición pseudoestática se considera un coeficiente sísmico equivalente a ½ % de la aceleración sísmica de diseño. El período de exposición sísmica es de 50 años.

Los análisis de estabilidad asumen superficies de falla tipo circular, planar o fallas del tipo bloque, basados en los métodos de equilibrio límite de Bishop, Spencer y Jambu.

7.5.3.3.2. CRITERIOS GENERALES DE ESTABILIDAD EN SOFTWARE SLIDE

Es importante mencionar los criterios utilizados en la evaluación de los taludes en el software slide 6.0 es importante ya que nos permite aclarar la metodología y la lógica utilizada por el software.

El modelo analizado para la estabilidad de taludes se tomó en cuenta en los taludes compuestos por suelos la cohesión y fricción, las características geométricas del talud, las variables que dominan las condiciones de la estabilidad en el diseño proyectado.

Como ya se mencionó anteriormente el software analiza los parámetros físicos mediante el análisis de equilibrio límite, de la relación entre la resistencia disponible del suelo al corte y el esfuerzo cortante requerido para mantener el equilibrio límite a lo largo de superficies que definan un mecanismo potencial de falla (círculos de falla).

Los modelos resultantes del software nos permitieron establecer si un talud es estable o no, el software nos permite analizar modificar estos modelos dándole un criterio de estabilidad llegando al resultado final alguna posible alternativa de estabilización del talud.

El programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua). Los parámetros correspondientes a las propiedades de los materiales que componen el talud, requeridos para el análisis de estabilidad, son los siguientes:

- Peso unitario húmedo
- Peso unitario saturado



- Cohesión
- Ángulo de resistencia al corte
- Periodo de retorno de la sismicidad
- Tipo y características de la roca y/o suelo
- Angulo de talud evaluado (secciones o cortes geológicos)

Los valores de estos parámetros, se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio, realizando observaciones detalladas en campo y las evaluaciones pertinentes de las condiciones geológicas y geotécnicas in situ, debemos mencionar que el periodo de retorno sísmico es un factor casi determinante en taludes evaluados en condiciones pseudoestáticas, en este caso se tomó en cuenta el periodo de retorno para 50 años, de acuerdo a la norma sismo resistente E-030, el periodo de retorno de 0.35, para uso de software por regla se debe considerar $\frac{1}{2}$ del valor, en este caso se utilizó 0.18.

Los resultados de estos análisis nos permitirán finalmente determinar la estabilidad del talud evaluado, teniendo en consideración los agentes geodinámicos internos y externos así como el grado de saturación nivel freático. Con todos estos criterios nos aproximamos a un resultado real de condición de estabilidad, teniendo como resultado final las recomendaciones de estabilidad de los taludes.

A continuación, presentamos un cuadro resumen de las propiedades geomecánicas y ubicación de datos utilizados en la evaluación de con el software Slide 6.0.

NOMBRE DE MATERIAL	CÓDIGO DE MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	PESO UNITARIO (KN/m ³)	COHESIÓN (kN/m ²)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)
TOBA RESIDUAL	DHT-M-04	SP-SM	18	30.4	25.5
SUELO SM	VALOR ASUMIDO	SM	13	12.25	29

Cuadro N° 38. Datos de propiedades físicas de los materiales.

7.5.3.3.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN LA SALIDA DEL TÚNEL

De acuerdo con el modelo se propone un talud vertical de corte, para la proyección de la salida del túnel, el factor de seguridad es de 1.176, en condiciones pseudostáticas, por el método de Bishop, por el método de Jambu simplificado se obtuvo un resultado de 1.196, y por el método de Spencer 1.183, estos métodos correlacionan entre sí, de esta manera podemos decir que el talud propuesto permanece estable con un ángulo de corte



de 90°, se recomienda por seguridad considerar un corte V:H, de 5:1, y realizar una limpieza el estrato superficial conformado por arena limosa, para evitar caída de rocas y suelos.

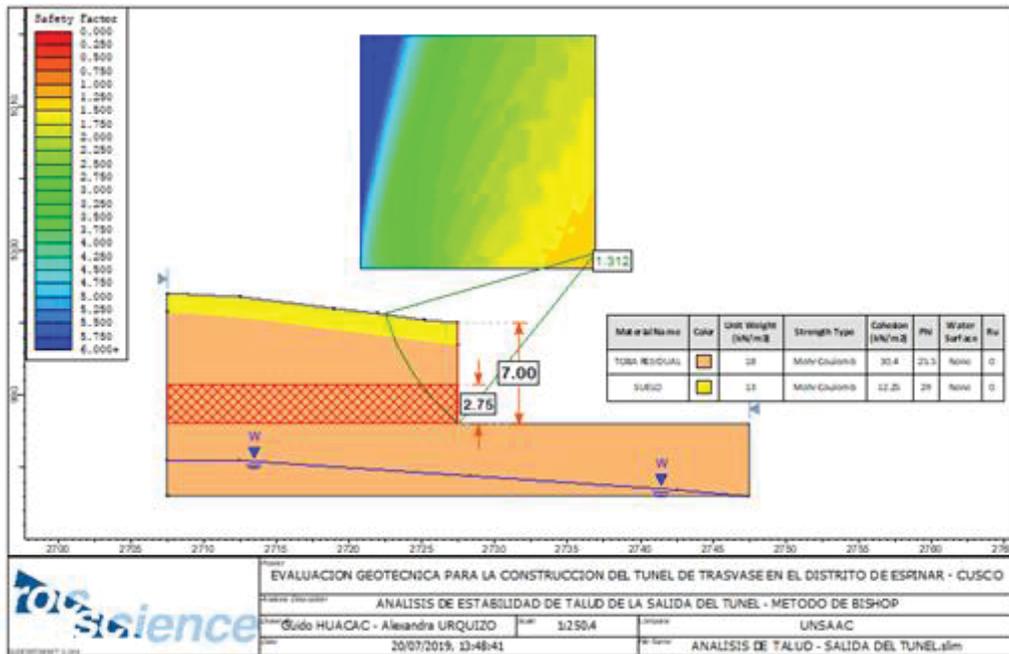


Imagen N° 22. Análisis de estabilidad de talud de la salida del túnel - Método de BISHOP. (Elaboración: propia).

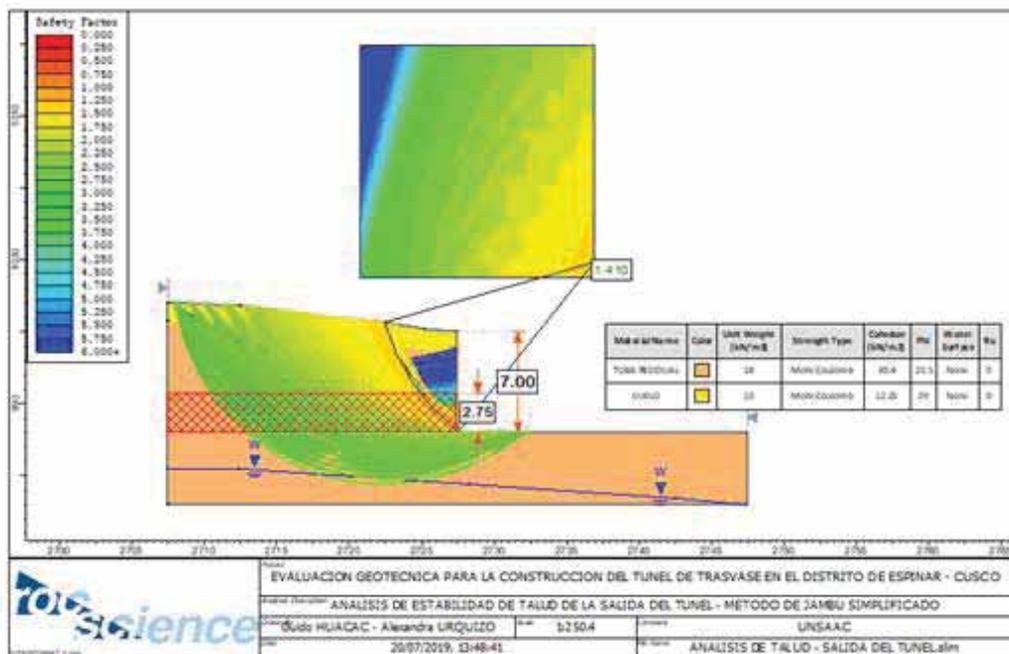


Imagen N° 23. Análisis de estabilidad de talud de la salida del túnel - Método de JAMBU SIMPLIFICADO. (Elaboración: propia).



7.5.4. ANÁLISIS DE SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL DE TRASVASE

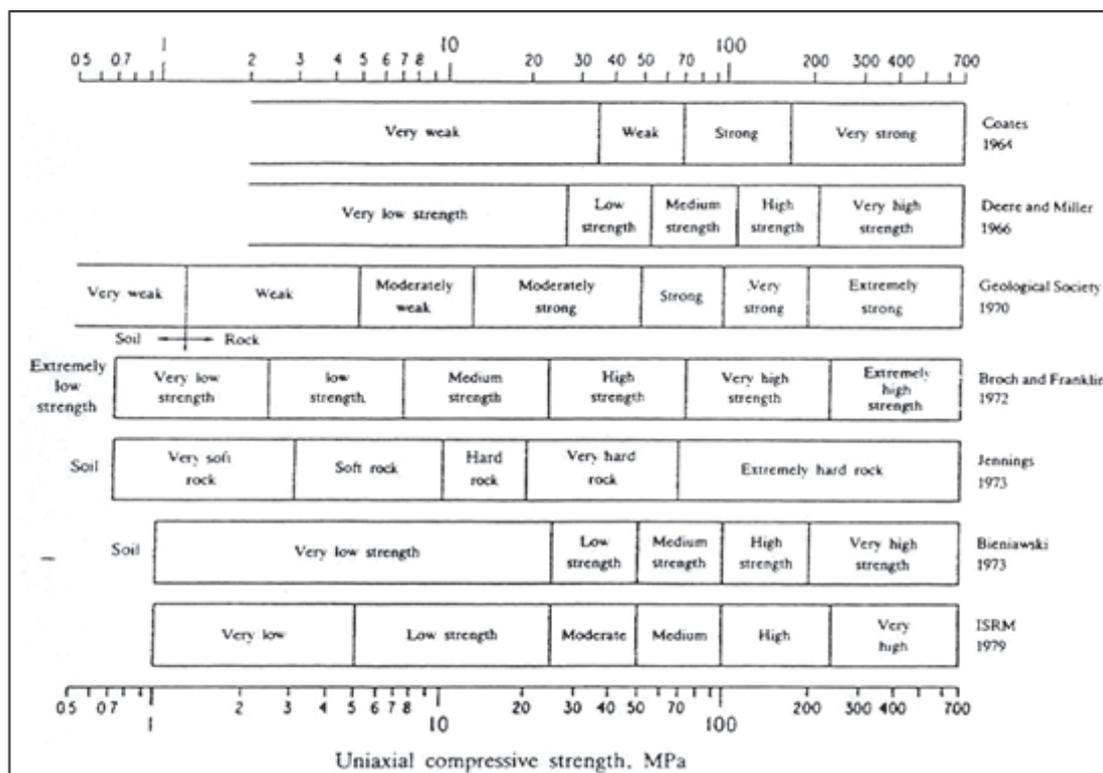
El profesor Terzaghi (1946) quien propuso la primera clasificación del terreno orientada a la construcción de túneles. Sus datos provenían de túneles sostenidos fundamentalmente por cerchas metálicas. A partir de los años 50 fue generalizándose la utilización del bulonado y el hormigón proyectado en la construcción de túneles para usos civiles. La clasificación de Lauffer de 1958 refleja perfectamente el uso combinado de cerchas, bulonado y hormigón proyectado en la construcción de túneles en roca.

Las que podemos denominar clasificaciones modernas (Sistema RMR (Bieniawski) y Q (Barton)) intentan un mayor grado de objetividad. Se trata en los dos casos de combinar atributos del macizo rocoso (de tipo geológico, geométrico y tensional) en un número único relacionado con la calidad global de la roca. A su vez, este número permite, a través de la experiencia recogida en su utilización en casos reales, la definición de un sostenimiento del túnel y la estimación de otros parámetros o datos de interés (resistencia del macizo rocoso, tiempo de estabilidad de una excavación no sostenida, etc.).

En este caso especial se tienen, materiales sueltos, como suelos de baja plasticidad de orden árenos limosos de cohesión media a baja, se utilizará como antecedentes los casos en rocas muy alteradas que requieren tratamientos especiales ya que presentan comportamiento de suelos.

Las clasificaciones geomecánicas están adaptadas a los macizos rocosos (como contraposición a los suelos). La transición suelo-roca es siempre difusa. El término "roca blanda", bastante generalizado, define esta transición. La resistencia a compresión simple, que de la roca intacta proporciona un criterio, utilizado por muchos autores, para clasificar la roca. Los criterios son dispares, pero en general se acepta que resistencias inferiores a 1 MPa son ya típicas de los suelos.

Presentamos cuadros donde se presentan las distintas clasificaciones geomecánicas de rocas y suelos según la resistencia a la compresión uniaxial.



Cuadro N° 39. Clasificaciones geomecánicas internacionales de rocas y suelos de acuerdo al índice resistencia a la compresión uniaxial.

7.5.4.1. ALTERNATIVAS DE SOSTENIMIENTO PARA TÚNELES EN SUELO

Presentamos alternativas de sostenimiento para este tipo de túneles, este tipo de sostenimiento de acuerdo al índice Q de Barton, muy aplicado en rocas, pero que alternativamente presenta como última categoría roca con alto grado de alteración.

7.5.4.1.1. SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL SEGÚN BARTON

En función al tipo de roca, y la dimensión del túnel, Barton presenta un método “empírico” para estimar los soportes en un túnel, que varía desde anclajes ocasionales, hormigón proyectado con y sin malla metálica hasta hormigón moldeado con acero de refuerzo, para este fin utilizamos el siguiente ábaco:

Para la estimación de los sostenimientos a partir de Q se definen los siguientes parámetros:

$$\text{Diámetro equivalente del túnel} = \frac{\text{anchura, diámetro o altura (m)}}{\text{ESR}}$$

ESR (excavation support ratio): factor que depende del tipo de excavación, cuyos valores se indican en el Cuadro siguiente:



Valores del índice ESR de la Clasificación Q

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal, etc.	2-5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

(Barton, 2000).

Cuadro N° 40. Valores del Índice ESR de la Clasificación Q de Barton.

Para este tipo de túnel en particular no se tiene clasificación sin embargo se asume un índice ESR, del orden E, con ESR de 0.5 – 0.8.

El siguiente grafico se suma al método empírico, donde a partir del índice Q, altura del túnel y el índice ESR, se puede estimar el tipo de sostenimiento.

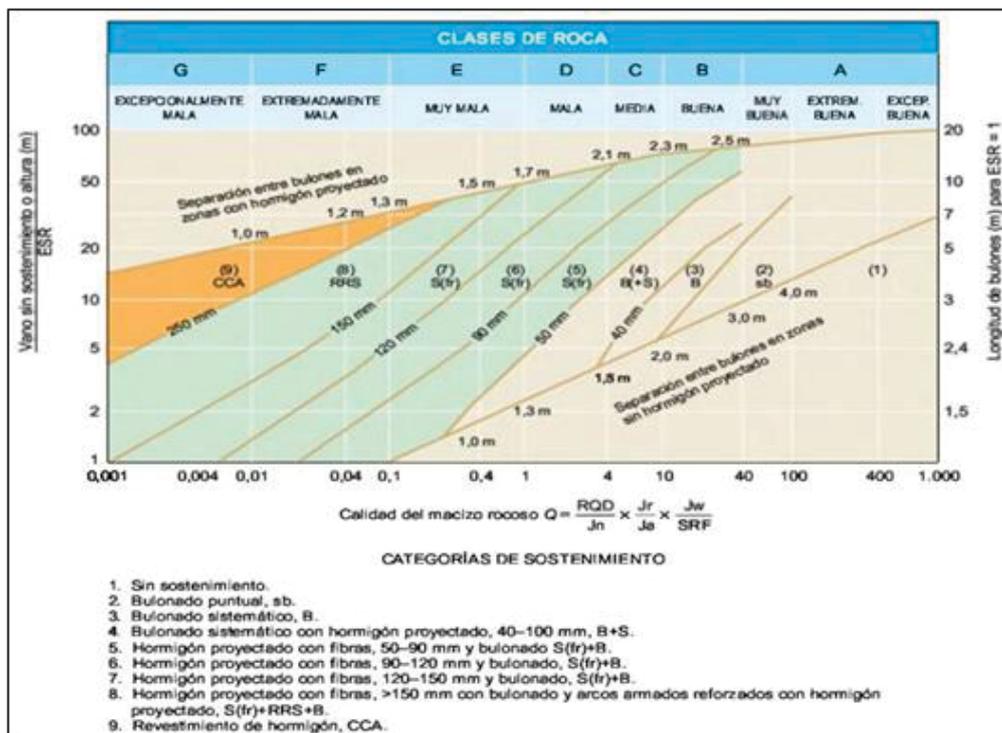


Diagrama N° 3. Sostenimientos según el índice Q



Tal es el caso que para nuestro trabajo se tiene una altura de túnel de 2.75 m., y un índice ESR de 0.5 -0.8 de orden E (muy mala), tomando en cuenta de que se trata de suelos, por criterio se considera de grado G (Excepcionalmente mala), interpolando en el grafico le corresponde a un tipo de sostenimiento, de hormigón proyectado con fibras, >150 mm con Bulonado y arcos armados reforzados con hormigón.

De esta forma se obtiene el tipo de sostenimiento según el índice Q.

7.5.4.1.2. SOSTENIMIENTO DEL TÚNEL SEGÚN BIENIAWSKI

La clasificación RMR (Bieniawski, 1979 y 1989) indica explícitamente los tipos de sostenimiento a emplear según se muestra en el Cuadro siguiente. En caso de utilizar SRC se emplea este valor en lugar del RMR. A partir de RMR puede estimarse la longitud de pase (longitud de avance sin sostenimiento).

Sostenimientos a partir del índice RMR				
Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunta	Cerchas
I 100-81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional.	No.	No.
II 80-61	Sección completa. Avances de 1-1.5 m.	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2.5 m, eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización.	No.
III 60-41	Avance y destroza. Avances de 1,5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5 a 2 m en clave y hastiales. Mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales.	No.
IV 40-21	Avance y destroza. Avances de 1 a 1,5 m. Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1,5 m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1,5 m cuando se requieran.
V ≤ 20	Fases múltiples. Avances de 0,5-1 m. Gunitar inmediatamente el frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m, con separaciones de 1-1,5 m en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15-20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	Cerchas pesadas separadas 0,75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.

Túneles de sección en herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 kp/cm².

(Bieniawski, 1989).

Cuadro N° 41. Sostenimientos a partir del índice RMR



De acuerdo a al índice RMR, por este método se estima una clasificación de tipo V con valores < 20 , donde le corresponde un sostenimiento de bulonado sistemático, con hormigón lanzado y cerchas pesadas, tal como indica en el cuadro anterior.

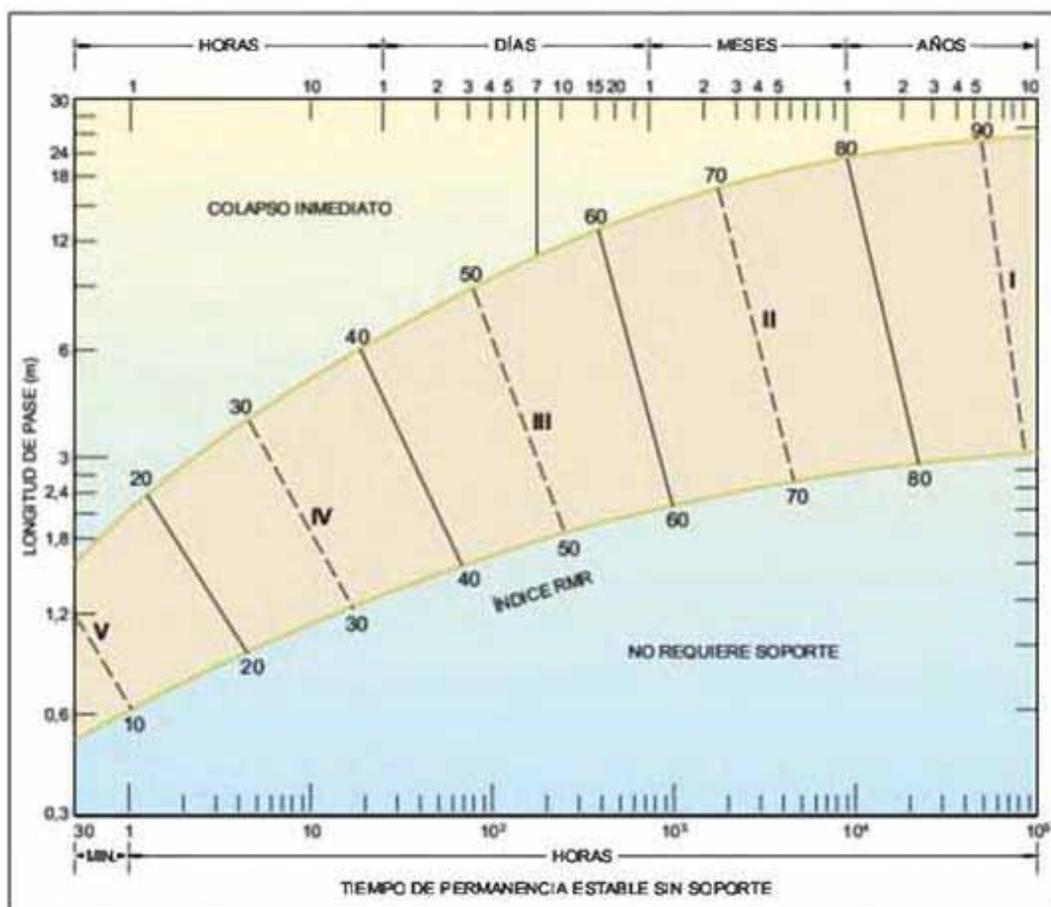


Diagrama N° 4. Longitudes de Pase y tiempos de estabilidad sin soporte.

Llevando el caso a la realidad de nuestro trabajo se tiene un índice RMR mínimo estimado de < 20 de clase V (se asume un valor de 10), correspondiente a suelos residuales o rocas extremadamente fracturadas con comportamiento de suelo, se obtiene una longitud de avance de 0.60m., para un tiempo de estabilidad de 30 minutos.

7.6. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

Se realizó la clasificación de materiales de acuerdo a la composición, se clasifican en 3 tipos, roca fija, roca fracturada y suelo, a continuación, presentamos un cuadro donde se exponen de acuerdo a sus progresivas su clasificación estimada de acuerdo al mapeo geológico.



PROGRESIVA	LONG. (m)	VOLUMEN NETO (m3)	OBSERVACIONES
0.00	-	0.00	
10.00	-	0.00	
20.00	-	0.00	
30.00	-	0.00	
40.00	-	0.00	
50.00	-	0.00	
60.00	10.00	26.98	inicio de tunel
70.00	10.00	80.95	roca fija
80.00	10.00	134.92	roca fija
90.00	10.00	188.89	roca fija
100.00	10.00	242.86	roca fija
110.00	10.00	296.83	roca fija
120.00	10.00	350.80	suelo (residual)
130.00	10.00	404.77	suelo (residual)
140.00	10.00	458.74	suelo (residual)
150.00	10.00	512.71	suelo (residual)
160.00	10.00	566.68	suelo (residual)
170.00	10.00	620.65	suelo (residual)
180.00	10.00	674.62	suelo (residual)
190.00	10.00	728.59	suelo (residual)
200.00	10.00	782.56	suelo (residual)
210.00	10.00	836.53	suelo (residual)
220.00	10.00	890.50	suelo (residual)
230.00	10.00	944.47	suelo (residual)
240.00	10.00	998.44	suelo (residual)
250.00	10.00	1052.41	suelo (residual)
260.00	10.00	1106.38	suelo (residual)
270.00	10.00	1160.35	suelo (residual)
280.00	10.00	1214.32	suelo (residual)
290.00	10.00	1268.29	suelo (residual)
300.00	10.00	1322.26	suelo (residual)
310.00	10.00	1376.23	suelo (residual)
320.00	10.00	1430.20	suelo (residual)
330.00	10.00	1484.17	suelo (residual)
340.00	10.00	1538.14	suelo (residual)
350.00	10.00	1592.11	suelo (residual)
360.00	10.00	1646.08	suelo (residual)
370.00	10.00	1700.05	suelo (residual)
380.00	10.00	1754.02	suelo (residual)
390.00	10.00	1807.99	suelo (residual)
400.00	10.00	1861.96	suelo (residual)

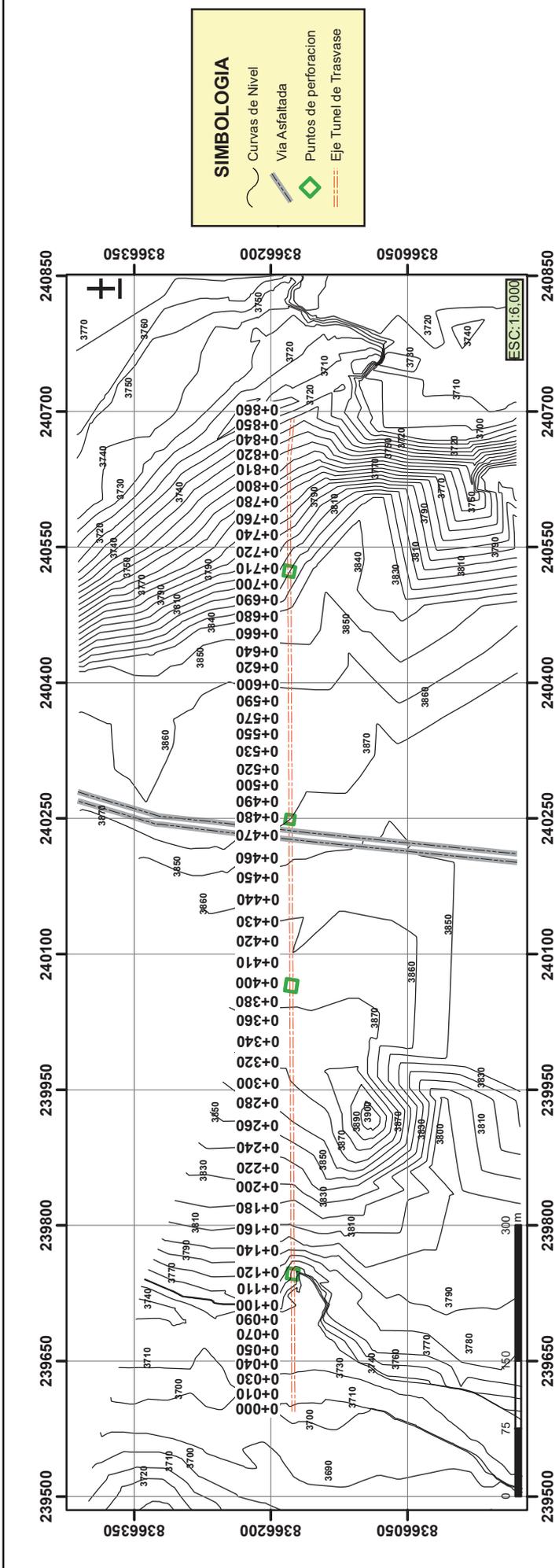
Cuadro N° 42. Clasificación de materiales del corte de túnel proyectado. Progresiva 0+000 – 0+400. (Elaboración: propia).

PROGRESIVA	LONG. (m)	VOLUMEN NETO (m3)	OBSERVACIONES
410.00	10.00	1915.93.	suelo (residual)
420.00	10.00	1969.90.	suelo (residual)
430.00	10.00	2023.87.	suelo (residual)
440.00	10.00	2077.84.	suelo (residual)
450.00	10.00	2131.81.	suelo (residual)
460.00	10.00	2185.78.	suelo (residual)
470.00	10.00	2239.75.	suelo (residual)
480.00	10.00	2293.72.	suelo (residual)
490.00	10.00	2347.69.	suelo (residual)



500.00	10.00	2401.66.	suelo (residual)
510.00	10.00	2455.63.	suelo (residual)
520.00	10.00	2509.60.	suelo (residual)
530.00	10.00	2563.57.	suelo (residual)
540.00	10.00	2617.54.	suelo (residual)
550.00	10.00	2671.51.	suelo (residual)
560.00	10.00	2725.48.	suelo (residual)
570.00	10.00	2779.45.	suelo (residual)
580.00	10.00	2833.42.	suelo (residual)
590.00	10.00	2887.39.	suelo (residual)
600.00	10.00	2941.36.	suelo (residual)
610.00	10.00	2995.33.	suelo (residual)
620.00	10.00	3049.30.	suelo (residual)
630.00	10.00	3103.27.	suelo (residual)
640.00	10.00	3157.24.	suelo (residual)
650.00	10.00	3211.21.	suelo (residual)
660.00	10.00	3265.18.	suelo (residual)
670.00	10.00	3319.15.	suelo (residual)
680.00	10.00	3373.12.	suelo (residual)
690.00	10.00	3427.09.	suelo (residual)
700.00	10.00	3481.06.	suelo (residual)
710.00	10.00	3535.03.	suelo (residual)
720.00	10.00	3589.00.	suelo (residual)
730.00	10.00	3642.97.	suelo (residual)
740.00	10.00	3696.94.	suelo (residual)
750.00	10.00	3750.91.	suelo (residual)
760.00	10.00	3804.88.	suelo (residual)
770.00	10.00	3858.85.	suelo (residual)
780.00	10.00	3912.82.	suelo (residual)
790.00	10.00	3966.79.	suelo (residual)
800.00	10.00	4020.76.	suelo (residual)
810.00	10.00	4074.73.	suelo (residual)
820.00	10.00	4128.70.	suelo (residual)
830.00	10.00	4182.67.	suelo (residual)
840.00	10.00	4236.64.	suelo (residual)
850.00	10.00	4290.61.	suelo (residual)
860.00	10.00	4344.58.	suelo (residual)
870.00	10.00	4398.55.	suelo (residual)
880.00	10.00	4452.52.	suelo (residual)
890.00	10.00	4506.49.	terraplén
900.00	10.00	4560.46.	terraplén
910.00	10.00	4614.43.	final de túnel
920.00		4641.41.	terraplén
930.00		4641.41.	terraplén
940.00		4641.41.	terraplén
950.00		4641.41.	terraplén
960.00		4641.41.	terraplén
970.00		4641.41.	terraplén
980.00		4641.41.	terraplén
990.00		4641.41.	terraplén
1000.00		4641.41.	terraplén
1010.00		4641.41.	

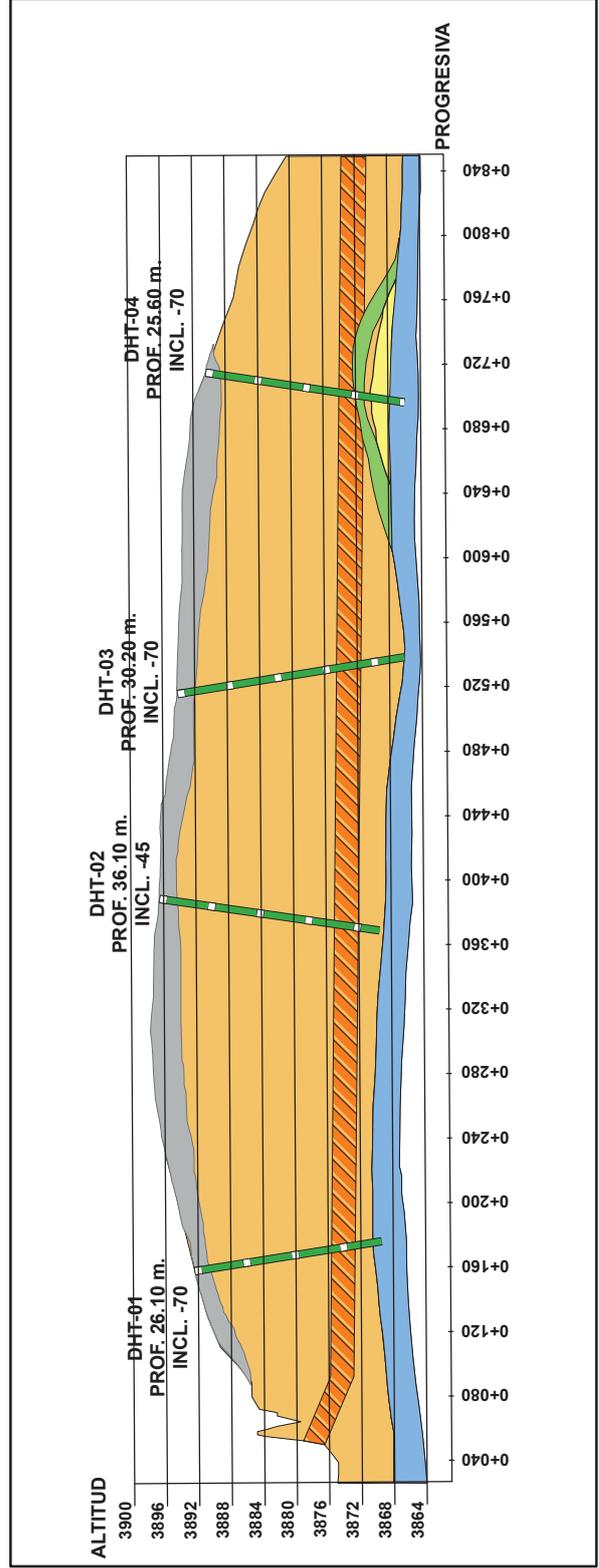
Cuadro N° 43. Clasificación de materiales del corte de túnel proyectado. Progresiva 0+410 – 0+1010.
(Elaboración: propia).



SIMBOLOGIA

- Curvas de Nivel
- Via Asfaltada
- Puntos de perforación
- Eje Tunnel de Traszase

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)	SIMB.
NO TIENE CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA	[Grey box]
I MUY BUENA	[Yellow box]
II BUENA	[Blue box]
III REGULAR	[Orange box]
IV MALA	[Green box]



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, MINAS Y METALURGÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TÍTULO: "EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE TRAZASSE DENTRO LA OBRERA HASTA LA OBRERA TUCSAYAWO EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO"

ALUMNO: [Name]

FECHA: [Date]

PLANO N°: 13



CONCLUSIONES

1. Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra en una unidad de planicie limitada por dos quebradas: la quebrada Cañipia y la quebrada Tucsamayo.
2. La estratigrafía de la zona está conformada por el grupo Maure del cenozoico – paleógeno, conformado por una secuencia de tobas ignimbríticas, suprayaciendo a esta formación se encuentran depósitos recientes compuestos por materiales limoarenosos con finos.
3. Estructuralmente presenta diaclasas que no afectarán la estabilidad del túnel, ya que, en la actualidad se encuentra en una etapa de tranquilidad tectónica.
4. La vulnerabilidad sísmica de la zona de acuerdo a la norma peruana Sismorresistente para edificaciones E030, es de una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años; Porque, el túnel está ubicado en la zona 3 de factor Z de 0.35 de aceleración máxima.
5. Las condiciones hidrogeológicas de acuerdo a la permeabilidad de suelos areno limosos, tiene un valor de 0.001– 5x0.001 cm/s. por ende se clasifica como un acuítardo, con un rango de permeabilidad de 0.1 – 0.001 m/día, y porosidad de 20% a 40%.
6. Geotécnicamente:
 - 6.1. Para la evaluación geotécnica del ingreso del túnel se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple con martillo de geólogo aproximado de 5 a 25 Mpa, o 50 a 250 kg/cm², que corresponde a una roca tipo R2, roca blanda.
 - 6.2. Para la evaluación del eje del túnel se realizaron evaluaciones de estabilidad mediante el programa PHASE 2 del paquete de ROCKSCIENCE, a través de los resultados obtenidos de cuatro muestras del ensayo de corte directo:

Código de muestra	Ángulo de fricción interna (Grados)	Cohesión (Mpa)
DHT-M-01	31.3	2.47
DHT-M-02	28.1	2.7
DHT-M-03	25.4	2.58
DHT-M-04	25.5	2.98



Dichos datos indican un factor de seguridad promedio de 0.95 que muestran la tendencia de las presiones de forma horizontal, esto genera debilidad en los hastiales del túnel proyectado, siendo éste inestable.

6.3. De la evaluación geotécnica en la salida del túnel se obtuvo que las propiedades resistentes del material conformado por arena limosa, de acuerdo a la clasificación de materiales predominantes de campo se clasifican en un suelo de tipo S2 (Suelo Blando), con valores aproximados de 0.025 – 0.05 Mpa, y en unidades de kg/cm² sería de 0.25 a 0.5.

6.4. De acuerdo con la evaluación de clasificación de materiales se tiene una predominancia de material uniforme de baja compacidad desde la progresiva 0+120 hasta 0+880 y desde la progresiva 0+70 hasta 0+110 de roca con alteración media fuerte.



RECOMENDACIONES

1. Descartar la excavación de tipo convencional con voladura o la utilización del TBM, considerando un bulonado sistemático, con hormigón lanzado, y cerchas pesadas para el sostenimiento del túnel.
2. Modificar el modelo de la geometría del túnel, a una forma circular con solera ovalada, que permitirá disipar los esfuerzos horizontales, coadyuvando a su auto sostenimiento.
3. Realizar una explanación de 20 metros desde el punto final de salida de túnel, con un corte de talud V: H de 5:1. Ya que existe una probabilidad alta de asentamiento superficial en la zona de eje de túnel, denominado efecto frente o asentamiento por excavación profunda.
4. Considerar otra metodología de instalación de tubería, como por ejemplo realizar una excavación de zanja y enterrado de tubería, donde por el tipo de material suelto existe la facilidad de excavación con entibado, de acuerdo a nuevos diseños de sección de corte que se deberá adecuar a las características físicas mecánicas de los suelos.



BIBLIOGRAFÍA

1. Dávila, H. (2009). Vías y túneles van de la mano. Infraestructura & Desarrollo.
2. Dinis da Gama, C. (1999). Evaluación de los daños al macizo rocoso provocados por las voladuras en túneles.
3. Gonzales de Vallejo L. (2004) Ingeniería Geologica (Geotecnia de Túneles).
4. Fernández, E., & Fernández, C. (2011). Manual de túneles y obras subterráneas Madrid: E.T.S.T Minas-Universidad Politécnica de Madrid.
5. López C. & García, P. (2011). Excavación con Rozadoras. En C. López (Ed.), Manual de túneles y obras subterráneas Madrid: E.T.S.T Minas-Universidad Politécnica de Madrid.
6. Muñoz L. (2005). “Estudio Geológico – Geotécnico de la construcción del túnel de desvío de la central hidroeléctrica de Machupicchu”. Tesis de grado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco.
7. Natalio de la Cruz B. (1995). Cuadrángulo de Yauri 30t – Boletín N° 58. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
8. Navarro S., Ortiz R., & Ruiz J. (2000). “Geotecnia Aplicada a la construcción de túneles”
9. Tumialan P. (1994). Diseño de Túneles, Lima – Perú.



ANEXOS

A. FOTOGRAFIAS



Fotografía N° 19. Determinación del área de estudio.



Fotografía N° 20. Toma de datos de la medición del caudal en el rio Cañipia..



Fotografía N° 21. Localización del ingreso del túnel.



Fotografía N° 22. Determinación del rumbo de las estructuras representativas.



Fotografía N° 23. Zona de salida del túnel proyectado.



Fotografía N° 24. Río Cañipia, en la que se halla el caudal mayor.



B. LOGUEO GEOTÉCNICO

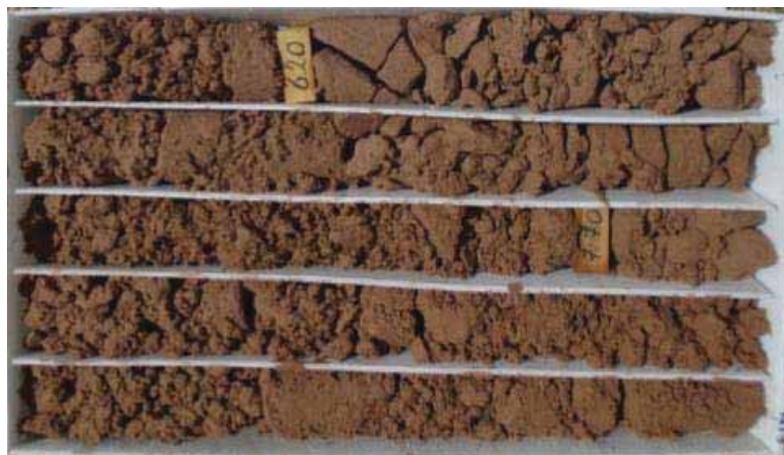
B.1. PRIMERA PERFORACIÓN



Fotografía N° 25. Sondaje DHT-01. Caja 1 desde 0.00 hasta 3.00.



Fotografía N° 26. Sondaje DHT-01 Caja 2 desde 3.00 hasta 6.00.



Fotografía N° 27. Sondaje DHT-01 Caja 3 desde 6.00 hasta 9.00.



Fotografía N° 28. Sondaje DHT-01 Caja 4 desde 9.00 hasta 11.90.



Fotografía N° 29. Sondaje DHT-01 Caja 5 desde 11.90 hasta 14.90.



Fotografía N° 30. Sondaje DHT-01 Caja 6 desde 14.90 hasta 17.80.



Fotografía N° 31. Sondaje DHT-01 Caja 7 desde 17.80 hasta 20.80.



Fotografía N° 32. Sondaje DHT-01 Caja 8 desde 20.80 hasta 24.40.



Fotografía N° 33. Sondaje DHT-01 Caja 9 desde 24.40 hasta 26.60.



Fotografía N° 35. Sondaje DHT-02 Caja 2 desde 4.00 hasta 8.00.



Fotografía N° 36. Sondaje DHT-02 Caja 3 desde 8.00 hasta 11.70.



Fotografía N° 37. Sondaje DHT-02 Caja 4 desde 11.70 hasta 15.60.



Fotografía N° 38. Sondaje DHT-02 Caja 5 desde 15.60 hasta 19.60.



Fotografía N° 39. Sondaje DHT-02 Caja 6 desde 19.60 hasta 22.70.



Fotografía N° 40. Sondaje DHT-02 Caja 7 desde 22.70 hasta 27.10.



Fotografía N° 41. Sondaje DHT-02 Caja 8 desde 27.10 hasta 30.90.



Fotografía N° 42. Sondaje DHT-02 Caja 9 desde 30.90 hasta 34.50.



Fotografía N° 43. Sondaje DHT-02 Caja 10 desde 34.50 hasta 36.10.



PROFUNDIDAD (m)	TIPO Y NÚMERO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	% PERDIDA, COLOR DEL AGUA DE RETORNO	LONGITUD CORRIADA DE PERFORACIÓN (m)	LONGITUD DE RECUPERACIÓN DE LA PERFORACIÓN (m)	SUMATORIA DE FRACTURAS > 10 cm	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	TIPO DE SUELO GEOLÓGICO	UNIDAD GEOLÓGICA	NÚMERO DE CÁMARA DE TIESTOS		RECUPERACIÓN (%)	R.C.D. (%)	PERMEABILIDAD Y UNIDAD LUGER (mm/s)	Ensayo SPT		CARACTERÍSTICA DE LA ROCA				CARACTERÍSTICAS DE FRACTURAS				Ángulo de las Fracturas	R.F.R. (mm)	R.F.R. (mm)	R.F.R. (mm)	R.F.R. (mm)	
										CAJA N° 01	CAJA N° 02				Int (m)	N	Resistencia a la compresión	RQD	Esparcido	Agua Subterránea	Perforación	Apertura	Regularidad	Relieve						Alteración
30.30							Suelo residual (protolito, tobas volcánicas) el cuarzo se presenta en micro cristales transparentes (hialino) 50%, limos 30%, cristales de micas negras a doradas 15%, otros 5%, se presenta como suelo arena limosa, no tiene clasificación geomecánica por la alteración de la roca, baja resistencia a la compresión (se deshace con la mano).	[Diagrama de perfil geológico con puntos]	UNIDAD GEOLÓGICA MAURE 4 (Nm-ma4)	CAJA N° 01	CAJA N° 02	100%	0%																	
31.00			1.00	1.00						CAJA N° 09	CAJA N° 10	100%	0%																	
32.00			1.60	1.60																										
33.80			1.60	1.60																										
34.00	HQ																													
34.60																														
35.00			1.60	1.60																										
36.00																														
38.10																														

B.3. TERCERA PERFORACIÓN



Fotografía N° 44. Sondaje DHT-03 Caja 1 desde 0.00 hasta 3.00.



Fotografía N° 45. Sondaje DHT-03 Caja 2 desde 3.00 hasta 7.90.



Fotografía N° 46. Sondaje DHT-03 Caja 3 desde 7.90 hasta 10.90.



Fotografía N° 47. Sondaje DHT-03 Caja 4 desde 10.90 hasta 13.80.



Fotografía N° 48. Sondaje DHT-03 Caja 5 desde 13.80 hasta 16.60.



Fotografía N° 49. Sondaje DHT-03 Caja 6 desde 16.60 hasta 19.40.



Fotografía N° 50. Sondaje DHT-03 Caja 7 desde 19.40 hasta 22.30.



Fotografía N° 51. Sondaje DHT-03 Caja 8 desde 22.30 hasta 25.20.



Fotografía N° 52. Sondaje DHT-03 Caja 9 desde 25.20 hasta 28.00.



Fotografía N° 53. Sondaje DHT-03 Caja 10 desde 28.00 hasta 30.20.



“EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE TRASFASE DESDE LA QUEBRADA CAÑIPIA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR – CUSCO”



PROFUNDIDAD (m)	TIPO Y DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	N.º PERFORACIÓN, COLOR DEL AGUA DE RETORNO	LONGITUD CORRIERA DE PERFORACIÓN (m)	LONGITUD DE PERFORACIÓN (m)	RENDIMIENTO DE LA PERFORACIÓN (m³/h)	DIFERENCIA DE PRESIONES (kg/cm²)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PERFIL GEOLOGICO	UNIDAD GEOLOGICA	N.º CAJAS DE TRÉBOR	RECUPERACION (%)		R. S. D.	PERMEABILIDAD Y UNIDAD LUBRON (µm²)	Ensayo SPT		CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA					CARACTERÍSTICAS DE LAS FRACTURAS					Ángulo de las Fracturas	R. F. F. (seg)	CICLO DE VIBRACIONES	TIPO DE SUELO				
												20	40			60	80	20	40	60	80	Ensayo SPT					Ensayo SPT								
												lit (m)										n													
10.40					1.60			<p>Suelo residual (protolito, tobas volcánicas) el cuarzo se presenta en micro cristales transparentes (hialino) 50%, limos 30%, cristales de micas negras a doradas 15%, otros 5%, se presenta como suelo arena limosa, no tiene clasificación geomecánica por la alteración de la roca, baja resistencia a la compresión (se deshace con la mano).</p>		UNIDAD GEOLÓGICA MAURE 4 (Nm-ma4)	CAJA N° 03	100%	0%	10.40	10.40	No tiene clasificación geomecánica.																			
11.00				1.60			CAJA N° 04					100%	0%			11.00	11.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
12.00				1.60			CAJA N° 05					100%	0%			12.00	12.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
13.00				1.60			CAJA N° 06					100%	0%			13.00	13.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
13.80				1.60												13.80	13.80	No tiene clasificación geomecánica.																	
14.00				1.60												14.00	14.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
16.20				1.60												16.20	16.20	No tiene clasificación geomecánica.																	
18.00				1.30												18.00	18.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
18.60				1.30												18.60	18.60	No tiene clasificación geomecánica.																	
17.00				1.60												17.00	17.00	No tiene clasificación geomecánica.																	
18.00				1.30						18.00	18.00	No tiene clasificación geomecánica.																							
18.10				1.30						18.10	18.10	No tiene clasificación geomecánica.																							
19.00				1.30						19.00	19.00	No tiene clasificación geomecánica.																							
19.40				1.30						19.40	19.40	No tiene clasificación geomecánica.																							
20.00				1.30						20.00	20.00	No tiene clasificación geomecánica.																							

RQD		Espaciamiento entre discontinuidades		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades		LEYENDA									
10	15	20	25	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleño	Alteración	1	2	1	2										
1- > 200 Mm	1- > 200 Mm	1- > 200 Mm	1- > 200 Mm	1- Continua	1- < 1 mm	1- Muy rugosa	1- No rellenada	1- No alterada	1- Completamente seco	1- Horizontal	1- Favorable											
2- 75-90%	2- 75-90%	2- 75-90%	2- 75-90%	2- Muy rugosa	2- 1-10 mm	2- Rugosa	2- Relleno fino < 5mm	2- Ligera	2- Húmedo	2- Inclinada	2- Regular											
3- 50-70%	3- 50-70%	3- 50-70%	3- 50-70%	3- Regular	3- 10-20 mm	3- Ligeramente rugosa	3- Relleno fino > 5mm	3- Moderada	3- Mojado	3- Vertical	3- Desfavorable											
4- 25-50%	4- 25-50%	4- 25-50%	4- 25-50%	4- Lisa	4- 20-30 mm	4- Lisa	4- Relleno grueso > 10 mm	4- Abundante	4- Saturado	4- Inclinada	4- Desfavorable											
5- < 25%	5- < 25%	5- < 25%	5- < 25%	5- Muy lisa	5- > 30 mm	5- Muy lisa	5- Relleno grueso > 10 mm	5- Intensa	5- Saturado	5- Vertical	5- Muy desfavorable											



B.4. CUARTA PERFORACIÓN



Fotografía N° 54. Sondaje DHT-04 Caja 1 desde 0.00 hasta 2.80.



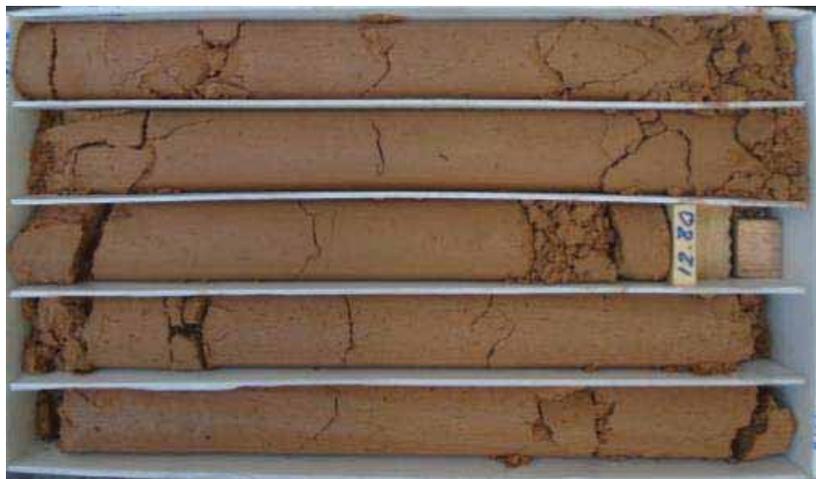
Fotografía N° 55. Sondaje DHT-04 Caja 2 desde 2.80 hasta 5.50.



Fotografía N° 56. Sondaje DHT-04 Caja 3 desde 5.50 hasta 8.40.



Fotografía N° 57. Sondaje DHT-04 Caja 4 desde 8.40 hasta 11.10.



Fotografía N° 58. Sondaje DHT-04 Caja 5 desde 11.10 hasta 14.00.



Fotografía N° 59. Sondaje DHT-04 Caja 6 desde 14.00 hasta 16.60.



Fotografía N° 60. Sondaje DHT-04 Caja 7 desde 16.60 hasta 19.50.



Fotografía N° 61. Sondaje DHT-04 Caja 8 desde 19.50 hasta 22.40.



Fotografía N° 62. Sondaje DHT-04 Caja 9 desde 22.40 hasta 25.20.



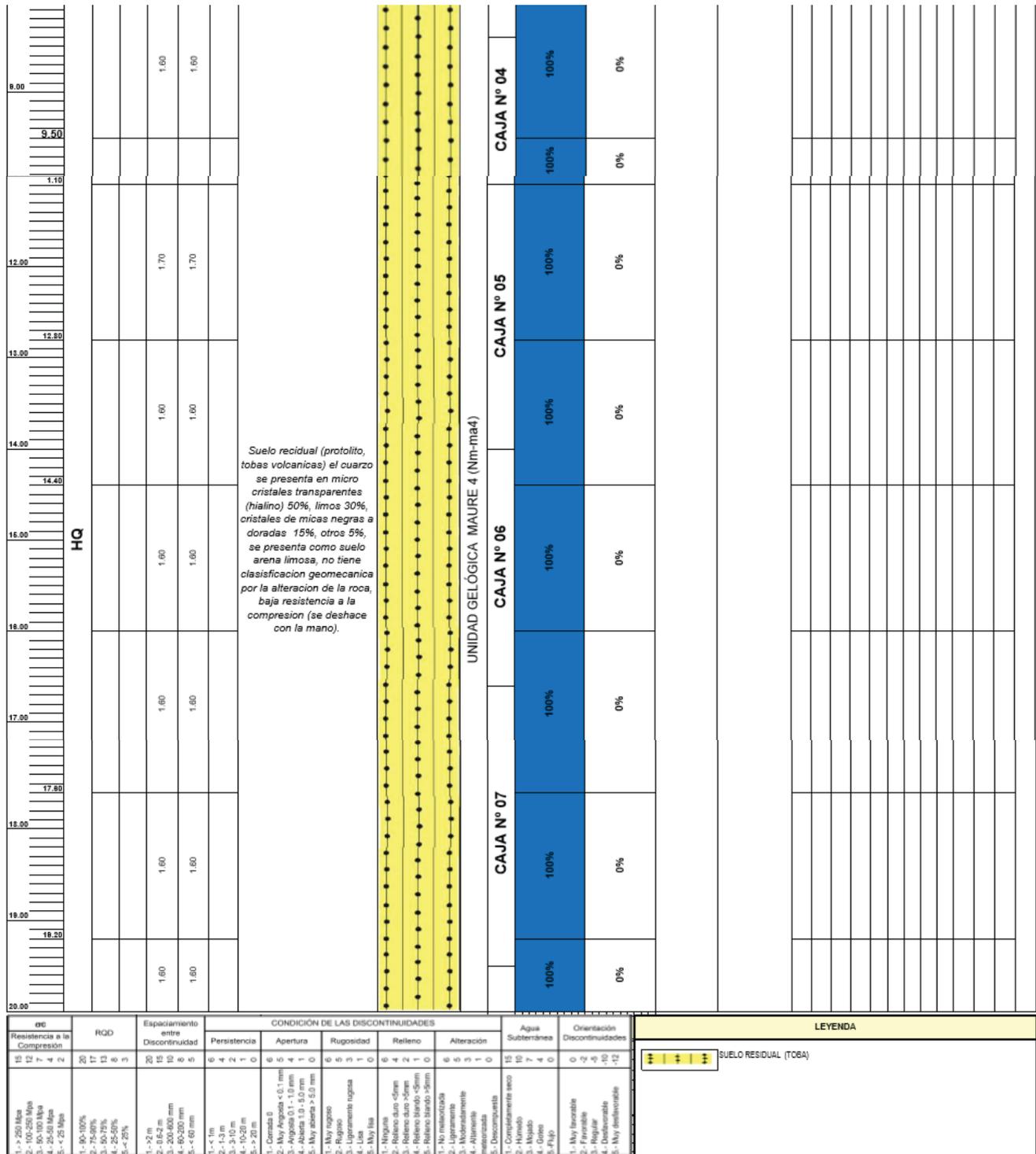
Fotografía N° 63. Sondaje DHT-04 Caja 10 desde 25.20 hasta 25.60.

REGISTRO GEOTÉCNICO – SONDEO DHT-04

PROFUNDIDAD (m)	TIPO Y DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	REVESTIMIENTO	% PERDIDA, COLOR DEL AGUA DE RETORNO	LUBRIFICACIÓN (m)	LUBRIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN (m)	SOMERÍA DE FRACTURAS <10 cm	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PERFIL GEOLOGICO	UNIDAD GEOLOGICA	N° CAJAS DE TESTIGOS	RECURPERACION (%)		H.L.Q.D. (%)	PERMEABILIDAD Y UNIDAD LOGEON (cm/s)	Ensayo SPT		CARACTERÍSTICA DE LA ROCA				CARACTERÍSTICAS DE FRACTURAS				R.M.E. INICIAL	R.M.E. FINAL	PROGRAMADOR (N°)	DIBUJANTE (N°)	AUTORIZADO (N°)		
											Int (m)	N			Resistencia a la compresión	RQD	Espesores	Agua Subterránea	Permeabilidad	Apertura	Regularidad	Rebeldes	Alteración	Aplicación de Fractura							
0.00							Suelo orgánico pardo oscuro con presencia de limos y arena.		CUATERNAF																						
1.00				1.60	1.60		Arena limosa con grava arena 50% grava 25%, limo 25% de color pardo oscuro mal graduado.			CAJA N° 01	100%	0%																			
2.00				1.60	1.60						100%	0%																			
3.00				1.60	1.60						100%	0%																			
4.00				1.60	1.60		Suelo residual (protolito, tobas volcanicas) el cuarzo se presenta en micro cristales transparentes (hialino) 50%, limos 30%, cristales de micas negras a doradas 15%, otros 5%, se presenta como suelo por la alteracion de la roca, baja resistencia a la compresion (se deshace con la mano).			CAJA N° 02	100%	0%																			
5.00				1.50	1.50						00%	0%																			
6.00				1.60	1.60					UNIDAD GELÓICA MAURE 4 (Nm-maf)	100%	0%																			
7.00										CAJA N° 03	100%	0%																			
8.00																															



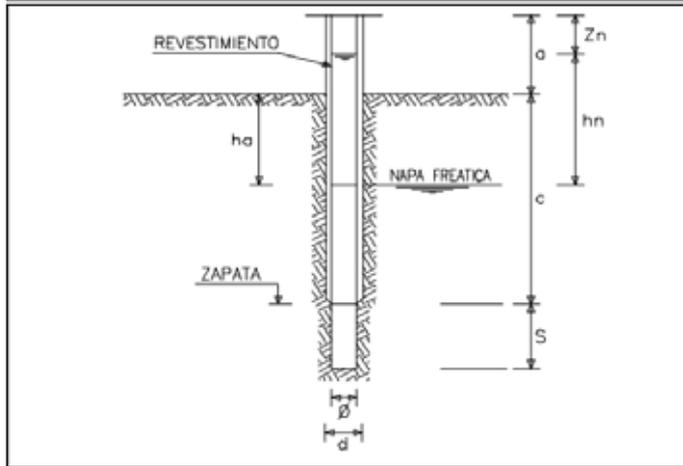
“EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE TRASVASE DESDE LA QUEBRADA CAÑIPIA HASTA LA QUEBRADA TUCSAMAYO EN EL DISTRITO DE ESPINAR – CUSCO”





C.2. SEGUNDO ENSAYO – LEFRANC

ZONDAJE :	DHPH-02	TRAMO DE ENSAYO DE :	0.00	A :	36.10
CODIGO :	DHT-02-LEFRANC-01	FECHA :	29/05/2018	HORA INICIO :	05:45:00 p.m.
INCLINACION :	-45	HORA FIN :			05:15:00 p.m.
CORDENADAS :		TRAMO DE ENSAYO :			36.10 m.
E :	240136	PROF. DE PERFORACION :			36.10 m.
N :	8382478	PROF. NIVEL FREATICO :			2.10 m.
ALTITUD :					

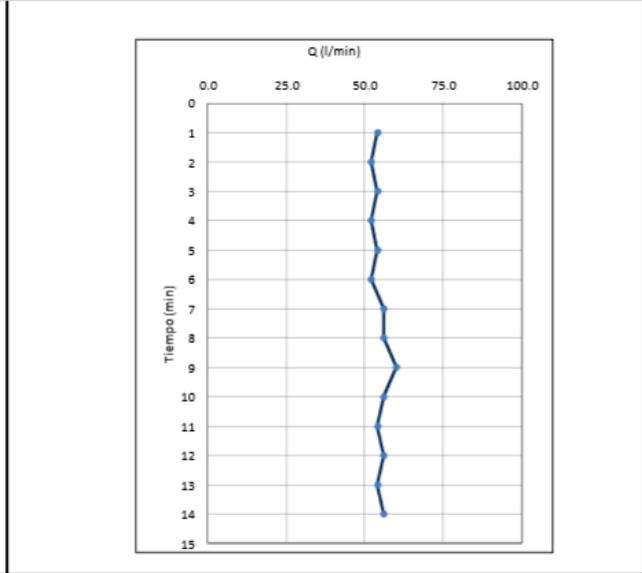


ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO	
ABAJO DE LA NF		INFILTRACION	
ARRIBA DE LA NF	X	BOMBEO	X

a : Altura de tubería saliente 0.25 m
c : Long. de tubería en el interior del taladro 0.00 m
Zn : Longitud de equilibrio para ensayo 36.10 m
S : tramo de ensayo 36.10 m
ha : Profundidad nivel freático 2.10 m
d : Diametro interior del tubo de perforacion 9.60 cm
a : Diametro del sondeo 11.10 cm
β : inclinacion con la horizontal -45°
hn : Sobrecarga hidraulica en el tiempo n. -17.00 m
hn=ha+a-Zn, para prueba debajo de NF
hn=0.5*S+ c+a-Zn, Para prueba sobre NF
H : Sobre carga hidraulica corregida 12.587 m
H = Sen β x hn
Z : lectura de la sonda de nivel de agua en el taladro
Con S/Ø = 0.82

NIVEL CONSTANTE			NIVEL VARIABLE			
tiempo en (min)	lectura del caudal (l/min)	Q (l/min)	Z (cm)	Tf - Ti (s)	Zf - Zi (cm)	Q (cm ³ /s)
0	8200.00					
1	8254.00	54.00				
2	8306.00	52.00				
3	8360.00	54.00				
4	8412.00	52.00				
5	8466.00	54.00				
6	8518.00	52.00				
7	8574.00	56.00				
8	8630.00	56.00				
9	8690.00	60.00				
10	8746.00	56.00				
11	8800.00	54.00				
12	8856.00	56.00				
13	8910.00	54.00				
14	8966.00	56.00				

Qpro = 54.71 l/min



CALCULO DEL CAUDAL

NIVEL VARIABLE $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Zf - Zi)}{(tf - ti)}$ $Q =$ cm³/s

NIVEL CONSTANTE $Q =$ cm³/s

Observaciones:
En el segundo ensayo el caudal disminuyó a 911.90 cm³/s, así mismo una permeabilidad de 2.08 cm/s.

CALCULO DE LA PERMEABILIDAD

Con S/Ø < 2 $K = \frac{Q}{\pi \cdot \phi \cdot H}$ Con S/Ø = 2 $K = \frac{Q}{2 \pi \phi H \sqrt{\frac{S}{\phi} + \frac{1}{4}}}$

$Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{\phi}\right)$

Con S/Ø > 2 $K = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{\phi}\right)}{2 \pi H S}$

NIVEL VARIABLE $K =$ cm/s

NIVEL CONSTANTE $K =$ cm/s



C.3. TERCER ENSAYO – LEFRANC

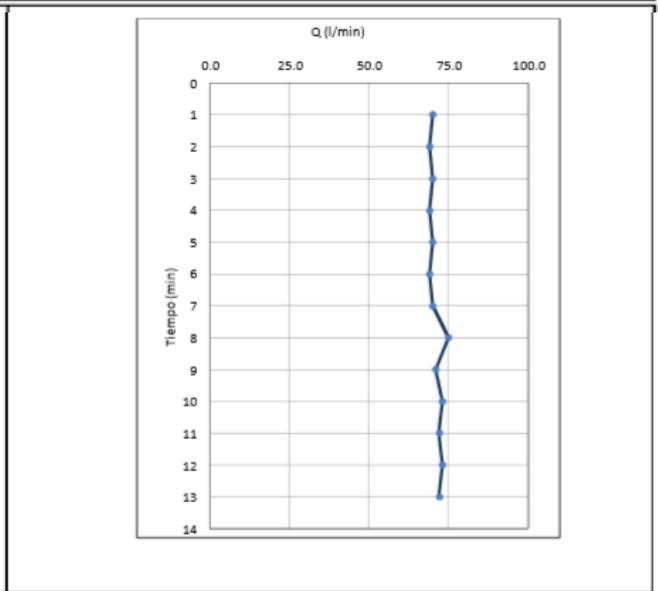
ZONDAJE :	DHT-03	TRAMO DE ENSAYO DE	0.00 A	30.20
CODIGO :	DHT-03-LEFRANC-01	FECHA	05/05/2018	HORA INICIO
INCLINACION :	-70	HORA FIN	03:19:00 p.m.	03:50:00 p.m.
CORDENADAS		TRAMO DE ENSAYO	30.20	m.
E :	240262	PROF. DE PERFORACION	30.20	m.
N :	8365500	PROF. NIVEL FREATICO	1.90	m.
ALTITUD :				

ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO	
ABAJO DE LA NF		INFILTRACION	
ARRIBA DE LA NF	X	BOMBEO	X

a : Altura de tubería saliente 0.26 m
c : Long. de tubería en el interior del taladro 0.00 m
Zn : Longitud de equilibrio para ensayo 30.20 m
S : tramo de ensayo 30.20 m
ha : Profundidad nivel freático 1.90 m
d : Diametro interior del tubo de perforacion 9.60 cm
o : Diametro del sondeo 11.10 cm
β : inclinacion con la horizontal -70°
hn : Sobrecarga hidraulica en el tiempo n. -14.84 m
hn=ha+a-Zn, para prueba debajo de NF
hn=0.5*S+ c+a-Zn, Para prueba sobre NF
H : Sobre carga hidraulica corregida 13.945 m
H = Sen β x ha
Z : lectura de la sonda de nivel de agua en el taladro
 Con S/Ø = 0.04

NIVEL CONSTANTE			NIVEL VARIABLE			
tiempo en (min)	lectura del caudal	Q (l/min)	Z (cm)	T _f - T _i (s)	Z _f - Z _i (cm)	Q (cm ³ /s)
0	5100.00					
1	5170.00	70.00				
2	5239.00	69.00				
3	5309.00	70.00				
4	5378.00	69.00				
5	5448.00	70.00				
6	5517.00	69.00				
7	5587.00	70.00				
8	5662.00	75.00				
9	5733.00	71.00				
10	5806.00	73.00				
11	5878.00	72.00				
12	5951.00	73.00				
13	6023.00	72.00				

Q_{pro} = 71.00 l/min



CALCULO DEL CAUDAL

NIVEL VARIABLE $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Z_f - Z_i)}{(t_f - t_i)}$

NIVEL CONSTANTE $Q = 1183.33 \text{ cm}^3/\text{s}$

Observaciones:
En el tercer ensayo el caudal se elevó a 1183.33 cm³/s, y una permeabilidad de 2.43 cm/s.

CALCULO DE LA PERMEABILIDAD

Con S/Ø < 2 $K = \frac{Q}{\pi \phi H}$

Con S/Ø = 2 $K = \frac{Q}{2 \pi \phi H \sqrt{\frac{S}{\phi} + \frac{1}{4}}}$

Con S/Ø > 2 $K = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{\phi}\right)}{2 \pi H S}$

NIVEL CONSTANTE $K = 2.43E-02 \text{ cm/s}$



C.4. CUARTO ENSAYO – LEFRANC

<p>ZONDAJE : DHT-04</p> <p>CODIGO : DHT-04-LEFRANC-01</p> <p>INCLINACION : -70</p> <p>CORDENADAS : E : 240458, N : 8385533</p> <p>ALTIUD : </p> <p>TRAMO DE ENSAYO DE : 0.00 A 25.60</p> <p>FECHA : 08/06/2018</p> <p>HORA INICIO : 12:30:00 p.m.</p> <p>HORA FIN : 01:25:00 p.m.</p> <p>TRAMO DE ENSAYO : 25.60 m.</p> <p>PROF. DE PERFORACION : 25.60 m.</p> <p>PROF. NIVEL FREATICO : 1.80 m.</p>																																																																																																																							
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">ENSAYO REALIZADO</th> <th colspan="2">TIPO DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <td>ABAJO DE LA NF</td> <td></td> <td>INFILTRACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARRIBA DE LA NF</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td>BOMBEO</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table> <p>a : Altura de tubería saliente 0.20 m</p> <p>c : Long. de tubería en el interior del taladro 0.00 m</p> <p>Zn : Longitud de equilibrio para ensayo 25.60 m</p> <p>S : tramo de ensayo 25.60 m</p> <p>ha : Profundidad nivel freático 1.80 m</p> <p>d : Diametro interior del tubo de perforacion 9.60 cm</p> <p>e : Diametro del sonda 11.10 cm</p> <p>β : inclinacion con la horizontal -70°</p> <p>hn : Sobrecarga hidraulica en el tiempo n. -12.60 m</p> <p>hn=ha+a-Zn, para prueba debajo de NF</p> <p>hn=0.5*S+ c+a-Zn, Para prueba sobre NF</p> <p>H : Sobre carga hidraulica corregida 11.84 m</p> <p>H = Sen β x hn</p> <p>Z : lectura de la sonda de nivel de agua en el taladro</p> <p>Con S/φ = -0.63</p>	ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO		ABAJO DE LA NF		INFILTRACION		ARRIBA DE LA NF	X	BOMBEO	X																																																																																																										
ENSAYO REALIZADO		TIPO DE ENSAYO																																																																																																																					
ABAJO DE LA NF		INFILTRACION																																																																																																																					
ARRIBA DE LA NF	X	BOMBEO	X																																																																																																																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">NIVEL CONSTANTE</th> <th colspan="4">NIVEL VARIABLE</th> </tr> <tr> <th>tiempo en (min)</th> <th>lectura del caudal (l/min)</th> <th>Q (l/min)</th> <th>Z (cm)</th> <th>Tf - Ti (s)</th> <th>Zf - Zi (cm)</th> <th>Q (cm³/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>9700.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>9772.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>9841.00</td><td>69.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>9913.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>9982.00</td><td>69.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>10054.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>10132.00</td><td>78.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>10204.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>10276.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>10345.00</td><td>69.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>10423.00</td><td>78.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>10492.00</td><td>69.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>10564.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>10636.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>10708.00</td><td>72.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Qpro = 72.00 l/min</p>	NIVEL CONSTANTE		NIVEL VARIABLE				tiempo en (min)	lectura del caudal (l/min)	Q (l/min)	Z (cm)	Tf - Ti (s)	Zf - Zi (cm)	Q (cm ³ /s)	0	9700.00						1	9772.00	72.00					2	9841.00	69.00					3	9913.00	72.00					4	9982.00	69.00					5	10054.00	72.00					6	10132.00	78.00					7	10204.00	72.00					8	10276.00	72.00					9	10345.00	69.00					10	10423.00	78.00					11	10492.00	69.00					12	10564.00	72.00					13	10636.00	72.00					14	10708.00	72.00					
NIVEL CONSTANTE		NIVEL VARIABLE																																																																																																																					
tiempo en (min)	lectura del caudal (l/min)	Q (l/min)	Z (cm)	Tf - Ti (s)	Zf - Zi (cm)	Q (cm ³ /s)																																																																																																																	
0	9700.00																																																																																																																						
1	9772.00	72.00																																																																																																																					
2	9841.00	69.00																																																																																																																					
3	9913.00	72.00																																																																																																																					
4	9982.00	69.00																																																																																																																					
5	10054.00	72.00																																																																																																																					
6	10132.00	78.00																																																																																																																					
7	10204.00	72.00																																																																																																																					
8	10276.00	72.00																																																																																																																					
9	10345.00	69.00																																																																																																																					
10	10423.00	78.00																																																																																																																					
11	10492.00	69.00																																																																																																																					
12	10564.00	72.00																																																																																																																					
13	10636.00	72.00																																																																																																																					
14	10708.00	72.00																																																																																																																					
<p style="text-align: center;">CALCULO DEL CAUDAL</p> <p>NIVEL VARIABLE $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Zf - Zi)}{(tf - ti)}$</p> <p>NIVEL CONSTANTE $Q = 1200.00 \text{ cm}^3/\text{s}$</p>	<p style="text-align: center;">CALCULO DE LA PERMEABILIDAD</p> <p>Con S/φ < 2 $K = \frac{Q}{\pi \phi H}$</p> <p>Con S/φ = 2 $K = \frac{Q}{2 \pi \phi H \sqrt{\frac{S}{\phi} + \frac{1}{4}}}$</p> <p>Con S/φ > 2 $K = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{\phi}\right)}{2 \pi H S}$</p> <p>NIVEL CONSTANTE $K = 2.91E-02 \text{ cm/s}$</p>																																																																																																																						
<p>Observaciones:</p> <p>En el cuarto y último ensayo el caudal se incrementó a 1200 cm³/s así como la permeabilidad a 2.91 cm/s.</p>																																																																																																																							

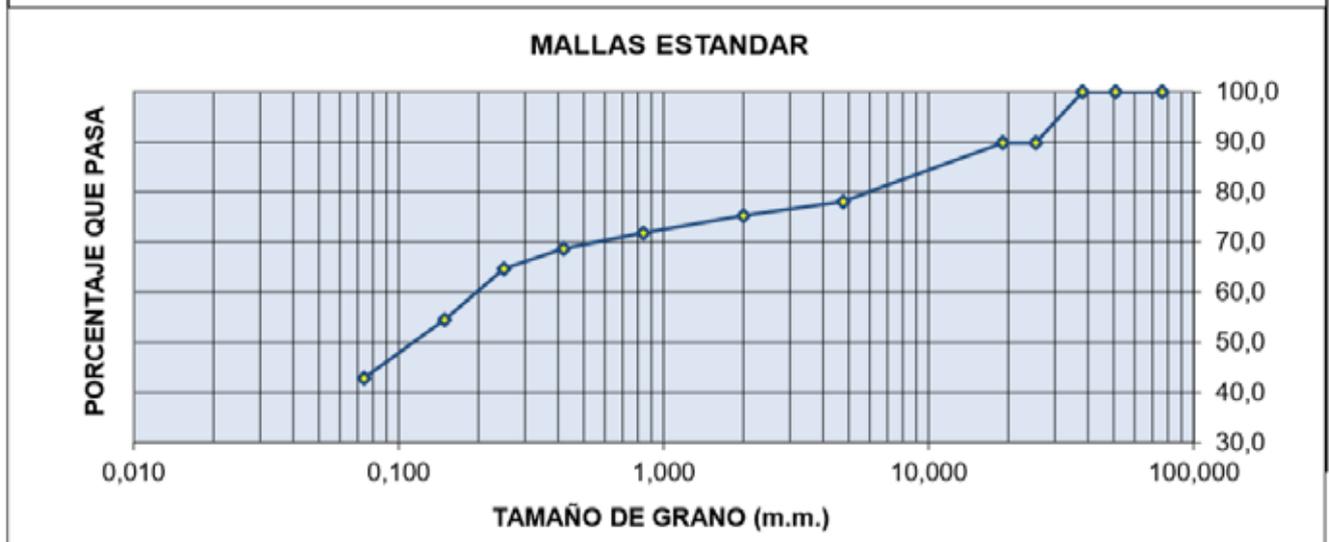


D. ENSAYOS DE LABORATORIO

D.1. PRIMERA PERFORACIÓN

D.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% GRAVA	21,90%
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% ARENA	35,19%
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	FINOS	42,91%
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00		Humedad natural:	36,47%
1"	25,400	127,80	10,14	10,14	89,86	75 95	Límite Líquido	3,14%
3/4"	19,050	0,00	0,00	10,14	89,86		Límite Plástico	0,00%
1/2"	12,700	111,68	8,86	19,01	80,99		Índice Plástico	3,14%
3/8"	9,525	11,62	0,92	19,93	80,07	40 75	Clasificación SUCS	SM
1/4"	6,350	0,00					Clasificación AASHTO	A-4 (2)
N° 4	4,760	24,80	1,97	21,90	78,10	30 60	DENS. MÁX. SECA	
N° 8	2,380	0,00					H. ÓPTIMO	
N° 10	2,000	35,20	2,79	24,69	75,31	20 45	PESO TOTAL	1260,00 gr
N° 16	1,190	0,00	0,00	24,69			Peso Fracc. Lavado:	984,10 gr
N° 20	0,840	43,80	3,48	28,17	71,83	17 37	D10	
N° 30	0,590	0,00	0,00	28,17	71,83		D30	
N° 40	0,420	38,90	3,09	31,25	68,75	15 30	D60	
N° 50	0,297	50,80	4,03	35,29	64,71		CC	
N° 60	0,250	0,00	0,00	35,29	64,71		CU	
N° 100	0,149	128,20	10,17	45,46	54,54		Índice de liquidez	
N° 200	0,074	146,50	11,63	57,09	42,91	5 15		
PAN		540,70	42,91	100,00	0,00			
TOTAL								
% PERDIDA								



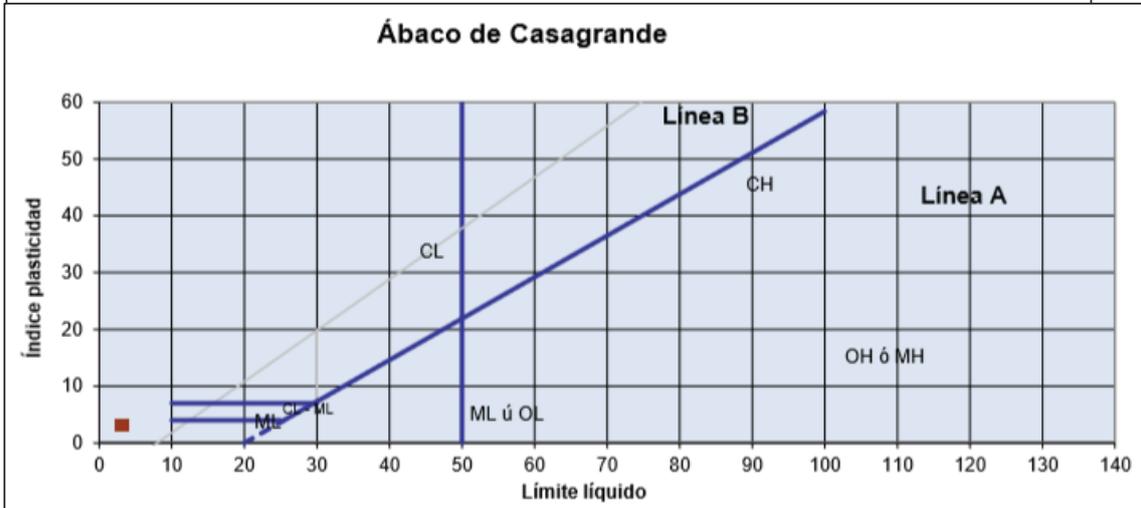
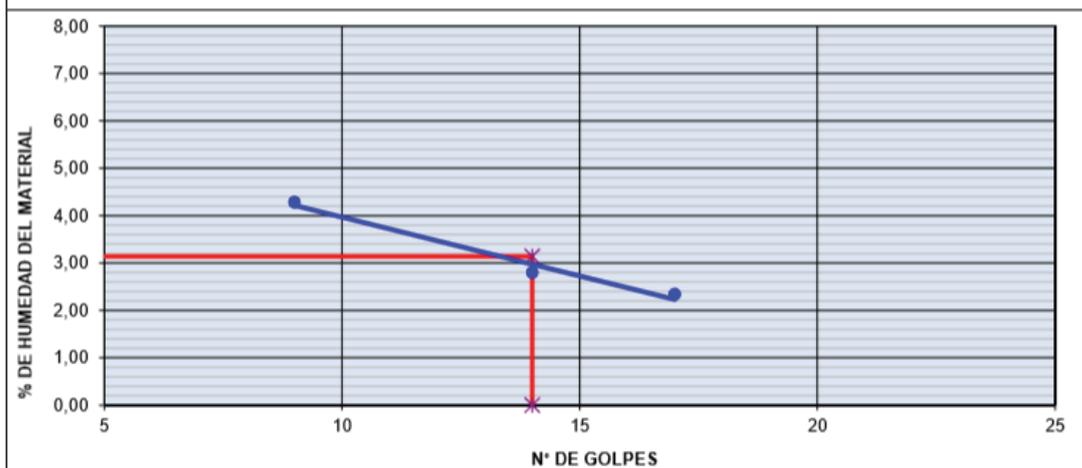
En la primera perforación, en el ensayo de granulometría se obtuvo que el material presente es del tipo SM, lo cual nos indica que es una arena mal gradada demostrada en el gráfico.



D.1.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			
Nro. DE CAPSULA	7	6	1				
PESO TARA + SUELO HUMEDO (A)	74,55	87,69	80,80				
PESO TARA + SUELO SECO (B)	74,18	87,09	80,08		N	P	
PESO DE LA TARA (C)	58,36	65,68	63,26				
PESO DEL AGUA (A-B)	0,37	0,60	0,72				
PESO SUELO SECO (B-C)	15,82	21,41	16,82				
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	2,34	2,80	4,28				
Nro. DE GOLPES	17	14	9				

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
3,14%	0,00%	3,14%



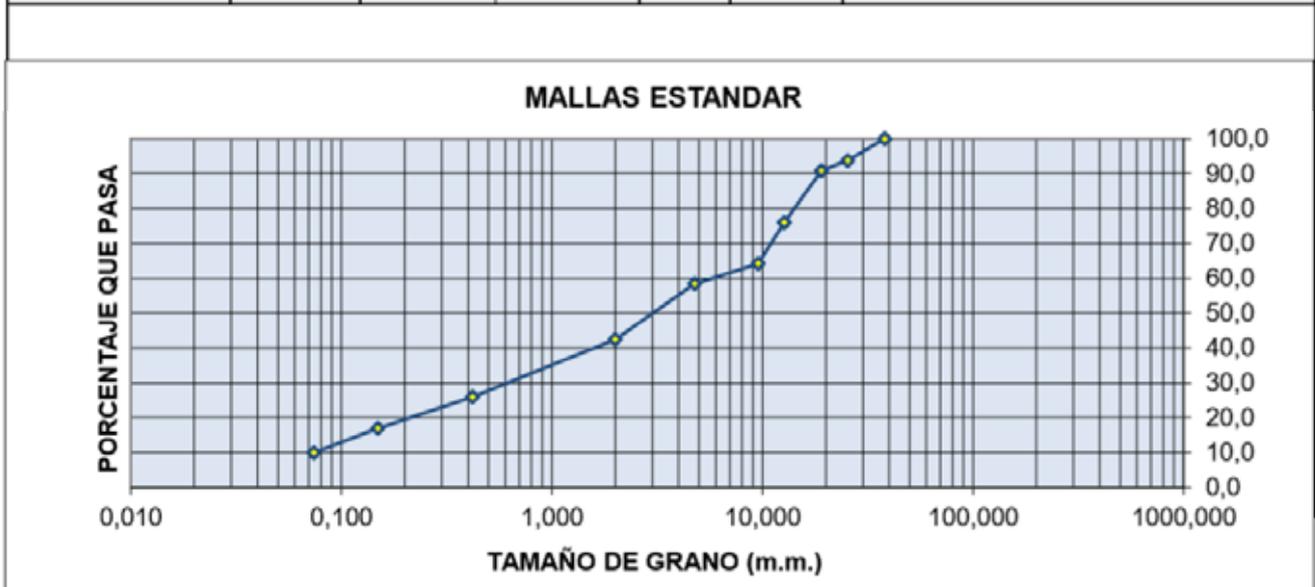
En la primera perforación, en el ensayo de límites de consistencia se obtuvo que el material presente tiene un límite líquido de 3.14%, sin embargo, no presenta plasticidad. Lo cual indica que el Índice plástico es igual al límite líquido, siendo este de baja a nula plasticidad, demostrado en el gráfico.



D.2. SEGUNDA PERFORACIÓN

D.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% GRAVA	41,58%
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% ARENA	48,45%
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	FINOS	9,97%
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00		Humedad natural:	63,83%
1"	25,400	70,50	6,24	6,24	93,76	75 95	Límite Líquido	28,48%
3/4"	19,050	32,60	2,88	9,12	90,88		Límite Plástico	23,74%
1/2"	12,700	168,00	14,87	23,99	76,01		Índice Plástico	4,74%
3/8"	9,525	133,80	11,84	35,83	64,17	40 75	Clasificación SUCS	SP-SM
1/4"	6,350	0,00					Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
N° 4	4,760	64,90	5,74	41,58	58,42	30 60	DENS. MÁX.SECA	
N° 8	2,380	0,00					H. ÓPTIMO	
N° 10	2,000	180,10	15,94	57,51	42,49	20 45	PESO TOTAL	1130,00 gr
N° 16	1,190	0,00	0,00	57,51			Peso Fracc. Lavado:	660,20 gr
N° 20	0,840	162,80	14,41	71,92	28,08	17 37	D10	
N° 30	0,590	0,00	0,00	71,92	28,08		D30	
N° 40	0,420	23,70	2,10	74,02	25,98	15 30	D60	
N° 50	0,297	20,40	1,81	75,82	24,18		CC	
N° 60	0,250	0,00	0,00	75,82	24,18		CU	
N° 100	0,149	81,00	7,17	82,99	17,01		Índice de liquidez	
N° 200	0,074	79,50	7,04	90,03	9,97	5 15		
PAN		112,70	9,97	100,00	0,00			
TOTAL								
% PERDIDA								



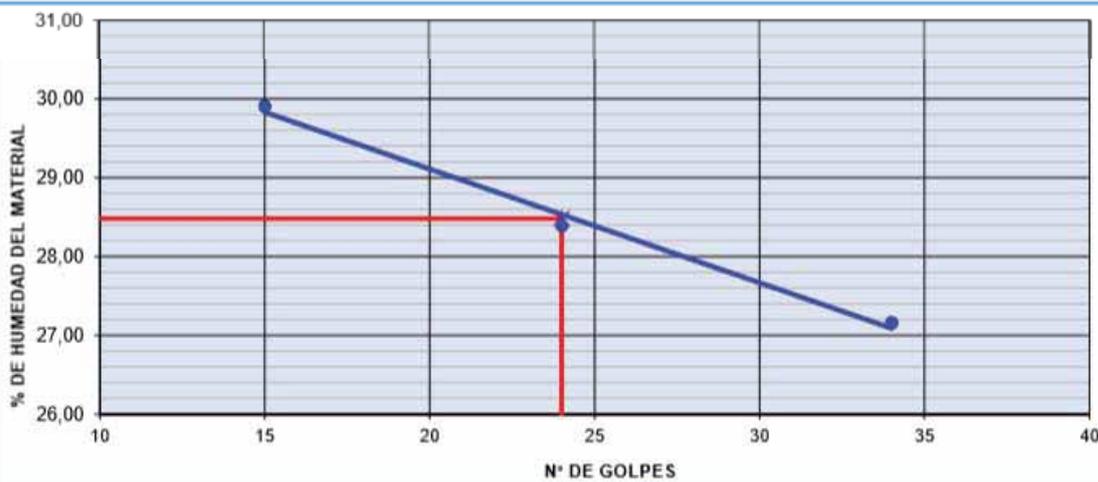
En la segunda perforación, en el ensayo de granulometría se obtuvo que el material presente es del tipo SP-SM, lo cual nos indica que es una arena mal gradada y de baja consistencia, demostrada en el gráfico.



D.2.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
Nro. DE CAPSULA	117	120	100	133	126	
PESO TARA + SUELO HUMEDO (A)	40,72	44,45	43,91	15,00	15,48	
PESO TARA + SUELO SECO (B)	37,73	40,41	39,75	14,62	15,09	
PESO DE LA TARA (C)	26,72	26,18	25,84	13,08	13,38	
PESO DEL AGUA (A-B)	2,99	4,04	4,16	0,38	0,39	
PESO SUELO SECO (B-C)	11,01	14,23	13,91	1,54	1,71	
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	27,16	28,39	29,91	24,68	22,81	
Nro. DE GOLPES	34	24	15			

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
28,48%	23,74%	4,74%



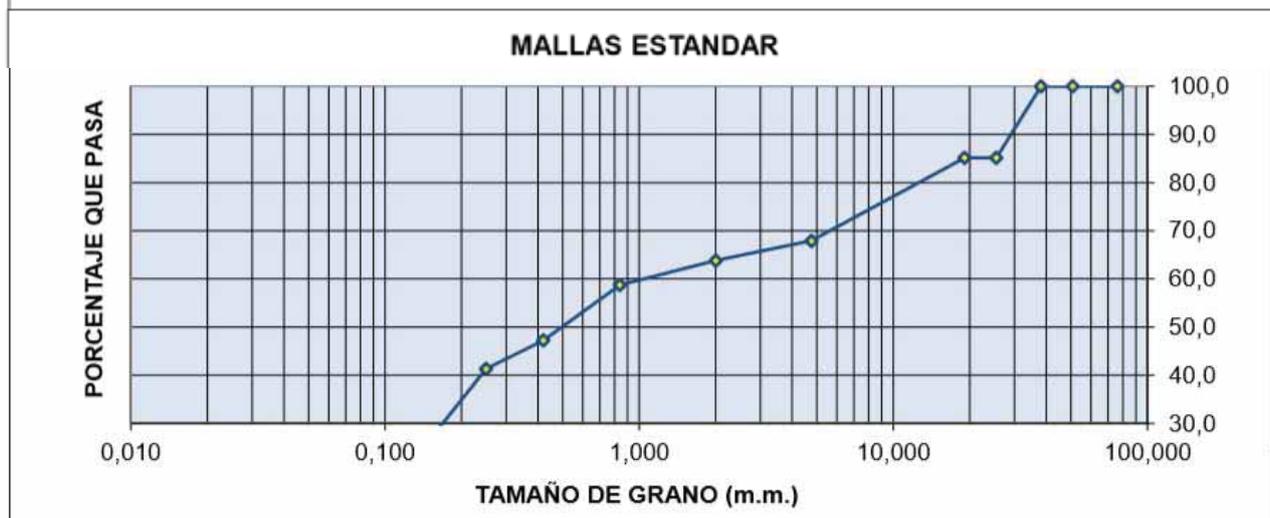
En la segunda perforación, en el ensayo de límites de consistencia se obtuvo que el material presente tiene un límite líquido de 28.48%, y un límite plástico de 24.24%. Lo cual indica que el Índice plástico es 4.74%, siendo este de baja plasticidad, demostrado en el gráfico.



D.3. TERCERA PEFORACIÓN

D.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% GRAVA	32,08%
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% ARENA	58,53%
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	FINOS	9,39%
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00		Humedad natural:	22,89%
1"	25,400	127,80	14,86	14,86	85,14	75 95	Límite Líquido	3,14%
3/4"	19,050	0,00	0,00	14,86	85,14		Límite Plástico	0,00%
1/2"	12,700	11,68	1,36	16,22	83,78		Índice Plástico	3,14%
3/8"	9,525	11,62	1,35	17,57	82,43	40 75	Clasificación SUCS	SP-SM
1/4"	6,350	0,00					Clasificación AASHTO	A-1-b (0)
N° 4	4,760	124,80	14,51	32,08	67,92	30 60	DENS. MÁX SECA	
N° 8	2,380	0,00					H. ÓPTIMO	
N° 10	2,000	35,20	4,09	36,17	63,83	20 45	PESO TOTAL	860,10 gr
N° 16	1,190	0,00	0,00	36,17			Peso Fracc. Lavado:	584,20 gr
N° 20	0,840	43,80	5,09	41,26	58,74	17 37	D10	
N° 30	0,590	0,00	0,00	41,26	58,74		D30	
N° 40	0,420	98,90	11,50	52,76	47,24	15 30	D60	
N° 50	0,297	50,80	5,91	58,67	41,33		CC	
N° 60	0,250	0,00	0,00	58,67	41,33		CU	
N° 100	0,149	128,20	14,91	73,57	26,43		Índice de liquidez	
N° 200	0,074	146,50	17,03	90,61	9,39	5 15		
PAN		80,80	9,39	100,00	0,00			
TOTAL								
% PERDIDA								



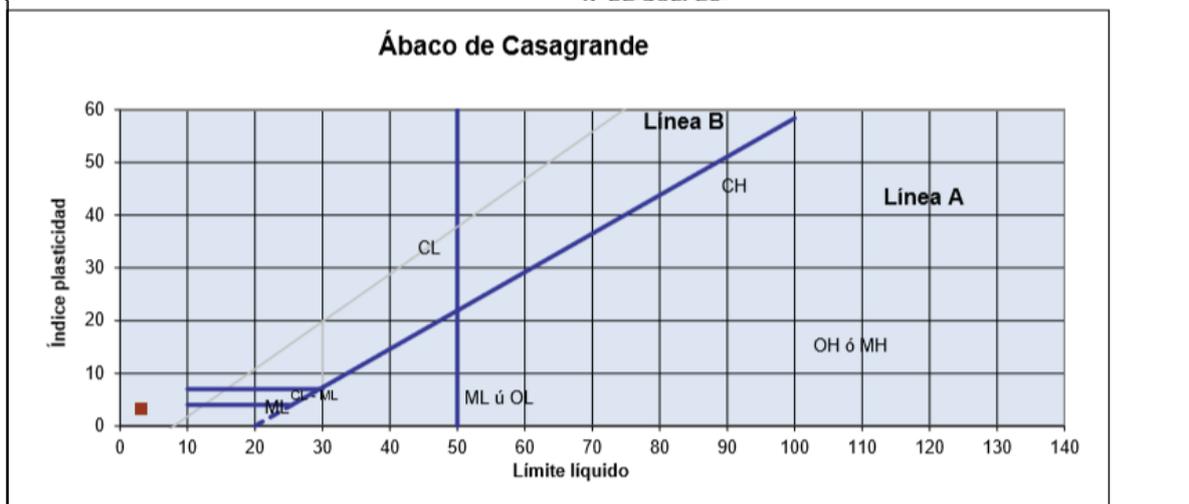
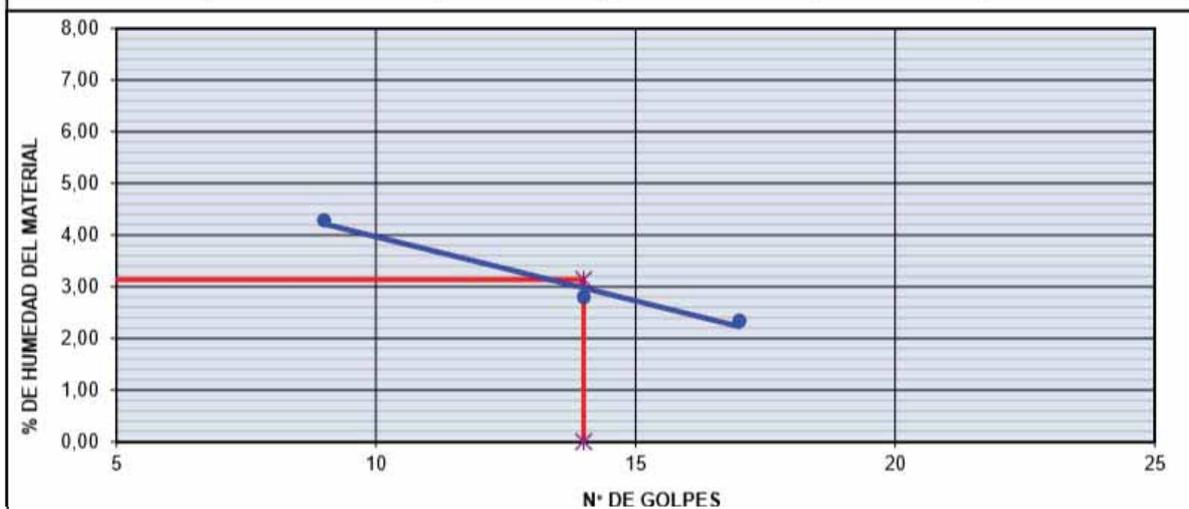
En la tercera perforación, en el ensayo de granulometría se obtuvo que el material presente es del tipo SP-SM, lo cual nos indica que es una arena mal gradada y de baja consistencia, demostrada en el gráfico.



D.3.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO		
Nro. DE CAPSULA	7	6	1			
PESO TARA + SUELO HUMEDO (A)	74,55	87,69	80,80			
PESO TARA + SUELO SECO (B)	74,18	87,09	80,08		N	P
PESO DE LA TARA (C)	58,36	65,68	63,26			
PESO DEL AGUA (A-B)	0,37	0,60	0,72			
PESO SUELO SECO (B-C)	15,82	21,41	16,82			
HUMEDAD $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	2,34	2,80	4,28			
Nro. DE GOLPES	17	14	9			

LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
3,14%	0,00%	3,14%



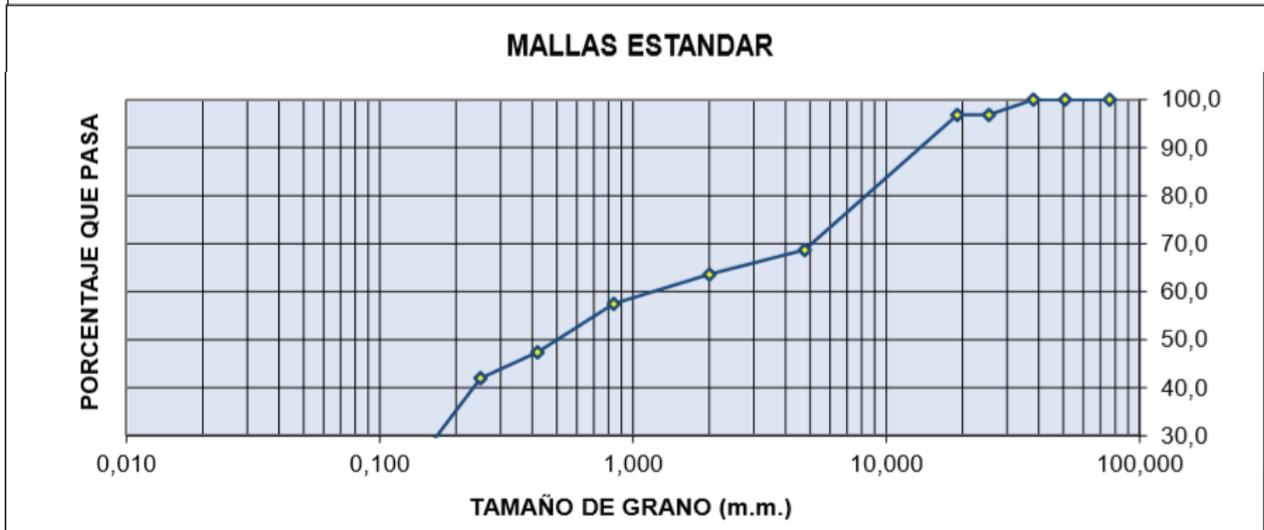
En la tercera perforación, en el ensayo de límites de consistencia se obtuvo que el material presente tiene un límite líquido de 3.14%, y un límite plástico 0%. Lo cual indica que el Índice plástico es 3.14%, siendo este de baja a nula plasticidad, demostrado en el gráfico.



D.4. CUARTA PERFORACIÓN

D.4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% GRAVA 31,29%
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	% ARENA 57,89%
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00	100 100	FINOS 10,82%
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00		Humedad natural: 26,46%
1"	25,400	27,80	3,15	3,15	96,85	75 95	Límite Líquido 3,14%
3/4"	19,050	0,00	0,00	3,15	96,85		Límite Plástico 0,00%
1/2"	12,700	11,68	1,32	4,48	95,52		Índice Plástico 3,14%
3/8"	9,525	11,62	1,32	5,80	94,20	40 75	Clasificación SUCS SP-SM
1/4"	6,350	0,00					Clasificación AASHTO A-1-b (0)
Nº 4	4,760	224,80	25,50	31,29	68,71	30 60	DENS. MAX. SECA
Nº 8	2,380	0,00					H. ÓPTIMO
Nº 10	2,000	45,20	5,13	36,42	63,58	20 45	PESO TOTAL 881,70 gr
Nº 16	1,190	0,00	0,00	36,42			Peso Fracc. Lavado: 605,80 gr
Nº 20	0,840	53,80	6,10	42,52	57,48	17 37	D10
Nº 30	0,590	0,00	0,00	42,52	57,48		D30
Nº 40	0,420	88,90	10,08	52,60	47,40	15 30	D60
Nº 50	0,297	47,80	5,42	58,02	41,98		CC
Nº 60	0,250	0,00	0,00	58,02	41,98		CU
Nº 100	0,149	138,20	15,67	73,70	26,30		Índice de liquidez
Nº 200	0,074	136,50	15,48	89,18	10,82	5 15	
PAN		95,40	10,82	100,00	0,00		
TOTAL							
% PERDIDA							



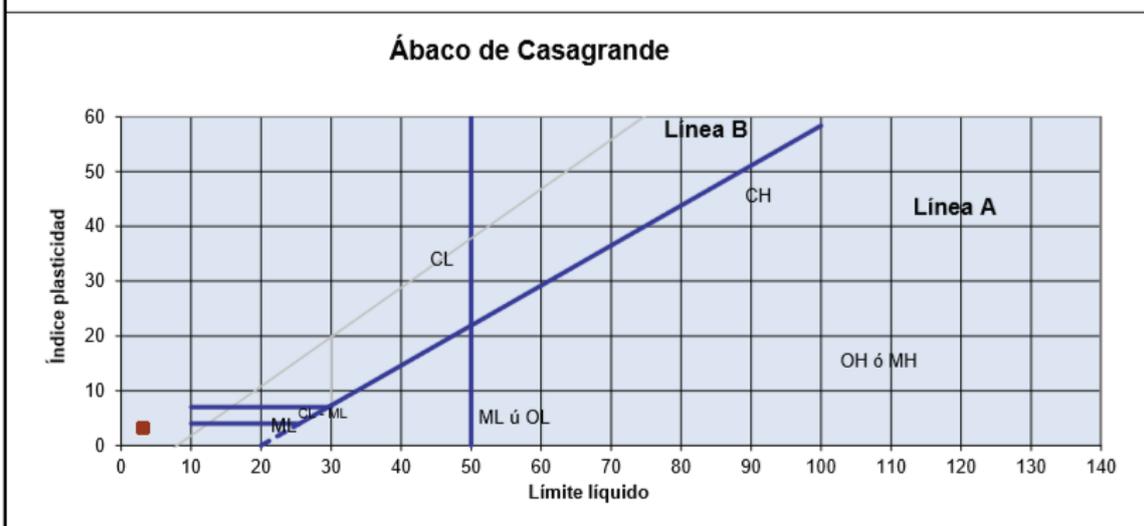
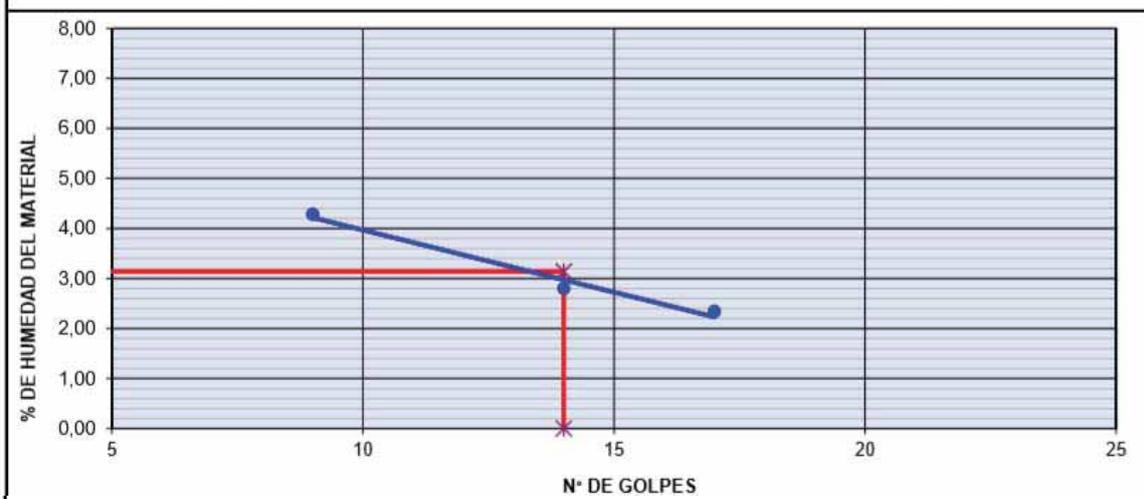
En la cuarta perforación, en el ensayo de granulometría se obtuvo que el material presente es del tipo SP-SM, lo cual nos indica que es una arena mal gradada y de baja consistencia, demostrada en el gráfico.



D.4.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLASTICO		
Nro. DE CAPSULA	7	6	1			
PESO TARA + SUELO HUMEDO (A)	74,55	87,69	80,80			
PESO TARA + SUELO SECO (B)	74,18	87,09	80,08		N	P
PESO DE LA TARA (C)	58,36	65,68	63,26			
PESO DEL AGUA (A-B)	0,37	0,60	0,72			
PESO SUELO SECO (B-C)	15,82	21,41	16,82			
HUMEDAD $W=(A-B)/(B-C)*100$	2,34	2,80	4,28			
Nro. DE GOLPES	17	14	9			

LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
3,14%	0,00%	3,14%



En la cuarta perforación, en el ensayo de límites de consistencia se obtuvo que el material presente tiene un Índice plástico es 3.14%, siendo este de baja a nula plasticidad, demostrado en el gráfico.

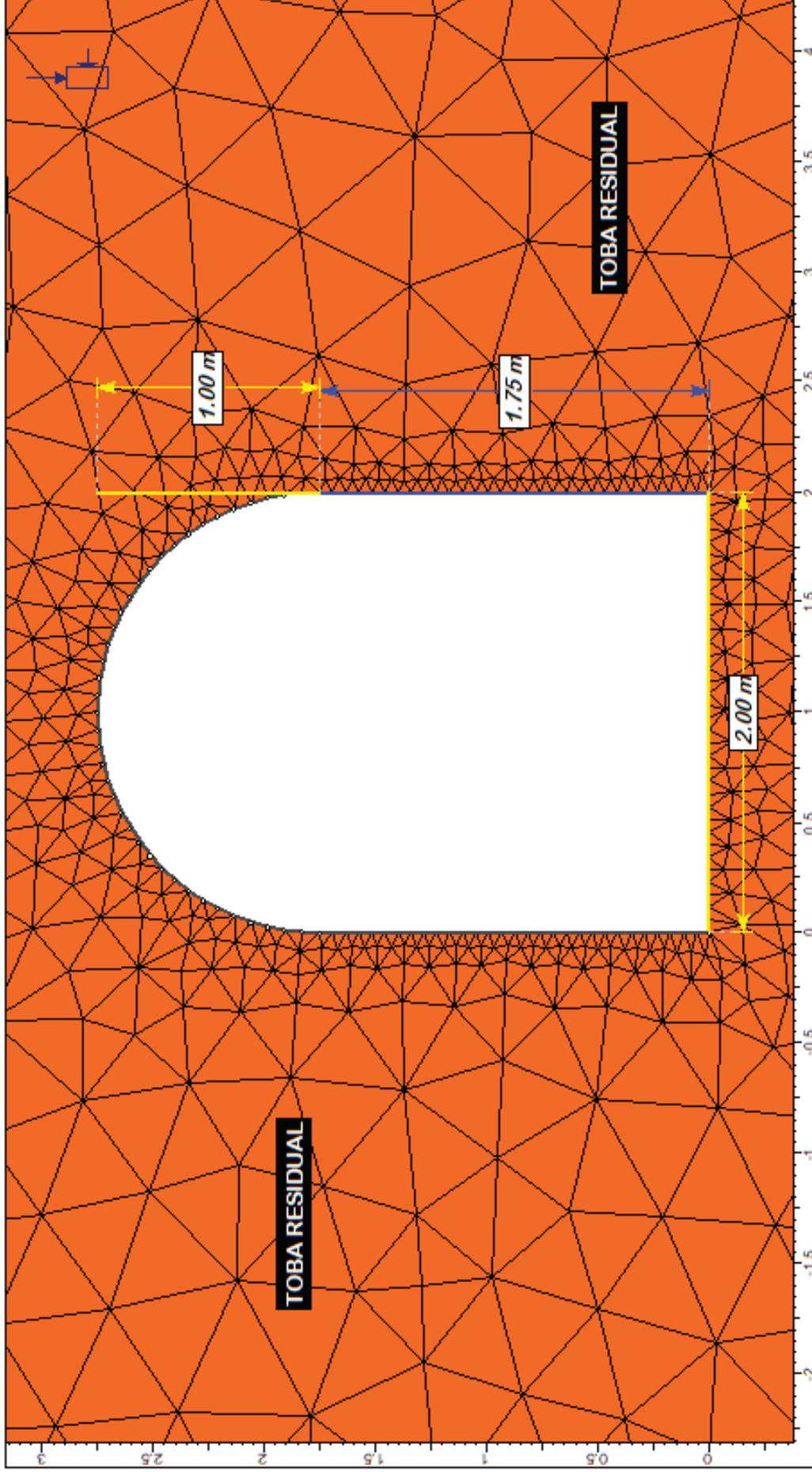


E. MODELAMIENTO DE LA SECCIÓN DEL EJE DEL TÚNEL

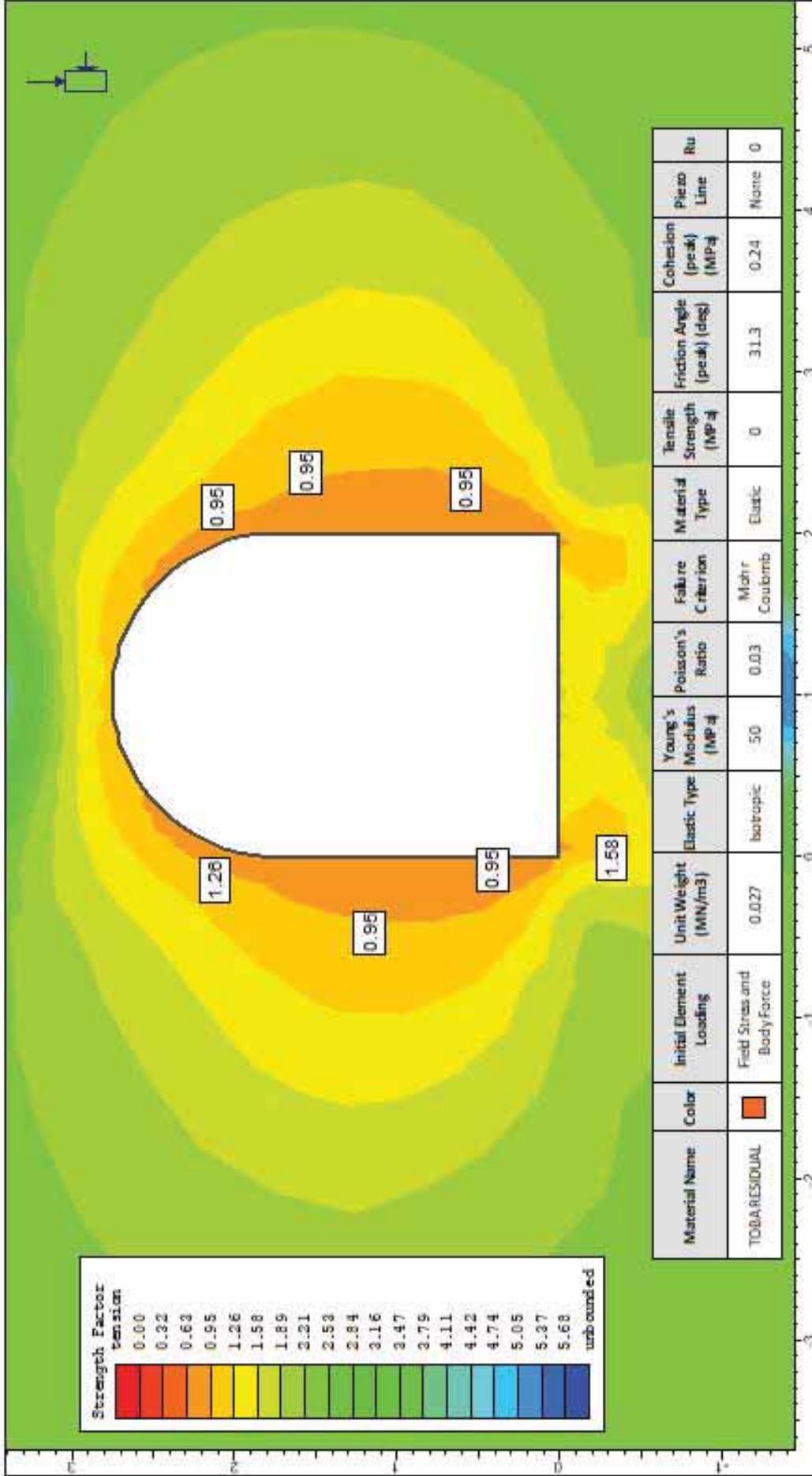
Para la estabilidad de la zona de túnel se prepararon modelos con software Phase2 8.0, del paquete RocScience, en la progresiva de cada sondaje realizado donde se tienen resultados de las propiedades físicas de los suelos.

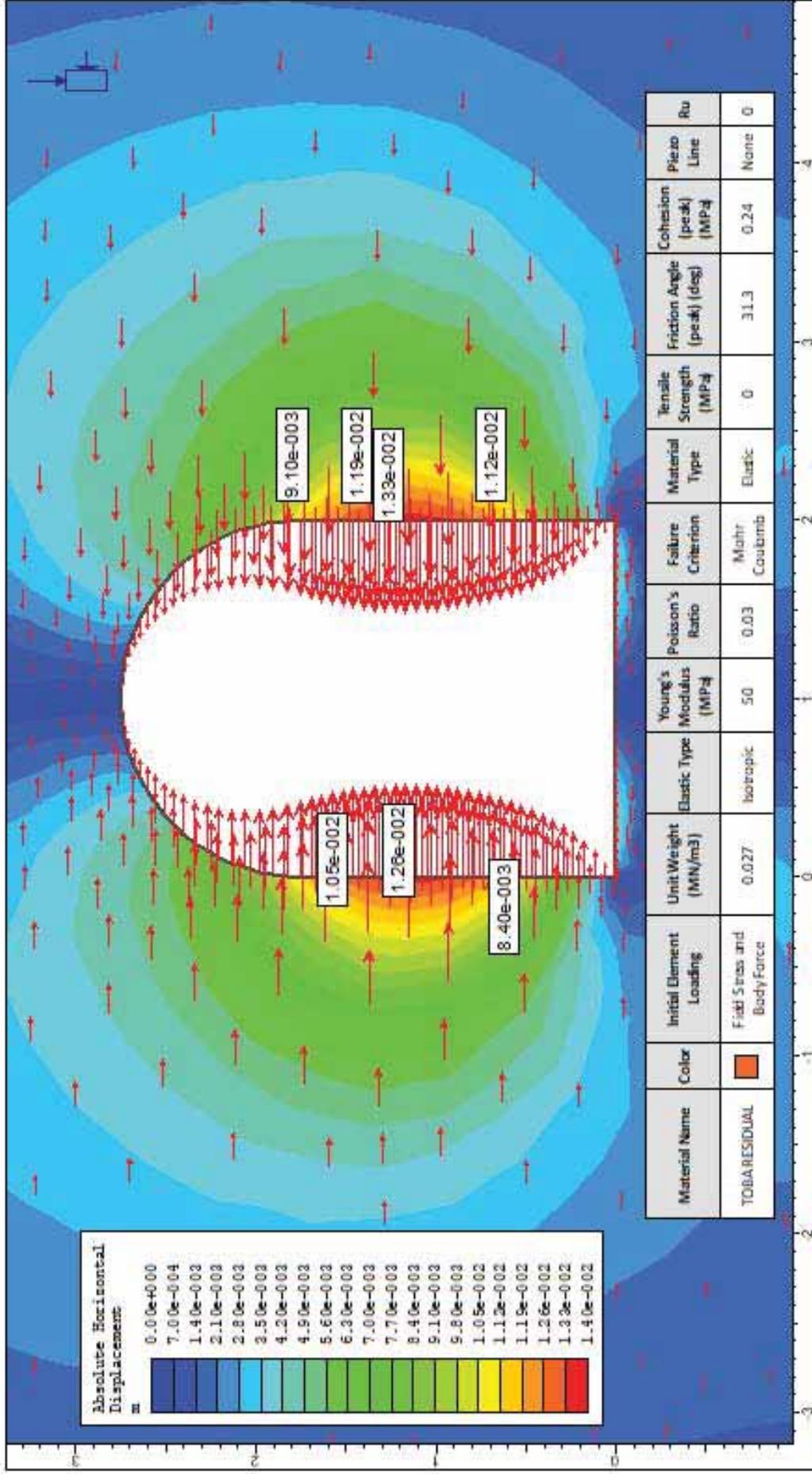
El software Phase2 versión 8.0, es un potente programa de elementos finitos 2D para aplicaciones de suelos y rocas. PHASE 2, se puede utilizar para una amplia gama de proyectos de ingeniería que incluyen diseño de excavación, estabilidad de taludes, filtración de aguas subterráneas, análisis probabilístico, consolidación y capacidades de análisis dinámico.

A continuación, se muestran los gráficos desarrollados:



		Project	EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO		
		Author / Description	MODELAMIENTO DE LA SECCION DEL TUNEL DE TRASVASE		
Drawn By	Guido HUACAC - Alexandra URQUIZO	Scale	1:24	Company	UNSAAC
Date	18/07/2019, 17:32:12	File Name	SECCION DEL TUNEL DE TRASVASE.fez		





Page 7

EVALUACION GEOTECONICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASYASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO

Alma De La Cruz

TUNEL DE TRASYASE - SECCION DEL SONDAGE DHT-01 ESFUERZOS HORIZONTALES

Draw by: Guido HUACAC - Alexandra URQUIZO

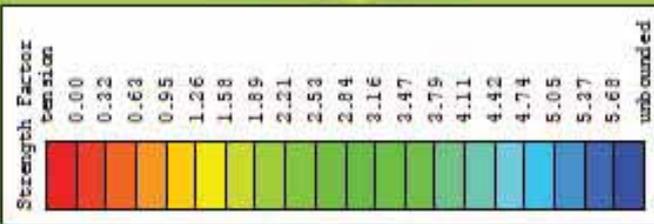
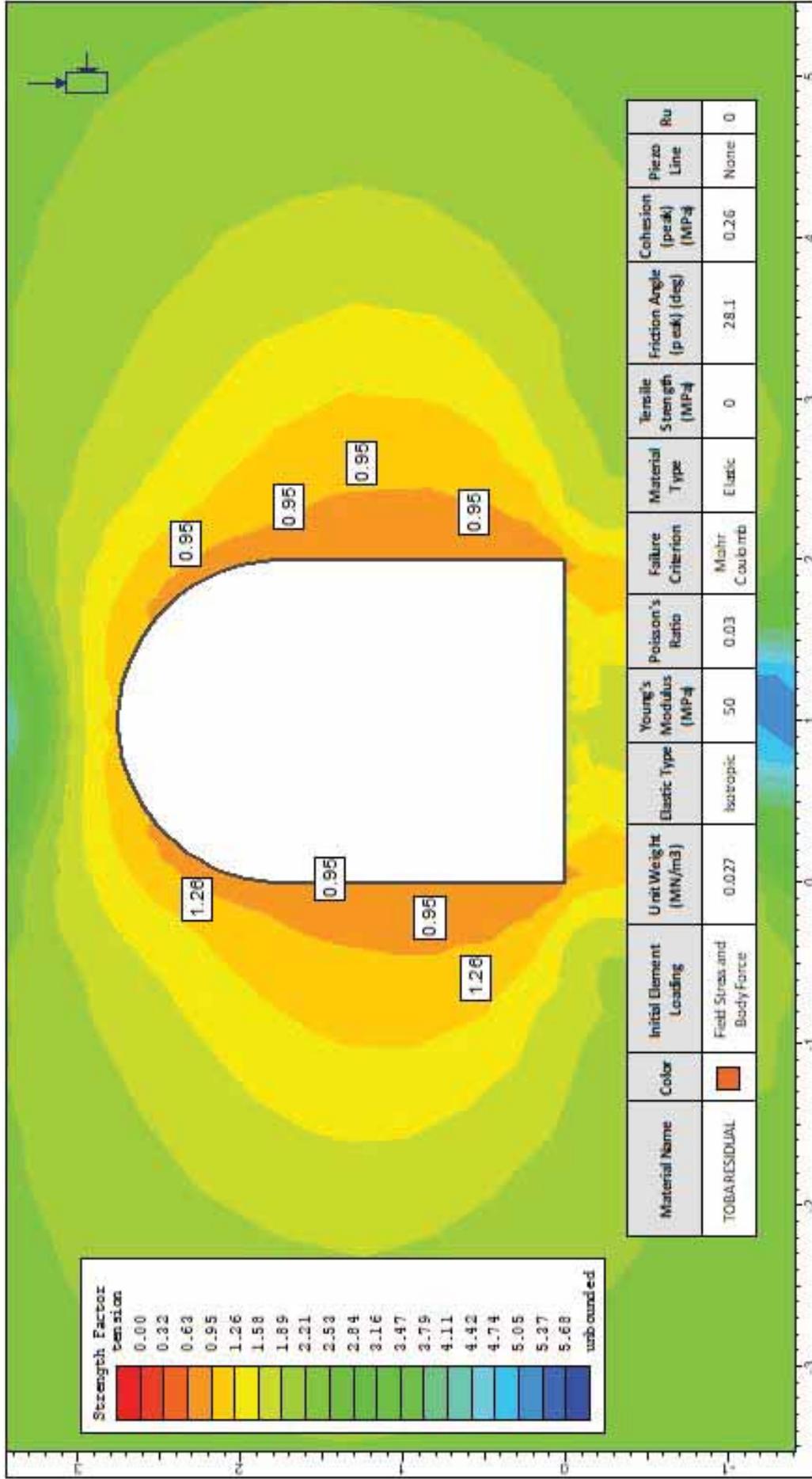
Company: UNSAAC

Scale: 1:30

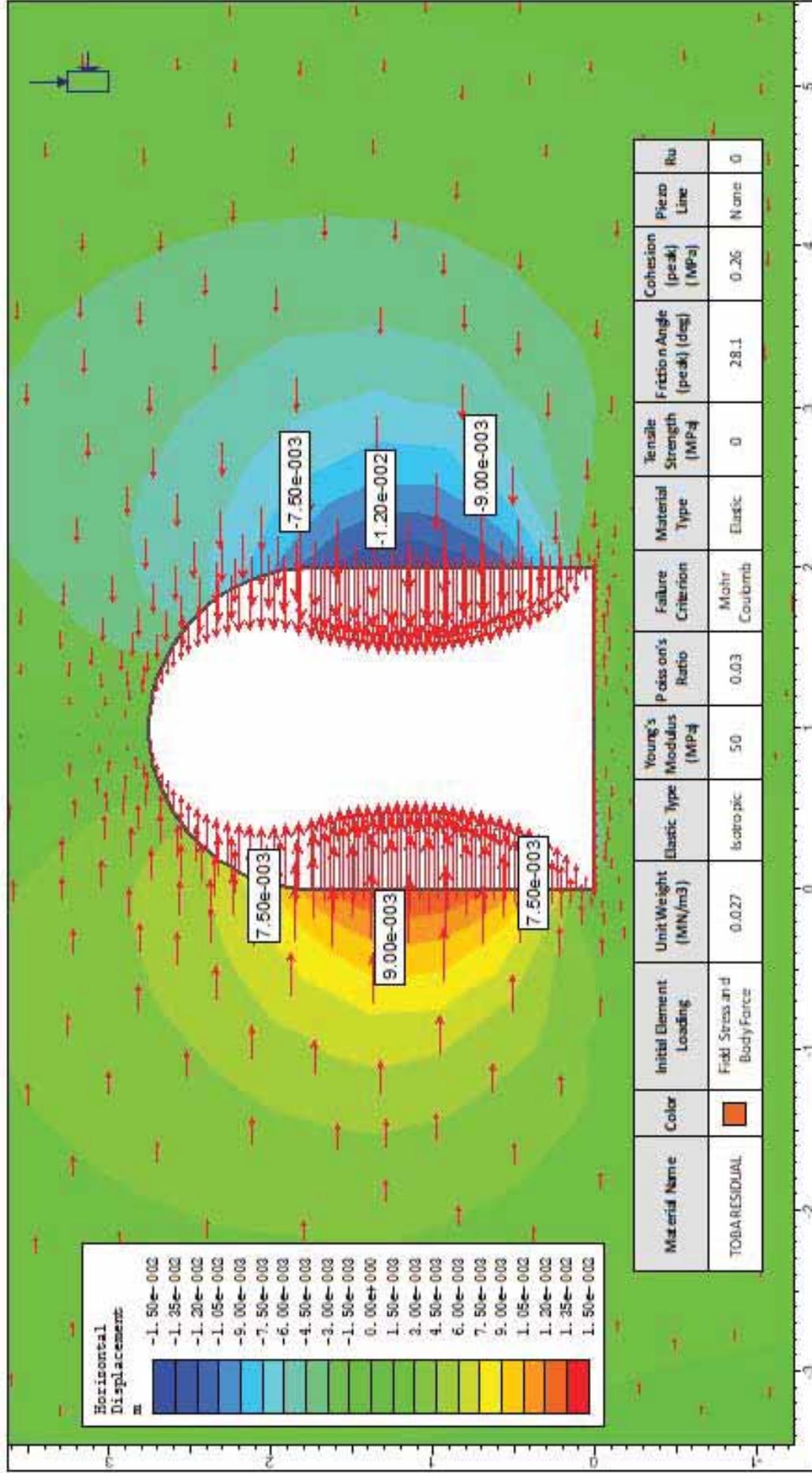
Date: 18/07/2019, 17:32:12

SECTION DEL SONDAGE DHT-01.fec





Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m3)	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Friction Angle (peak) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Piezo Line	Ru
TOBA RESIDUAL		Field Stress and Body Force	0.027	isotropic	50	0.03	Mohr Coulomb	Elastic	0	28.1	0.26	None	0



EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO

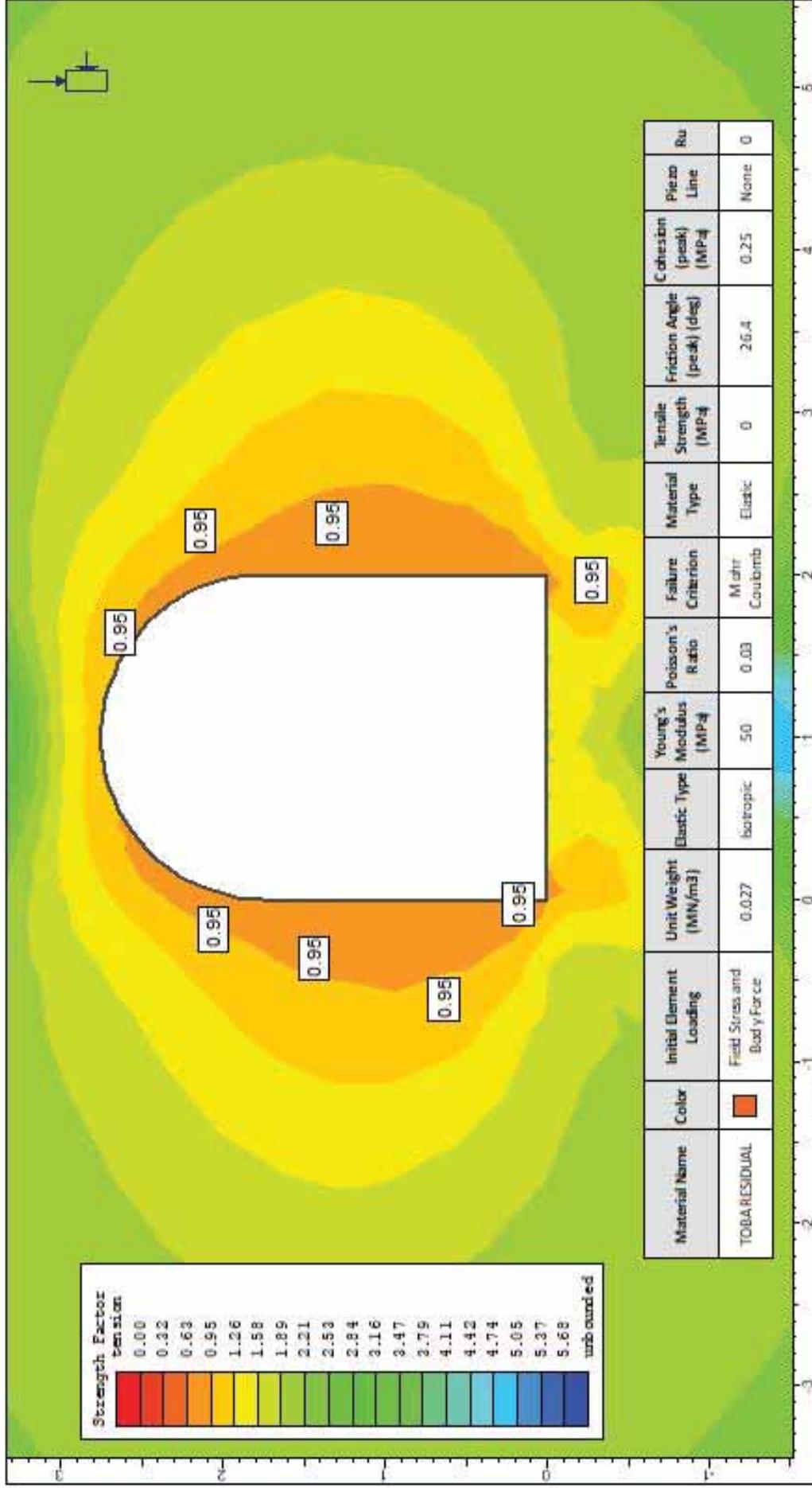


Figura 1

EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO

TUNEL DE TRASVASE - SECCION DEL SONDAJE DHT-03 FACTOR DE SEGURIDAD

Autores: DHT-03

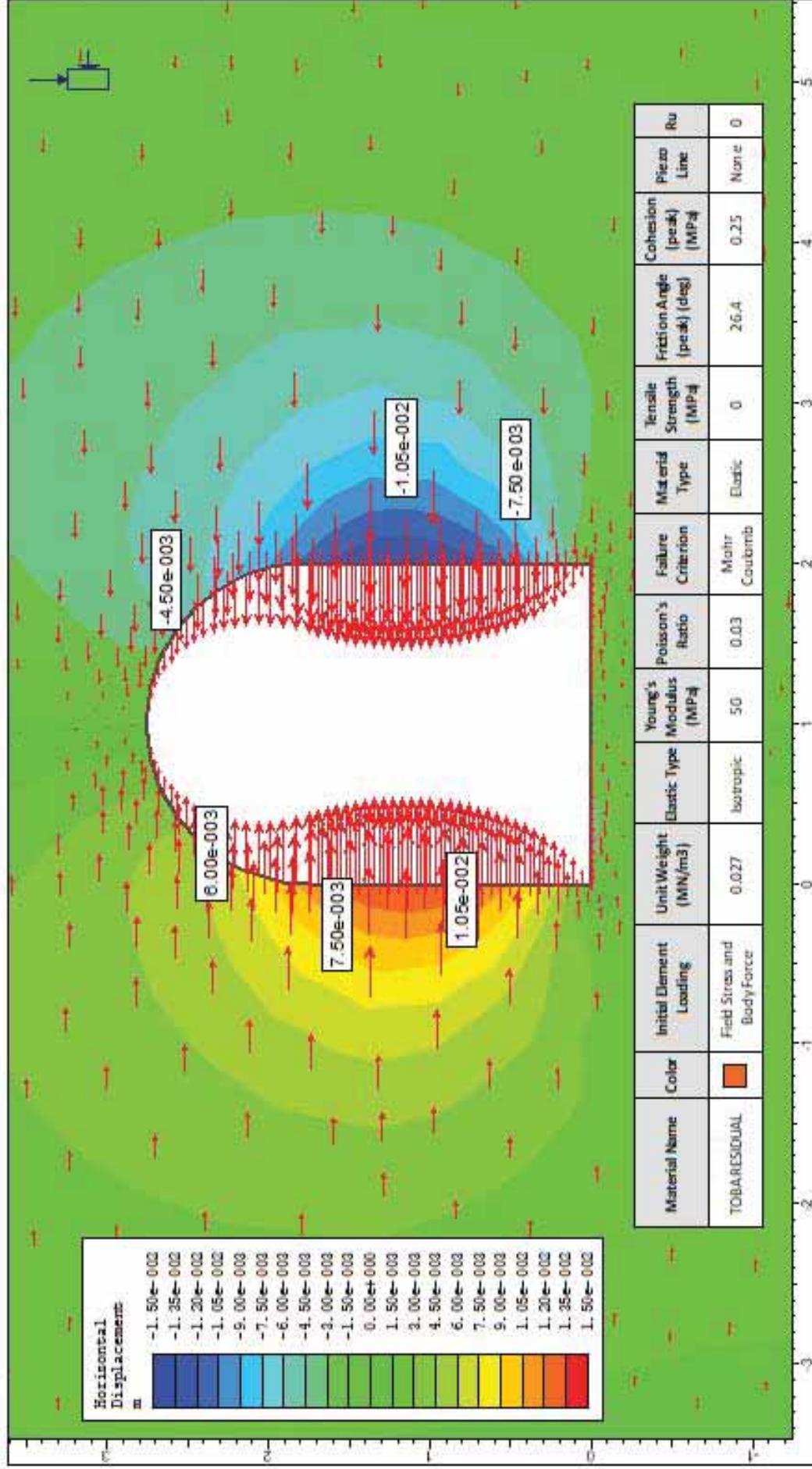
Chari: Dr. Guido HUACAC - Alejandra URQUIZO

Scale: 1:33

Company: UNS AAC

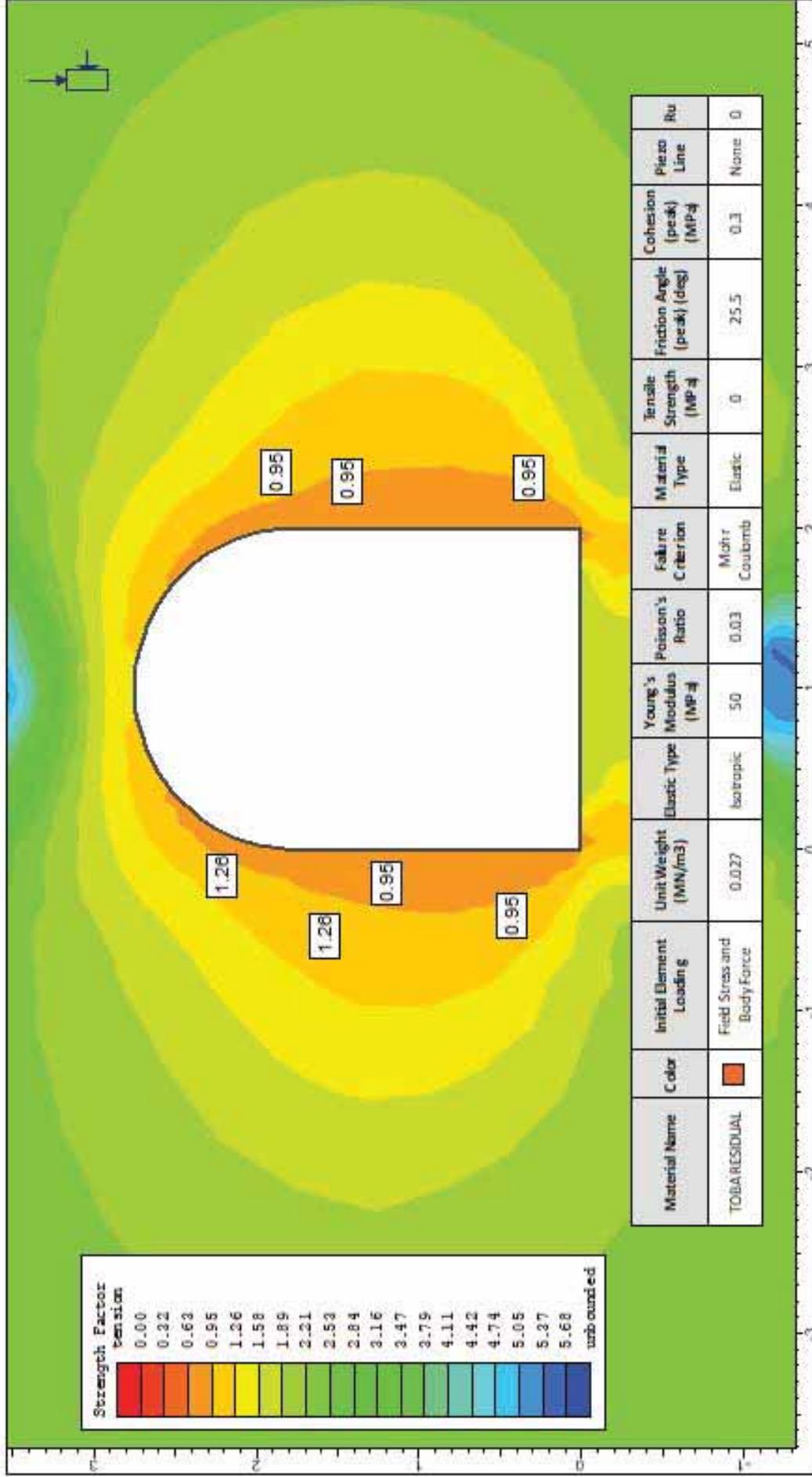
Date: 18/07/2019, 17:32:12

Pathname: SECCION DEL SONDAJE DHT-03.fec



Page 7

EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO	
Author: Alejandro	TUNEL DE TRASVASE - SECCION DEL SONDAJE DHT-03 ESPUERZOS HORIZONTALES
Draw By: Guido HUACAC - Alejandra URQUIZO	Scale: 1:33
Company: UNS AAC	Project: SECCION DEL SONDAJE DHT-03.fem
Date: 18/07/2019, 17:32:12	



Page 7

EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO
 TUNEL DE TRASVASE - SECCION DEL SONDAJE DHT-04 FACTOR DE SEGURIDAD
 Author: Guisela Chacabari
 Client: Guido HUACAC - Alexandra URQUIZO
 Scale: 1:33
 Company: UNSAAC
 Date: 18/07/2019, 17:32:12
 File Name: SECCION DEL SONDAJE DHT-04.fex

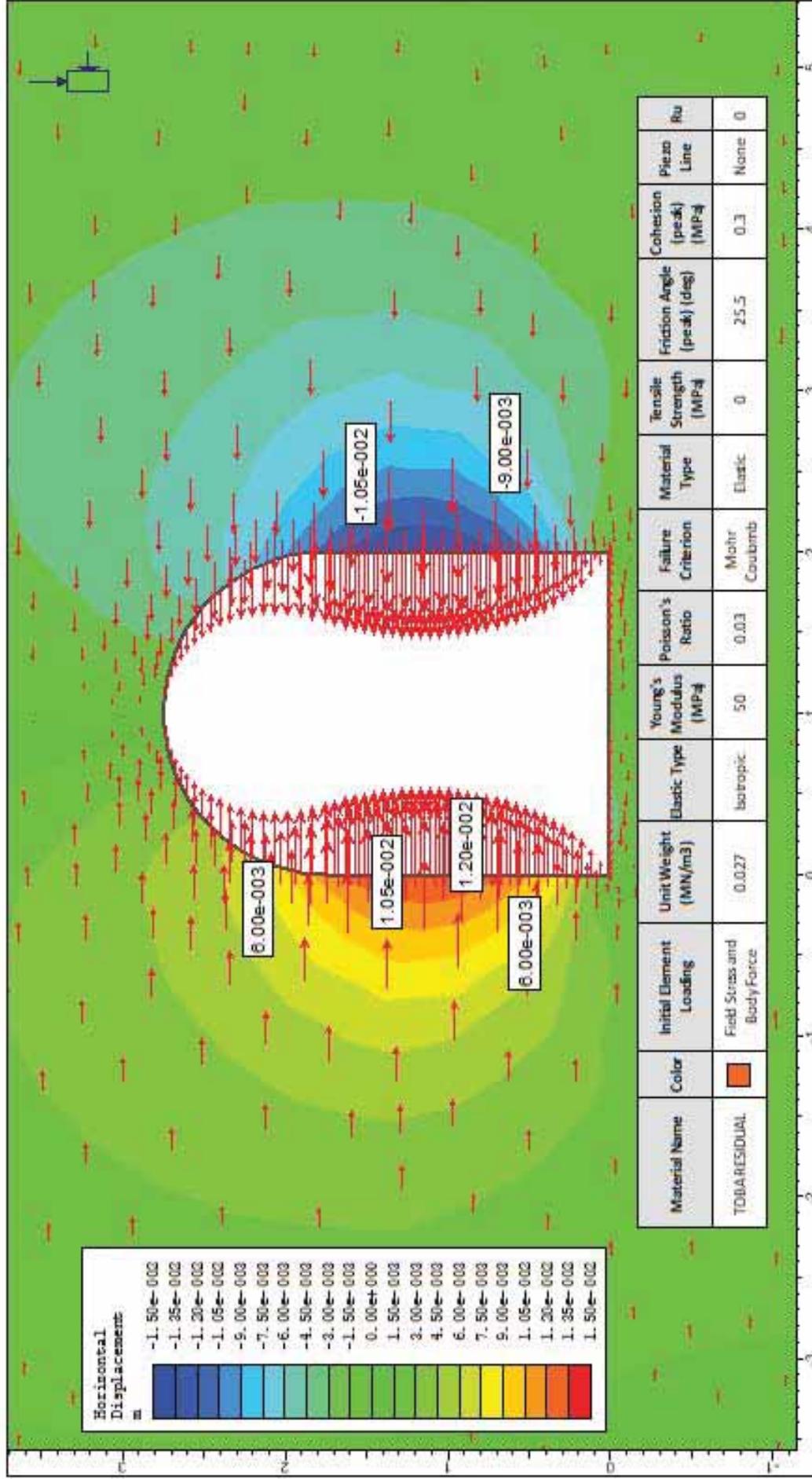


FIGURE 1

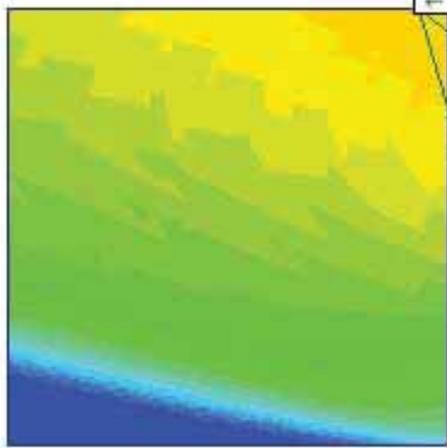
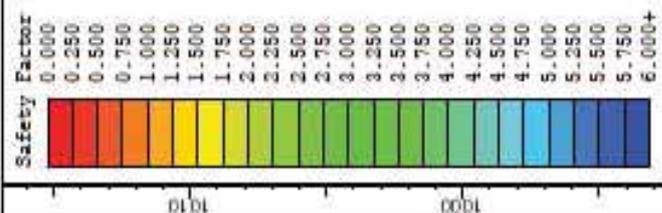
EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO	
Author: Alejandro	TUNEL DE TRASVASE - SECCION DEL SONDAJE DHT-04 ESFUERZOS HORIZONTALES
Draw By: Guido HUACAC - Alejandra URQUIZO	Scale: 1:33
Date: 18/07/2019, 17:32:12	Project: UNSAAC
	SECTION DEL SONDAJE DHT-04.fez



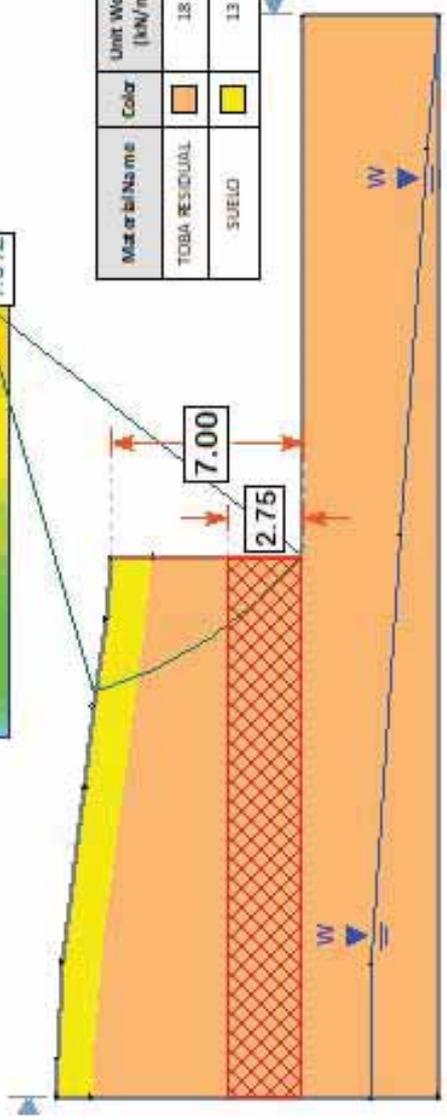
F. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El programa Slide, de la casa Rocscience es el software de análisis de estabilidad de pendientes más completo a nivel mundial, permitiendo realizar, entre otras cosas, análisis de elementos finitos de infiltración de agua subterránea, análisis de sensibilidad, análisis dinámicos, análisis probabilísticos y análisis de variabilidad espacial, etc.

A continuación, se muestran los gráficos desarrollados:



1.312



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
TOBA RESIDUAL	Orange	18	Mohr Coulomb	30.4	23.5	None	0
SUELO	Yellow	13	Mohr Coulomb	12.25	29	None	0



Project: EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASVASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO

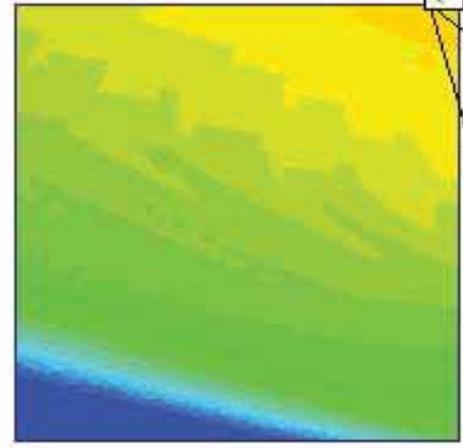
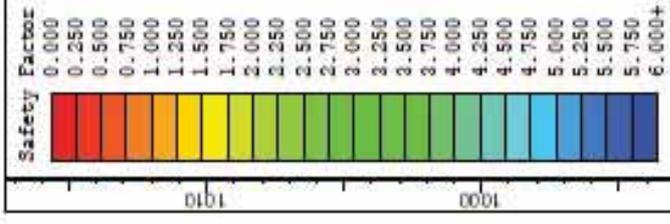
Author/Descripción: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA SALIDA DEL TUNEL - METODO DE BISHOP

Drawn: Guido HUACAC - Alexandra URQUIZO Scale: 1:2504

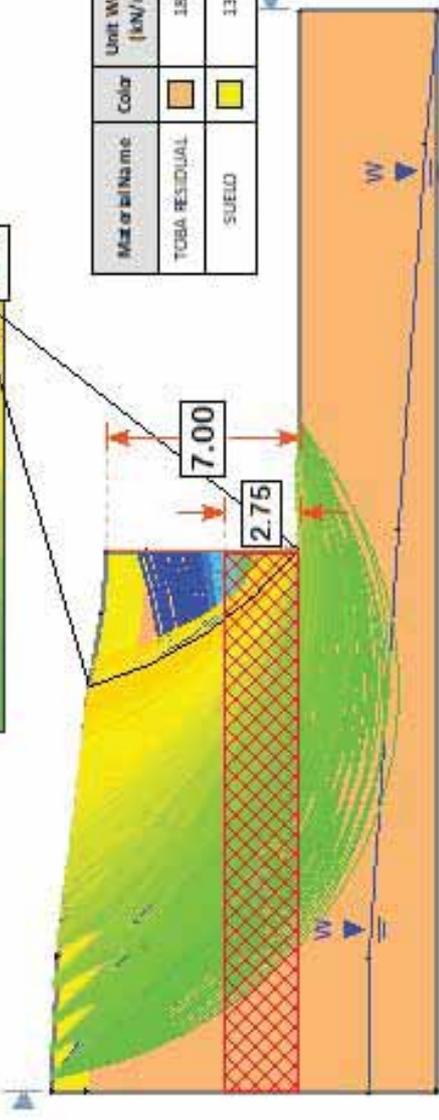
Date: 20/07/2019, 13:48:41

Company: UNSAAC

File Name: ANALISIS DE TALUD - SALIDA DEL TUNEL.slim



1.4 10



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Ru
TOBA RESIDUAL		18	Mohr Coulomb	30.4	25.5	None	0
SUELO		13	Mohr Coulomb	12.25	29	None	0



Project: EVALUACION GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TUNEL DE TRASFASE EN EL DISTRITO DE ESPINAR - CUSCO

Author: Guido HUACAC - Alejandra URQUIZO Scale: 1:2504 Company: UNSAAC

Date: 20/07/2019, 13:48:41 File Name: ANALISIS DE TALUD - SALIDA DEL TUNEL.slim

