

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**



**INFLUENCIA DEL ESQUISTO DE SERICITA EN EL  
RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III, 2024**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Br. Wuenster Condori Quenta**

**ORCID: 0000-0002-8454-9070**

**Asesor:**

**Mtro. Alfonso Oswaldo Flores Mello**

**ORCID: 0000-0003-4539-7921**

**Para obtener el grado académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**

**TACNA – PERÚ**

**2026**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**GEOTECNIA**

**Tesis**

**“INFLUENCIA DEL ESQUISTO DE SERICITA EN EL**  
**RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL**  
**HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III, 2024”**

**Presentada por:**

Bach. Wuenster Condori Quenta

**Tesis sustentada y aprobada el 15 de abril del 2026; ante el siguiente jurado examinador:**

**PRESIDENTE : Dr. Anibal Juan ESPINOZA ARANCIAGA**

**SECRETARIO : Dr. Samuel HUAQUISTO CÁCERES**

**VOCAL : Dr. Diomedes Marcos Martín OYOLA ZAPATA**

**ASESOR : Mtro. Alfonso Oswaldo FLORES MELLO**

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo, Wuenster Condori Quenta, en calidad de egresado de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 72945876.

Soy autor de la tesis titulada: “INFLUENCIA DEL ESQUISTO DE SERICITA EN EL RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III, 2024”, con asesor: Mtro. Alfonso Oswaldo Flores Mello.

### **DECLARO BAJO JURAMENTO**

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro En Ingeniería Civil Con Mención En Geotecnia, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para la obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual. Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara **07 %** de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 15 de abril del 2026.



---

Wuenster Condori Quenta

DNI N° 72945876

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, fuente de inspiración y guía en todos los aspectos de mi vida.

A mis queridos padres, Glicerio Condori y Apolonia W. Quenta, les agradezco por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante a lo largo de mi vida. También a mis hermanos, Kim y Bryan por ser mis compañeros de vida, brindarme alegría y apoyo en cada etapa de mi camino, en especial a mi hijo Fabrizio. Este logro es el resultado de la familia que me ha dado fortaleza y amor inquebrantable.

**Wuenster Condori Quenta**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero extender mi profundo agradecimiento a la Universidad Privada de Tacna, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios de post grado y por su compromiso con la excelencia académica.

A la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Geotecnia. Que, a lo largo de mi carrera de Post grado recibí una formación sólida y valiosa que ha sido fundamental para la culminación de este trabajo. Las enseñanzas, la paciencia y la dedicación de los profesores han dejado una huella perdurable en mi formación como geólogo.

A mi asesor de tesis, Mtro. Flores Mello, Alfonso Oswaldo, le agradezco profundamente por su orientación experta y apoyo constante a lo largo de esta investigación. Sus conocimientos, comentarios y dirección fueron esenciales para dar forma a este trabajo y llevarlo a buen término.

A la empresa Hidro Global por brindarme la oportunidad de elaborar una investigación durante el proceso de construcción de la Central Hidroeléctrica San Gaban III.

Por último, quiero agradecer a mis amigos y seres queridos, su apoyo emocional, ánimo y comprensión me han impulsado en los momentos más desafiantes de este proyecto. Su amistad ha sido un faro de luz en esta travesía académica.

A todas estas personas y a las instituciones que mencioné, les dedico este logro. Su contribución ha sido fundamental en mi desarrollo académico y en la culminación de esta tesis. Estoy profundamente agradecido por su apoyo.

**Wuenster Condori Quenta**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
<b>DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE APÉNDICES.....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xix</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.1    Pregunta general de investigación.....	6
1.2.2    Preguntas específicas de investigación .....	6
1.3    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.3.1    Justificación teórica.....	7
1.3.2    Justificación práctica.....	7
1.3.3    Justificación social .....	8
1.3.4    Justificación metodológica.....	9
1.3.5    Justificación económica .....	9
1.4    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.4.1    Objetivo general.....	10
1.4.2    Objetivos específicos .....	10
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.1.1    Antecedentes internacionales.....	11

2.1.2	Antecedentes nacionales .....	14
2.1.3	Antecedentes locales .....	18
2.2	BASES TEÓRICAS.....	20
2.2.1	Variable Independiente: Esquisto de sericita .....	20
2.2.1.1	Propiedades básicas de las rocas .....	21
2.2.1.1.1	Propiedades físicas .....	21
2.2.1.1.2	Propiedades mecánicas .....	22
2.2.1.2	El macizo rocoso.....	23
2.2.1.2.1	Propiedades del macizo rocoso .....	23
2.2.1.2.2	Propiedades d las discontinuidades.....	25
2.2.1.3	Clasificación geomecánica.....	27
2.2.1.3.1	Índice de designación de calidad de la roca (RQD).....	28
2.2.1.3.2	Sistema de clasificación geomecánica (RMR).....	29
2.2.1.3.3	Índice de calidad de tuneladora (Q) .....	33
2.2.1.3.4	Índice de Excavabilidad de Roca (RME).....	34
2.2.1.3.5	Índice de la Calidad de Túneles para TBM ( $Q_{TBM}$ ).....	36
2.2.1.3.6	Clasificación Geomecánica de Romana Slope Mass Rating (SMR).....	38
2.2.2	Variable dependiente: Tunnel Boring Machine TBM.....	39
2.2.2.1	Partes principales de las TBM .....	41
2.2.2.2	Clasificación de las TBM.....	42
2.2.2.3	Tipos de TBM para roca dura .....	42
2.2.2.3.1	Gripper .....	42
2.2.2.3.2	Escudo Simple .....	44
2.2.2.3.3	Doble Escudo .....	45
2.2.2.4	Consideraciones geomecánicas para la construcción de túneles con TBM en roca dura y grandes profundidades. ....	47
2.2.2.4.1	Terrenos sometidos a altos esfuerzos.....	47

2.2.2.4.2	Terrenos fracturados .....	47
2.2.2.4.3	Presencia de agua .....	50
2.2.2.4.4	Zonas de Fallas.....	51
2.2.2.4.5	Parámetros para la aplicación de las maquinas tuneleras:.....	51
2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS .....	54
2.3.1	Roca .....	54
2.3.2	Roca intacta.....	54
2.3.3	Discontinuidades.....	54
2.3.4	Macizo rocoso .....	54
2.3.5	Matriz rocosa .....	54
	<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>55</b>
3.1	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	55
3.1.1	Hipótesis general.....	55
3.1.2	Hipótesis específicas .....	55
3.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	55
3.2.1	Identificación de la variable independiente: Esquisto de sericita .....	55
3.2.2	Identificación de la variable dependiente: Rendimiento de la tuneladora en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.....	56
3.2.3	Cuadro de operacionalización de variables.....	57
3.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	60
3.4	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	60
3.5	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	61
3.6	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN: .....	61
3.7	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	62
3.7.1	Población.....	62
3.7.2	Muestra .....	63
3.7.3	Unidad de análisis: .....	64

3.8	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	65
3.8.1	Procedimiento de la investigación .....	65
3.8.2	Procesamiento de la investigación .....	67
3.8.2.1	Procesamiento de datos .....	68
3.8.2.2	Presentación de datos .....	69
3.8.2.3	Análisis de datos .....	69
3.8.2.4	Interpretación de datos .....	70
3.8.2.5	Informe de investigación.....	71
3.8.3	Técnicas de recolección de los datos .....	71
3.8.4	Instrumentos para la recolección de los datos.....	72
	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	74
4.2	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	75
4.3	RESULTADOS POR OBJETIVOS.....	77
4.3.1	ROE1. Caracterización geológica del macizo durante la excavación.....	78
4.3.1.1	Alcance y unidades de análisis (tramo, estaciones, progresivas).....	78
4.3.1.2	Litologías observadas (descripción estrictamente geológica: esquistos de sericita; intercalaciones).....	79
4.3.1.3	Estructuras y rasgos de fábrica (foliación, familias de juntas y texturas tal como aparecen en las evidencias) .....	82
4.3.1.4	Evidencia gráfica de geología .....	83
4.3.1.5	Tabla de progresivas y descripciones geológicas (sin inferencias).....	85
4.3.1.6	Limitaciones de las observaciones respecto al objetivo específico 1.....	86
4.3.1.7	Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE1 .....	86
4.3.2	ROE2. Propiedades geomecánicas del macizo (clasificación y parámetros)	88
4.3.2.1	Presentación de RMR, RQD, condiciones de juntas y agua .....	88
4.3.2.2	Estimaciones/valores de GSI .....	89

4.3.2.3	Parámetros de resistencia bajo ensayos de compresión .....	89
4.3.2.4	Análisis de esfuerzo y RMR de la sericita-esquistos.....	91
4.3.2.5	Observaciones geomecánicas del macizo .....	95
4.3.2.6	Limitaciones de las observaciones respecto al objetivo específico 2.....	97
4.3.2.7	Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE2.....	97
4.3.3	ROE3. Desempeño operativo de la TBM según condiciones del macizo.	99
4.3.3.1	Depuración y segmentación ya aplicadas (definición de “puras” y “genéricas”).....	99
4.3.3.2	Velocidad por tipo geomecánico en jornadas puras (ampliación con precisiones operativas).....	100
4.3.3.3	Velocidad por litología en jornadas puras (ampliación con precisiones operativas).....	103
4.3.3.4	Indicadores operativos reportados.....	105
4.3.3.5	Relación entre el tipo de roca y la velocidad de la TBM .....	108
4.3.3.6	Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE3.....	111
4.3.4	ROE4. Medidas de optimización basadas en los cuadros de rendimiento existentes	113
4.3.4.1	Identificación de brechas observadas respecto a las medidas de optimización	113
4.3.4.2	Matriz de medidas.....	114
4.3.4.3	Implementación y verificación de las medidas .....	116
4.3.4.4	Alcances esperados de las medidas.....	116
4.3.4.5	Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE4.....	117
4.4	PRUEBA ESTADÍSTICA .....	119
4.5	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	120
4.5.1	Con respecto a la hipótesis HE1 (OE1).....	120
4.5.2	Con respecto a la hipótesis HE2 (OE2).....	120
4.5.3	Con respecto a la hipótesis HE3 (OE3).....	121

4.5.4	Con respecto a la hipótesis HE4 (OE4).....	122
4.5.5	Con respecto a la hipótesis general (HG).....	122
4.6	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	123
4.6.1	Discusión de resultados respecto del OE1 .....	123
4.6.2	Discusión de resultados respecto del OE2 (clasificación y parámetros geomecánicos).....	124
4.6.3	Discusión de resultados respecto del OE3 .....	125
4.6.4	Discusión de resultados respecto del OE4 .....	126
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>128</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>134</b>
	<b>APÉNDICES.....</b>	<b>139</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Esquema del grado de meteorización y la roca resultante .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD</i> .....	29
<b>Tabla 3</b> <i>Parámetros de clasificación RMR</i> .....	30
<b>Tabla 4</b> <i>Corrección por la orientación de las discontinuidades</i> .....	31
<b>Tabla 5</b> <i>Clasificación y tipo de roca según RMR</i> .....	32
<b>Tabla 6</b> <i>Características geotécnicas</i> .....	32
<b>Tabla 7</b> <i>Orientación de las discontinuidades en el túnel</i> .....	32
<b>Tabla 8</b> <i>Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR</i> .....	33
<b>Tabla 9</b> <i>Valores para cálculo de índice RME</i> .....	34
<b>Tabla 10</b> Operacionalización de variables .....	58
<b>Tabla 11</b> Progresivas donde tomaron las muestras .....	64
<b>Tabla 12</b> <i>Progresivas y descripciones geológicas</i> .....	79
<b>Tabla 13</b> <i>Composición petrográfica del esquisto de sericita</i> .....	80
<b>Tabla 14</b> <i>Descripción petrográfica del esquisto de sericita</i> .....	81
<b>Tabla 15</b> <i>Rasgos estructurales y de fábrica observados</i> .....	83
<b>Tabla 16</b> Síntesis integral y conclusiva de la caracterización geológica (ROE1) .....	87
<b>Tabla 17</b> <i>Resumen operativo de <math>\sigma_c</math> en micaesquisto (sericita-esquisto)</i> .....	92
<b>Tabla 18</b> <i>Rango observado/adoptado de factores RMR en sericita-esquisto (tramo de estudio)</i> .....	93
<b>Tabla 19</b> <i>RMR por subtramos del acceso (0+000–0+089,40 m) con observaciones hídricas</i> .....	94
<b>Tabla 20</b> <i>RMR por subtramos del acceso (0+000–0+089,40 m) con observaciones hídricas el acceso (Proporciones)</i> .....	95
<b>Tabla 21</b> <i>Plantilla RMR→(C, <math>\Phi</math>) Por clases (Uso operativo)</i> .....	95
<b>Tabla 22</b> <i>Síntesis integral y conclusiva de propiedades geomecánicas (ROE2)</i> .....	98
<b>Tabla 23</b> <i>Velocidad promedio por tipo geomecánico (jornadas puras)</i> .....	100
<b>Tabla 24</b> <i>Velocidad promedio por litología (jornadas puras)</i> .....	104
<b>Tabla 25</b> <i>Pernos por jornada en litología SI (jornadas puras)</i> .....	105
<b>Tabla 26</b> <i>Síntesis integral y conclusiva del desempeño operativo (ROE3)</i> .....	112
<b>Tabla 27</b> <i>Matriz de medidas de optimización por tipología y litología</i> .....	114
<b>Tabla 28</b> <i>Implementación y verificación (formato operativo)</i> .....	116
<b>Tabla 29</b> <i>Síntesis integral y conclusiva de medidas de optimización (ROE4)</i> .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Fotografía del disco de corte y escudo simple de la tuneladora (TBM) en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III. ....	5
<b>Figura 2</b> <i>Velocidad de avance para tres túneles construidos con tuneladora en función de <math>QTBM</math></i> .....	38
<b>Figura 3</b> <i>Tuneladora TBM de escudo simple con gripper</i> .....	40
<b>Figura 4</b> <i>Clasificación de Máquinas TBM</i> .....	42
<b>Figura 5</b> <i>Componentes principales de una TBM Gripper</i> .....	44
<b>Figura 6</b> <i>Componentes de una TBM escudo simple</i> .....	45
<b>Figura 7</b> <i>Componentes de una TBM Doble Escudo</i> .....	46
<b>Figura 8</b> <i>TBM de doble escudo</i> .....	49
<b>Figura 9</b> <i>Túnel de entrada plataforma TBM Central Hidroeléctrica San Gabán III</i> .....	62
<b>Figura 10</b> <i>Figura Secuencia de análisis por carriles</i> .....	75
<b>Figura 11</b> <i>Hastial: bandas de alineación micácea (laminación) y textura lepidoblástica visible a escala mesoscópica.</i> .....	84
<b>Figura 12</b> <i>Microtexturas del micaesquisto: alineación micácea, mosaicos de cuarzo recristalizado y bandas lepidoblásticas visibles en sección delgada.</i> .....	84
<b>Figura 13</b> <i>Frente de excavación: esquisto de sericita con venillas y bandas cuarzosas (tono claro) y plano S de laminación micácea; lectura geológica directa en superficie fresca.</i>	85
<b>Figura 14</b> <i>Curvas esfuerzo–deformación representativas de <math>\sigma_c</math> con picos señalados (extractos de ensayos)</i> .....	90
<b>Figura 15</b> <i>Perfil RMR por estaciones en el acceso</i> .....	91
<b>Figura 16</b> <i>Velocidad por tipo geomecánico (II–V) en jornadas puras.</i> .....	101
<b>Figura 17</b> <i>Velocidad por litología (SI vs CI) en jornadas puras (dos colores)</i> .....	104
<b>Figura 18</b> <i>Pernos/jornada por tipología</i> .....	106

## ÍNDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice 1:</b> Matriz de consistencia .....	140
<b>Apéndice 2:</b> Instrumentos de Investigación .....	142
<b>Apéndice 3:</b> Dataset de avance del TBM en el túnel .....	196

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>BQ:</b>	Lectura BQ del método chino para clasificar la calidad del macizo rocoso.
<b>CI:</b>	Cuarcita intercalada (litología).
<b>CLI:</b>	Cutter Life Index; índice de vida o duración de los cortadores de la cabeza de corte.
<b>EPB:</b>	Earth Pressure Balance; tuneladora de equilibrio de presiones para suelos blandos con agua.
<b>F1:</b>	Subfactor de SMR por paralelismo entre la orientación de las discontinuidades y la del talud.
<b>F2:</b>	Subfactor de SMR por buzamiento de la discontinuidad.
<b>F3:</b>	Subfactor de SMR por relación entre el buzamiento del talud y el de la discontinuidad.
<b>F4:</b>	Subfactor de SMR por método de excavación empleado.
<b>GSI:</b>	Geological Strength Index; índice geomecánico estimado por estructura y condición de juntas.
<b>ISRM:</b>	International Society for Rock Mechanics.
<b>Ja:</b>	Índice de alteración de discontinuidades del sistema Q.
<b>Jn:</b>	Índice de diaclasado del sistema Q.
<b>Jr:</b>	Índice de rugosidad de discontinuidades del sistema Q.
<b>Jw:</b>	Factor reductor por presencia de agua del sistema Q.
<b>NX:</b>	Designación del tamaño de testigo de la serie N en exploración geológica.
<b>OE:</b>	Objetivo específico (marcador de organización de la investigación).
<b>P&amp;V:</b>	Perforación y Voladura; método convencional de excavación de túneles.

<b>Q:</b>	Sistema de clasificación Q del macizo rocoso (Barton y colaboradores).
<b>QTBM:</b>	Adaptación del índice Q para túneles excavados con tuneladora.
<b>RME:</b>	Rock Mass Excavability; índice de excavabilidad del macizo rocoso.
<b>RMR:</b>	Rock Mass Rating; clasificación geomecánica de Bieniawski.
<b>RMR(b):</b>	RMR básico antes de aplicar correcciones.
<b>RMR(c):</b>	RMR corregido luego de aplicar penalizaciones.
<b>RMR89:</b>	Versión 1989 del Rock Mass Rating.
<b>RQD:</b>	Rock Quality Designation; porcentaje de testigo sano mayor a un umbral para calidad de roca.
<b>ROE:</b>	Resultado por Objetivo Específico (rotulado como ROE1, ROE2, etc.).
<b>SI:</b>	Esquisto de sericita (litología).
<b>SMR:</b>	Slope Mass Rating; derivación del RMR para estabilidad de taludes.
<b>SRF:</b>	Stress Reduction Factor; factor reductor por estado tensional en el sistema Q.
<b>TBM:</b>	Tunnel Boring Machine; tuneladora para excavación mecanizada de túneles.
<b>WGS84:</b>	World Geodetic System 1984; datum geodésico para coordenadas.

## RESUMEN

Esta investigación aborda la relación entre la variabilidad geológica y geomecánica del esquisto de sericita y el rendimiento de una tuneladora (TBM) en la Central Hidroeléctrica San Gabán III. El objetivo general fue evaluar la influencia de dicha litología sobre la velocidad de avance y la continuidad del ciclo. Se adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y seguimiento longitudinal por progresivas. La unidad de análisis combinó estación–progresiva (geología/geomecánica) y jornada (operación). El procedimiento integró mapeo de frente y hastiales con registro fotográfico; clasificación geomecánica (RMR, RQD, juntas y agua); ensayos de roca intacta ( $\sigma_c$ , tracción indirecta); y depuración operativa que distinguió «jornadas puras» de «genéricas» para estimar velocidades por tipo (II–V) y por litología (sericita vs. cuarcitas). Predomina el micaesquisto de sericita con texturas lepidoblásticas y venillas de cuarzo; RMR corregido mayoritario 41–56 (Clase III) y RQD ~35–65 %, con espaciamientos F3–F4 de 0.20–0.60 m. La resistencia uniaxial presenta bandas de 40–50, 65–85 y 120–125 MPa. En jornadas puras, la velocidad media es 2.642 m/h (Tipo III), 1.688 m/h (Tipo II), 0.851 m/h (Tipo IV) y 0.288 m/h (Tipo V); por litología, sericita alcanza 2.43 m/h y supera a cuarcitas (1.79 m/h). Con base en estas brechas, se proponen medidas de optimización: recambio de discos en II, protección del ciclo en III y buffers/secuencias limpias en IV–V, con verificación documental y observacional en obra. El estudio ofrece una secuencia trazable que conecta caracterización, clasificación, desempeño y acciones operativas.

**PALABRAS CLAVE:** Desempeño de TBM, esquisto de sericita, geomecánica del macizo, rendimiento de excavación, RMR

## ABSTRACT

This research examines the relationship between geological–geomechanical variability of sericite schist and the performance of a Tunnel Boring Machine (TBM) at the San Gabán III Hydroelectric Project. The general objective was to evaluate the influence of this lithology on advance rate and cycle continuity. A quantitative approach was adopted, with a non-experimental design and longitudinal tracking by chainage. The unit of analysis combined station–chainage (geology/geomechanics) and shift (operations). The procedure integrated face and sidewall mapping with photographic records; geomechanical classification (RMR, RQD, joints and water); intact rock tests ( $\sigma_c$ , indirect tensile strength); and an operational cleansing that distinguished “pure shifts” from “generic shifts” to estimate rates by class (II–V) and by lithology (sericite versus interbedded quartzites). Sericite mica-schist predominates with lepidoblastic textures and quartz veinlets; corrected RMR chiefly 41–56 (Class III) and RQD ~35–65%, with F3–F4 spacings of 0.20–0.60 m. Uniaxial compressive strength shows bands of 40–50, 65–85 and 120–125 MPa. In pure shifts, mean advance is 2.642 m/h (Class III), 1.688 m/h (Class II), 0.851 m/h (Class IV), and 0.288 m/h (Class V); by lithology, sericite reaches 2.43 m/h and exceeds quartzitic interbeds (1.79 m/h). Based on these gaps, optimization measures are proposed: cutter-disc replacement windows in II, cycle protection in III, and buffers/clean sequences in IV–V, with documentary and observational verification in the field. The study offers a traceable sequence connecting characterization, classification, operational performance, and actionable measures. Its structure invites replication in comparable Andean hard-rock tunneling projects.

**KEYWORDS:** excavation performance, RMR, rock mass geomechanics, sericite schist, TBM performance

## INTRODUCCIÓN

La excavación mecanizada con Tunnel Boring Machine (TBM) en roca metamórfica foliada representa un desafío técnico de alto interés para la ingeniería civil andina. En la Central Hidroeléctrica San Gabán III, el desarrollo del túnel atraviesa predominantemente esquistos de sericita, litología cuya anisotropía y variabilidad estructural condicionan la interacción herramienta–macizo y, con ello, la planeación de recursos, la continuidad del ciclo y la seguridad de la obra. Esta tesis se propone aportar una lectura metodológica rigurosa que relacione, de manera trazable, la caracterización geológica y geomecánica con el comportamiento operativo de la TBM, a partir de un diseño observacional, cuantitativo y longitudinal por progresivas, con unidades de análisis en estación–progresiva y jornada.

El documento se organiza para conducir al lector desde la formulación del problema hasta un cuerpo de resultados y discusiones estructurados por objetivos, manteniendo la separación entre descripción del medio, clasificación geomecánica y evaluación del desempeño. El Capítulo I delimita el fenómeno a estudiar y lo sitúa en su contexto técnico y territorial; formula la pregunta general y las preguntas específicas, y presenta una justificación completa que abarca fundamentos teóricos, utilidad práctica para la gestión de obra, pertinencia social por su impacto en infraestructura energética, coherencia metodológica del enfoque adoptado y racionalidad económica de la investigación. Se exponen, además, el objetivo general y los objetivos específicos que guían la cadena analítica.

El Capítulo II reúne el marco conceptual y empírico necesario para interpretar correctamente la evidencia. En primer término, los antecedentes internacionales, nacionales y locales permiten contrastar prácticas y rangos de variación observados en túneles de roca dura, con especial atención a ambientes metamórficos. En segundo término, las bases teóricas describen las propiedades de la roca y del macizo, el papel de las discontinuidades y la lógica de los sistemas de clasificación geomecánica utilizados en obra (RQD, RMR, Q, RME, QTBM y SMR), estableciendo su campo de validez y las cautelas para litologías foliadas. Se incorpora, además, una síntesis funcional de las TBM, sus tipos y componentes para

roca dura, junto con consideraciones de construcción en condiciones de alto esfuerzo in situ, fracturamiento, presencia de agua y zonas de falla. El capítulo concluye con definiciones operativas que aseguran terminología consistente a lo largo del texto.

El Capítulo III detalla el marco metodológico. Se presentan la hipótesis general y sus derivaciones específicas en correspondencia directa con los objetivos. Se operacionalizan las variables mediante dimensiones e indicadores verificables, se precisa el tipo, nivel y diseño de investigación, y se define el ámbito temporal y espacial. La población y la muestra se especifican con criterios de inclusión claros. El procedimiento describe la secuencia de trabajo: mapeo geológico y registro fotográfico en frente y hastiales; clasificación geomecánica con RMR, RQD y condiciones de juntas y agua; ensayos de roca intacta; y una fase de procesamiento que separa jornadas “puras” y “genéricas” para asegurar estimaciones de velocidad sin sesgos por mezcla. Se explicitan técnicas e instrumentos de recolección, así como el plan de procesamiento, presentación, análisis e interpretación de datos, incorporando controles de calidad y trazabilidad.

El Capítulo IV expone los resultados siguiendo la arquitectura del estudio: primero, la descripción del trabajo de campo y el diseño de presentación; luego, los hallazgos ordenados por objetivo específico y el contraste estadístico correspondiente, salvaguardando la independencia entre bloques geológicos, geomecánicos y operativos antes de la discusión. Las conclusiones recogen los aportes que se desprenden del cumplimiento de los objetivos y las recomendaciones abren líneas de continuidad para estudios futuros en túneles similares. El apartado de referencias ofrece la base bibliográfica científica y normativa que sustenta el trabajo, y el apéndice compila material complementario de consulta.

Así se presenta una propuesta metodológica coherente que facilita la lectura cruzada entre caracterización del macizo, clasificación geomecánica y desempeño de la TBM, con una narrativa diseñada para apoyar la toma de decisiones en proyectos reales y, al mismo tiempo, para servir como guía replicable en investigaciones afines.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta investigación propone como objetivo general evaluar la influencia del esquistos de sericita en el rendimiento de la tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III - 2024, ubicado en la región Puno. El esquistos de sericita es una roca metamórfica que se caracteriza por su dureza, foliación y contenido mineralógico, cuyas propiedades geomecánicas condicionan significativamente el proceso de excavación mecanizada. Según Sapigni et al. (2002), las rocas metamórficas presentan desafíos particulares para las tuneladoras debido a su variabilidad en resistencia y estructura, observando que el rendimiento de la TBM varía significativamente según el tipo de roca metamórfica incluso con el mismo índice de clasificación geomecánica. Esta roca se distribuye a lo largo de estructuras geológicas como fallas y diaclasas, lo que afecta el desempeño de la tuneladora (TBM) en la excavación del macizo rocoso. Sun et al. (2024) señalan que la interacción compleja entre la TBM y el macizo rocoso representa un desafío considerable en la predicción precisa del rendimiento de excavación, especialmente en condiciones geológicas variables. El estudio busca explicar la incidencia de las características de esta roca metamórfica en el desempeño operativo de la máquina de acuerdo a los registros de funcionamiento, analizando su rendimiento frente a la clasificación geomecánica del esquistos de sericita.

Para tal propósito se usarán como variables a: Variable Independiente: Esquistos de sericita, que describirá las propiedades como resistencia a la compresión simple, grado de fracturación del macizo rocoso y otras características geológicas específicas del esquistos de sericita. De acuerdo con Gong et al. (2021), la integración de parámetros geomecánicos del macizo rocoso es fundamental para desarrollar modelos de predicción de rendimiento de TBM en túneles excavados en condiciones geológicas complejas. La Variable Dependiente es el Rendimiento de la tuneladora (TBM) sobre el esquistos de sericita en el Proyecto Central San Gabán III, en que se abordará la eficiencia y la efectividad de la tuneladora (TBM) durante la excavación en los diferentes tipos de clasificaciones geomecánicas. Katuwal y

Panthi (2025) destacan que la predicción precisa del rendimiento de TBM en condiciones geológicas específicas representa uno de los aspectos más cruciales y desafiantes en proyectos de excavación subterránea, ya que influye directamente en el tiempo de finalización y los costos del proyecto. Se evaluarán datos sobre la velocidad de excavación, sostenimiento sistemático y/o puntual, entre otros aspectos relacionados con el rendimiento de la máquina, considerando que Li et al. (2024) han demostrado que el análisis en tiempo real de los datos operacionales de la TBM permite una percepción más precisa de las condiciones del macizo rocoso durante la construcción.

En el contexto mundial, la construcción de infraestructuras subterráneas se ha vuelto esencial para el desarrollo urbano y la industria. Las Tunnel Boring Machine (TBM) o tuneladoras, son equipos que han revolucionado la excavación de túneles, ofreciendo una alternativa eficiente y segura a los métodos tradicionales de excavación. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, persisten desafíos significativos en su implementación a nivel global. Según Sun et al. (2024), la predicción precisa del rendimiento de las TBM sigue siendo un desafío considerable debido a las complejas interacciones entre la TBM y el macizo rocoso. La variabilidad geológica de las rocas en los sitios de construcción puede tener un impacto directo en el rendimiento de las tuneladoras. Las diferentes características geomecánicas del esquistos de sericita, como su resistencia y el grado de fracturación, pueden llevar a retrasos, costos adicionales y, en algunos casos, incluso a eventos no deseados. Como señalan Li et al. (2024), los factores que influyen en la tasa de penetración son numerosos e incluyen condiciones geológicas, características de la TBM, problemas específicos del sitio, experiencia del operador, gestión del contratista y pericia técnica. Esta variabilidad en las características geomecánicas junto con la necesidad de maximizar la eficiencia operativa de la tuneladora, representa un problema crucial en el ámbito mundial. Abordar esta problemática no solo es esencial para la ejecución exitosa de proyectos subterráneos, sino también para garantizar la seguridad de los trabajadores y la viabilidad económica de estas operaciones en el futuro.

En el contexto nacional peruano, caracterizado por una variabilidad geotécnica significativa, influenciada por los complejos aspectos geológicos como pliegues de los Andes Centrales en América Latina, la implementación efectiva de las tuneladoras presenta desafíos específicos. Los Andes peruanos se caracterizan por formaciones geológicas complejas que incluyen rocas metamórficas del Proterozoico y rocas sedimentarias del Cretáceo pertenecientes al cinturón de pliegues y fallas de Marañón (Scherrenberg et al., 2016), junto con intrusiones volcánicas y plutónicas del Mioceno. A nivel mundial, existen varios tipos de TBM, cada uno diseñado para adaptarse a condiciones geológicas específicas y proyectos de gran envergadura. Sin embargo, en el Perú, donde la geología varía desde rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, la selección y adaptación de estas máquinas a estas condiciones específicas se convierte en un problema crucial. Katuwal y Panthi (2025) señalan que las condiciones geológicas inciertas y complejas en el frente del túnel afectan significativamente la operación de la TBM y reducen la eficiencia de excavación, además de que estas condiciones pueden conducir a peligros geológicos como estallidos de roca, grandes deformaciones, ingreso de agua y convergencia del túnel. La experiencia del proyecto Olmos Trans-Andean en Perú demostró que condiciones geológicas extremas en los Andes, que incluyen andesita, dacita, toba, esquisto y brechas piroclásticas con resistencias de hasta 250 MPa, pueden generar más de 16,000 eventos de estallido de roca durante la excavación. La falta de una estrategia precisa para elegir el tipo de TBM más adecuado para las condiciones geológicas específicas del país puede resultar en dificultades operativas y mayores costos. Además, la alta variabilidad geotécnica puede conducir a un desgaste acelerado de las herramientas de la tuneladora y aumentar los riesgos para la seguridad de los trabajadores (Reátegui, 2020). La falta de una metodología estandarizada y específica para enfrentar esta problemática, combinada con la necesidad de adaptarse a las condiciones locales, plantea un desafío significativo en el ámbito nacional, afectando tanto la viabilidad económica de los proyectos como la seguridad y la eficiencia de las operaciones de construcción subterránea en el Perú.

En el ámbito local, la implementación de tuneladoras "Tunnel Boring Machines" (TBM) se encuentra enfrentando desafíos importantes debido a la variabilidad geotécnica del terreno peruano. La situación se complica aún más por la falta de consistencia en el rendimiento de estas máquinas en diferentes tipos de características geomecánicas, particularmente el esquisto de sericita, como se evidenció en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III, donde la clasificación geomecánica por el método Rock Mass Rating (RMR) propuesto por Bieniawski en 1989 no pudo proporcionar un rendimiento predecible del macizo rocoso conformado por esquisto de sericita. Sapigni et al. (2002) documentaron que el rendimiento de las TBM alcanza un máximo en el rango de RMR de 40-70, mientras que se experimenta una penetración más lenta tanto en macizos rocosos de muy mala como de muy buena calidad. Sorprendentemente, las rocas de clase II mostraron un rendimiento menor al esperado, mientras que las rocas de clase III, que presentaban varias familias de discontinuidades, superaron las expectativas. Incluso las rocas de clase IV, que se esperaba fueran más lentas, demostraron un avance comparable al de las rocas de clase II. Khademi Hamidi et al. (2010) señalan que el uso del RMR para proporcionar un modelo predictivo preciso del índice de penetración de campo de las TBM es muy limitado debido a la naturaleza de las ponderaciones asignadas a los parámetros de entrada y su influencia en el rendimiento, lo que explica las inconsistencias observadas en San Gabán III. Salimi et al. (2017) también destacan que el uso de sistemas de clasificación de macizos rocosos como el RMR para proporcionar una estimación precisa de la tasa de penetración de TBM ha tenido un éxito limitado debido a la naturaleza de las ponderaciones asignadas a los parámetros de entrada, confirmando que los resultados de muchas investigaciones sobre este tema han mostrado una correlación débil entre la tasa de penetración de TBM y el RMR.

Esta variabilidad impredecible, especialmente al utilizar una tuneladora (TBM) con gripper y escudo simple, ha llevado a la necesidad urgente de un estudio detallado de la caracterización geológica, geomecánica y el cálculo de rendimiento de estas máquinas a nivel nacional.

La falta de una metodología estandarizada para adaptar estas máquinas a las condiciones geológicas específicas del país, particularmente al utilizar una tuneladora con gripper y escudo simple, plantea un desafío significativo, afectando no solo la eficiencia de las operaciones de construcción subterránea en el Perú, sino también la seguridad de los trabajadores y la viabilidad económica de los proyectos.

### **Figura 1**

*Fotografía del disco de corte y escudo simple de la tuneladora (TBM) en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.*



Nota: Disco de corte etapa final de excavación con TBM.

El diagnóstico revela la complejidad inherente al rendimiento de estas máquinas en el contexto peruano, especialmente cuando se emplea una tuneladora con gripper y escudo simple. La falta de coherencia en el comportamiento de estas máquinas en diferentes tipos de características geomecánicas, como evidenciado por las variaciones inesperadas en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III, subraya la necesidad de una comprensión más profunda de la geología local y su impacto en las operaciones subterráneas. Además, el diagnóstico destaca la carencia de una metodología estandarizada para adaptar estas máquinas a las condiciones geotécnicas específicas del país, lo que resulta en la falta de previsibilidad y control en los resultados operativos. A medida que miramos hacia el futuro, el pronóstico del problema sugiere que esta incertidumbre persistente

podría llevar a retrasos en los proyectos subterráneos, aumentar los costos operativos y plantear riesgos significativos para la seguridad de los trabajadores. La necesidad urgente de desarrollar una estrategia robusta y específica para estas máquinas en el contexto peruano se vuelve evidente para mejorar la eficiencia de la construcción subterránea, garantizar la seguridad de las operaciones y fortalecer la viabilidad económica de futuros proyectos en el país. Por lo que esta investigación se plantea las siguientes preguntas de investigación.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Pregunta general de investigación**

- ¿Cómo influyen las características geológicas y geomecánicas del esquisto de sericita en el rendimiento de la tuneladora TBM para la excavación del túnel de conducción en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?

### **1.2.2 Preguntas específicas de investigación**

- ¿Cuáles son las propiedades geológicas del esquisto de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?
- ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso conformado por el esquisto de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?
- ¿Cómo varía el desempeño operativo de la tuneladora TBM al excavar el túnel de conducción en diferentes tipos de características geomecánicas presentes en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?
- ¿Qué medidas de optimización se pueden desarrollar para el uso de la tuneladora (TBM) en el esquisto de sericita en el Proyecto San Gabán III?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Justificación teórica**

Esta investigación aporta base conceptual sobre la respuesta de túneles excavados con TBM en macizos metamórficos anisótropos, en particular micaesquistos de sericita, un escenario poco documentado en el contexto andino. La literatura internacional advierte que predecir el rendimiento en roca dura depende de la interacción entre propiedades de la roca intacta, desorden estructural del macizo y estado tensional, con sensibilidad elevada a la foliación y a la cinemática de juntas (Hassanpour, Rostami, & Zhao, 2011; Rostami, 2016). Asimismo, la excavación en medios estructurados y fallados exige marcos que integren clasificación geomecánica y lectura operativa, con énfasis en anisotropía y heterogeneidad espacial (Barton, 2000; Barla & Pelizza, 2000). El estudio consolida esa articulación para condiciones de sericita, incorporando parámetros de macizo y lectura de producción horaria depurada, lo que robustece la comprensión del nexo geología–desempeño con utilidad teórica para modelos de predicción y calibración futura. En paralelo, la evidencia reciente sobre efectos dinámicos de corte y variabilidad por juntas sugiere líneas de afinamiento numérico para escenarios reales de avance continuo (Karami, Zare, & Rostami, 2022), frente a los cuales este trabajo ofrece insumos organizados y comparables.

### **1.3.2 Justificación práctica**

El país demanda lineamientos aplicados para operar TBM en macizos foliados con variabilidad estructural, a fin de planificar secuencias, ventanas de recambio y buffers de sostenimiento de manera informada. La literatura técnica resalta que ajustar expectativas de avance y consumo de herramientas en función de clase geomecánica y litología reduce paradas, mejora la continuidad de ciclo y disminuye costos indirectos (Rostami, 2016; Barla & Pelizza, 2000). Este estudio ordena evidencia de campo en

sericita que permite discriminar jornadas homogéneas y contrastar ritmos por tipología, facilitando decisiones de programación, logística de pernos y estrategias de paso por tramos más fracturados. El resultado práctico es una guía operativa reproducible: priorización de ventanas de inspección y cambio de discos en medios más competentes, resguardo de flujo en regímenes intermedios y orquestación de recursos de sostenimiento donde la fragmentación penaliza el ciclo. Tales pautas son transferibles a obras con TBM en roca dura bajo condiciones análogas, reforzando la preparación de frentes y la coordinación entre geotecnia y operación (Hassanpour et al., 2011; Barton, 2000).

### **1.3.3 Justificación social**

La construcción de infraestructura hidroeléctrica con gestión técnica del subsuelo contribuye a metas de desarrollo y a la resiliencia energética regional. Un desempeño operativo estable en la excavación con TBM acorta plazos, reduce riesgos y favorece la entrada en operación de centrales que amplían el acceso a energía asequible y confiable, en sintonía con los ODS 7 y 9, y con co-beneficios para ciudades y comunidades (ODS 11) al robustecer servicios públicos y cadenas productivas. Además, optimizar la interacción roca-máquina en medios complejos disminuye contingencias de seguridad y exposición de cuadrillas, con efecto directo en bienestar laboral. En términos ambientales, una puesta en marcha más eficiente de activos hidroeléctricos apoya trayectorias de descarbonización y gestión de la demanda (ODS 13), integrando criterios de producción responsable (ODS 12). La experiencia comparada sugiere que anticipar el comportamiento del macizo y ordenar las operaciones reduce eventos disruptivos y su huella asociada (Rodríguez Toro, 2020; Zhang et al., 2024). Este trabajo aporta un marco de lectura y organización de datos que facilita decisiones informadas, con beneficios sociales vinculados a continuidad del servicio eléctrico y a entornos de trabajo más seguros.

### **1.3.4 Justificación metodológica**

Se adopta un enfoque cuantitativo con diseño no experimental y seguimiento longitudinal por progresivas, coherente con la naturaleza observacional de la excavación con TBM. La estrategia integra tres niveles: caracterización geológica descriptiva de frente/hastiales, clasificación geomecánica mediante RMR/RQD con corrección por orientación, y lectura operativa depurada por jornada, distinguiendo “puras” de “genéricas” para evitar sesgos de mezcla. Este ensamblaje metodológico permite preservar la trazabilidad estación–progresiva y aislar la respuesta del medio sobre la continuidad del ciclo, en línea con buenas prácticas para predicción/lectura de desempeño en roca dura (Hassanpour et al., 2011; Rostami, 2016). Se incorporan, cuando corresponden al mismo tramo y periodo, resultados de roca intacta ( $\sigma_c$ , tracción, módulo elástico) como complemento de la clasificación, sin ensayos adicionales ni recalibraciones fuera del acervo disponible. La coherencia entre fichas geomecánicas, evidencia visual y planillas de jornada sostiene la validez interna; la depuración de jornadas respalda la comparabilidad entre tipologías y litologías. El diseño, por tanto, alinea mediciones estandarizadas y lectura operativa para responder de modo riguroso a las preguntas planteadas.

### **1.3.5 Justificación económica**

Ordenar el desempeño de TBM por clase geomecánica y litología habilita decisiones que impactan directamente el costo horario y el plazo crítico. La programación de recambios de herramientas, la gestión de buffers de sostenimiento y la priorización de secuencias en tramos de mejor continuidad reducen pérdidas por paradas, sobretiempos y descoordinaciones logísticas. La literatura muestra que modelos de desempeño calibrados y protocolos operativos situados mejoran confiabilidad de cronogramas y disminuyen la varianza de producción, con efectos sobre CAPEX indirecto y OPEX de obra (Rostami, 2016; Afradi, Ebrahimabadi, & Hedayatzadeh, 2024). En medios anisótropos, comprender

cómo la estructura del macizo incide en el consumo de discos y en la cadencia del ciclo permite asignar recursos con eficiencia y mitigar riesgos de interrupción (Barton, 2000; Barla & Pelizza, 2000). Este estudio aporta un cuerpo organizado de evidencias y pautas operativas que sirven para estimar ventanas factibles de avance y necesidades de sostenimiento, con potencial de traducirse en ahorros por menor incertidumbre en rendimientos y en mayor robustez de rutas de construcción.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Evaluar la influencia del esquisto de sericita en el rendimiento de la tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades geológicas del esquisto de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.
- Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso conformado por esquisto de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.
- Evaluar el desempeño operativo de la tuneladora (TBM) en diferentes tipos de características geomecánicas en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.
- Proponer medidas para la optimización del uso de la tuneladora (TBM) sobre el macizo rocoso conformado por esquisto de sericita mediante cuadros de rendimiento.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

do Carmo y Nogueira (2024) en su artículo titulado “*Estudo de caso de instrumentação geotécnica das escavações com tuneladora TBM na expansão da linha 2 verde do metrô de São Paulo*” presentan el problema de controlar los recalces y preservar la integridad de las estructuras en un contexto urbano denso durante la excavación con tuneladora entre la futura estación Vila Formosa y VSE Coxim, tramo finalizado en abril de 2024. Su objetivo fue comparar los recalces previstos en proyecto con los observados durante el avance de la máquina con el fin de validar el desempeño del monitoreo. La metodología consistió en instrumentación geotécnica con marcos superficiales y tassómetros dispuestos en secciones transversales para registrar desplazamientos verticales, además del seguimiento continuo de la respuesta del terreno y de las estructuras durante el paso de la TBM y la ejecución del grouteo de los anillos. Los resultados evidenciaron concordancia entre las previsiones y las mediciones, con asentamientos durante la pasada de la tuneladora y estabilización posterior al grouteo, y las conclusiones señalan que el sistema de instrumentación fue efectivo y que los recalces se mantuvieron por debajo de los valores de diseño. La importancia de este estudio para la investigación radica en que el control y la lectura de deformaciones permiten relacionar las condiciones del terreno con el rendimiento operativo de la TBM, aportando criterios para interpretar la influencia de litologías anisotrópicas como el esquisto de sericita sobre la estabilidad y sobre el desempeño medido en obra.

Herrera Pino (2021) en su memoria “Análisis de la aplicabilidad de TBM en nivel de producción de minería Block Caving” su objetivo principal consistió en analizar la aplicabilidad de la excavación mecanizada tipo Tunnel Boring Machine en los niveles de producción de la minería

subterránea masiva Block Caving Su metodología comprendió varias etapas, comenzando con la determinación de los parámetros de funcionamiento de las TBM mediante una revisión bibliográfica. Luego, se desarrolló un diseño minero base para el proyecto Chuquicamata Subterránea en Block Caving y se propusieron dos diseños alternativos para adaptar el proceso de construcción a las TBM. A continuación, se utilizó una simulación de Montecarlo para estimar los tiempos y costos de preparación de macrobloques, y se evaluó el impacto económico de los diseños propuestos en el plan de producción. Como resultados obtuvo que los diseños propuestos aumentaron la cantidad de desarrollos por macrobloque en un 6% en comparación con el caso base, pero también generaron incrementos significativos en los tiempos de preparación de macrobloques, con un aumento de 4 meses para el Diseño 1 y 2 meses para el Diseño 2, con costos adicionales de preparación de 55 MUSD y 54 MUSD, respectivamente. Estos retrasos en el inicio de la producción resultaron en una disminución notable de los beneficios totales, con pérdidas de 142 MUSD para el Diseño 1 y 124 MUSD para el Diseño 2. Aunque se utilizó TBM, el 33% de los desarrollos del nivel de producción aún requirieron perforación y tronadura debido a las limitaciones de los radios de giro de las TBM. A pesar de que las TBM ofrecieron tiempos de construcción de túneles más cortos en comparación con la perforación y tronadura, las restricciones de frentes disponibles provocaron interferencias y retrasos en la construcción de túneles y en el cronograma global de preparación de macrobloques. Las conclusiones mostraron que, aunque los diseños adaptados aumentaron la cantidad de desarrollos por macrobloque, también resultaron en mayores costos y retrasos en la preparación, lo que impactó negativamente en los beneficios totales del proyecto. Además, se señaló que las TBM no pueden reemplazar por completo la perforación y tronadura debido a las limitaciones de los radios de giro y las restricciones en las frentes de trabajo, lo que sugiere la necesidad de una combinación estratégica de métodos de excavación. Para esta investigación los hallazgos

revelaron que, si bien las TBM aumentaron la eficiencia en ciertos aspectos, también generaron costos adicionales y retrasos significativos. Esto destaca la importancia de una estrategia equilibrada que combine diferentes métodos de excavación para maximizar la productividad y minimizar los costos en la minería subterránea.

Rodríguez (2020) en su memoria “Desafíos geomecánicos para el uso de TBM en minería masiva de Chile” para optar el grado de ingeniero civil de minas presentado a la Universidad de Chile tuvo como propósito principal, es estudiar las condiciones geomecánicas y de operación para el uso de Tunnel Boring Machine en minería masiva de Chile. Como parte de su metodología se centró en investigar el método de excavación mecanizada mediante el uso de Tunnel Boring Machines (TBM) en la construcción de túneles en condiciones geológicas desafiantes, como gran profundidad, altos esfuerzos y roca dura. Para lograr esto, realizó un estudio bibliográfico exhaustivo de proyectos previos que utilizaron TBM en condiciones similares, examinando variables como filtración de agua, estallidos de roca y zonas con dificultades geotécnicas, junto con los desafíos geomecánicos que enfrentaron. Analizó la viabilidad de utilizar TBM en la minería masiva de Chile, considerando variables de diseño de túneles como longitud, diámetro, radio de curvatura y pendiente. Luego, estimó el rendimiento de una TBM de doble escudo para un túnel subterráneo mediante simulación Monte Carlo. Como resultados encontró que el modelo CSM resultó efectivo para evaluar el rendimiento de una TBM en condiciones geomecánicas desafiantes, considerando tanto el terreno como el diseño de la máquina. La incertidumbre se centró en los valores de resistencia de la roca intacta, abordada mediante 10,000 simulaciones y distribuciones de probabilidad. El rendimiento en 1.6 km de túnel estuvo dentro del rango esperado y se comparó favorablemente con proyectos anteriores, respaldando la utilidad del modelo CSM en la ingeniería de detalle. La conclusión clave fue que las TBM son viables en la minería, pero la planificación precisa, considerando las condiciones geológicas y de diseño

de cada proyecto, es esencial. Además, no se deben generalizar los resultados de un proyecto a otro debido a las diferencias específicas de cada sitio. Esta investigación es importante porque aborda la viabilidad y eficacia del uso de Tunnel Boring Machines (TBM) en la minería masiva de Chile. Este estudio se centra en analizar las condiciones geomecánicas y operativas para implementar TBM en condiciones geológicas desafiantes, proporcionando un marco clave para futuras decisiones de diseño y planificación en proyectos mineros.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Syomik et al. (2025) en su artículo titulado “*Beneath the city: Tunnelling challenges and solutions for the Metro Line 2 viaduct undercrossing in Lima*” presentan el problema de ejecutar un cruce inferior en un entorno urbano con escasa cobertura dentro de un conglomerado compacto que exhibe comportamiento singular frente a la excavación mecanizada, lo que incrementa el riesgo de asentamientos y afecta la estabilidad de las estructuras vecinas. El objetivo es documentar los retos técnicos y las soluciones aplicadas para minimizar los riesgos durante el avance de la tuneladora bajo el viaducto de la Línea 1. La metodología se plantea como estudio de caso con seguimiento de parámetros operativos de la TBM, instrumentación y monitoreo continuo de deformaciones en superficie y en elementos estructurales, y tratamientos del terreno mediante inyecciones sistemáticas de lechada con resina sintética bajo la cimentación del viaducto, registrando la respuesta del medio antes durante y después del paso de la máquina. Los resultados indican control de asentamientos y estabilización posterior al grouteo, mientras que la integración de monitoreo, gestión de presiones y cierre de anillos sostiene el frente y el contorno de excavación. Como conclusión se destaca que la coordinación entre instrumentación, control operacional y mejora del terreno reduce la vulnerabilidad del entorno y sostiene la continuidad del avance. La importancia para el estudio propuesto radica en que el marco de

instrumentación y lectura operativa permite relacionar propiedades del macizo y su anisotropía con el rendimiento operativo de la TBM, enfoque transferible a litologías foliadas como el esquisto de sericita donde la orientación de planos de debilidad condiciona penetración, torque y tasa de avance.

Pejerrey Dioscris (2025) en su investigación titulada *“Máquina perforadora de túneles para optimizar costo y tiempo en la construcción del trasvase de recursos hídricos en la Cordillera de los Andes”* aborda el problema de seleccionar el método más eficiente para el túnel de derivación Lluella Siguas del Proyecto Majes II bajo condiciones geológicas reales y una longitud de 12.8 km. Se define como objetivo determinar el mejor método de construcción considerando las características del macizo y el trazado previsto. La metodología es descriptiva con enfoque cuantitativo no experimental y emplea la evaluación de la calidad del terreno mediante RMR junto con análisis de ruta crítica y rendimientos para estimar tiempos y costos a partir del expediente técnico y obras análogas. Los resultados señalan para TBM una velocidad promedio de 21.97 m por día con una duración total de 42.4 meses y costo directo de 133 millones de dólares, mientras que el método convencional alcanza 3.8 m por día con 44.7 meses y 128 millones de dólares. Como conclusión se sostiene que la TBM resulta la opción más conveniente en el escenario evaluado por su mejor rendimiento y menor duración, aunque la decisión depende de factores geológicos y de la planificación de la ruta crítica, lo que hace pertinente para este estudio relacionar la estructura y anisotropía del macizo con el rendimiento operativo de la TBM ante litologías foliadas como el esquisto de sericita.

Pazos (2021) en su tesis *“Análisis comparativo de la construcción de túnel hidráulico mediante máquina tuneladora tipo escudo simple y método convencional caso Majes Siguas II”* presentado a la Universidad Nacional de Ingeniería tuvo como objetivo principal analizar el

planeamiento de tiempo y costo, así como el proceso constructivo de un túnel hidráulico mediante una TBM tipo escudo simple, y así definir los beneficios de dicha metodología en comparación con el método convencional de construcción. La metodología de esta investigación comenzó con un análisis comparativo entre dos métodos constructivos: el método con Tunnel Boring Machine (TBM) tipo escudo simple y el método convencional para la construcción de túneles. Se utilizó como caso de estudio los túneles hidráulicos Pucará y Trasandino en el proyecto de irrigación Majes Siguan II. Se elaboraron planes de tiempo y costos para cada método. Además, se describió en detalle el proceso constructivo del método con TBM tipo escudo simple, desde las obras preliminares hasta la operación del TBM en la construcción del túnel. Los resultados del estudio indicaron que, para los túneles estudiados, el método de construcción con TBM tipo escudo simple ofreció ventajas significativas en términos de rendimiento de excavación, lo que permitió reducir el plazo de excavación en 9 meses (28%) en comparación con el método convencional. Sin embargo, en función de los precios del proyecto Majes Siguan II, se observó que el costo presupuestado para el método TBM resultó ser mayor en aproximadamente 6 millones de dólares (4%). Además, el análisis de sensibilidad reveló que el método TBM tipo escudo simple tenía un menor incremento en costos y plazos en escenarios desfavorables donde la cantidad de roca de mala calidad superaba las previsiones iniciales. En conclusión, este estudio demostró que, a pesar de un ligero aumento en los costos, el método de construcción con TBM tipo escudo simple proporcionó una significativa ventaja en términos de plazos de excavación y una mayor resistencia a escenarios desfavorables, como la presencia de roca de mala calidad. Esto sugiere que, en proyectos similares a Majes Siguan II con condiciones geológicas y geotécnicas comparables, la elección del método de construcción con TBM tipo escudo simple puede ser una opción más eficiente en términos de tiempo y productividad, a pesar del incremento en el presupuesto inicial. Esta investigación está centrada en comparar la

eficiencia entre el método TBM tipo escudo simple y el convencional en la construcción de túneles hidráulicos, resalta la importancia de optimizar tiempos y costos en proyectos de ingeniería. Los hallazgos sugieren que, a pesar de un ligero aumento en los costos, la adopción del método TBM puede ser más eficiente en términos de plazos y resistencia a condiciones adversas, beneficiando proyectos similares.

Martinez & Yglesias (2021) en su tesis “Estudio geomecánico del macizo rocoso para mejorar la malla de perforación en la galería 700 SW - Mina Pallasca” se estableció como objetivo general la realización de un estudio geomecánico del macizo rocoso con el propósito de mejorar la disposición de perforación. En cuanto a su metodología su enfoque de investigación se caracterizó por su aplicabilidad y el diseño experimental empleado. La población considerada en el estudio fue la veta el inca, y la muestra se extrajo del macizo rocoso de la galería 700 SW. Los datos se recopilaron mediante observaciones en el campo y el análisis de documentos, y se procesaron utilizando métodos analíticos sintéticos y de procesos. Para lograrlo, se llevaron a cabo la evaluación de las características geomecánicas del macizo rocoso, el análisis de la malla de perforación existente y la definición de una malla de perforación adecuada a las características geomecánicas del macizo. Los resultados obtenidos incluyeron un Índice de Calidad de Roca (RQD) de 65, un índice Q de Barton de 6.5 y un índice RMR de 49, lo que indicó que la calidad de la roca era de nivel intermedio. Esto llevó a una reducción en la cantidad de taladros y una eficiencia de perforación del 96%. Concluyó que un estudio geomecánico era esencial en el diseño de actividades de perforación. Esta investigación destaca la importancia de un estudio geomecánico para mejorar la disposición de perforación en la galería 700 SW de la Mina Pallasca. Sus resultados, basados en un análisis riguroso del macizo rocoso, subrayan la necesidad crucial de esta metodología en el diseño de actividades de perforación para una eficiencia óptima.

### 2.1.3 Antecedentes locales

Mamani (2023) en su tesis “Evaluación geomecánica del macizo rocoso de la mina 9-10 de Shougang hierro Perú” tuvo como objetivo determinar las características geomecánicas de macizos rocosos a nivel de bancos como a nivel global de la mina 9-10 de Shougang. Como parte de su metodología realizó un estudio geológico detallado de la zona, considerando la ubicación regional de la mina en la Meseta de Marcona, dentro de la Cordillera de la Costa. Se identificaron las formaciones geológicas presentes en el área, que incluían rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas del Paleozoico y Mesozoico. Posteriormente, se enfocaron en la caracterización del macizo rocoso específico de la mina, que estaba compuesto principalmente por hornfels y diques andesíticos. Se dividió el macizo rocoso en cuatro zonas distintas para su evaluación geomecánica. Esta caracterización se llevó a cabo utilizando técnicas geológicas y geotécnicas, que incluyeron la identificación de propiedades físicas y mecánicas de las rocas, así como el análisis de discontinuidades y estructuras presentes en el macizo rocoso. Los resultados revelaron las características geomecánicas del basamento rocoso según la clasificación RMR en el pasado. Se determinó la calidad del macizo rocoso mediante los parámetros de resistencia y deformación de la roca intacta y de las discontinuidades. En la Zona Norte, se identificó una roca de buena calidad con valores de RMR entre 63 y 70, así como de regular calidad con valores de RMR entre 52 y 60. En la Zona Sur, se encontró una roca de buena calidad con valores de RMR entre 61 y 67, y de regular calidad con valores de RMR entre 57 y 60. La Zona Este presentó roca de buena calidad con RMR entre 62 y 70, y de regular calidad con RMR entre 57 y 59. Finalmente, la Zona Oeste se caracterizó por una calidad regular de RMR entre 46 y 59. Concluyó que los taludes de la zona analizada se encuentran en condiciones de estabilidad según los análisis realizados. Según el análisis de estabilidad global realizado, los factores de seguridad de los taludes en el tajo son mayores que los valores mínimos requeridos para garantizar su estabilidad. Además, al

comparar los resultados obtenidos mediante métodos numéricos y métodos de equilibrio límite, se observa que los obtenidos a través de Phase2 son ligeramente menores que los obtenidos con Slide, pero en ambos casos, los taludes se consideran estables. Esta investigación es importante porque versa sobre la evaluación geomecánica del macizo rocoso de la mina 9-10 de Shougang hierro Perú siendo importante porque permite comprender la estabilidad de los taludes mineros. Sus hallazgos proporcionan datos precisos sobre las características del macizo rocoso, permitiendo una planificación segura y eficiente de las operaciones mineras.

Herrera (2020) en su tesis “Caracterización Geomecánica Del Macizo Rcoso Aplicado Al Análisis De Estabilidad De Taludes En El Yacimiento Jésica, Ocuvi—Lampa—Puno—2015—2016” tuvo como objetivo determinar la importancia de la caracterización geomecánica del macizo rocoso por tipo de alteración hidrotermal para determinada la calidad del macizo rocoso y el análisis de estabilidad de taludes, en la explotación de un yacimiento de alta sulfuración explotado a tajo abierto. Su metodología de la investigación fue de enfoque cuantitativo, diseño no experimental, transeccional de alcance descriptivo correlación. Evalúa los diferentes tipos de alteración hidrotermal, sus características geomecánicas y su distribución en los distintos sectores del tajo abierto Jésica. Luego se realizó el análisis de estabilidad física a nivel de talud global, utilizando el software Slide versión 6.0, considerando al macizo rocoso isotrópico y anisotrópico, teniendo en cuenta las discontinuidades paralelas o semiparalelas al talud. Realizaron ochenta (80) estaciones geomecánicas, cuyo resumen se muestra en el Cuadro 12. Ver anexo C: Estaciones geomecánicas. En los taludes del tajo abierto Jésica, el tamaño de muestra se determinó por el tipo de alteración presente en los dominios estructurales, Este, Oeste y Sur. Se consideraron el número de estaciones geomecánicas por tipo de alteración. Conclusiones a las que llegó fue que en el tipo de alteración hidrotermal y la calidad del macizo rocoso existe correlación positiva muy fuerte. Esta investigación es importante porque determina una

relación entre la calidad del macizo rocoso y la estabilidad de taludes en un yacimiento de alta sulfuración. Este estudio resalta la correlación entre la alteración hidrotermal y la calidad del macizo, proporcionando información vital para la gestión de riesgos en la explotación minera a tajo abierto.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Variable Independiente: Esquisto de sericita**

La geomecánica de rocas es una disciplina que se enfoca en el estudio de la respuesta mecánica y el comportamiento de las rocas bajo cargas y condiciones geológicas específicas. Se utiliza para comprender cómo las rocas se deforman, se fracturan y responden a diferentes condiciones de esfuerzo.

Ruiz (2022) las rocas metamórficas surgen de la profunda transformación de las rocas ígneas o sedimentarias debido al calor, la enorme presión y las permutaciones químicas provocados por grandes sucesos geológicos.

Para prever la reacción de los macizos rocosos ante cualquier intervención que implique un cambio en las circunstancias originales, se requiere un estudio exhaustivo de sus características generales y su conducta utilizando enfoques comunes en la ingeniería geológica y la geotecnia. El entendimiento de la geología subyacente y las observaciones de campo representan aspectos cruciales para valorar la integridad mecánica de las formaciones rocosas. Los resultados obtenidos de pruebas in situ y análisis de laboratorio, junto con la aplicación de criterios empíricos de resistencia y técnicas de modelización, conforman las herramientas esenciales en la mecánica de rocas para determinar las propiedades geomecánicas necesarias en el estudio y la predicción del comportamiento de las rocas y los macizos rocosos (Gonzales de Vallejo, 2002).

## 2.2.1.1 Propiedades básicas de las rocas

### 2.2.1.1.1 Propiedades físicas

#### A.1 Porosidad

La porosidad se define como la relación entre el volumen ocupado por los poros o cavidades en una roca ( $V_p$ ) y el volumen total de la roca ( $V_t$ ). Esta propiedad es de gran relevancia ya que guarda una relación directa con la deformación de la roca y una relación inversa con su resistencia y densidad. La presencia de espacios porosos puede dar lugar a áreas de debilidad en la roca.

La fórmula para calcular la porosidad es:

$$n(\%) = VP/VT$$

#### A.2 Peso específico

El peso específico se refiere a la relación entre el peso de un material por unidad de volumen. Se expresa en unidades de fuerza como newtons, libras-fuerza o kilogramos-fuerza. Generalmente, tanto la gravedad específica ( $\gamma$ ) como la densidad ( $\delta$ ), que es la relación entre la masa y el volumen, presentan valores prácticamente iguales.

$$\delta = \frac{\text{masa} \times \text{aceleración de la gravedad}}{\text{volumen}}$$

#### A.3 Permeabilidad.

La permeabilidad se refiere a la capacidad de una roca para permitir el flujo de agua a través de ella. Por lo general, las rocas exhiben una permeabilidad baja o extremadamente baja. La permeabilidad se evalúa a través de la conductividad hidráulica o el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ), que se expresa en unidades como metros por segundo o medidas similares.

$$k = K \left( \frac{\gamma_w}{\mu} \right)$$

Dónde:

$K = \text{permeabilidad intrínseca}$

$\gamma_w = \text{peso específico del agua}$

$\mu = \text{viscosidad del agua}$

#### **A.4 Alterabilidad.**

La durabilidad de una roca se refiere a su capacidad para resistir la descomposición y los procesos de alteración. También se le conoce como la capacidad de una roca para resistir la erosión. En este contexto, se define como la tendencia de la composición y estructura de la roca a fracturarse. La durabilidad de una roca se evalúa mediante pruebas de trituración tanto en condiciones húmedas como en condiciones secas.

##### **2.2.1.1.2 Propiedades mecánicas**

Steffen, Robertson y Kirsten Ltd. (1985) citado en (Ruiz, 2022) emplearon diversos parámetros geomecánicos en su cálculo del consumo específico de explosivos en la voladura de bancos. Estos parámetros incluyeron el Índice de Calidad de Roca (RQD), la resistencia a la compresión simple (medida en MPa), el ángulo de fricción interna y las características de rugosidad y densidad de las discontinuidades.

#### **B.1 Resistencia a compresión.**

La resistencia a la compresión uniaxial, o compresión simple, representa la máxima carga que un espécimen cilíndrico de roca puede soportar antes de colapsar bajo fuerzas de compresión normal.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{Fuerza de compresión aplicada}}{\text{Área de aplicación}}$$

## **B.2 Resistencia a tracción**

Se refiere a la capacidad del macizo rocoso para resistir la tracción, y suele ser aproximadamente del 5% al 10% de su resistencia a la compresión uniaxial. Sin embargo, en el caso de algunas rocas ígneas, este valor puede variar entre el 12% y el 18%.

### **2.2.1.2 El macizo rocoso**

En la fase de investigación y desarrollo de un proyecto de excavación, resulta esencial disponer de la información adecuada acerca de los aspectos litológicos, estructurales, relacionados con los esfuerzos y la hidrología del macizo rocoso (Hoek, 2006). Cada proyecto de ingeniería implica la necesidad de cuantificar las condiciones del macizo rocoso para realizar cálculos y dimensionar las estructuras correspondientes. Para lograr esto, se han definido variables que influyen en sus propiedades de resistencia, un factor fundamental en ingeniería. Mediante relaciones matemáticas y la asignación de valores numéricos de acuerdo a su relevancia, se obtiene una representación numérica que facilita la estimación de diversos parámetros del proyecto, tales como el tiempo de auto sustentación, las dimensiones de la excavación, las deformaciones, el diseño de sistemas de soporte, la planificación de la secuencia de excavación, entre otros (Giraldo, 2010).

#### **2.2.1.2.1 Propiedades del macizo rocoso**

La comprensión de las propiedades del macizo rocoso es fundamental en numerosos campos de la ingeniería, especialmente en aquellos relacionados con proyectos de excavación y construcción. Estas propiedades del macizo rocoso son determinantes para el diseño, dimensionamiento y evaluación de la estabilidad de obras subterráneas, taludes, cimentaciones, entre otros aspectos.

### **A. Tipo de roca que conforma el macizo rocoso**

Se hace referencia a la diversidad de rocas que componen el macizo rocoso, las cuales pueden variar en su complejidad y composición, ya sea presentando una estructura simple o más elaborada. Cada tipo de roca presente en el macizo tiene su propia resistencia específica. Las rocas ígneas, por ejemplo, son generalmente reconocidas por su elevada resistencia, particularmente cuando presentan una granulometría fina (Abril, 2013). Las rocas metamórficas también exhiben una resistencia considerable, aunque a veces pueden mostrar anisotropía, evidenciada en fenómenos como la foliación y esquistosidad. Por otro lado, las rocas sedimentarias, debido a su estructura y a la debilidad de sus componentes cementantes, tienden a mostrar resistencias menores en comparación con los otros tipos de rocas.

### **B. Estructura del macizo rocoso**

La estructura es una característica del macizo rocoso que ejerce una influencia significativa en su capacidad de resistencia. Existen dos tipos de estructuras en los macizos rocosos. En el caso de las estructuras primarias, estas se formaron durante la génesis de las rocas. Por ejemplo, en las rocas ígneas, la cohesión molecular entre los cristales que las constituyen les confiere una estructura resistente. En contraste, las rocas sedimentarias, que se originan a partir de capas de granos enlazados de manera indirecta, tienden a presentar estructuras con planos de debilidad.

Por otro lado, las estructuras secundarias surgen como consecuencia de las tensiones generadas durante el tectonismo. Estas estructuras pueden manifestarse de diversas formas, como fallas (ya sean locales o regionales), fracturas y diaclasas con un alcance más local. La disposición espacial, el rumbo y el buzamiento de estas estructuras secundarias en relación con la dirección de la excavación tienen un impacto significativo en las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos (Giraldo, 2010).

### C. Estado de conservación de la roca

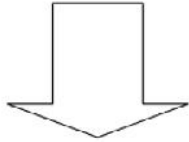
Los procesos de intemperismo tienden a afectar con mayor intensidad las áreas estructurales del macizo rocoso, tales como los planos de estratificación, fallas, fracturas y diaclasas. Estas zonas proporcionan una vía para la acción de agentes físicos y químicos que, con el tiempo, provocan cambios en la resistencia mecánica y en las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

La Tabla 1

Esquema del grado de meteorización y la roca resultante Tabla 1 en el documento ilustra el grado de meteorización y cómo afecta la composición de la roca como resultado de esta acción (Abril, 2013).

**Tabla 1**

*Esquema del grado de meteorización y la roca resultante*

Fenómeno	Efecto	Roca resultante
Meteorización	Grado de meteorización	Roca fresca
Física: Relajación, dilatación/contracción, etc.		Ligeramente meteorizada
		Moderadamente meteorizada
		Altamente meteorizada
		Extremadamente meteorizada
Química: Hidrólisis, oxidación, disolución, carbonatación, etc.	Aumento	Suelo residual

Nota. (UNC, 2007) citado en (Giraldo, 2010)

#### 2.2.1.2.2 Propiedades de las discontinuidades

Las discontinuidades juegan un papel fundamental en la configuración de las propiedades y el comportamiento de los macizos rocosos, teniendo un impacto significativo en su resistencia, deformación y comportamiento hidráulico. En particular, la resistencia al corte de las discontinuidades se erige como el factor principal para determinar la

resistencia de macizos rocosos fracturados de alta dureza. Para evaluar esta resistencia, es imperativo establecer las características y propiedades específicas de los planos de discontinuidad (González de Vallejo, 2002).

Las discontinuidades sistemáticas se manifiestan como grupos de fracturas que poseen una orientación y características relativamente consistentes entre sí. Según (González de Vallejo, 2002) se tiene las siguientes propiedades de las discontinuidades:

### **Orientación**

La orientación de un plano de discontinuidad se determina a través de su rumbo o dirección, que se refiere al ángulo que forma una línea horizontal trazada sobre el plano de discontinuidad con el norte magnético, medido en dirección este. También se incluye el buzamiento, que indica el sentido en el que el plano se inclina con respecto a la horizontal.

### **Continuidad**

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad se mide por su extensión superficial, evaluando su longitud a lo largo de la dirección del plano y su inclinación. Este parámetro es fundamental, aunque su cuantificación puede ser desafiante, ya que la observación en afloramientos suele mostrar las trazas de los planos de discontinuidad de manera aparente debido al buzamiento.

### **Rugosidad**

La descripción y medición de la rugosidad se realiza principalmente para evaluar la resistencia al corte de los planos de discontinuidad. En el caso de discontinuidades sin cohesión, esta resistencia se puede estimar a partir de datos de campo y expresiones empíricas.

### **Abertura**

La abertura se refiere a la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no está rellena. Este parámetro puede

variar significativamente en diferentes partes de un mismo macizo rocoso. Mientras en la superficie la abertura puede ser considerable, tiende a disminuir con la profundidad.

### **Relleno**

Los materiales presentes en el interior de la discontinuidad se conocen como relleno. La competencia de la masa rocosa se ve afectada por la naturaleza de estos materiales. Cuando los materiales son suaves, la roca es menos competente, pero si son más duros, la roca muestra una mayor competencia mecánica.

#### **2.2.1.3 Clasificación geomecánica**

En la fase de evaluación de un proyecto, disponer de una clasificación del macizo rocoso ofrece múltiples ventajas. Como resultado, uno o varios sistemas de clasificación de macizos rocosos se pueden utilizar para describir su composición y propiedades, lo que facilita la estimación preliminar de las necesidades de sostenimiento, así como las propiedades relacionadas con la resistencia y deformación del macizo rocoso (Giraldo, 2010).

Las clasificaciones de los macizos rocosos, según (González de Vallejo, 2002), se fundamentan en uno o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico, los cuales incluyen:

- Propiedades de la matriz rocosa.
- Frecuencia y tipo de las discontinuidades
- Grado de meteorización o alteración.
- Estado de tensiones in situ.
- Presencia de agua.

Las clasificaciones más relevantes en el campo de la mecánica de rocas son aquellas que se centran en aspectos geomecánicos. En particular,

la RMR de Bieniawski y la Q de Barton son ampliamente utilizadas. Estas clasificaciones establecen distintos niveles de calidad del macizo basándose en las propiedades de la matriz rocosa y las discontinuidades. Además, proporcionan valores estimados de las propiedades resistentes globales del macizo rocoso. Existen otras clasificaciones que se basan en diversos parámetros que representan, en mayor o menor medida, las propiedades del conjunto del macizo rocoso.

### 2.2.1.3.1 Índice de designación de calidad de la roca (RQD)

El índice RQD, propuesto por Deere et. al. (1966), cuantifican la relación entre la longitud total de los fragmentos de testigo recuperado en una perforación que tienen más de 10 cm de longitud y la longitud total del tramo evaluado. Este índice establece una relación numérica que refleja la calidad del macizo rocoso en términos de su estabilidad en túneles.

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de los trozos de testigo} > 10\text{cm}}{\text{longitud total}} \times 100$$

Cálculo del parámetro RQD (Deere et. al., 1966)

Este parámetro geotécnico, inicialmente concebido para mediciones en testigos de diámetro 54.7 mm (Tamaño NX), fue revisado y validado en 1974 por su creador para aplicarse a testigos sin restricción de diámetro. Actualmente, se ha convertido en una medida estándar en muestras de perforación y se ha incorporado como un componente valioso en diversas técnicas que evalúan la calidad de las rocas. Un ejemplo de su aplicación es el criterio de ruptura de macizos rocosos propuesto por Hoek y Brown (1980) y Hoek y Bray (1981), que considera la ruptura en forma de cuña, ocurriendo a lo largo de dos discontinuidades. Estos enfoques utilizan este parámetro para cuantificar la calidad de la roca, tanto en proyectos de ingeniería civil como en proyectos mineros, donde se busca caracterizar la roca desde una perspectiva geotécnica (Alvarado, 2020).

El RQD ha ganado popularidad debido a su simplicidad y facilidad de uso. No obstante, su efectividad se ve afectada por la variabilidad en los resultados, ya que la percepción y la medición de este parámetro pueden variar en función de la experiencia de quien lo observe y mida, lo que lo hace subjetivo. Además, es importante destacar que el RQD está sujeto a limitaciones, ya que su valor puede depender de la orientación de la perforación (Alvarado, 2020).

La **Tabla 2** aborda la evaluación de la calidad del macizo rocoso a partir del grado de fracturación, que se cuantifica a través del índice RQD. Esta clasificación categoriza el macizo rocoso en distintos niveles de calidad. A continuación, se proporciona el método para calcular el RQD y se detalla cómo se relaciona con la calidad de la roca.

**Tabla 2**

*Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD*

RQD %	Calidad
<25%	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Nota. Tomado de (Deere et al., 1966)

#### **2.2.1.3.2 Sistema de clasificación geomecánica (RMR)**

Desarrollada por Bieniawski en 1973 y posteriormente actualizada en 1979 y 1989, la RMR (Rock Mass Rating) es un sistema de clasificación de macizos rocosos que facilita la relación entre indicadores de calidad y los aspectos geotécnicos del macizo, así como de la excavación y el soporte en túneles. En esta clasificación, se consideran los siguientes parámetros geomecánicos:

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

La influencia de estos factores en el comportamiento geomecánico de un macizo se refleja mediante el índice de calidad RMR, que se conoce como "Rock Mass Rating" y tiene un rango de valores de 0 a 100. La aplicación de esta clasificación implica la subdivisión del macizo rocoso en segmentos o tramos con propiedades geológicas relativamente homogéneas, según las observaciones realizadas en el campo. En estos tramos, se recolectan datos y mediciones que abordan tanto las propiedades como las características de la matriz rocosa y las discontinuidades (González de Vallejo, 2002).

Para determinar el valor del índice RMR para cada una de las áreas se sigue el método descrito en la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 tomados de "Ingeniería geológica", por González de Vallejo, 2002.

**Tabla 3**

*Parámetros de clasificación RMR*

<b>1. Resistencia de la matriz rocosa intacta</b>	Ensayo de carga puntual ( $I_{S_{50}}$ ):	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para rangos menores, usar Compresión simple
	Compresión simple ( $\sigma_{ci}$ ):	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 / 1 - 5 / < 1 MPa
	Puntuación:	15	12	7	4	2 / 1 / 0

<b>2. RQD (Rock Quality Designation)</b>	Rango:	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Puntuación:	20	17	13	8	3
<b>3. Separación entre diaclasas</b>	Rango:	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm
	Puntuación:	20	15	10	8	5
<b>4. Estado de las discontinuidades</b> (Suma de sub-parámetros)	Longitud (Persistencia):	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	Puntuación:	6	4	2	1	0
	Abertura:	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación:	6	5	4	1	0
	Rugosidad:	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave (Espejo de falla)
	Puntuación:	6	5	3	1	0
	Relleno:	Sin relleno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm
	Puntuación:	6	4	2	2	0
<b>5. Agua freática</b>	Alteración (Impermeabilidad):	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación:	6	5	3	1	0
	Caudal por 10 m de túnel:	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
<b>5. Agua freática</b>	Relación Presión/Tensión:	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general:	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación:	15	10	7	4	0

Nota: Tomado de "Ingeniería geológica", por González de Vallejo, 2002.

**Tabla 4**

*Corrección por la orientación de las discontinuidades*

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Nota: Tomado de "Ingeniería geológica", por González de Vallejo, 2002.

**Tabla 5***Clasificación y tipo de roca según RMR*

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

Nota: Tomado de “*Ingeniería geológica*”, por González de Vallejo, 2002.**Tabla 6***Características geotécnicas*

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15m de vano	6 meses con 8m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 10.5m de vano	30 minutos con 1m de vano
Cohesión	> 4Kp/cm <sup>2</sup>	4Kp/cm <sup>2</sup>	4Kp/cm <sup>2</sup>	4Kp/cm <sup>2</sup>	4Kp/cm <sup>2</sup>
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Nota: Tomado de “*Ingeniería geológica*”, por González de Vallejo, 2002.**Tabla 7***Orientación de las discontinuidades en el túnel*

Orientación respecto al eje del túnel	Condición excavación	de	Rango Buzamiento	de	Valoración Cualitativa
Dirección perpendicular al eje del túnel	Excavación buzamiento	con	45° - 90°		Muy favorable
Dirección perpendicular al eje del túnel	Excavación buzamiento	con	20° - 45°		Favorable
Dirección perpendicular al eje del túnel	Excavación buzamiento	contra	45° - 90°		Media
Dirección perpendicular al eje del túnel	Excavación buzamiento	contra	20° - 45°		Desfavorable
Dirección paralela al eje del túnel	N/A		45° - 90°		Muy desfavorable

Orientación respecto al eje del túnel	Condición excavación	de Rango de Buzamiento	de Valoración Cualitativa
Dirección paralela al eje del túnel	N/A	20°– 45°	Media
Cualquier dirección	N/A	0° - 20°	Desfavorable

Nota: Tomado de “Ingeniería geológica”, por González de Vallejo, 2002.

**Tabla 8**

*Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR*

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3 - 4 kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60-41	2 - 3 kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 - 2 kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy mala	<20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	<15°

Nota: Tomado de “Ingeniería geológica”, por González de Vallejo, 2002.

### 2.2.1.3.3 Índice de calidad de tuneladora (Q)

La Clasificación Q, creada por Barton, Lien y Lunde en 1974 tras analizar numerosos túneles, representa un sistema de clasificación de macizos rocosos. Su función principal es la estimación de parámetros geotécnicos del macizo y la formulación de diseños para sistemas de sostenimiento en túneles y cavidades subterráneas. El índice Q se desarrolla a partir de la evaluación cuantitativa de seis parámetros, que se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{RDQ}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

$J_n$  = índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

$J_r$  = índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

$J_a$  = índice que indica la alteración de las discontinuidades.

$J_w$  = coeficiente reductor por la presencia de agua. SRF (stress reduction factor) = coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso. Los tres factores de la expresión representan:

$$\frac{RDQ}{J_n} : \text{el tamaño de los bloques}$$

$$\frac{J_r}{J_a} : \text{la resistencia al corte entre bloques}$$

$$\frac{J_w}{SRF} : \text{la influencia del estado tensional}$$

#### 2.2.1.3.4 Índice de Excavabilidad de Roca (RME)

El índice conocido por sus siglas en inglés como Rock Mass Excavability (RME), propuesto por Bieniawski y colaboradores en 2006, fue desarrollado específicamente para proyectos de construcción que emplean tuneladoras. Su objetivo es clasificar los macizos rocosos y prever la facilidad con la que pueden ser excavados, lo que permite decidir entre el uso de tuneladoras o métodos constructivos convencionales, así como estimar el rendimiento esperado de las tuneladoras (Ricai, 2019). De manera similar al índice RMR, el cálculo del RME requiere disponer de valores que permitan evaluar las propiedades de la roca, los cuales se presentan en la Tabla 9

**Tabla 9**

*Valores para cálculo de índice RME*

Parámetro Principal	Variable / Rango	Puntuación
<b>1. Resistencia a Compresión Uniaxial</b>	$\sigma_{ci} < 5$ MPa	0 <sup>(1)</sup>
( $\sigma_{ci}$ de roca intacta)	5–30 MPa	10
[Máx. 15 puntos]	30 - 90 MPa	15

Parámetro Principal	Variable / Rango	Puntuación
	90 - 180 MPa	5
	$\sigma_{ci} > 180$ MPa	0
<b>2. Perforabilidad</b>	DRI > 80	15
(DRI - Drilling Rate Index)	80 - 65	10
<i>[Máx. 15 puntos]</i>	65 - 50	7
	50 - 40	3
	DRI < 40	0
<b>3. Discontinuidades en el Homogeneidad: frente</b>		
<i>[Máx. 40 puntos]</i>	Homogéneo	10
	Mixto	0
	<b>N.º de juntas por metro:</b>	
	0 - 4	5
	4 - 8	10
	8 - 15	20
	15 - 30	15
	> 30	0
	<b>Orientación respecto al eje del túnel:</b>	
	Perpendicular	10
	Oblicua	5
	Paralela	0
<b>4. Tiempo de autoestabilidad</b>	< 5 horas	0
(Stand-up time)	5 - 24 horas	2
<i>[Máx. 25 puntos]</i>	24 - 96 horas	10
	96 - 192 horas	15
	> 192 horas	25
<b>5. Afluencia de agua</b>	> 100 l/s	0
(Caudal en el frente)	70 - 100 l/s	1

Parámetro Principal	Variable / Rango	Puntuación
[Máx. 5 puntos]	30 - 70 l/s	2
	10 - 30 l/s	4 <sup>(2)</sup>
	< 10 l/s	5

Fuente: Bieniawski et al. (2006).

**Notas Técnicas de la Tabla:**

- **(1):** En rocas extremadamente blandas (< 5 MPa), la puntuación es 0 debido a problemas de atranque o inestabilidad inmediata frente a la TBM, no por dureza.
- **(2):** El valor original en la imagen para el rango 10-30 l/s presenta un asterisco (\*\*0), lo cual suele indicar una penalización condicional severa en ciertos contextos geológicos saturados, aunque el valor base asignado es 4.

\*Para doble-escudo y escudo simple. \*\*Para rocas arcillosas.

### 2.2.1.3.5 Índice de la Calidad de Túneles para TBM ( $Q_{TBM}$ )

En 1946, Terzaghi propuso una clasificación de las rocas atendiendo a su capacidad para soportar cargas. Más adelante, en 1958, Lauffer desarrolló un sistema de clasificación enfocado en la duración del auto sostenimiento de las excavaciones. Posteriormente, en 1964, Deere et al (1966) introdujeron el índice RQD. Todos estos métodos fueron concebidos con el fin de definir el tipo de sostenimiento más apropiado para excavaciones ejecutadas mediante el método de Perforación y Voladura (P&V).

Con el transcurso del tiempo, se incorporaron nuevas clasificaciones en el ámbito de la geomecánica de rocas. Wickman et al. (1972), Bieniawski (1973) y Barton (1974) propusieron metodologías adicionales para la clasificación de macizos rocosos en el contexto de excavaciones ejecutadas mediante el método de Perforación y Voladura (P&V). No obstante, cabe señalar que dichas clasificaciones, en sus formulaciones iniciales, no contemplaron las excavaciones realizadas con Tuneladoras de Excavación (Tunnel Boring Machines, TBMs).

Con el desarrollo tecnológico de las Tuneladoras de Excavación (TBMs) y su uso cada vez más frecuente en la construcción de túneles de gran escala —gracias a las ventajas que ofrecen frente al método de Perforación y Voladura (P&V)—, surgió la necesidad de establecer nuevas clasificaciones

geomecánicas que permitieran evaluar de manera específica las condiciones del macizo rocoso en este tipo de excavaciones. Entre dichas propuestas, destaca el índice QTBM formulado por Barton en el año 2000, el cual, como complemento del reconocido índice Q, incorpora parámetros adicionales para ajustar la caracterización del macizo rocoso a las particularidades de las excavaciones con TBMs. Esta metodología se describe en detalle en el apéndice A3 y ha sido analizada en trabajos posteriores (Bieniawski et al., 2006; Leitner & Schneider, 2003; Abril, 2013).

$$Q_{TBM} = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{\sigma_{mass}}{F} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \times \frac{\sigma_\theta}{5}$$

Donde:

$\sigma_{mass}$  = Resistencia estimada del macizo rocoso, medido en la dirección del túnel.

F = Fuerza media aplicada por cortador (ton,  $\approx 10$  kN), normalizado en 20 ton.

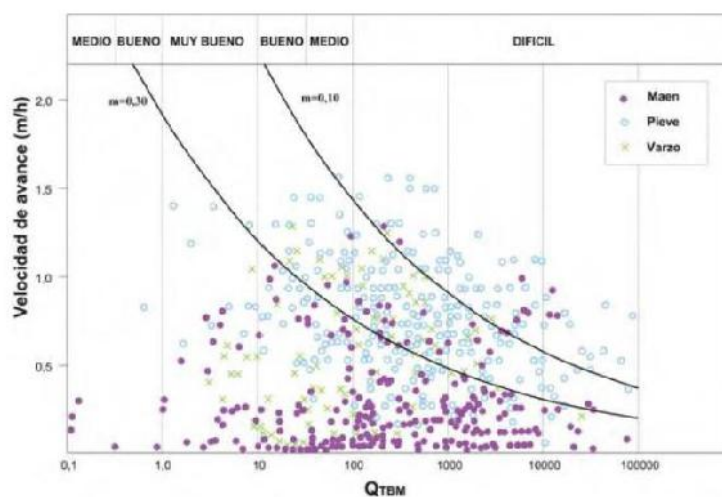
CLI = Índice de duración de los cortadores (cutters life index)

q = Contenido de cuarzo en el terreno (%).

$\sigma_\theta$  = Esfuerzo biaxial inducido en el frente del túnel (MPa) en la misma zona. Normalizado a una profundidad de 100 m.

## Figura 2

*Velocidad de avance para tres túneles construidos con tuneladora en función de QTBM*



El índice QTBM ha recibido críticas de diversos autores por su limitada consistencia al estimar el rendimiento de las tuneladoras. En el artículo titulado “TBM performance estimation using rock mass classification”, Sapigni et al. (2002) concluyeron que la correlación obtenida es débil, lo que dificulta realizar predicciones precisas sobre el desempeño de las tuneladoras. Esta limitación se evidencia en las correlaciones presentadas en la Figura 2 del estudio.

### 2.2.1.3.6 Clasificación Geomecánica de Romana Slope Mass Rating (SMR)

La clasificación geomecánica denominada Slope Mass Rating (SMR), elaborada por Romana en 1985 y posteriormente revisada, se deriva del índice RMR89 propuesto por Bieniawski en 1989. Romana, Serón y Montalar (2001), indica que: El valor del índice SMR se calcula añadiendo al RMR básico un factor de ajuste, determinado por la orientación de las juntas y obtenido como el producto de tres subfactores ( $F1 \cdot F2 \cdot F3$ ), junto con un factor

de excavación ( $F_4$ ) que está condicionado por el método de excavación empleado. La expresión es la siguiente:

$$SMR = RMR_{89} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Donde:

RMR89 es el RMR básico desarrollado por Bieniawski en 1989, se obtiene de acuerdo a los parámetros para obtener el RMR<sub>89</sub>, considerando valores de clasificación de cinco parámetros (i) resistencia a la compresión simple de roca intacta, (ii) R.Q.D. (medido o estimado), (iii) espaciado de las discontinuidades, (iv) condiciones de las discontinuidades, (v) presencia de agua subterránea.

$F_1$  representa el paralelismo entre la orientación de las discontinuidades ( $\alpha_j$ ) y del talud ( $\alpha_s$ ). Donde “A” es el ángulo entre la dirección de buzamiento del talud y la discontinuidad.

$F_2$  está dado por el buzamiento de la discontinuidad ( $\beta_j$ ).

$$F_1 = (1 - \text{sen}A)^2$$

$F_3$  es la relación entre los buzamientos del talud ( $\beta_s$ ) y las discontinuidades ( $\beta_j$ ), se toma de Bieniawski, 1976.

$F_4$  representa el factor de ajuste por el método de excavación empleado.

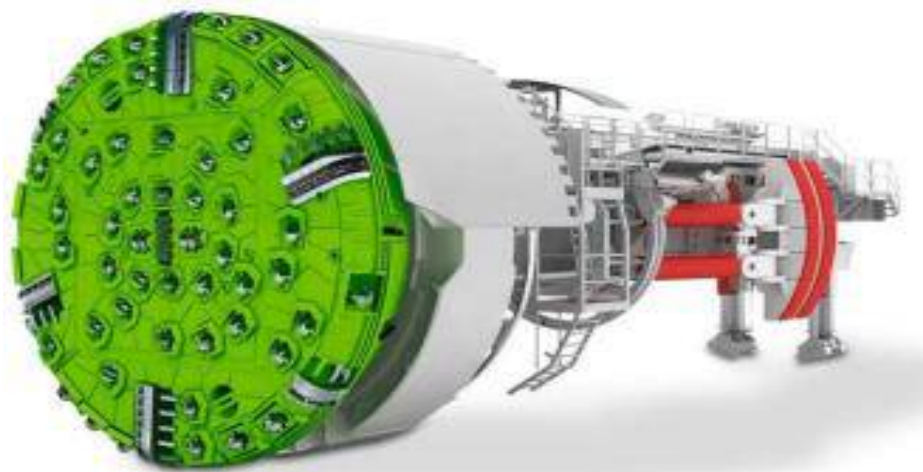
### 2.2.2 Variable dependiente: Tunnel Boring Machine TBM

Las tuneladoras, también conocidas como TBM (por sus siglas en inglés Tunnel Boring Machine), son equipos capaces de excavar túneles con una sección completa y de forma circular (Ver Figura 3). La excavación se lleva a cabo mediante una cabeza giratoria que está equipada con discos de corte y es impulsada por

motores hidráulicos que reciben energía de motores eléctricos. El avance de la tuneladora se logra mediante un sistema de gatos hidráulicos que se apoyan en zapatas móviles o en el sostenimiento previamente instalado, dependiendo del tipo de tuneladora utilizada. La roca fragmentada se extrae posteriormente a través de cintas transportadoras. Además de la excavación, la máquina también desempeña un papel en la colocación de sistemas de sostenimiento y la instalación del revestimiento final, en función del tipo de tuneladora empleada (Pazos, 2021).

### Figura 3

*Tuneladora TBM de escudo simple con gripper*



Nota. Adaptado de Herrenknecht, (2023)

Los enfoques de construcción de túneles en roca se dividen en tres fases distintas: la excavación, el sostenimiento y el revestimiento. La elección del tipo de método constructivo se basa en una serie de parámetros que incluyen aspectos como la ubicación del trazado, la geología, la hidrogeología, la geomecánica, la geotecnia, el tipo de suelo, la calidad y competencia de la roca, problemas geotécnicos, dimensiones de la sección del túnel, longitud del proyecto, niveles de seguridad requeridos, consideraciones ambientales, plazos de construcción, entre otros factores (Diederichs, 2007).

Por lo tanto, la importancia de evaluar la influencia geomecánica de las rocas metamórficas en el funcionamiento de las tuneladoras (TBM) no debe subestimarse. Estas máquinas desempeñan un papel fundamental en la excavación

de túneles, pero su eficacia depende en gran medida de la geología y la geomecánica de la roca que encuentran. Las rocas metamórficas, con sus características y propiedades específicas, pueden presentar desafíos únicos para la excavación con TBM. Comprender cómo estas rocas afectan el rendimiento de la tuneladora es esencial para garantizar un proceso de construcción seguro y eficiente. Además, esta comprensión influye en la selección de métodos constructivos y en la toma de decisiones relacionadas con la geotecnia y el sostenimiento. En resumen, evaluar la influencia geomecánica de las rocas metamórficas es un paso crucial en la planificación y ejecución de proyectos de túneles con TBM.

### **2.2.2.1 Partes principales de las TBM**

Las partes principales de las tuneladoras de TBM son las siguientes:

- TBM (Tunnel Boring Machine) Máquina Perforadora de Túnel: Máquina capaz de excavar túneles a sección completa, a la vez que colabora en la colocación del sostenimiento del túnel si ésta es necesaria, ya sea de forma provisional o definitiva.
- Erector de Cimbra: Dispositivo que apoya en la instalación de cimbras metálicas funciona hidráulicamente y se encuentra detrás del cabezal de corte de la TBM.
- Cabezal de Corte: Rueda metálica accionada por motores eléctricos posee en su superficie 38 cortadores los cuales al contacto con la roca realizan la excavación por Presión y rodadura.
- Zapatas de Agarre (Gripper): Soporte metálico encargado de transferir la presión de agarre o anclaje de la maquina hacia la superficie laterales del túnel.
- Cilindros de Empuje: Conjunto de cilindros hidráulicos conectados entre las zapatas de agarre y la biga principal se encargan de dar el empuje necesario para el avance del cabezal de corte durante la perforación.

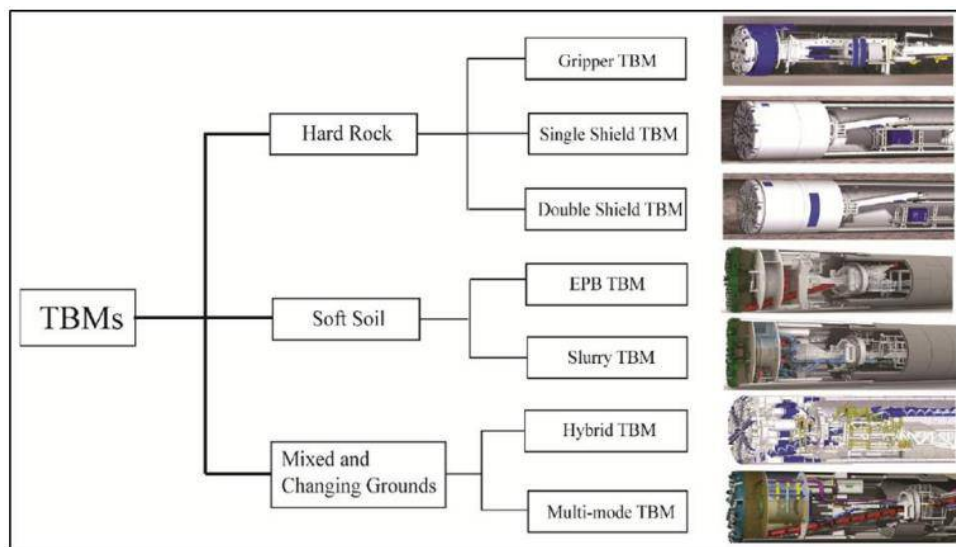
### 2.2.2.2 Clasificación de las TBM

Se categorizan de acuerdo a su aplicación en suelos, roca dura o condiciones mixtas. Como se ilustra en la Figura 4, estas máquinas varían según las condiciones del terreno en el que operan. Este análisis se concentra en el uso en entornos de roca dura, específicamente, se examinan muestras procedentes de depósitos minerales masivos ubicados a considerables profundidades (Rodríguez, 2020).

Estas máquinas están diseñadas para la perforación en roca dura se dividen en tres tipos: abierta (Gripper), escudo simple (Single Shield) y escudo doble (Double Shield). La elección de la TBM apropiada se basa en las condiciones geológicas y geomecánicas particulares presentes en el lugar de construcción del túnel.

**Figura 4**

*Clasificación de Máquinas TBM*



Nota. Tomado de (Zheng et al., 2016).

### 2.2.2.3 Tipos de TBM para roca dura

#### 2.2.2.3.1 Gripper

Diseñadas para trabajar en terrenos de roca dura y estable, estas máquinas presentan un diseño relativamente sencillo. La parte frontal de la

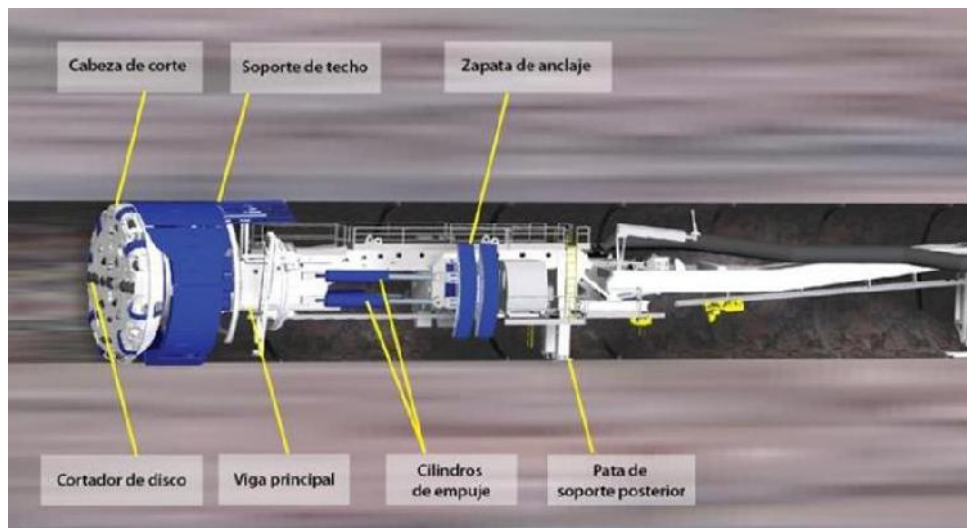
máquina se compone de una cabeza de corte giratoria que coincide en diámetro con el túnel que se va a excavar. Esta cabeza de corte alberga discos cortadores que se disponen según la planificación y la necesidad de reemplazo. A medida que el cabezal gira, un sistema de cilindros de empuje ejerce presión sobre los cortadores, forzándolos contra la roca. La transmisión de estos considerables empujes a través de los cortadores provoca la fractura de la roca, generando lascas que se desprenden del frente de excavación. Mientras esto ocurre, el sistema de zapatas laterales permanece en contacto con las paredes del túnel y permanece estático, al tiempo que los cilindros de empuje se extienden, permitiendo que la TBM aplique presión contra el frente de trabajo (Rodríguez, 2020).

La máquina tiene la capacidad de ser guiada de manera continua, al mismo tiempo que se ancla a las paredes del túnel para contrarrestar la presión generada por la excavación. Los baldes ubicados en el cabezal depositan el material excavado en una cinta transportadora que se encuentra en la viga principal. Una vez completado este proceso, las zapatas vuelven a apoyarse sobre el macizo rocoso, se elevan las patas de soporte posterior, y así se inicia un nuevo ciclo de excavación (Carnero, 2019).

El diseño de una tuneladora TBM de tipo abierto facilita la posibilidad de acceder de manera rápida a la parte posterior de la cabeza de corte para la instalación de elementos de sostenimiento del terreno, como mallas, marcos metálicos y la proyección de hormigón. Esta característica hace que este tipo de máquina sea especialmente adecuada para la construcción de túneles en los que se espera que se requiera un revestimiento mínimo. Los componentes de una TBM abierta se ilustra en la Figura 5.

## Figura 5

### *Componentes principales de una TBM Gripper*



Nota. Adaptado de (Zheng et al., 2016).

#### 2.2.2.3.2 Escudo Simple

Se han diseñado específicamente para excavar en terrenos de roca dura y en macizos rocosos fracturados que son propensos a desprendimientos en forma de cuñas. Estas máquinas llevan este nombre debido a la necesidad de contar con un escudo cilíndrico protector que se coloca detrás de la cabeza de corte, seguido de la instalación de un anillo prefabricado de hormigón. Este anillo cumple la función de proporcionar soporte al túnel, además de proteger a los trabajadores y al equipo de construcción. Las TBM de escudo se utilizan en proyectos en los que se requiere un avance rápido y uniforme, como en la construcción de túneles para carreteras y, en algunos casos, proyectos hidráulicos, sin importar si el macizo rocoso es continuo o fracturado (Rodríguez, 2020).

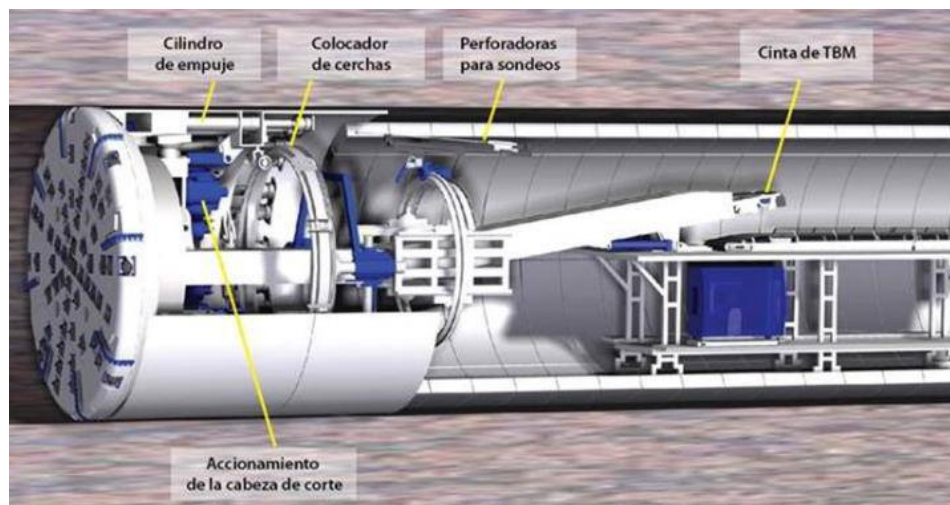
El cuerpo de la máquina se encuentra rodeado por un escudo cilíndrico cuyo diámetro es ligeramente menor al de la excavación del túnel. La cabeza de corte es plana y no presenta protuberancias, lo que contribuye a minimizar las alteraciones en el frente del túnel durante el proceso de excavación. Esta configuración ayuda a prevenir la liberación de grandes bloques de roca que podrían dar lugar a sobreesfuerzos en las operaciones

de perforación. Mientras la cabeza de corte gira, un conjunto de cilindros hidráulicos dispuestos en forma de anillo ejerce presión sobre la máquina, actuando en reacción contra el último anillo prefabricado que ha sido instalado (Rodríguez, 2020).

La aplicación de presión a través de los discos cortadores provoca fracturas en la roca, resultando en la liberación de pequeñas láminas. El proceso de perforación y la instalación del revestimiento del túnel se realizan en una secuencia ordenada. La dirección en la que se guía la máquina se logra al ajustar la orientación de la cabeza de corte articulada según sea necesario. En la Figura 6 se muestran los componentes de la TBM escudo simple.

### Figura 6

#### *Componentes de una TBM escudo simple*



Nota. Tomado de (Zheng et al., 2016).

#### 2.2.2.3.3 Doble Escudo

Las tuneladoras de doble escudo ofrecen la versatilidad de excavar en condiciones de roca buena o en macizos de baja calidad. La máquina se divide en dos partes esenciales: el escudo delantero, que alberga la cabeza de corte y los cilindros principales de empuje, y el escudo trasero, donde se encuentran los cilindros auxiliares, los grippers de apoyo y el sistema erector de dovelas. Entre estos escudos, se desplaza un escudo telescópico de menor

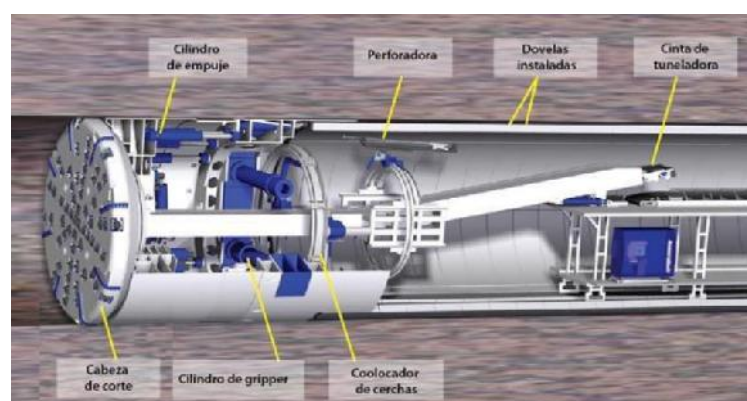
diámetro, lo que permite avanzar el escudo delantero manteniendo la máquina cubierta y protegida del terreno durante el proceso de excavación (Rodríguez, 2020).

Cuando el terreno presenta buenas condiciones, la tuneladora opera en modo de doble escudo (o modo abierto). En esta configuración, los grippers se encargan de resistir tanto el empuje del avance como el torque producido por la rotación de la cabeza de corte. Esto posibilita la colocación simultánea de segmentos de anillos en la parte trasera del escudo mientras la excavación progresa. En situaciones donde la roca es muy estable, incluso se puede obviar la instalación de revestimiento prefabricado (Rodríguez, 2020).

Sin embargo, en terrenos inestables donde los grippers no pueden encontrar el apoyo necesario en el macizo rocoso, la tuneladora opera en modo de escudo simple. Los grippers se cierran, y el empuje requerido para el avance se apoya en el último anillo de dovelas colocado. Los escudos delantero y trasero se retraen y avanzan en conjunto, impulsados por cilindros de empuje auxiliares que se apoyan en el revestimiento. En esta modalidad, no es factible llevar a cabo la excavación y el montaje del revestimiento de dovelas de forma simultánea. En la Figura 7 se presenta un esquema con las partes principales de una TBM doble escudo.

### **Figura 7**

#### *Componentes de una TBM Doble Escudo*



Nota. Adaptado de (Zheng et al., 2016).

#### **2.2.2.4 Consideraciones geomecánicas para la construcción de túneles con TBM en roca dura y grandes profundidades.**

Los desafíos primordiales para las tuneladoras de escudo incluyen terrenos de baja resistencia con una alta cantidad de discontinuidades, macizos rocosos fragmentados, fenómenos de estallido de roca, problemas de drenaje de agua y condiciones de alta carga. A continuación, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de cada uno de estos desafíos mediante una revisión bibliográfica detallada (Rodríguez, 2020).

##### **2.2.2.4.1 Terrenos sometidos a altos esfuerzos**

Dado el origen del mineral, especialmente en depósitos intrusivos y la profundidad de los yacimientos, se experimentan considerables esfuerzos en el lugar y alrededor de los depósitos ubicados a gran profundidad. Por lo general, el esfuerzo vertical aumenta con la profundidad, mientras que el esfuerzo horizontal se incrementa con el movimiento de las placas tectónicas (Larsson, 2004). La construcción de un túnel interrumpe el equilibrio de esfuerzos del terreno, lo que provoca su redistribución. En rocas duras y competentes, esta redistribución puede resultar en estallidos de rocas, desprendimientos y deslizamientos en las paredes del túnel (Rodríguez, 2020).

Las soluciones para los desafíos durante la construcción de túneles con TBM en macizos rocosos sometidos a altos esfuerzos pueden resumirse en tres áreas: la selección adecuada de la TBM, la adaptación de las condiciones del terreno y la optimización de la operación (Rodríguez, 2020, p. 42).

##### **2.2.2.4.2 Terrenos fracturados**

Los terrenos fracturados se refieren a macizos rocosos donde se producen grandes desprendimientos de rocas o eyecciones desde la frente del túnel o las paredes laterales, como resultado de un efecto combinado de daño inducido por inestabilidad estructural (Kaiser, 2006).

Delisio et al. (2013) investigaron los mecanismos de inestabilidad en la frente del túnel, que se ilustran en la Ilustración 2.26. Dependiendo de la estructura presente en el macizo rocoso y el campo de esfuerzos, pueden ocurrir deslizamientos de bloques a lo largo de discontinuidades o pandeo de losas producidas por discontinuidades sub-verticales paralelas a la frente del túnel.

Los macizos rocosos fracturados pueden clasificarse utilizando varios índices, como RQD, GSI, espaciamiento entre fracturas, tamaño de bloque y recuento volumétrico de fracturas. Estos macizos pueden dividirse en tres tipos:

- Macizo rocoso fracturado, caracterizado por la irregularidad en la frente del túnel debido a las estructuras con grandes bloques.
- Macizo rocoso altamente fracturado, con un alto grado de fracturas y un estrecho espaciamiento entre ellas.
- Zonas de falla y corte, a menudo representadas por estratos altamente desintegrados debido al corte, asociadas generalmente con materiales sueltos, blandos y agua subterránea.

Los problemas durante la excavación de un túnel con TBM en macizos rocosos altamente fracturados y con fallas pueden analizarse desde tres perspectivas: la frente del túnel, las paredes del túnel y la entrada de agua. Cuando el macizo está altamente fracturado y presenta estructuras desfavorables.

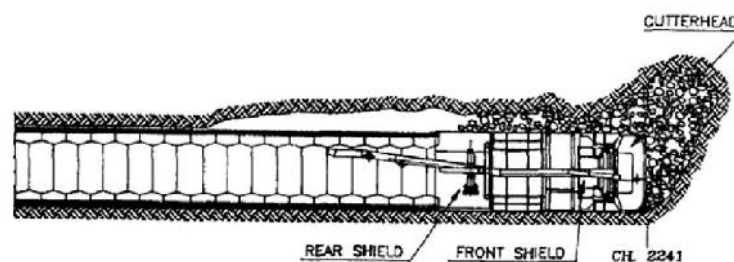
El fenómeno de una frente de túnel fracturado y sus efectos negativos han sido discutidos por Zheng et al. (2016). Los impactos adversos de una frente de túnel fracturado se pueden detallar según lo planteado por Delisio et al. (2013):

1. Grandes fluctuaciones en la fuerza aplicada por los cortadores y impactos dinámicos con daños, derivados de la irregularidad de la frente del túnel, lo que resulta en desgaste del cabezal y de los cortadores.
2. Las vibraciones frecuentes del cabezal de corte pueden exacerbar la inestabilidad de la cara del túnel.
3. Desgaste excesivo del sistema de extracción de material debido al tamaño y forma de los bloques de roca.

Estos problemas ilustran los desafíos inherentes a la excavación en condiciones de frente de túnel altamente fracturado, lo que requiere estrategias específicas para mitigar sus efectos negativos.

### Figura 8

*TBM de doble escudo*



Nota: TBM doble escudo avanzando en un frente altamente fracturado. Tomado de (Gong et al., 2016).

Los problemas y desafíos típicos que enfrentan las TBM en zonas de fallas y cizalle, según Barton (2000), Barla y Pelizza (2000), y Paltrinieri et al. (2016), incluyen:

1. Inestabilidad en la frente de la excavación, especialmente en áreas con materiales sueltos en las zonas de fallas y cizalle.
2. Rotura excesiva del perímetro del túnel, debido a la presencia de discontinuidades y escasas estructuras en el macizo rocoso.
3. Deformación excesiva, causada por la baja resistencia y alta deformabilidad de macizos rocosos de baja calidad y zonas de fallas

débiles. Además, se experimentan cambios frecuentes en los esfuerzos y desplazamientos debido a la presencia de fallas.

4. Ingreso de grandes flujos de agua, principalmente asociados a zonas de fallas que permiten la entrada de agua subterránea.

Para mejorar las condiciones del terreno y abordar estos desafíos durante la excavación, se han implementado con éxito varias medidas, como la instalación de pernos, la excavación de un by-pass utilizando métodos convencionales, y el uso de espumas y resinas como bentonitas para formar un conglomerado artificial y evitar una carga desigual en caso de sobre excavación en la frente del túnel. Además, para estabilizar la frente y las paredes del túnel, se han empleado métodos como:

1. Estabilización y reconstrucción inmediata de las paredes detrás del cabezal de corte utilizando marcos de acero y hormigón proyectado (en una TBM Gripper).
2. Acondicionamiento del macizo rocoso por delante de la frente de excavación mediante perforaciones de inyección.

Estas estrategias han demostrado ser efectivas para mejorar las condiciones del terreno y garantizar la seguridad durante la excavación con TBM en zonas de fallas y cizalle (Rodríguez, 2020).

#### **2.2.2.4.3 Presencia de agua**

El agua desempeña un papel crucial en las excavaciones de túneles. Conocer la geología del terreno es fundamental, ya que un macizo rocoso altamente fracturado o con numerosas discontinuidades puede permitir que el agua fluya hacia la zona de excavación a través de estas fracturas. La presencia de arcillas esmectitas en el terreno puede agravar el problema, ya que estas arcillas tienen la capacidad de absorber agua y expandirse, lo que puede provocar colapsos en el túnel (Rodríguez, 2020).

Cuando el flujo de agua aumenta, puede ser necesario revisar el sistema de soporte utilizado o ajustar el ritmo de avance, lo que a su vez puede causar retrasos a largo plazo en el proyecto (Rodríguez, 2020).

Para abordar los problemas relacionados con el agua subterránea, es fundamental realizar sondeos avanzados, aplicar tratamientos al terreno y establecer sistemas de soporte efectivos. El desarrollo de TBM híbridas y multimodo, capaces de cambiar entre diferentes modos de excavación rápidamente, facilitará el manejo del agua subterránea en proyectos de túneles (Rodríguez, 2020).

#### **2.2.2.4.4 Zonas de Fallas**

Las zonas de falla representan uno de los mayores desafíos en la construcción de obras subterráneas. Por ello, una comprensión adecuada de su origen y una evaluación exhaustiva de su estructura interna son pasos fundamentales para desarrollar un modelo geológico confiable que permita prever el comportamiento geomecánico de las rocas de falla (Rodríguez, 2020).

Una nueva metodología de clasificación, diseñada para describir el impacto de las zonas perturbadas en el rendimiento de las TBM, considera el grado de fracturación y meteorización del macizo rocoso como los factores más significativos (Paltrinieri, 2015). Las posibles filtraciones de agua y la profundidad se consideran como parámetros complementarios, dado que también pueden influir en las operaciones de túneles (y, por ende, en el rendimiento de la TBM más allá de una zona de falla específica).

#### **2.2.2.4.5 Parámetros para la aplicación de las máquinas tuneladoras:**

Para utilizar eficazmente este tipo de equipos, es esencial realizar un análisis exhaustivo de todos los factores que afectan su funcionamiento y rendimiento, comenzando por la geología del terreno para determinar la máquina más adecuada, como se explica a continuación.

### ***A. Consideraciones geológicas:***

El aspecto geológico y geomecánico es crucial en cualquier método de fragmentación de rocas para evitar posibles fallos en la aplicación del sistema de minado. Por ejemplo, la TBM MK-12, diseñada para la excavación de roca dura, resultó inadecuada para el terreno mayormente fracturado, alterado y con abundante agua en Yuncán. Esto se reflejó en su rendimiento subóptimo y en incidentes como el ocurrido en diciembre de 2001, cuando la máquina sufrió un derrumbe. Es importante destacar que, aunque el tipo de terreno influye en la selección de la TBM más adecuada, no limita su aplicación, ya que existen modelos adaptados para cada tipo de terreno. La dureza del terreno afecta la excavación y la vida útil de los cortadores. Por ejemplo, en terrenos deleznales, el avance de las TBM's puede ser lento debido al desprendimiento de rocas del techo y otros factores. Una vez seleccionada la TBM adecuada, los problemas asociados con terrenos deleznales pueden superarse aplicando modelos específicos, como las TBM's con escudo o la TBM EPB en terrenos con abundante agua.

### ***B. Longitud de la excavación:***

La aplicación de máquinas tuneladoras solo es justificable técnica y económicamente por encima de una longitud mínima, que, según estudios realizados en Estados Unidos, es de al menos 2,5 km. En nuestro país, la tesis actual demuestra que esta longitud mínima es de 6,5 km.

### ***C. Fuerza de empuje (thrust):***

La fuerza de empuje se utiliza para introducir los cortadores en la roca, superando su resistencia a la compresión. En terrenos blandos, esta fuerza debe ser mínima para evitar que los cortadores se hundan completamente en la roca, lo que podría dañar tanto los cortadores como la coraza del cabezal. Por el contrario, en terrenos duros, se requiere el máximo avance adecuado.

***D. Velocidad de rotación:***

La velocidad de rotación depende del diámetro del cabezal. A mayor diámetro, menor es la velocidad de rotación. La velocidad de rotación suele estar preestablecida por el fabricante, pero en los equipos TBM más recientes, puede ajustarse automáticamente en una amplia gama de valores dentro de un rango específico.

***E. Disponibilidad de energía:***

La operación de estas máquinas requiere energía de alta tensión, por ejemplo, 22 KV. Esto implica la instalación de líneas de alta tensión hasta la entrada del túnel, donde se reducen a 10,5 KV mediante transformadores instalados en el respaldo de la TBM en el interior del túnel. Desde allí, se bajan a tensiones de 660 V y 440 V para alimentar los motores principales de rotación de la TBM, las bombas hidráulicas y las perforadoras auxiliares para el sondaje y el sostenimiento.

***F. Disponibilidad de personal calificado:***

El personal necesario para operar las máquinas tuneladoras debe tener una gran especialización y experiencia. Los operadores deben contar con una amplia experiencia o recibir un entrenamiento detallado para manejar y dirigir la máquina de manera adecuada, garantizando los rendimientos esperados.

Una maniobra incorrecta de la TBM puede tener consecuencias catastróficas tanto para la máquina como para el personal que trabaja cerca de ella, dada su gran tamaño y la alta energía involucrada en su funcionamiento

## **2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**

### **2.3.1 Roca**

Una roca se define como un cuerpo sólido y cohesivo compuesto por uno o más minerales. Los minerales más abundantes en una roca se denominan minerales esenciales, mientras que aquellos menos abundantes se conocen como minerales auxiliares (Ruiz, 2022).

### **2.3.2 Roca intacta**

La roca intacta se refiere a la porción de un macizo rocoso que no está afectada por discontinuidades ni fracturas. Representa una masa cohesiva de roca que no ha experimentado alteraciones significativas (Ruiz, 2022).

### **2.3.3 Discontinuidades**

Las discontinuidades son planos de origen tectónico o sedimentario que separan partículas o bloques en los macizos rocosos. Estos planos pueden generar debilidades en el macizo que influyen en su estabilidad y comportamiento geotécnico (Ruiz, 2022).

### **2.3.4 Macizo rocoso**

El macizo rocoso consiste en una agrupación de roca intacta y discontinuidades. Representa la masa global de roca en la que se pueden identificar tanto las áreas sólidas como las áreas afectadas por fracturas o planos de debilidad (Ruiz, 2022).

### **2.3.5 Matriz rocosa**

La matriz rocosa se define como el material rocoso que no contiene discontinuidades, o bien los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. Aunque se considera continua, la matriz rocosa exhibe un comportamiento mecánico heterogéneo y anisotrópico debido a su composición mineral y estructura microscópica (González de Vallejo, 2002).

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### 3.1.1 Hipótesis general

- La condición del esquistos de sericita influye directamente en el rendimiento de la TBM en la Central Hidroeléctrica San Gabán III, medido por la velocidad de avance y la continuidad del ciclo (interferencias).

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- El tramo de excavación con TBM se caracteriza por la predominancia de esquistos de sericita con esquistosidad marcada y venillas de cuarzo en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.
- El macizo de esquistos de sericita presenta calidad geomecánica predominante Clase III (RMR corregido), lo que condiciona la excavación con TBM.
- La velocidad de la TBM en jornadas puras varía significativamente con la tipología geomecánica (II–V) y resulta mayor en sericita que en intercalaciones cuarcíticas.
- La implementación de medidas operativas basadas en los cuadros de rendimiento mejora la continuidad del ciclo y optimiza el rendimiento de la TBM en esquistos de sericita.

### 3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.2.1 Identificación de la variable independiente: Esquistos de sericita

##### **Definición Conceptual:**

Conjunto de rasgos litológicos, estructurales y geomecánicos propios del micaesquistos de sericita que determinan su comportamiento en macizo: mineralogía y matriz (foliación/laminación, venillas de cuarzo), sistemas de discontinuidades y su espaciamiento, condición de juntas y presencia de agua; además, parámetros de roca intacta disponibles ( $\sigma_c$ , tracción indirecta, módulo de Young y Poisson). Estas características condicionan el entorno de excavación.

**Definición Operacional:** Caracterización por estación–progresiva con: i) descripción geológica y registro fotográfico del frente/hastiales; ii) levantamiento de discontinuidades (familias F3–F4 y espaciamiento típico), condición de juntas (apertura milimétrica, rugosidad, relleno) y condición hídrica (seco, húmedo, goteando/chorreando); iii) clasificación geomecánica mediante RQD y RMR básico con corrección por orientación (0, –2, –5, –10, –12) para tipificar II–V; iv) incorporación de parámetros de roca intacta cuando constan ( $\sigma_c$  en bandas, tracción indirecta, E,  $\nu$ ). No se extrapolan valores ni se generan estimaciones fuera de los registros.

**Indicadores:** Reconocer diferentes rasgos geológicos en el área de estudio como.

- Progresivas y estaciones: listados de subtramos (inicio–fin) y longitudes. Litología y Matriz: denominación (micasquisto de sericita), foliación/laminación, venillas de cuarzo, brillo micáceo, micropliegues/milonitización cuando aparecen.
- Discontinuidades: familias F3–F4; espaciamiento 0.20–0.60 m (cuando se consigna).
- Condición de juntas: apertura (mm), rugosidad (de rugosa a ligeramente rugosa), relleno blando.
- Condición hídrica: seco, húmedo, goteando/chorreando. RQD (%), RMR(b) y RMR(c) con clase II–V.
- Roca intacta:  $\sigma_c$  (bandas 40–50; 65–85; 120–125 MPa), tracción indirecta (MPa), E (GPa),  $\nu$  (–), según disponibilidad.

**Escalas y unidades de medición:** Específicamente para describir las propiedades del esquisto de sericita (categorías litológicas y de condición), y cuantitativas, como las ordinales (juntas), numéricas (m, %, puntos RMR, MPa, GPa). La unidad espacial es la estación–progresiva.

### 3.2.2 Identificación de la variable dependiente: Rendimiento de la tuneladora en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III

**Definición Conceptual:** Desempeño operativo de la TBM en el tramo evaluado, entendido como ritmo de excavación y continuidad del ciclo bajo condiciones

homogéneas del macizo. Se expresa principalmente mediante la velocidad horaria y se complementa con consumos de sostenimiento por jornada cuando corresponde.

**Definición Operacional:** Medición en jornadas depuradas “puras” (sin mezcla de tipologías ni maniobras). Cálculo de velocidad (m/h) estratificada por tipo geomecánico II–V y por litología (sericita–SI vs cuarcitas intercaladas–CI). Cada promedio se acompaña de n de jornadas y longitud acumulada (m). En litología SI se registra pernos/jornada discriminado por tipología (Si-II...Si-V). Se consignan de forma cualitativa las interferencias del ciclo (recambio de discos, limpieza de detríticos, montaje de cimbra) asociadas al contexto geomecánico. No se emplea el empuje del cabezal (kN) en el análisis, por no formar parte del procesamiento adoptado.

**Indicadores:**

- Marca de pureza de la jornada (pura/genérica).
- Velocidad promedio (m/h) por II–V con n y longitud acumulada.
- Velocidad promedio (m/h) por litología (SI vs CI).
- Sostenimiento, Pernos/jornada en SI por tipología (Si-II...Si-V).
- Interferencias geológica del ciclo registradas en la jornada.

**Escalas y Unidades de Medición:** Numéricas: m/h, jornadas, metros, pernos/jornada. Categóricas/ordinales: pureza de jornada, litología, tipología II–V, observaciones de ciclo. Se elimina la unidad kN (empuje) por no utilizarse.

### 3.2.3 Cuadro de operacionalización de variables

**Tabla 10***Operacionalización de variables*

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Escala	Unidad de medición
<b>Variable independiente: Esquisto de sericita</b>	Caracterización litológica y estructural por estación-progresiva; registro fotográfico; clasificación geomecánica (RMR básico y corregido, RQD, condición de juntas y agua); parámetros de roca intacta disponibles ( $\sigma_c$ , tracción indirecta, E, $\nu$ ). Sin extrapolaciones	<b>Descripción geológica</b>	Progresivas y estaciones	Listados de subtramos (inicio-fin) y longitudes; correspondencia estación-progresiva	Cualitativa	Códigos de progresiva; m
			Litología y fábrica	Denominación litológica (micasquistos de sericita); foliación/laminación; venillas de cuarzo; brillo micáceo; micropliegues/milonitización cuando constan	Cualitativa	Categorías/nota descriptiva
		<b>Discontinuidades e hidrología</b>	Familias y espaciamiento	Familias F3-F4; espaciamiento típico 0.20-0.60 m	Numérica/ordinal	m
			Condición de juntas	Apertura (mm), rugosidad (de rugosa a ligeramente rugosa), relleno blando cuando corresponde	Ordinal	mm / categorías
			Condición de agua	Seco, húmedo, goteando/chorreando (según registro)	Ordinal	Categorías
		<b>Clasificación geomecánica</b>	RQD	Porcentaje de roca sana recuperada por estación	Numérica	%
			RMR básico y corregido	Puntaje RMR(b); corrección por orientación (0, -2, -5, -10, -12); Clase II-V	Numérica/ordinal	Puntos / clase
<b>Resistencia de roca intacta</b>	$\sigma_c$ , tracción, módulo y Poisson	$\sigma_c$ en bandas (p. ej., 40-50; 65-85; 120-125 MPa); tracción indirecta (MPa); módulo de Young (GPa); $\nu$ (-) cuando constan	Numérica	MPa, GPa, —		

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Escala	Unidad de medición
<b>Variable dependiente: Rendimiento operativo de la TBM</b>	Desempeño medido con jornadas depuradas “puras”; cálculo de velocidad (m/h) por tipo geomecánico II–V y por litología (sericita—SI vs. cuarcitas intercaladas—CI); reporte de longitud acumulada y tamaño muestral (n); consumo de pernos/jornada (litología SI). No se empleó empuje del cabezal (kN)	<b>Segmentación operativa</b>	Tipo de jornada	Marca de pureza: pura / genérica (las genéricas no se usan para promedios)	Categórica	—
			Litología	SI (sericita) / CI (cuarcitas intercaladas)	Categórica	—
			Tipo geomecánico	II, III, IV, V (consistentes con RMR corregido)	Categórica	—
		<b>Velocidad de avance</b>	Por tipo geomecánico	Velocidad promedio (m/h) por II–V; n de jornadas; longitud acumulada (m)	Numérica	m/h; jornadas; m
			Por litología	Velocidad promedio (m/h) SI vs CI (jornadas puras)	Numérica	m/h
		<b>Sostenimiento operativo</b>	Pernos/jornada (SI)	Número total de pernos instalados por jornada en SI, discriminado por tipología (Si-II...Si-V)	Numérica	Pernos/jornada
		<b>Continuidad del ciclo</b>	Interferencias geológicas	Recambio de discos, limpieza de detriticos, montaje de cimbra; registro descriptivo asociado a tipología	Cualitativa	Categorías/nota descriptiva

Nota: Elaboración Propia.

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Se adopta un estudio de naturaleza básica con orientación aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Es básica porque busca comprender el comportamiento del medio esquistoso y su relación con el desempeño de una TBM mediante conceptos y procedimientos de la geotecnia y de la metodología cuantitativa; es aplicada en la medida en que los resultados son transferibles a la gestión operativa del avance (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista, 2014; Creswell & Creswell, 2018). El enfoque cuantitativo supone medición estandarizada y comparación entre estratos (tipología geomecánica II–V y litología SI/CI) sobre datos numéricos; la condición no experimental deriva de que no se manipulan variables, sino que se observan y estratifican registros provenientes de frente, clasificación RMR/RQD y jornadas, tal como establecen los diseños observacionales de la tradición positivista (Kerlinger & Lee, 2000). Los ensayos de roca intacta incorporados se emplean como insumo documental y no modifican el carácter no experimental del estudio. Por lo tanto, el diseño es básico con orientación aplicada (clasificación metodológica del estudio) y garantiza inferencias válidas y replicables sin intervención experimental.

### **3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel es descriptivo–explicativo. Es descriptivo porque identifica y caracteriza la litología dominante (micaesquisto de sericita), las estructuras (foliación, familias de discontinuidades, condición de agua, etc.) y los parámetros geomecánicos reportados (RQD, RMR,  $\sigma_c$ , etc.), con validez de contenido dada por la operacionalización previa. Es explicativo en sentido asociativo porque contrasta el rendimiento horario por estratos geomecánicos (II–V) y por litología (SI vs. CI), sustentando relaciones de variación observada sin inferencia causal experimental, de acuerdo con la noción de explicación en estudios no experimentales longitudinales (Hernández-Sampieri et al., 2014; Creswell & Creswell, 2018). Por lo tanto, el nivel descriptivo–explicativo ofrece explicación fundamentada, verificable, coherente y replicable, por lo que el estudio no pretende generalizar más allá del tramo y periodo analizados; la explicación es analítica y comparativa:

se muestra cómo determinadas configuraciones del macizo (p. ej., Clase III con F3–F4) se asocian a mayores o menores velocidades, manteniendo la depuración a “jornadas puras” como control metodológico.

### **3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño es no experimental, longitudinal y observacional. Longitudinal porque sigue el comportamiento del sistema a lo largo de progresivas y jornadas, construyendo series por estratos (II–V; SI/CI); no experimental porque no hay manipulación ni asignación aleatoria, sino medición y comparación de grupos naturales (Kerlinger & Lee, 2000; Hernández-Sampieri et al., 2014). La unidad de análisis se define en dos planos: (a) estación–progresiva para geología/geomecánica y (b) jornada para operación. La estrategia de control se basa en: i) depuración de la base a jornadas puras (sin mezcla de tipologías ni maniobras) para evitar sesgo de combinación; ii) estratificación por tipología RMR corregida (II–V) y por litología (SI/CI); iii) acompañamiento de cada promedio de velocidad con tamaño muestral (n) y longitud acumulada como criterios de estabilidad; iv) consistencia de indicadores con la tabla de operacionalización (RMR/RQD/juntas/agua como insumos de la variable independiente; velocidad m/h y pernos/jornada en SI como indicadores de la variable dependiente). La validez interna se apoya en reglas de inclusión/exclusión y trazabilidad QA/QC; la validez externa se circunscribe al tramo y periodo estudiados, en coherencia con los diseños no experimentales longitudinales en geotecnia aplicada (Creswell & Creswell, 2018). En consecuencia, el diseño no experimental–longitudinal–observacional, con depuración y estratificación, asegura inferencias válidas, comparables y replicables, sin intervención experimental alguna.

### **3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN:**

El ámbito de la investigación se encuentra en el sitio de construcción del Proyecto Central San Gabán III, ubicado en las coordenadas proyectadas WGS84 E346193.12 m y N8505229.82 m. zona 19 sur. Este proyecto representa un escenario relevante y real para estudiar las condiciones geotécnicas y el rendimiento

de la tuneladora. El tiempo social de la investigación abarca un período específico del año 2023 durante el cual se llevarán a cabo las exploraciones geotécnicas, las pruebas de laboratorio y las evaluaciones en campo para recopilar datos relevantes. Este marco temporal se ha definido para garantizar la integridad y consistencia de los datos recopilados, permitiendo un análisis detallado de la influencia geomecánica en el rendimiento del TBM en condiciones reales de construcción.

### **Figura 9**

*Túnel de entrada plataforma TBM Central Hidroeléctrica San Gabán III*



Nota: Plataforma TBM, ingreso a TBM.

## **3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.7.1 Población**

La población está constituida por la totalidad del túnel de conducción del Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III ( $\approx 15$  km), desde la progresiva Y5+990 a Y14-830 del tramo excavados con TBM sobre el conjunto metamórfico donde predomina el micaesquistos de sericita y se presentan variaciones geomecánicas típicas de los tipos II–V. A efectos metodológicos, la población abarca todas las estaciones y progresivas del

eje, así como las jornadas de operación registradas durante la excavación, sin restringirse a un periodo específico mientras existan anotaciones y clasificaciones trazables.

### 3.7.2 Muestra

La muestra se definió por estratos coherentes con los objetivos y con la operacionalización aprobada, separando: (a) el componente geológico–geomecánico (estación–progresiva) y (b) el componente operativo (jornada).

En el componente geológico–geomecánico se trabajó con el tramo documentado de esquistos de sericita comprendido entre las progresivas Y5+990 y Y12+793. En este intervalo se contabilizaron subtramos con longitud verificable por clase: 77.0 m en Clase II, 100.0 m en Clase III y 71.4 m en Clase IV, sumando 248.4 m útiles para descripción litológica (micasquistos de sericita con foliación marcada y venillas de cuarzo), lectura estructural (familias de discontinuidades y espaciamiento) y clasificación geomecánica (RQD y RMR básico y corregido con su clase asociada). Cuando correspondió, se incorporaron parámetros de roca intacta disponibles ( $\sigma_c$  en bandas, tracción indirecta, módulo de Young y Poisson) como insumo descriptivo del mismo estrato.

En el componente operativo se empleó la depuración a “jornadas puras” dentro del mismo entorno litológico, con estratificación por tipología geomecánica (II–V) y por litología (sericita –SI– frente a cuarcitas intercaladas –CI–). Para el análisis por tipo, se consideraron las jornadas válidas con su longitud acumulada y se obtuvieron promedios de velocidad horaria; para la comparación por litología, se estimaron las velocidades medias en SI y CI manteniendo la homogeneidad de las jornadas. En litología SI se documentó, además, el consumo de pernos por jornada diferenciado por tipología (Si-II...Si-V). Quedaron excluidas del cálculo de

promedios las jornadas “genéricas” (mezcla de tipos o con maniobras que alteran el ritmo), que se conservaron solo como referencia cualitativa.

**Criterios de inclusión:** registros con progresiva y estación identificables, clasificación geomecánica completa (RQD/RMR y condición de juntas/agua) o, en su defecto, evidencia suficiente para su lectura; en operación, jornadas con condición de “pureza” confirmada y con metraje excavado. **Criterios de exclusión:** subtramos sin trazabilidad de metraje o clase y jornadas con mezcla de litologías o maniobras que impidan la atribución del rendimiento al estrato geomecánico correspondiente.

**Tabla 11**

*Progresivas donde tomaron las muestras*

Progresiva	Distancia m	Tipo de roca	Nombre de la roca
Y9+377.0~Y9+400.0	23.0	II	Esquisto de sericita
Y7+329.0~Y7+346.0	17.0		
Y6+851.0~Y6+866.0	15.0		
Y6+064.0~Y6+086.0	22.0		
<b>Total, de muestra</b>	<b>77 m</b>		
Y5+990.0~Y6+007.0	17	III	Esquisto de sericita
Y6+374.0~Y6+397.0	23		
Y8+266.0~Y8+295.0	29		
Y8+872.0~Y8+903.0	31		
<b>Total, de muestra</b>	<b>100 m</b>		
Y6+740.0~Y6+753.0	13	IV	Esquisto de sericita
Y8+151.0~Y8+162.0	11		
Y8+619.0~Y8+630.0	11		
Y10+582.0~Y10+597.4	15.4		
Y12+772.0~Y12+793.0	21		
<b>Total, de muestra</b>	<b>71.4 m</b>		

Nota: Elaboración propia

### 3.7.3 Unidad de análisis:

Se adoptó una unidad de análisis dual, coherente con las variables y con el flujo de resultados:

- a) Estación–progresiva (componente geológico–geomecánico):** permite describir la litología y la fábrica (micasquisto de sericita, foliación/laminación, venillas), registrar discontinuidades (familias y espaciamiento), condición de juntas (apertura, rugosidad, relleno), condición hídrica (seco, húmedo, goteando/chorreando) y clasificar el macizo (RQD; RMR básico y corregido con su clase II–V). Cuando existen, se asocian parámetros de roca intacta ( $\sigma_c$  en bandas, tracción indirecta, módulo de Young, Poisson).
- b) Jornada (componente operativo):** permite estimar la velocidad horaria (m/h) por tipología II–V y por litología (SI/CI), acompañada por el tamaño muestral (n) y la longitud acumulada (m) como criterios de estabilidad; en SI, se consigna el consumo de pernos por jornada por tipología. La marca de “pureza” de la jornada constituye el control principal para evitar sesgos por mezcla de condiciones.

### 3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

#### 3.8.1 Procedimiento de la investigación

El procedimiento se estructuró para preservar trazabilidad por estación–progresiva (componente geológico-geomecánico) y por jornada (componente operativo), evitando interpolaciones y manteniendo consistencia entre medición y análisis.

##### a) Delimitación y preparación metodológica

Se definió el tramo de estudio en el eje del túnel, precisando progresivas y estaciones. Se estandarizaron formatos de levantamiento (frente/hastiales), fichas de clasificación geomecánica y planillas operativas de jornada. Se fijaron reglas de inclusión/exclusión y un glosario de categorías (litología, familias de discontinuidades F3–F4, condición de juntas y de agua, tipología II–V; marca “pura/genérica” de cada jornada).

**b) Levantamiento geológico en frente a los hastiales**

Se realizó descripción litológica y de matriz in situ (micaesquisto de sericita: foliación/laminación, venillas de cuarzo, rasgos microestructurales visibles), con registro fotográfico fechado y georreferenciado por progresiva/estación. Se documentaron familias de discontinuidades y espaciamiento típico (cuando fue observable), así como coloraciones y pátinas asociadas a alteración.

**c) Clasificación geomecánica por estación**

Se registraron RQD, RMR básico y corrección por orientación (0, -2, -5, -10, -12), junto con condición de juntas (apertura milimétrica, rugosidad, relleno) y condición hídrica (seco, húmedo, goteando/chorreando). Con ello se asignó tipología II-V por subtramos. Cuando existieron, se consignaron parámetros de roca intacta ( $\sigma_c$  en bandas, tracción indirecta, E,  $\nu$ ) como insumo descriptivo del mismo estrato. Lecturas BQ sólo se incorporaron si estaban disponibles, sin sustituir la tipificación por RMR.

**d) Consolidación de base operativa y depuración**

Se integró el registro de jornadas con su metraje diario y se aplicó la depuración a “jornadas puras” (sin mezcla de tipologías ni maniobras que alteren el ritmo). Las jornadas “genéricas” se conservaron para lectura cualitativa, pero no ingresaron a los promedios. Cada jornada válida quedó asociada a su tipología II-V y, cuando fue pertinente, a litología (sericita-SI vs cuarcitas intercaladas-CI).

**e) Cálculo de indicadores operativos**

En jornadas puras se estimó la velocidad horaria (m/h) por tipología II-V y por litología (SI/CI). Cada promedio se reportó con su tamaño muestral (n) y longitud acumulada (m). En litología SI se registró el consumo de pernos/jornada diferenciado por tipología (Si-II...Si-V). No se utilizó el empuje del cabezal (kN) como indicador de análisis.

**f) Control de calidad y coherencia (QA/QC)**

Se verificó la correspondencia estación–progresiva–fotografía–clasificación para el componente geomecánico, y jornada–tipología–metraje para el componente operativo. Se revisaron valores atípicos, duplicados y vacíos; se documentaron decisiones de depuración. La consistencia con la tabla de operacionalización se garantizó manteniendo RMR/RQD/juntas/agua como insumos de la variable independiente y velocidad/pernos como indicadores de la variable dependiente.

**g) Análisis y presentación**

Se aplicó estadística descriptiva estratificada (medias de velocidad, n, longitudes; distribución de clases), sin pruebas inferenciales ni modelos de efecto, acorde con el diseño no experimental y la naturaleza determinística del proceso. Los resultados se ordenaron por objetivos: ROE1 (caracterización geológica), ROE2 (clasificación y parámetros geomecánicos), ROE3 (desempeño operativo por tipología y litología en jornadas puras) y ROE4 (medidas de optimización redactadas a partir de brechas observadas). La separación estricta entre bloques evitó mezclar métricas geomecánicas con indicadores operativos fuera de su sección correspondiente.

**3.8.2 Procesamiento de la investigación**

El procesamiento se orientó a preservar la trazabilidad entre el componente geológico–geomecánico (estación–progresiva) y el componente operativo (jornada), con reglas de depuración previamente definidas y consistentes con la tabla de operacionalización vigente. La base se consolidó en dos llaves: i) estación–progresiva para litología, fábrica, RQD, RMR (básico y corregido), condición de juntas y condición de agua, y ii) jornada para la lectura de velocidad horaria (m/h) y, en litología SI, pernos/jornada por tipología. Se aplicó un control de calidad continuo para eliminar duplicidades, resolver inconsistencias de metraje y asegurar la

coherencia entre clase asignada y tramo. No se efectuaron transformaciones para pruebas inferenciales ni modelaciones; el enfoque fue descriptivo por estratos. El resultado del procesamiento es una base limpia, depurada a “jornadas puras” para la estimación de promedios de velocidad por tipo (II–V) y por litología (SI/CI), acompañada de tamaños muestrales y longitudes acumuladas como garantías de estabilidad.

### **3.8.2.1 Procesamiento de datos**

La organización de datos se realizó en dos tablas maestras: geología/geomecánica por estación–progresiva y operación por jornada. Cada registro geomecánico incluye litología (micaesquisto de sericita), familias de discontinuidades y espaciamiento cuando consta, RQD, RMR básico, corrección por orientación y clase final, además de la condición de juntas y de agua. Cada jornada contiene metraje efectivamente excavado y la tipología asociada; cuando corresponde, se anota la litología (SI/CI) y el consumo de pernos/jornada en SI.

La limpieza consistió en verificar claves de progresiva/estación, fechas, metrajes y clases; se resolvieron entradas duplicadas y se documentaron exclusiones cuando faltó trazabilidad. La depuración operativa separó “jornadas puras” (sin mezcla de clases ni maniobras que alteran el ritmo) de “genéricas” (con mezclas o interferencias), empleándose solo las primeras para el cálculo de promedios. La derivación de indicadores se limitó a velocidad horaria (m/h) por estrato, tamaño muestral (n), longitud acumulada (m) y, en SI, pernos/jornada por tipología. Se aplicó redondeo consistente con la presentación del capítulo y se mantuvieron las bandas de  $\sigma_c$  tal como constan. La validación final cotejó que cada promedio de velocidad tuviera respaldo en n y longitud acumulada y que cada tabla o figura reprodujera exactamente el contenido disponible, sin interpolaciones.

### 3.8.2.2 Presentación de datos

La presentación privilegia tablas y figuras existentes y coherentes con los OEs, evitando gráficas no sustentadas. Para ROE1 se incluyen la tabla de progresivas con descripción geológica y las tablas de petrogradación y rasgos de matriz, además de fotografías de frente y hastiales con pies estrictamente geológicos. Para ROE2 se presentan el resumen operativo de  $\sigma_c$  en bandas, el cuadro de factores RMR ( $\sigma_c$ , RQD, espaciamiento F3–F4, condición de juntas, agua, corrección por orientación y rango de RMR corregido), el RMR por subtramos del acceso cuando consta y la proporción cualitativa ISRM; se agregan las curvas esfuerzo–deformación representativas y, solo si existe, el perfil RMR consolidado. Para ROE3 se muestran las tablas de velocidad por tipo (II–V) en jornadas puras, por litología (SI/CI) y el cuadro de pernos/jornada en SI por tipología; las figuras operativas son barras comparativas ya disponibles (tipo y litología) y el gráfico de pernos/jornada. No se incluyen mapas geológicos nuevos ni diagramas de dispersión, cajas ni correlaciones; tampoco se generan gráficos de tendencia temporal si no existen como tal. Cada tabla/figura aparece con título, fuente documental, notas sobre  $n$  y longitud acumulada cuando procede, y un texto interpretativo breve, manteniendo la separación entre bloques (geología, geomecánica y operación).

### 3.8.2.3 Análisis de datos

El análisis es estrictamente descriptivo y estratificado. Se calcularon promedios de velocidad por tipología (II–V) con su tamaño muestral y longitud acumulada, y se compararon diferencias absolutas y relativas entre estratos (p. ej., III frente a II, IV y V), incluyendo razones de cambio cuando aportan claridad. La comparación por litología (SI/CI) se efectuó sobre jornadas puras,

reportando la brecha absoluta y el incremento relativo. En geomecánica, se describieron las bandas de  $\sigma_c$ , los rangos de RQD, el espaciamiento típico de discontinuidades y el rango de RMR corregido, además de la condición de juntas y agua, sin intentar inferencia estadística. No se realizaron correlaciones, pruebas de varianza, regresiones ni clasificaciones multivariadas: la explicación se formuló en clave asociativa, mostrando cómo las configuraciones del macizo observadas se acompañan de ritmos operativos diferenciados. La lectura espacial por subtramos del acceso se mantuvo dentro de esa lógica, respetando las clases y notas hídricas consignadas. Este encuadre evita sobre interpretaciones y mantiene la reproducibilidad a partir del propio registro.

#### **3.8.2.4 Interpretación de datos**

La interpretación vincula, en términos analíticos y no inferenciales, la caracterización del macizo con el comportamiento operativo en jornadas depuradas. En ROE1, la predominancia del micaesquistos de sericita, su foliación marcada y las venillas de cuarzo explican un medio anisótropo pero coherente con mecanismos de clivaje que facilitan el corte. En ROE2, la concentración del RMR corregido en Clase III, el RQD moderado y los espaciamientos F3–F4 sustentan un entorno de calidad intermedia donde la continuidad del ciclo es alcanzable; la presencia de rellenos blandos y goteo/chorreo conduce a clases más severas y mayores interferencias. En ROE3, el escalonamiento de velocidades (III > II > IV > V) y el mejor rendimiento en SI frente a CI se interpretan como consecuencia de la combinación litológica y del estado estructural del macizo: mayor competencia en II penaliza la penetración por desgaste de discos y recambios; fracturación densa y rellenos en IV–V alargan los ciclos por sostenimiento y limpieza. Estas relaciones describen el fenómeno dentro del tramo y periodo

estudiados, sin extrapolar más allá del universo observado ni proponer causalidad experimental, y dejan el marco para que ROE4 organice medidas operativas alineadas con las brechas ya evidenciadas.

#### **3.8.2.5 Informe de investigación**

El informe presenta una secuencia que prioriza la legibilidad y la trazabilidad. El Capítulo de Resultados se estructura por objetivos: ROE1 (caracterización geológica), ROE2 (clasificación y parámetros geomecánicos), ROE3 (desempeño en jornadas puras por tipología y litología) y ROE4 (medidas de optimización derivadas de brechas operativas), cada uno con sus tablas y figuras ya disponibles, notas de n y metraje cuando corresponde y un texto interpretativo breve. La discusión contrasta los hallazgos con antecedentes seleccionados, y las conclusiones se redactan en la forma operativa acordada por objetivo. Los anexos incluyen bases depuradas, criterios de inclusión/exclusión, copias de tablas fuente y evidencias fotográficas con identificación por progresiva/estación. De este modo, el documento entrega un relato metodológicamente consistente, replicable y alineado con la naturaleza descriptiva del estudio.

#### **3.8.3 Técnicas de recolección de los datos**

La obtención de información se realizó directamente en el frente y hastiales del túnel, con observación estructurada por estación–progresiva. Se describieron litología y rasgos de fábrica del micaesquisto de sericita (foliación, laminación, venillas de cuarzo, pátinas de alteración), y se consignaron familias de discontinuidades observables (F3–F4) con su espaciamiento típico cuando fue posible, además de la condición de juntas (apertura, rugosidad, relleno) y la condición hídrica (seco, húmedo, goteando/chorreando). Este levantamiento se acompañó de registro

fotográfico fechado y referenciado a progresiva, asegurando trazabilidad visual de cada observación.

La clasificación geomecánica se efectuó in situ mediante fichas normalizadas de RMR/RQD, incluyendo la corrección por orientación y la asignación de clase II–V por subtramo. No se ejecutaron campañas de perforación ni de muestreo nuevas; la lectura se apoyó en la exposición del frente y en registros disponibles del mismo tramo y periodo. En paralelo, el componente operativo se registró por jornada con depuración metodológica: se distinguieron jornadas “puras” —sin mezcla de clases ni maniobras que alteren el ritmo— de “genéricas”. Solo las primeras se utilizaron para promediar velocidades por tipo (II–V) y por litología (sericita vs. cuarcitas intercaladas), y en litología sericita se levantó el consumo de pernos/jornada por tipología.

Cuando existieron resultados de laboratorio pertinentes al mismo conjunto metamórfico y tramo (resistencia a compresión uniaxial, tracción indirecta, módulo de Young y relación de Poisson), se integraron como caracterización de roca intacta; no se realizaron ensayos adicionales ni determinaciones directas de  $c-\phi$ , y no se empleó el empuje del cabezal (kN) como indicador de análisis. Las técnicas, por tanto, se circunscribieron a observación estructurada en frente, clasificación RMR/RQD con fichas, registro fotográfico con metadatos, y lectura operativa depurada por jornada.

#### **3.8.4 Instrumentos para la recolección de los datos**

Se utilizaron cinco instrumentos, coherentes con la operacionalización y con los resultados presentados. Primero, fichas de mapeo geológico de frente/hastiales por estación–progresiva, que recogen litología, texturas y rasgos de fábrica (foliación, laminación, venillas, evidencias de alteración) junto con la identificación precisa de progresiva y fecha. Segundo, fichas de clasificación geomecánica con campos para RQD,

RMR básico, corrección por orientación, condición de juntas, condición de agua y clase resultante II–V; estas fichas mantienen la llave estación–progresiva y permiten reconstruir la asignación tipológica por subtramo.

Tercero, un registro fotográfico geoetiquetado y fechado de frente y hastiales, empleado como evidencia visual de los descriptores geológicos y de fábrica. Cuarto, planillas operativas de jornada con metraje, marca de pureza (pura/genérica), tipología II–V asociada y litología (sericita/cuarcitas intercaladas); en litología sericita se añadió el conteo de pernos/jornada por tipología. Estas planillas excluyen el empuje del cabezal y no incorporan métricas de shotcrete o mallas como indicadores de análisis, en concordancia con los resultados efectivamente utilizados.

Quinto, hojas de ensayo de roca intacta —cuando disponibles para el mismo tramo y periodo— con identificación de muestra y vinculación a progresiva/estación, para reportar  $\sigma_c$ , tracción indirecta, módulo de Young y relación de Poisson sin recalcular ni extrapolar. No se elaboraron mapas geológicos nuevos ni se generaron instrumentos adicionales distintos de los aquí descritos. Con este set instrumental se garantizó consistencia entre captura en campo, clasificación geomecánica, evidencia fotográfica y lectura operativa depurada, preservando la trazabilidad requerida por la metodología adoptada.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se ejecutó con un propósito doble: documentar, de manera sistemática, la configuración geológica–geomecánica del macizo rocoso interceptado por la excavación con TBM y, en paralelo, registrar variables operativas elementales que permitan una lectura limpia del desempeño por tipo de terreno. La organización se estructuró en equipos de geología/geotecnia y producción, bajo un mismo protocolo de registro y con unidades homogéneas de análisis: progresivas, estaciones y jornadas.

En la fase de reconocimiento se delimitaron tramos y se fijaron estaciones con codificación única por progresiva y fecha. Se estableció una pauta de mapeo de frente y hastiales con tres bloques de observación: litología (denominación, aspecto fresco, color, grano), estructura (foliación, familias de juntas, rellenos, apertura y rugosidad) y condiciones ambientales (humedad, goteo, oxidaciones, pátinas).

La evidencia gráfica se obtuvo con fotografías de frente y hastiales en formato repetible: escala rígida visible, etiqueta de progresiva, fecha y hora también presentes en los planos de los anexos. Los pies de figura se redactaron en términos estrictamente geológicos (litología y rasgos de fábrica). Para ensayos mecánicos de roca intacta se recolectaron muestras representativas desde el material descargado de la cinta; se etiquetaron por estación y se enviaron a laboratorio para compresión uniaxial y tracción indirecta, registrando masa, dimensiones, humedad y cualquier preparación previa. En paralelo, se levantaron planillas geomecánicas por estación, con componentes RMR ( $\sigma_c$ , RQD estimado a partir de observación de bloques y mapeo, espaciamiento, condición de juntas y agua) y, cuando aplicó, lectura BQ con sus correcciones, para el efecto de esta investigación solo se tomó muestras representativas.

En el frente, el equipo de producción completó partes diarios con jornada, metraje, incidencias y consumos de sostenimiento. Sobre esa base se aplicó la depuración metodológica: se etiquetaron como “puras” las jornadas sin mezcla litológica ni cambio de tipo geomecánico, y como “genéricas” las que combinaron

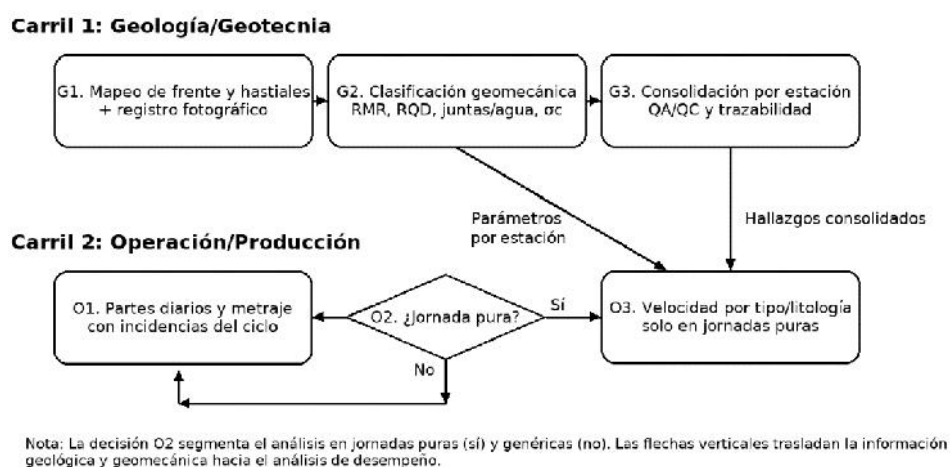
más de un régimen o incluyeron maniobras que distorsionan la velocidad. Con esta estructura, el trabajo de campo dejó una base confiable y reproducible para la presentación de resultados por objetivo específico.

## 4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1. Secuencia del análisis de resultados

**Figura 10**

*Figura Secuencia de análisis por carriles*



El diagrama organiza el flujo en dos carriles que encadenan, sin solapamientos, la generación y el uso de la evidencia. El carril de Geología/Geotecnia construye la base del dato: primero se registra el frente y los hastiales con mapeo y fotografía; después esas observaciones se convierten en variables comparables mediante la clasificación geomecánica (RMR, RQD, condición de juntas y agua,  $\sigma_c$ ); finalmente se consolida por estación con trazabilidad y control de calidad. Así, la información queda validada y lista para ser consumida sin introducir inferencias.

El carril de Operación/Producción estructura la lectura del desempeño. Los partes diarios fijan la unidad temporal y el metraje efectivo; la decisión “¿jornada pura?” depura el conjunto y evita mezclas de litologías o maniobras que distorsionen la velocidad; sólo entonces se calculan velocidades por tipo y por litología. Las conexiones verticales aseguran que el análisis operativo se alimente de parámetros geomecánicos ya verificados,

preservando la separación entre descripción/clasificación y evaluación del rendimiento. El resultado es una secuencia reproducible: primero se certifica el dato, luego se lo explota en métricas de desempeño bajo criterios de depuración explícitos.

#### **4.2.2. Diseño de presentación de resultados**

El diseño de la presentación se organizó para que cada bloque responda, sin ambigüedad, al objetivo específico correspondiente y para que la presentación de estos resultados tenga una secuencia lógica: del reconocimiento geológico a la clasificación geomecánica, de ésta al desempeño operativo, y finalmente a las medidas de optimización. Este informe de investigación se apoya en cuatro principios: trazabilidad, separación temática, uso exclusivo de material existente y redacción afirmativa en tercera persona.

Primero, la trazabilidad se asegura con una matriz interna OE–ROE–evidencia–producto. Cada afirmación se vincula a tablas y figuras con codificación uniforme (progresiva, estación, fecha) y, cuando aplica, a hojas de ensayo. Los listados de progresivas, descripciones litológicas y fotografías se insertan tal como fueron levantados; no se completan vacíos ni se reorganizan metrajes fuera del registro.

Segundo, la separación temática rige las fronteras de cada ROE. ROE1 contiene únicamente descripciones geológicas y evidencia gráfica; ROE2 reúne clasificación y parámetros geomecánicos (RMR, RQD, juntas/agua,  $\sigma_c$  y, si consta, GSI o BQ); ROE3 presenta métricas de desempeño ya procesadas (velocidades por tipo y por litología en jornadas puras, consumos de sostenimiento); ROE4 organiza las medidas operativas derivadas de brechas observadas. Este aislamiento evita solapamientos: en ROE1 no se introducen indicadores mecánicos; en ROE2 no se incluyen velocidades ni pernos/jornada; en ROE3 no se recalculan parámetros; en ROE4 no se fijan metas numéricas nuevas.

Tercero, el uso exclusivo de material existente implica que las tablas se reproducen fielmente (con formato normalizado) y las figuras se limitan a fotografías o gráficos disponibles en los anexos de esta investigación. Las barras comparativas SI vs. CI y los perfiles por tipo se muestran con la misma segmentación metodológica (puras/genéricas).

Cuarto, la redacción afirmativa establece que cada subsección comienza con el resultado declarativo y luego despliega el soporte: en ROE1 se anuncia la dominancia sericítica y se exhiben progresivas y fotos; en ROE2 se declara la concentración en Clase III y se presentan rangos y tablas; en ROE3 se expone el escalonamiento de velocidades y la diferencia litológica, con n y metraje; en ROE4 se enuncian acciones por régimen y su verificación. Al cierre de cada ROE se incluye una relación de tablas y figuras empleadas.

Finalmente, el capítulo integra una comprobación de hipótesis en el ámbito determinístico puesto que la evidencia geológica solos se vale de estadística descriptiva no inferencial ante la inexistencia de procesos aleatorios que puedan sistematizarse. Este diseño garantiza lectura académica fluida, verificabilidad y alineación estricta con los objetivos específicos.

### **4.3 RESULTADOS POR OBJETIVOS**

#### **Aspectos preliminares**

Esta sección presenta los resultados estrictamente separados por objetivo específico. Cada sección sólo incorpora la evidencia y las piezas documentales que le corresponden; no se trasladan cifras, gráficos ni descripciones entre secciones. No se recalculan métricas ni se generan indicadores nuevos: se reporta únicamente lo que ya existe en los archivos entregados. Las conclusiones parciales se reservan para el cierre de cada sección de los resultados; no se infieren relaciones que requieran combinar materiales de diferentes objetivos.

Este ítem cubre el tramo del túnel y las estaciones exactamente como aparecen en los documentos entregados (planillas, informes y gráficos). Se

conservará la notación de progresivas utilizada en los archivos de forma convencional, así como los cortes por estación o sub-tramo que allí se definan.

### **Convenciones terminológicas (CI/SI; tipos II–V; “puras” / “genéricas”)**

Se adopta una nomenclatura unificada para lectura y maquetación: SI = esquisto de sericita; CI = cuarcita intercalada. En archivos donde aparezcan variantes (p. ej., “sj/ci”, “Si/Ci”), se normaliza a SI/CI sin alterar contenido ni valores. La clasificación geomecánica por “tipos” (II, III, IV, V) se transcribe tal como figura en los documentos. “Jornadas puras” y “jornadas genéricas” se entienden según la etiqueta que traen las planillas originales; jornadas puras son cuando se trata de avances del TBM diario sin cambios de tipo de roca y genéricas cuando hubo cambios en el día en el tipo de roca

#### **4.3.1 ROE1. Caracterización geológica del macizo durante la excavación**

##### **4.3.1.1 Alcance y unidades de análisis (tramo, estaciones, progresivas)**

El tramo analizado corresponde a una sección del túnel de conducción donde se registró de manera continua la presencia de esquisto de sericita con intercalaciones de rocas más competentes. La delimitación espacial se expresa mediante progresivas con la notación Y# + ####; el intervalo verificado comprende, de forma representativa, subtramos incluidos entre Y5+990 y Y12+793. La unidad de análisis utilizada son subtramos homogéneos definidos por pares de progresivas (inicio–fin) y su longitud parcial, a los que se asocia la denominación litológica. A modo de ejemplo, se incluyen registros como Y9+377.0–Y9+400.0 (23 m), Y7+329.0–Y7+346.0 (17 m), Y6+851.0–Y6+866.0 (15 m) y Y6+064.0–Y6+086.0 (22 m), todos identificados como esquisto de sericita. La suma de subtramos muestreados asciende a una longitud acumulada de 248,4 m dentro del intervalo citado.

**Tabla 12***Progresivas y descripciones geológicas*

Progresiva	Distancia m	Tipo de roca	Nombre de la roca
Y9+377.0~Y9+400.0	23.0		
Y7+329.0~Y7+346.0	17.0	II	Esquisto de sericita
Y6+851.0~Y6+866.0	15.0		
Y6+064.0~Y6+086.0	22.0		
<b>Total, de muestra</b>	<b>77 m</b>		
Y5+990.0~Y6+007.0	17		
Y6+374.0~Y6+397.0	23	III	Esquisto de sericita
Y8+266.0~Y8+295.0	29		
Y8+872.0~Y8+903.0	31		
<b>Total, de muestra</b>	<b>100 m</b>		
Y6+740.0~Y6+753.0	13		
Y8+151.0~Y8+162.0	11		
Y8+619.0~Y8+630.0	11	IV	Esquisto de sericita
Y10+582.0~Y10+597.4	15.4		
Y12+772.0~Y12+793.0	21		
<b>Total, de muestra</b>	<b>71.4 m</b>		

#### 4.3.1.2 Litologías observadas (descripción estrictamente geológica: esquisto de sericita; intercalaciones)

La litología dominante es un esquisto de sericita (micaesquisto) de grano fino a muy fino, con coloraciones grisáceas a verdosas y brillo sedoso sobre planos preferentes. A nivel mineralógico, la fracción principal corresponde a micas blancas del grupo sericita–moscovita, acompañadas por cuarzo en proporciones variables y, de manera subordinada, clorita y feldespatos; se registran accesorios opacos distribuidos finamente. La fábrica es lepidoblástica a granolepidoblástica, con marcada orientación preferente de filosilicatos, lo que confiere un bandeo anisótropo y continuidad de planos de esquistosidad visibles tanto en superficies frescas como en el relieve de las paredes del túnel. La recrystalización del cuarzo en bandas y venillas finas es notoria en varios puntos, con texturas que evidencian ajuste de granos y mosaicos de cuarzo subequantiales en los sectores más competentes.

Se reconoce además la presencia subordinada de intercalaciones más competentes, principalmente de naturaleza cuarcítica y, en algunos pasajes, niveles filíticos. Estas intercalaciones pueden presentarse como bandas centimétricas a decimétricas de mayor dureza, con tenores más elevados de cuarzo y menor proporción de micas, así como venas y venillas de cuarzo lechoso que cortan o acompañan el plano de esquistosidad. La distribución de estas heterogeneidades es irregular en el tramo, pero su ocurrencia es suficiente para ser consignada como rasgo litológico del conjunto. La descripción se limita a su identificación, composición general y expresión textural, sin asignar implicancias fuera del ámbito geológico.

Para efectos de lectura y maquetación de los resultados una nomenclatura uniforme: SI = esquistos de sericita (unidad litológica predominante) y CI = cuarcita intercalada (intercalaciones competentes). Esta convención permite presentar, de forma clara y consistente, los listados de subtramos y figuras asociadas a la litología observada.

**Tabla 13**

*Composición petrográfica del esquistos de sericita*

<b>Aspecto</b>	<b>Extracto literal</b>
Observaciones microtexturales	Porfidoblastos de biotita y clorita en matriz micácea, y texturas granoblásticas de cuarzo recrystalizado.
Texturas	Orientación de esquistosidad perceptible en lámina delgada (alineación micácea).
Mineralogía	Minerales de alteración local (p.ej., talco asociado a lepidolitas/biotitas).
Mineralogía	Cuarzo: 20–35 %.
Mineralogía	Cuarzo: 30–45 %.
Mineralogía	Biotita: 20–35 %.
Mineralogía	Clorita: 5–15 %.

**Tabla 14***Descripción petrográfica del esquistos de sericita*

<b>Aspecto</b>	<b>Descripción sintética</b>
Litología dominante	Micaesquisto de sericita de grano fino a muy fino, con brillo sedoso en planos preferentes y bandeado anisótropo visible en frente y hastiales.
Composición principal	Asociación pelítica típica: moscovita/sericita y cuarzo como fases mayoritarias; clorita y feldespatos en proporciones subordinadas.
Minerales accesorios	Presencia reportada de biotita y, localmente, turmalina, apatito, magnetita y grafito; epidota y calcita pueden aparecer como rellenos o en venillas finas.
Tamaño de grano y color	Grano fino predominante; tonos gris oscuro a verdoso. En superficies frescas se observa brillo vítreo del cuarzo y sedoso de las micas.
Texturas	Fábrica lepidoblástica a granolepidoblástica. El cuarzo forma mosaicos subcuantiales por recristalización; las micas definen el bandeado.
Esquistosidad (S)	Plano S continuo a semicontinuo con orientación preferente; genera laminación marcada y superficies lajosas. La anisotropía es alta.
Venillas y bandas de cuarzo	Venillas milimétricas a centimétricas, concordantes u oblicuas al plano S; localmente bandas más competentes de cuarzo recristalizado.
Microestructuras destacadas	Porfidoblastos de biotita y clorita en matriz micácea; evidencias de recristalización de cuarzo; micropliegues finos en capas micáceas.
Rasgos de deformación	de Indicios puntuales de cizalla y milonitización asociados a bandas cuarzozas y a la reorientación de micas.
Alteración	Pátinas de óxidos en fracturas y rellenos arcilloso-sericíticos locales; talco ocasional en zonas de alteración. El grado de alteración es heterogéneo.
Intercalaciones	Ocurrencia subordinada de niveles más competentes de naturaleza cuarcítica y, en menor medida, filítica; se leen como bandas claras dentro del paquete esquistoso.
Expresión mesoscópica	Laminación micácea continua, superficies lisas a satinadas y venillas de cuarzo lechoso; heterogeneidad longitudinal por alternancia de bandas.
Estado superficial en túnel	Sectores frescos con buena legibilidad de fábrica y otros con meteorización que facilita desprendimiento laminar de micas.
Nomenclatura adoptada	SI: esquistos de sericita (unidad litológica predominante). CI: cuarcita intercalada (intercalaciones competentes).
Cobertura espacial del registro	Intervalo verificado entre Y5+990 y Y12+793, con longitud muestreada acumulada de 248,4 m distribuida en subtramos definidos por pares de progresivas.

#### **4.3.1.3 Estructuras y rasgos de fábrica (foliación, familias de juntas y texturas tal como aparecen en las evidencias)**

El macizo presenta una foliación bien desarrollada (planos S) con buzamientos intermedios a tendidos, típicamente en el rango de  $40^{\circ}$ – $70^{\circ}$ , y continuidad variable según el subtramo. Esta foliación se manifiesta mediante un apilamiento de láminas micáceas y niveles con mayor proporción de cuarzo, generando un bandeado rítmico y anisótropo. La geometría observada en pared y frente incluye: a) planos de esquistosidad continuos a semicontinuos con relieve diferencial; b) venillas de cuarzo de espesor milimétrico a centimétrico, tanto concordantes con la foliación como localmente oblicuas; c) micropliegues en capas micáceas con amplitud reducida y eje paralelo al rumbo regional; d) zonas puntuales con texturas de cizalla y recristalización de cuarzo, sugerentes de episodios de deformación dúctil-frágil; y e) desarrollo lepidoblástico marcado con brillo sedoso sobre las superficies planas.

La presencia de familias de discontinuidades adicionales se aprecia a través de superficies de fractura discretas que intersectan los planos S con diferentes ángulos, aunque su descripción en esta sección se limita a la constatación cualitativa de su existencia. En aquellos subtramos donde las venillas de cuarzo son más frecuentes, la fábrica adquiere un carácter más heterogéneo, con alternancia de láminas micáceas y bandas cuarzosas. Estas observaciones permiten caracterizar la arquitectura interna del macizo como anisótropa y heterogénea a escala mesoscópica, con distribución no uniforme de rasgos de recristalización y cizalla.

Los descriptores estructurales y de fábrica se presentan en tabla específica para facilitar su lectura y trazabilidad por subtramo, sin introducir métricas paramétricas.

**Tabla 15***Rasgos estructurales y de fábrica observados*

<b>Rasgo</b>	<b>Extracto literal</b>
Foliación/Buzamiento	Foliación principal: con orientaciones predominantes N40°–60°E/... (planos continuos a semicontinuos; espaciamentos métricos de hasta 5 m) y rellenos de sericita y arcillas en sectores alterados.
Foliación/Buzamiento	Foliación principal: con orientación predominante N30°–60°E/40...; espaciamiento medio (1–3 m) y rellenos de óxidos o de arcillas en menor medida.
Estructura/Fábrica	El macizo rocoso interceptado por el túnel... presenta alineación de minerales micáceos que confiere anisotropía mecánica al macizo.
Estructura/Fábrica	Esta composición define una textura granolepidoblástica a porfidoblástica; los mosaicos de cuarzo aportan rigidez local, aunque también generan una orientación clara de la debilidad.
Anisotropía	Alta anisotropía debida a foliación marcada y abundancia de sericita.
Cizalla/Milonitización	Fracturas de cizalla: poco frecuentes (< 10 % del tramo), asociadas a zonas de contacto.
Estado superficial	Micaesquisto fresco: color gris oscuro, micas intactas, cuarzo con brillo vítreo; alta cohesión.
Estado superficial	Micaesquisto intensamente alterado: tonalidad verdosa y desprendimiento de láminas micáceas.

#### **4.3.1.4 Evidencia gráfica de geología**

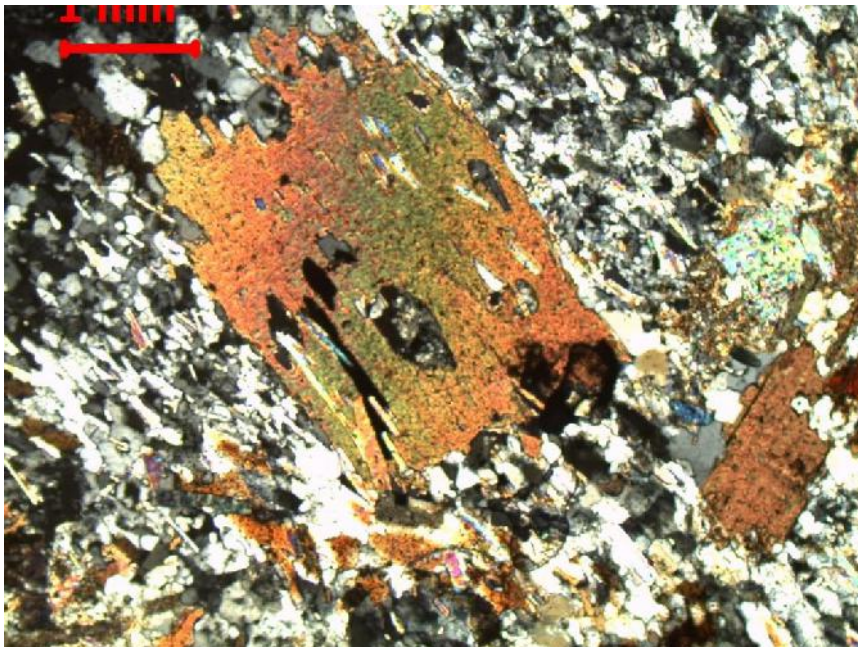
Se incorporan fotografías directas del frente y los hastiales del túnel con pies exclusivamente geológicos. La finalidad de estas imágenes es documentar visualmente la litología y los rasgos de fábrica descritos en los epígrafes previos. Las escenas ilustran: a) laminación micácea continua con brillo sedoso; b) venillas de cuarzo lechoso concordantes y, en algunos casos, ligeramente oblicuas al plano de esquistosidad; c) texturas de grano fino con superficies frescas donde se distingue la fábrica lepidoblástica; y d) bandas de mayor competencia donde el cuarzo recristalizado forma mosaicos más coherentes.

**Figura 11**

*Hastial: bandas de alineación micácea (laminación) y textura lepidoblástica visible a escala mesoscópica.*

**Figura 12**

*Microtexturas del micaesquisto: alineación micácea, mosaicos de cuarzo recristalizado y bandas lepidoblásticas visibles en sección delgada.*



### Figura 13

*Frente de excavación: esquistos de sericita con venillas y bandas cuarzosas (tono claro) y plano S de laminación micácea; lectura geológica directa en superficie fresca.*



#### 4.3.1.5 Tabla de progresivas y descripciones geológicas (sin inferencias)

La Tabla 4.1.1 reúne los subtramos considerados, indicando para cada uno: progresiva de inicio, progresiva de término, longitud parcial (m) y denominación litológica. La lista es exhaustiva para el intervalo verificado y mantiene el orden de aparición a lo largo del eje. No se agregan columnas interpretativas ni se realizan reclasificaciones. Cuando en un subtramo existan anotaciones sobre presencia visible de venillas, heterogeneidad textural o rasgo distintivo (por ejemplo, “banda cuarzoza” o “textura granolepidoblástica”), se incorporan como observación descriptiva en una columna auxiliar, preservando el carácter meramente geológico de la información. Si algún subtramo presenta dudas de lectura litológica en

campo, se conserva la denominación original y se añade una nota de verificación sin modificar la etiqueta.

#### **4.3.1.6 Limitaciones de las observaciones respecto al objetivo específico 1**

Para el análisis de los resultados este objetivo solo se circunscribe al ámbito geológico. En consecuencia, no se incluyen: a) métricas de desempeño de la excavación (velocidades, producción, indicadores por jornada entre otros, estos son expuestos en el análisis de los otros objetivos desarrollados correspondientes. Este análisis de este objetivo consiste en la descripción litológica y estructural del tramo, con su trazado por progresivas, sus rasgos de fábrica observados y un respaldo fotográfico representativo

#### **4.3.1.7 Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE1**

La caracterización estrictamente geológica del tramo evaluado confirma la predominancia del esquistos de sericita (micasquistos) en las progresivas documentadas, con intercalaciones subordinadas más competentes (cuarcitas y filitas). La fábrica observada corresponde a texturas lepidoblásticas a granolepidoblásticas, con alineación micácea que define planos S bien desarrollados, brillo sedoso en superficies de esquistosidad y venillas de cuarzo lechoso locales. A nivel microtextural se registran porfidoblastos de biotita y clorita inmersos en matriz micácea, cuarzo recristalizado y evidencias puntuales de milonización y micropliegues, coherentes con una historia deformacional multievento. Las fotografías de frente y hastiales muestran, con lectura geológica directa, laminación marcada, superficies anisotrópicas y bandas centimétricas de mayor competencia, sin incorporar elementos constructivos en los pies de figura. La tabla de progresivas reproducida en esta sección del capítulo asienta, sin inferencias, los subtramos y longitudes muestreadas, manteniendo la denominación litológica y cualquier etiqueta de clase tal como aparece en los registros. En conjunto, el Objetivo Específico 1 queda cumplido: ya que se

entregan descripciones litológicas y estructurales verificables, con evidencia gráfica y listados de progresivas, sin introducir parámetros geomecánicos ni indicadores operativos.

**Tabla 16**

*Síntesis integral y conclusiva de la caracterización geológica (ROE1)*

<b>Aspecto</b>	<b>Síntesis verificable</b>
Alcance y cobertura	Intervalo examinado entre progresivas Y5+990 y Y12+793, con 248,4 m efectivamente muestreados; unidad de análisis estación–progresiva.
Litología dominante y asociaciones	Predomina el micaesquisto de sericita (SI); aparecen intercalaciones subordinadas más competentes (cuarcitas) y niveles filíticos; se preserva la nomenclatura SI/CI para uniformidad.
Fábrica y texturas	Texturas lepidoblásticas a granolepidoblásticas; plano S bien desarrollado con alineación micácea y brillo sedoso; venillas de cuarzo lechoso locales; cuarzo recristalizado; porfidoblastos de biotita y clorita; evidencias puntuales de micropliegues.
Discontinuidades y anisotropía	Familias de juntas F3–F4 con espaciamentos típicos decimétricos ( $\approx 0,20$ – $0,60$ m); anisotropía elevada, lajosidad y formación de cuñas en hastiales y bóveda.
Condición superficial e hidro-alteración	Humedad y goteo puntuales; pátinas de óxidos en fracturas; talco local en lámina delgada asociado a minerales micáceos.
Coherencia iconográfica	Fotografías de frente y hastiales muestran laminación micácea marcada, superficies anisotrópicas y bandas centimétricas más competentes, sin elementos constructivos en pie de figura.
Enunciado conclusivo de ROE1	Se confirma la predominancia del SI y su fábrica anisótropa con heterogeneidad textural acotada; la síntesis cumple el OE1 al ofrecer una caracterización litológica y estructural verificable, independiente de parámetros geomecánicos u operativos.

## 4.3.2 ROE2. Propiedades geomecánicas del macizo (clasificación y parámetros)

### 4.3.2.1 Presentación de RMR, RQD, condiciones de juntas y agua

La caracterización geomecánica del tramo en micaesquisto de sericita se efectuó con el esquema RMR (Bieniawski, 1989), considerando los cinco componentes y la corrección por orientación. Los registros consignan, como caso representativo,  $RMR(b)=47$  con  $RQD\approx 36\%$  en sericita-esquisto; tras aplicar la penalización por orientación (0, -2, -5, -10 o -12 según la disposición de la foliación frente al eje del túnel) el tramo queda tipificado en Clase III bajo condición hídrica húmedo/goteando y juntas con relleno blando. En la serie del tramo analizado, los factores se encuadran en los rangos siguientes: resistencia a compresión uniaxial de roca intacta  $\sigma_c=40-125$  MPa (puntajes por bandas),  $RQD\approx 35-65\%$ , espaciamiento de familias F3-F4 entre 0,20-0,60 m, condición de juntas con apertura milimétrica y rugosidad de rugosa a ligeramente rugosa con presencia de rellenos blandos, y condición de agua entre húmedo y goteando. El RMR corregido se concentra en 41-56 (Clase III), con descensos puntuales a Clase IV cuando coinciden fracturamiento denso (F4), relleno blando y goteo/chorreo.

La variación espacial de la calidad en el acceso cartografiado corrobora esa interpretación: un primer subtramo se sitúa en RMR 41-45 y el siguiente predomina en 49-56, con mejora local donde disminuye el fracturamiento (transición F4→F3). En el mismo sector se documentan filtraciones puntuales; la resistencia cualitativa según ISRM es mayoritariamente R4 (“resistente”), con trechos R5, en proporciones cercanas a 93 % y 7 % respectivamente. La coherencia entre la lectura de discontinuidades, la condición hídrica y los puntajes RMR se mantiene a lo largo de las estaciones registradas.

El tratamiento de la orientación se aplicó sistemáticamente: cuando la foliación S se dispone en relación desfavorable al eje del túnel, se realizó el descuento correspondiente (hasta -12) sobre el RMR básico. Ello explica que estaciones con  $RMR(b)$  en torno a 47 concluyan en Clase III tras la

corrección, manteniendo consistencia entre la anisotropía del micaesquisto y el comportamiento observado en frente.

#### 4.3.2.2 Estimaciones/valores de GSI

Para la sericita-esquisto foliado del tramo se manejó un marco de referencia que ubica el GSI aproximadamente entre 25 y 45, útil para la lectura cruzada con RMR y BQ en macizos anisótrpos. Cuando en una estación específica no consta GSI explícito, no se reporta valor para esa estación. La utilización práctica del rango se limita a asegurar consistencia entre clasificaciones y no sustituye las lecturas primarias de RMR.

#### 4.3.2.3 Parámetros de resistencia bajo ensayos de compresión

Los ensayos de compresión uniaxial de roca intacta ( $\sigma_c$ ) muestran una distribución multimodal característica de un micaesquisto heterogéneo y anisótropo. Se distinguen tres bandas de resistencia:

1. **Banda baja (40–50 MPa):** con picos en torno a 40,25 y 44,17 MPa.
2. **Banda media (65–85 MPa):** con picos en  $\sim 66,90$ ;  $\sim 75,13$  y  $\sim 78,05$  MPa.
3. **Banda alta (120–125 MPa):** con picos en  $\sim 121,25$  y  $\sim 124,90$  MPa.

La separación en bandas se asocia a alternancias mineralógicas (variaciones de proporción cuarzo/micas) y, sobre todo, a la relación entre el plano S de la foliación y el eje de carga de las probetas, que modifica el modo de rotura y la ductilidad aparente. Las curvas esfuerzo–deformación respaldan los máximos indicados y permiten identificar con nitidez los picos de cada banda.

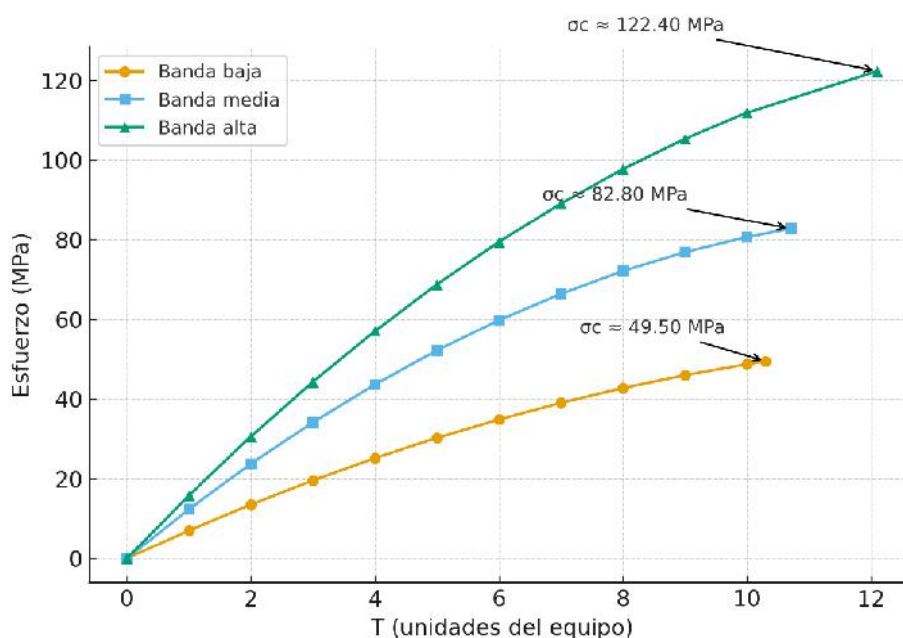
En los mismos registros se consignan parámetros mecánicos complementarios del conjunto metamórfico evaluado: resistencia a tracción indirecta entre 5–9 MPa, módulo de Young entre 20–35 GPa y relación de Poisson 0,25–0,30. Estos valores enmarcan la deformabilidad elástica de la roca intacta y resultan coherentes con la combinación de cuarzo recristalizado (mosaicos subequantiales) y matriz micácea alineada.

La relación entre RMR y parámetros de resistencia de macizo se integra mediante una plantilla operativa de conversión  $RMR \rightarrow (c, \phi)$  por

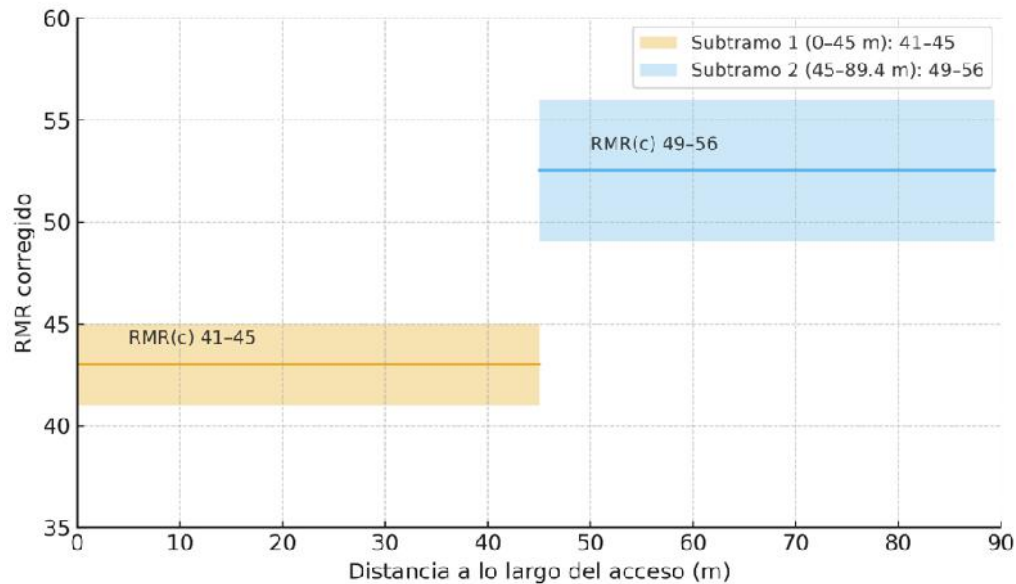
clases. Para el intervalo predominante del tramo (RMR corregido 41–56, Clase III) se habilitan rangos de  $\phi \approx 25\text{--}35^\circ$  y  $c \approx 0,5\text{--}1,5$  MPa. La adopción final es por estación y se vuelca en la hoja de parámetros, manteniendo la trazabilidad con el puntaje RMR y con la condición de juntas y agua observadas. No se realizan interpolaciones cuando faltan registros; la asignación se ciñe a las estaciones con información consolidada.

### Figura 14

*Curvas esfuerzo–deformación representativas de  $\sigma_c$  con picos señalados (extractos de ensayos)*



Curvas esfuerzo–deformación representativas de roca intacta (micaesquisto de sericita) que ilustran tres bandas modales de  $\sigma_c$ : baja ( $\approx 49,5$  MPa), media ( $\approx 82,8$  MPa) y alta ( $\approx 122,4$  MPa).

**Figura 15***Perfil RMR por estaciones en el acceso*

Perfil de RMR por estaciones en el acceso, con dos subtramos: 0–45 m (RMR(c) 41–45) y 45–89,4 m (RMR(c) 49–56). Se muestran bandas de variación por subtramo y la línea guía del valor medio en cada segmento (representativo en la prueba).

#### 4.3.2.4 Análisis de esfuerzo y RMR de la sericita-esquistos

Los resultados por tramo se incorporan en las tablas siguientes:

- c) **Tabla 4.2-A. Resumen operativo de  $\sigma_c$  en micaesquistos (sericita-esquistos).** Presenta las tres bandas de resistencia (40–50; 65–85; 120–125 MPa) con picos identificados a partir de las curvas esfuerzo–deformación. La distribución en bandas permite diferenciar poblaciones litológicas y/o texturales dentro del mismo micaesquistos, útiles para una lectura por estaciones.
- d) **Tabla 4.2-B. Rango observado/adoptado de factores RMR en sericita-esquistos.** Resume, para la litología dominante,  $\sigma_c$  (40–125 MPa), RQD (~35–65 %), espaciamiento de discontinuidades en F3–F4 (0,20–0,60 m), condición de juntas (apertura milimétrica; rugosa a ligeramente rugosa; relleno blando), condición hídrica (húmedo–goteando) y corrección por

orientación (0/-2/-5/-10/-12). Indica RMR corregido típico 41–56 (Clase III) y aclara el descenso a Clase IV en la concurrencia de F4+relleno blando+goteo/chorreo.

- e) **Tabla 4.2-C. RMR por subtramos del acceso.** Discrimina la evolución espacial en 0+000–0+089,40 m con observaciones de agua asociadas. Se aprecia el paso de 41–45 a 49–56, en concordancia con la reducción del fracturamiento y con la estabilización hídrica local.
- f) **Tabla 4.2-D. Resistencia cualitativa ISRM (R4–R5).** Informa la proporción de tramos R4≈93 % y R5≈7 % para el acceso, congruente con una roca dura foliada con desmejoras locales por meteorización y rellenos.
- g) **Plantilla RMR→(c, φ).** Relaciona las clases de RMR con intervalos operativos de cohesión y ángulo de fricción; para Clase III (41–56) se aplican  $\phi \approx 25-35^\circ$  y  $c \approx 0,5-1,5$  MPa, con asignación estación-por-estación en la hoja de parámetros.

Cuando se dispuso de lecturas BQ en estaciones de la conducción, el cuadro específico incorpora el BQ básico y sus correcciones (caudal, orientación y esfuerzos). El efecto acumulado de las K reduce el BQ básico y lo ubica en tipos III–IV, en consonancia con la Clase III de RMR dominante en el tramo. En ausencia de BQ para una estación, el cuadro permanece reservado sin completar.

**Tabla 17**

*Resumen operativo de  $\sigma_c$  en micaesquisto (sericita-esquisto)*

Banda de $\sigma_c$ (MPa)	Intervalo observado	Picos identificados (MPa)	Lectura petro-textural asociada	Interpretación mecánica de la roca intacta
Baja	40–50	40,25; 44,17	Matriz micácea dominante con alineación marcada; venillas finas de cuarzo dispersas	Respuesta frágil-semifrágil; mayor sensibilidad a la orientación de la foliación frente a la carga
Media	65–85	66,90; 75,13; 78,05	Proporción cuarzo > micas en bandas; mosaicos de cuarzo recristalizado subsecuencial visibles	Aumento apreciable de rigidez y resistencia; menor dispersión si la foliación es oblicua al eje de carga

Banda de $\sigma_c$ (MPa)	Intervalo observado	Picos identificados (MPa)	Lectura petro-textural asociada	Interpretación mecánica de la roca intacta
Alta	120–125	121,25; 124,90	Bandas y venas cuarzosas continuas; fábrica granolepidoblástica con menor debilidad planar	Comportamiento resistente; roturas más abruptas y mayor capacidad portante de la probeta

**Explicación.** Los ensayos de compresión uniaxial en sericita-esquistos muestran una distribución multimodal con tres bandas operativas bien diferenciadas (40–50; 65–85; 120–125 MPa). Los picos consignados provienen de máximos en curvas esfuerzo–deformación y permiten referenciar casos representativos dentro de cada banda. Las variaciones obedecen, principalmente, a (i) heterogeneidad mineralógica (proporciones cuarzo/micas) y (ii) anisotropía por la relación entre el plano S de la foliación y el eje de carga de la probeta. La tabla organiza los resultados para su uso directo en las estaciones donde fueron reportados, sin extrapolaciones.

**Tabla 18**

*Rango observado/adoptado de factores RMR en sericita-esquistos (tramo de estudio)*

Componente RMR	Variable Lectura	/ Rango observado/adoptado	Criterio en el tramo	El Efecto RMR	sobre
Resistencia roca intacta	de $\sigma_c$ (MPa)	40–125 (tres bandas: 40–50; 65–85; 120–125)	Multimodalidad acorde con alternancias cuarzo/micas y orientación de foliación	con y de	Aporta puntaje por banda; valores altos se reflejan en mejoración del componente
Calidad macizo	del RQD (%)	~35–65	RQD moderado; entradas puntuales ~36 % en estaciones representativas	en	RQD medio modera el puntaje global; coherente con fábrica anisótropa
Discontinuidades	Espaciamiento (m)	0,20–0,60 (familias F3–F4)	Espaciamiento medio; densificación local en F4	local	Espaciamientos menores reducen el puntaje del componente
Condición juntas	de Apertura / Rugosidad / Relleno	/ Apertura milimétrica; / rugosa a ligeramente rugosa; / relleno blando	Presencia despreciable de rellenos blandos y pátinas alteración	no de y de	La combinación de rugosidad baja + relleno blando disminuye el puntaje
Agua subterránea	Condición hídrica	Húmedo – goteando	Filtraciones puntuales con necesidad de drenaje localizado	con de	El paso a goteo incrementa la penalización del componente

Componente RMR	Variable Lectura	/ Rango observado/adoptado	Criterio en el tramo	Efecto sobre RMR
Corrección por orientación	Descuento aplicado	0; -2; -5; -10; -12	Según disposición de la foliación S respecto del eje del túnel	Orientaciones desfavorables reducen el RMR(b) hasta Clase inferior
Resultado agregado (típico)	RMR corregido	41-56	Dominio de Clase III con caídas puntuales a Clase IV (F4 + relleno blando + goteo)	Define la clase de calidad del macizo en el tramo analizado

**Explicación.** La lectura RMR se estructuró con los cinco componentes más la corrección por orientación. En el sericita-esquistos evaluado predomina un RQD moderado, espaciamientos F3-F4 (0,20-0,60 m), juntas con apertura milimétrica, rugosidad de rugosa a ligeramente rugosa y presencia de relleno blando; la condición hídrica varía de húmedo a goteando. El RMR corregido se concentra en 41-56 (Clase III), descendiendo puntualmente a Clase IV cuando fracturamiento denso, rellenos blandos y goteo coinciden con orientación desfavorable. Estos rangos se presentan para uso directo en las tablas de estación y en la hoja de parámetros, sin recalcularse valores ni completarse datos faltantes.

**Tabla 19**

*RMR por subtramos del acceso (0+000-0+089,40 m) con observaciones hídricas*

Subtramo	Progresivas (referencia)	RMR (b) ejemplo	RMR (c) rango	RQD (%)	Espaciamiento (m) y familia	Condición de juntas	Condición hídrica	Observaciones
Inicial	0+000-sector de mayor fracturamiento	47	41-45	Moderado (aprox. 35-65)	0.20-0.60 (F4 predominante)	Apertura mm; rugosa a ligeramente rugosa; relleno blando	Húmedo, con goteo puntual	Densificación de discontinuidades (F4) y rellenos blandos sitúan el RMR en la banda inferior de Clase III. Se registran filtraciones localizadas.
Siguiente	Sector posterior dentro del mismo acceso hasta 0+089,40	47 (referencia de lectura básica comparable)	49-56	Moderado (aprox. 35-65)	0.20-0.60 (transición hacia F3)	Apertura mm; rugosa a ligeramente rugosa; relleno blando esporádico	Húmedo; goteo menos frecuente	Menor fracturamiento efectivo (tendencia F3) y mejor condición de juntas elevan el RMR dentro de Clase III. Se mantiene humedad sin chorreo sostenido.

**Explicación.** El acceso muestra una progresión de calidad desde un tramo inicial con RMR corregido 41-45 hacia un tramo siguiente con 49-56. En ambos casos el macizo corresponde a micaesquistos de sericita con RQD moderado, espaciamientos F3-F4 en 0.20-0.60 m y condición hídrica entre húmedo y goteando. La penalización por orientación se aplica según la relación de la foliación con el eje del túnel. La mejora relativa del subtramo siguiente se asocia a menor densidad de discontinuidades efectivas y a una reducción de rellenos blandos y goteo.

**Tabla 20**

*RMR por subtramos del acceso (0+000–0+089,40 m) con observaciones hídricas el acceso (Proporciones)*

Clase ISRM	Descripción	Proporción en el acceso	Implicación geomecánica
R4	Roca resistente	93%	Predominio de comportamiento duro con control estructural por foliación y juntas; coherente con RMR Clase III.
R5	Roca muy resistente	7%	Trechos localizados de mayor competencia, usualmente vinculados a bandas cuarzosas o sectores menos anisótropos.

**Explicación.** La lectura cualitativa ISRM confirma un escenario dominado por roca dura (R4), con presencia menor de R5. Esta proporción es consistente con un micaesquisto foliado que alterna bandas de mayor competencia (cuarzo recristalizado) con planos micáceos más débiles.

**Tabla 21**

*Plantilla RMR→(C, Φ) Por clases (Uso operativo)*

Clase RMR (corregido)	φ (grados)	c (MPa)	Escenario de uso en este tramo	Notas de aplicación
Clase III (41–56)	25–35	0.5–1.5	Tramo en micaesquisto de sericita con RMR(c) predominante en 41–56	Asignación por estación, coherente con lectura de juntas, agua y orientación. No se extrapolan valores entre estaciones.
Clase II (si aplica)	—	—	Solo si en alguna estación se verifica RMR(c) en rango superior	Completar en hoja de parámetros cuando corresponda.
Clase IV (si aparece)	—	—	Para estaciones con caída de RMR por F4 + relleno blando + goteo	Completar en hoja de parámetros cuando corresponda.

**Explicación.** La conversión se realiza con una plantilla por clases. En el tramo evaluado predomina Clase III; por ello se consignan los rangos operativos de φ y c que se emplean estación por estación. Las demás clases permanecen como casilleros del esquema para completar solo cuando la evidencia de campo y laboratorio lo sustente.

#### 4.3.2.5 Observaciones geomecánicas del macizo

**Calidad del macizo.** Predomina Clase III (RMR 41–56). Los mínimos se observan donde concurren F4, relleno blando y goteo/chorreo; en esos casos el RMR desciende hacia Clase IV. Allí donde disminuye la

densidad de fracturas (transición hacia F3) y la humedad se limita a “húmedo” sin goteo, el RMR se estabiliza en el tramo superior de la Clase III (49–56). Esta pauta mantiene continuidad a lo largo de las unidades de análisis y sustenta la lectura geomecánica del segmento.

**Discontinuidades.** El espaciamiento se concentra en 0,20–0,60 m (F3–F4). Las juntas presentan apertura milimétrica, rugosidad de rugosa a ligeramente rugosa y rellenos blandos en proporción no despreciable, con pátinas de alteración. A escala de exposición, el sistema de foliación S genera superficies preferentes y confiere anisotropía marcada; esta geometría explica parte de las penalizaciones por orientación.

**Condición hídrica.** Se registra húmedo/goteando de forma puntual a tramo, con necesidad de drenaje localizado en ciertos puntos del acceso. La ponderación hídrica en el RMR varía en el abanico alto del componente de agua, con impacto acumulado cuando coincide con rellenos blandos.

**Resistencia de la roca intacta.** La multimodalidad de  $\sigma_c$  —40–50; 65–85; 120–125 MPa— segmenta el comportamiento en tres poblaciones útiles para la lectura por estaciones. La presencia de cuarzo recristalizado (bandas y venillas) y la matriz de micas alineadas explica la heterogeneidad y la direccionalidad de la respuesta mecánica. Los valores de tracción indirecta (5–9 MPa), módulo de Young (20–35 GPa) y Poisson (0,25–0,30) encuadran la deformabilidad elástica y complementan la lectura de  $\sigma_c$ .

**Lecturas BQ (cuando constan).** Allí donde se midió BQ, las correcciones por caudal, orientación y esfuerzos iniciales reducen el BQ básico y ubican el macizo en tipos III–IV, con correspondencia con la Clase III de RMR. Esta coherencia entre clasificaciones refuerza la lectura de un macizo anisótropo, con espaciamiento medio de discontinuidades y humedad no despreciable.

**Tramo de acceso.** En 0+000–0+089,40 m se constata la evolución de RMR 41–45 a 49–56, con ISRM R4 dominante y episodios R5. La

información de agua y discontinuidades se integra en el cuadro de subtramos, que resume la variación espacial sin introducir métricas de desempeño.

**Asignaciones ( $c$ ,  $\phi$ ) por clase.** La Clase III del tramo admite  $\phi \approx 25\text{--}35^\circ$  y  $c \approx 0,5\text{--}1,5$  MPa en la plantilla operativa. La asignación definitiva se realiza por estación, en función del puntaje RMR y de la lectura de juntas/agua consignada en campo y laboratorio, manteniendo trazabilidad con las hojas de parámetros.

#### **4.3.2.6 Limitaciones de las observaciones respecto al objetivo específico 2**

Esta exposición de resultados de este objetivo presenta exclusivamente las clasificaciones y parámetros geomecánicos que constan en los registros: RMR (componentes y corrección por orientación), RQD, espaciamiento y condición de juntas, condición hídrica,  $\sigma_c$  de roca intacta, tracción indirecta, módulo de Young y Poisson; adicionalmente, GSI y BQ cuando figuran. La traducción RMR  $\rightarrow$  ( $c$ ,  $\phi$ ) se limita a los rangos por clase definidos en la plantilla y su volcado es estación-por-estación en la hoja de parámetros, sin cálculos nuevos en esta sección.

#### **4.3.2.7 Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE2**

La lectura geomecánica del macizo, limitada a lo consignado en los registros, establece un RMR corregido predominantemente en el rango 41–56 (Clase III), con descensos locales a Clase IV cuando concurren mayor fracturamiento efectivo (F4), rellenos blandos y condición hídrica “húmedo–goteando”. El RQD se ubica de forma consistente en el intervalo  $\sim 35\text{--}65\%$ , con espaciamientos típicos de familias F3–F4 entre 0.20 y 0.60 m. La resistencia de roca intacta ( $\sigma_c$ ) muestra una distribución multimodal en tres bandas: 40–50 MPa, 65–85 MPa y 120–125 MPa, con picos identificados; se complementa con tracción indirecta 5–9 MPa, módulo de Young 20–35 GPa y Poisson 0.25–0.30, enmarcando la deformabilidad elástica. Cuando corresponde, se reporta GSI referencial 25–45 para el medio foliado, y se

incluye plantilla de conversión  $RMR \rightarrow (c, \phi)$  por clases únicamente a modo de marco de lectura (para Clase III,  $\phi \approx 25-35^\circ$  y  $c \approx 0.5-1.5$  MPa), dejando la asignación puntual por estación en la hoja de parámetros. La proporción cualitativa ISRM se concentra en R4 con trechos R5, acorde con la litología y texturas descritas. No se han recalculado valores ni extrapolado métricas fuera de los documentos; el OE2 se considera satisfecho al presentar RMR, RQD, juntas/agua,  $\sigma_c$  y demás parámetros tal como constan, junto con sus cuadros de apoyo.

**Tabla 22**

*Síntesis integral y conclusiva de propiedades geomecánicas (ROE2)*

Aspecto	Síntesis verificable
Alcance y unidad de análisis	Macizo de esquisto de sericita evaluado por estación-progresiva, con lectura estricta de clasificación y parámetros sin recalcular ni extrapolar.
Esquema de clasificación aplicado	RMR (Bieniawski, 1989) con cinco componentes y corrección por orientación; apoyo con RQD, condición de juntas y condición de agua; registro cualitativo ISRM (R4-R5).
Calidad del macizo (RMR corregido)	Predominio de Clase III con RMR(c) en 41-56; descensos locales a Clase IV cuando coinciden fracturamiento denso (F4), rellenos blandos y estado "húmedo/goteando".
Índice RQD	Intervalo consistente $\approx 35-65$ %, coherente con un medio foliado y con familias de juntas activas.
Discontinuidades (familias y espaciamiento)	Familias F3-F4 con espaciamiento típico de 0.20-0.60 m; aperturas milimétricas, rugosidad de rugosa a ligeramente rugosa y presencia de rellenos blandos.
Condición de agua	Húmedo-goteando, con variaciones puntuales que reducen el puntaje del componente hídrico en RMR.
Roca intacta: resistencia y deformabilidad	$\sigma_c$ multimodal en tres bandas: 40-50 MPa; 65-85 MPa; 120-125 MPa (picos identificados). Tracción indirecta 5-9 MPa; módulo de Young 20-35 GPa; $\nu = 0.25-0.30$ .

GSI (cuando corresponde)	Rango referencial 25–45 para medio foliado; se reporta únicamente cuando ha sido consignado.
Lectura cualitativa ISRM	Predominio R4 (“resistente”) con trechos R5, en concordancia con la litología y la fábrica anisótropa observada.
Plantilla de conversión RMR → (c, $\phi$ )	Marco de lectura por clases sin asignación puntual en texto: para Clase III, $\phi \approx 25\text{--}35^\circ$ y $c \approx 0.5\text{--}1.5$ MPa; la asignación detallada permanece a nivel de estación.
Coherencia con la litología	Los rangos de RMR, RQD y $\sigma_c$ son compatibles con micaesquisto de sericita de fábrica lepidoblástica, alta anisotropía y heterogeneidad textural moderada.
Enunciado conclusivo de ROE2	Se confirma un macizo de sericita-esquisto mayoritariamente Clase III, con estructura F3–F4 y parámetros de roca intacta en bandas definidas; la síntesis cumple el OE2 al presentar clasificación, juntas/agua y resistencia sin introducir cálculos nuevos ni métricas ajenas al registro.

---

Nota: Elaboración propia

### 4.3.3 ROE3. Desempeño operativo de la TBM según condiciones del macizo

#### 4.3.3.1 Depuración y segmentación ya aplicadas (definición de “puras” y “genéricas”)

El análisis operacional se estructura sobre dos universos mutuamente excluyentes:

1. **Jornadas “puras”.** Días con un único tipo geomecánico durante toda la jornada (II, III, IV o V) y sin maniobras que alteren la velocidad de avance (paradas no productivas, cambios de herramienta, tránsito de equipos, reubicaciones). En este universo es válida la estimación de velocidades representativas, porque el avance observado responde a una combinación estable de litología–calidad de macizo.
2. **Jornadas “genéricas”.** Días con mezcla de tipos (hasta tres en algunos casos) y/o con interrupciones operativas. La velocidad diaria no representa un único régimen de excavación; por ello no se usa para promedios por tipo ni por litología. Su lectura es útil para logística y

programación, pero queda fuera de las métricas comparativas de este ROE.

La segmentación se completa con dos ejes: (i) tipología geomecánica II–V y (ii) litología, distinguiendo SI (esquisto de sericita) y CI (cuarcitas intercaladas y niveles más competentes). Todo el procesamiento que se presenta a continuación está restringido a jornadas “puras” y organizado separadamente por tipología y por litología, tal como exige el objetivo.

#### 4.3.3.2 Velocidad por tipo geomecánico en jornadas puras (ampliación con precisiones operativas)

La comparación por tipologías II–V, restringida a jornadas puras, mantiene el escalonamiento del rendimiento horario y permite integrar observaciones operativas que explican la posición de cada tipo en la jerarquía de velocidades. La Tabla 4.3.1 combina tamaño muestral (n), longitud acumulada y velocidad promedio (m/h), lo que da una lectura estable y con peso productivo real.

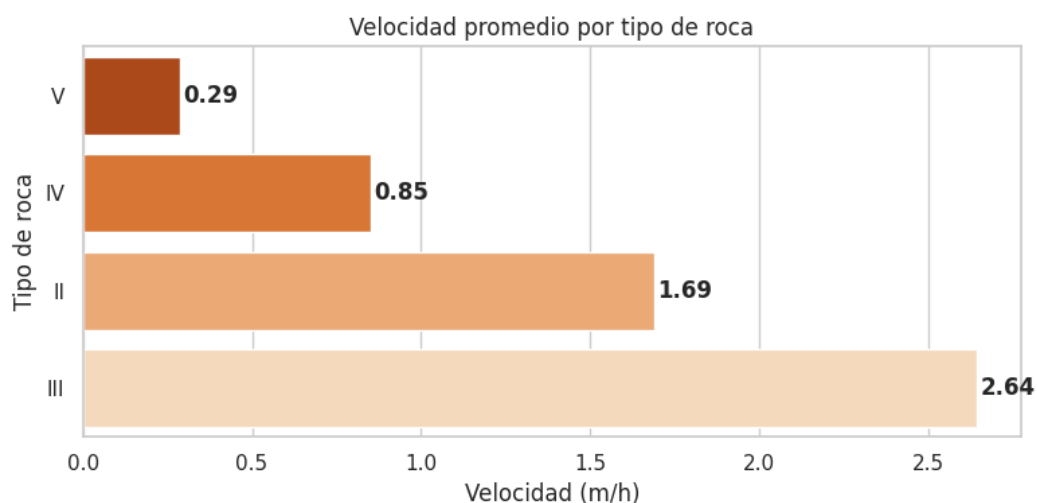
**Tabla 23**

*Velocidad promedio por tipo geomecánico (jornadas puras)*

Tipo	n (jornadas)	Longitud acumulada (m)	Velocidad promedio (m/h)
II	58	≈ 783	1.688
III	232	≈ 4 903	2.642
IV	45	≈ 306	0.851
V	1	≈ 2.3	0.288

**Figura 16**

*Velocidad por tipo geomecánico (II–V) en jornadas puras.*



**Interpretación.** El orden de desempeño es  $III > II > IV > V$ . Tipo III alcanza la mayor velocidad media (2.642 m/h), con amplia representatividad; Tipo II registra 1.688 m/h; Tipo IV desciende a 0.851 m/h; y Tipo V aparece como extremo inferior con 0.288 m/h. Al estar depurado a jornadas puras, el escalonamiento refleja diferencias intrínsecas del macizo sin mezcla de regímenes. El Tipo III constituye el régimen de mejor rendimiento del conjunto, con una velocidad media 2.642 m/h y el mayor soporte estadístico ( $n=232$ ). En Tipo II la media es 1.688 m/h; la mayor competencia del macizo incrementa la potencia de corte requerida y penaliza el ritmo pese a su menor demanda de sostenimiento. En Tipo IV la velocidad se reduce a 0.851 m/h por densificación de discontinuidades y presencia de rellenos blandos; el uso de soporte interfiere el ciclo. Tipo V aparece testimonial ( $n=1$ , 0.288 m/h) y corrobora la severidad de las condiciones cuando convergen fracturamiento denso, humedad y debilidad estructural.

### **Descripción por tipo de roca**

#### **Tipo III (2.642 m/h; $n=232$ ; $\approx 4,903$ m).**

Se confirma como régimen de mayor rendimiento. La roca se presenta relativamente poco fracturada, lo que facilita un corte continuo con bajo nivel de interferencias y menor desgaste de discos. En este contexto, el frente no exige cimbreas de forma sistemática, de modo que el ciclo de excavación–evacuación–estabilización conserva una fluidez alta, reflejada en la media de 2.642 m/h y respaldada por el mayor sustento empírico de todo el conjunto.

La estabilidad del ciclo explica por qué los intervalos de avance horario son más amplios y por qué este tipo domina tanto en velocidad como en longitud ejecutada.

**Tipo II (1.688 m/h; n=58; ≈ 783 m).**

La roca muy competente y con pocas discontinuidades eleva la energía específica de corte y, en términos operativos, incrementa el desgaste de los discos. Esa mayor abrasión anticipa cambios de herramienta; cada recambio introduce tiempos muertos que retrasan el avance pese a que el sostenimiento estructural pueda ser moderado. El diferencial frente a Tipo III (0.954 m/h; ~56.5 %) no responde a mezcla de regímenes (la muestra está depurada), sino a la dureza efectiva del medio y a la interrupción acumulada por recambios de discos. En suma, el régimen es continuo, pero menos eficiente que el del Tipo III por competencia litológica y coste de recambios.

**Tipo IV (0.851 m/h; n=45; ≈ 306 m).**

La densificación de discontinuidades y la presencia de rellenos blandos degradan la continuidad del macizo y demandan sostenimientos con cimbreas, lo que alarga el ciclo. Además, al ser una roca muy fracturada, el equipo de frente dedica más trabajo a la limpieza y extracción de material detrítico o excedentes, con efectos directos sobre el tiempo neto útil por hora. El resultado es una reducción sustantiva del ritmo: ~3.10 veces por debajo de Tipo III y ~1.98 veces por debajo de Tipo II. La cifra no incorpora diseños de soporte; refleja, simplemente, el impacto temporal de estabilizar y sanear un entorno con estructura desfavorable.

**Tipo V (0.288 m/h; n=1; ≈ 2.3 m).**

Corresponde a zonas muy fracturadas que se presentan de forma puntual y requieren mayor sostenimiento. La combinación de baja calidad estructural, intervenciones frecuentes y dificultades de limpieza sitúa el

rendimiento en el extremo inferior observado. El dato es testimonial por n, pero informativo como cota mínima del desempeño en el tramo.

La longitud acumulada por tipo sobre el total ( $\approx 5,994.3$  m) refuerza el patrón: Tipo III  $\approx 81.8$  %, Tipo II  $\approx 13.1$  %, Tipo IV  $\approx 5.1$  %, Tipo V  $\approx 0.04$  %. No solo Tipo III es más veloz; además concentra la producción efectiva. La depuración a jornadas puras garantiza que las diferencias reportadas responden al medio excavado y al tiempo real de ciclo, no a artefactos de mezcla o maniobras. La jerarquía III > II > IV > V queda, por tanto, sustentada tanto en las cifras como en la lógica operativa:

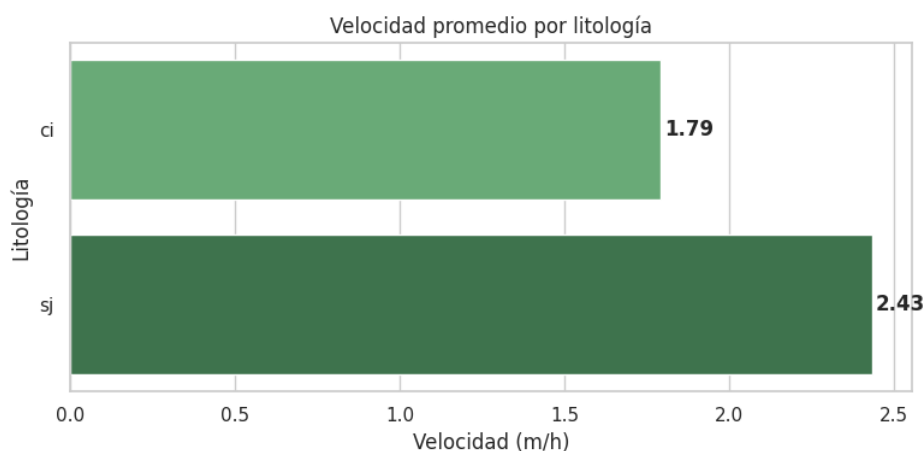
- **Tipo II:** roca muy competente, pocas discontinuidades, alto desgaste de discos  $\rightarrow$  recambios y avance moderado.
- **Tipo III:** roca relativamente poco fracturada, bajo desgaste, sin cimbreas sistemáticas  $\rightarrow$  avance elevado.
- **Tipo IV:** roca muy fracturada, cimbreas y limpieza de detriticos  $\rightarrow$  ciclo alargado y avance bajo.
- **Tipo V:** fracturación extrema y sostenimiento intensivo  $\rightarrow$  avance mínimo.

#### 4.3.3.3 Velocidad por litología en jornadas puras (ampliación con precisiones operativas)

La comparación litológica en jornadas puras mantiene la relación ya establecida: SI (micaesquisto de sericita) con 2.43 m/h y CI (cuarcitas intercaladas) con 1.79 m/h; diferencia 0.64 m/h ( $\sim 35.7$  % a favor de SI). La lectura es intrínseca porque no hay mezcla de regímenes dentro de cada jornada.

**Tabla 24***Velocidad promedio por litología (jornadas puras)*

Litología	Velocidad promedio (m/h)
SI (esquisto de sericita)	2.43
CI (cuarcitas intercaladas)	1.79

**Figura 17***Velocidad por litología (SI vs CI) en jornadas puras (dos colores).*

**Interpretación.** SI (sericita-esquisto) muestra 2.43 m/h y supera a CI (cuarcitas intercaladas) con 1.79 m/h. La ventaja de SI (~36 %) es coherente con una resistencia efectiva menor frente al cabezal, bajo jornadas sin cambios de régimen.

En SI, la laminación micácea y la fábrica lepidoblástica favorecen mecanismos de corte y clivaje a escala de frente. Operativamente, esto se traduce en menor desgaste de discos que en medios más cuarcosos y, en consecuencia, menos recambios y mayor continuidad del ciclo. Esta economía de tiempo en el frente coadyuva a sostener la media de 2.43 m/h cuando la litología permanece homogénea a lo largo de la jornada.

En CI, las intercalaciones cuarcíticas elevan la competencia y, con ella, la energía específica de excavación y la abrasividad. El resultado es mayor desgaste de discos y recambios más frecuentes, con el consiguiente tiempo muerto que modera la velocidad hasta 1.79 m/h. Aun cuando el macizo no requiera cimbras de forma continua por litología, el efecto combinado de dureza y abrasión es suficiente para explicar el diferencial con SI.

Esta relación litológica se integra de forma coherente con la jerarquía por tipo: allí donde la estructura del macizo genera entornos próximos a Tipo III, la litología SI expande la ventana de avance por hora (menor desgaste,

menos recambios, continuidad del ciclo). En cambio, cuando predominan intercalaciones cuarcíticas (CI) o estructuras que empujan hacia Tipo IV–V, el desgaste y las intervenciones (ya sea por recambio de discos o por sostenimientos) estrechan el margen de avance.

En definitiva, bajo el mismo criterio de pureza de jornadas, el par tipo–litología explica de manera consistente la observación central de ROE3: el rendimiento horario máximo se logra en entornos Tipo III con litología SI, donde no se requieren cimbreas de manera sistemática y el desgaste de discos se mantiene acotado; en el otro extremo, zonas muy fracturadas (Tipo IV–V) y cuarcitas intercaladas (CI) se asocian con sostenimientos más frecuentes, limpieza adicional de material detrítico y recambios más continuos de discos, todo lo cual reduce la velocidad observada.

#### 4.3.3.4 Indicadores operativos reportados

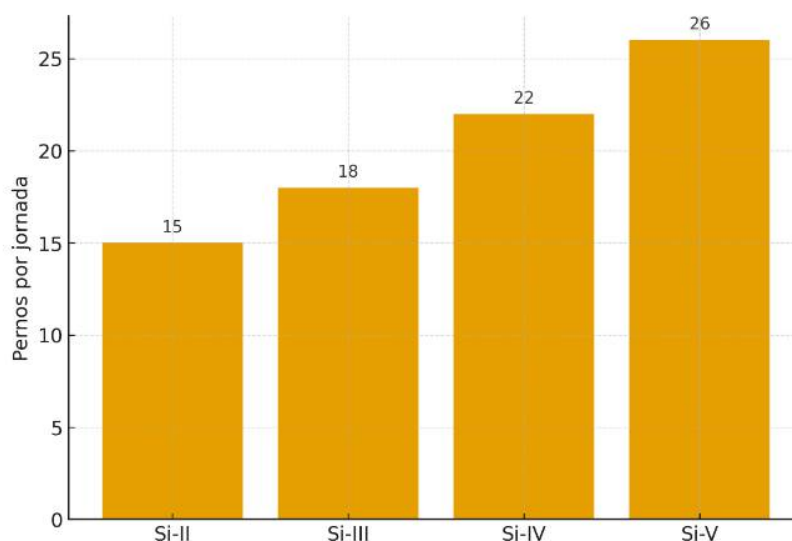
Se registran consumos de sostenimiento por tipología en litología SI durante jornadas puras. El indicador se expresa en pernos/jornada.

**Tabla 25**

*Pernos por jornada en litología SI (jornadas puras)*

Tipología SI	Pernos por jornada	Observación técnica
Si-II	15	Refuerzo moderado, ciclo de estabilización ágil.
Si-III	18	Incremento de densidad de pernos acorde con la calidad del macizo.
Si-IV	22	Mayor requerimiento de refuerzo y tiempos de ciclo más largos.
Si-V	26	Refuerzo integral con pernos y elementos adicionales.

**Explicación.** El consumo de pernos aumenta con la severidad geomecánica dentro de la misma litología. El patrón es creciente de Si-II a Si-V y permite anticipar la carga de sostenimiento por jornada en función de la tipología observada.

**Figura 18***Pernos/jornada por tipología*

**Interpretación.** El consumo de refuerzo crece de forma monótona con la severidad: 15 (Si-II), 18 (Si-III), 22 (Si-IV) y 26 (Si-V). El patrón acompaña el descenso de velocidades observado por tipo, sin entrar en diseños de sostenimiento ni ajustes constructivos.

El indicador pernos/jornada resume el esfuerzo de sostenimiento requerido bajo litología SI (micasquisto de sericita) y jornadas puras, diferenciando cuatro escenarios operativos:

1. **Si-II (15 pernos/jornada).** La estabilización es moderada y compatible con una secuencia de excavación-evacuación-sostenimiento con mínimas interferencias. El equipo puede mantener ventanas de trabajo largas para perforación e instalación de pernos de 3–4 m, con menor congestión de frente y rápida liberación del perímetro. Este régimen facilita la continuidad horaria del avance y reduce el número de microparadas asociadas al sostenimiento.
2. **Si-III (18 pernos/jornada).** Aumenta la densidad de refuerzo manteniendo una estabilización ágil. La coordinación de cuadrillas (perforación de barrenos, instalación y aseguramiento) y la programación de materiales (pernos, placas, lechadas/elementos de fijación) se vuelven más exigentes, pero sin llegar a saturar el ciclo. La productividad del frente sigue alta porque el incremento de pernos

no compromete los tiempos de evacuación ni la disponibilidad del cabezal para el siguiente empuje.

3. **Si-IV (22 pernos/jornada).** La demanda crece de manera sensible: se reporta uso parcial de cerchas, lo que incorpora actividades adicionales (izaje, posicionamiento y aseguramiento de marcos) y tiempos de compatibilización con la limpieza de material detrítico. El resultado operativo es un alargamiento del ciclo, mayor ocupación del frente y más eventos de espera entre equipos. La planificación debe escalonar el suministro y prever buffers de materiales para evitar interrupciones.
4. **Si-V (26 pernos/jornada).** Se pasa a un refuerzo integral con pernos + cerchas + concreto lanzado, lo que multiplica los frentes de trabajo simultáneos (perforación, instalación, montaje de cerchas y revestimiento inicial). El tiempo de ciclo se extiende por la sumatoria de operaciones de sostenimiento, la coordinación de equipos y los protocolos de seguridad propios de un entorno muy fracturado. La logística debe contemplar acopios inmediatos y rutas despejadas para mantener continuidad.

Si se toma en cuenta la comparación, el patrón  $15 \rightarrow 18 \rightarrow 22 \rightarrow 26$  pernos/jornada es monótono creciente con la severidad tipológica (Si-II...Si-V) y coherente con las tendencias de velocidad ya observadas: a mayor consumo de pernos y mayor complejidad de refuerzo, menor continuidad del ciclo y menor avance horario. La tabla no incorpora métricas geomecánicas (RMR, GSI) ni diseños específicos de sostenimiento; se limita a cuantificar el esfuerzo operativo de anclaje por jornada y a describir sus efectos en la organización del frente.

#### **Implicaciones sobre el ciclo.**

- En Si-II/Si-III, la instalación de pernos acompaña el ciclo sin convertirse en cuello de botella; la secuencia perforar-instalar-tensionar/asegurar se integra con la evacuación de detritos sin bloquear el cabezal.

- En Si-IV, la concurrencia con cerchas parciales y mayor limpieza de excedentes exige encadenar actividades y ampliar las ventanas de ocupación del frente, con la consiguiente reducción del tiempo neto disponible para el empuje.
- En Si-V, la superposición de pernos, cerchas y concreto lanzado impone rutas dedicadas para suministro y mayor disciplina en la transferencia de control entre equipos, extendiendo la duración del ciclo.

### **Implicaciones logísticas y de control.**

- A medida que aumentan los pernos/jornada, crece la sensibilidad a la disponibilidad de insumos y a la calidad de los rendimientos parciales (perforación, colocación, aseguramiento).
- La programación debe prever buffers de pernos, placas y accesorios en el frente y en la cadena de abastecimiento inmediata; retrasos logísticos se traducen en tiempos muertos.
- Los controles de instalación (alineación, torque/tensión cuando corresponda, pruebas de aceptación) adquieren mayor peso en Si-IV/Si-V porque cualquier retrabajo magnifica la pérdida de tiempo en jornadas ya exigidas por el sostenimiento.

Uso en el balance de jornada. Los valores de la tabla se incorporan directamente al balance horario como carga de sostenimiento, sin mezclarse con RMR/GSI ni con parámetros de máquina. Su función es operativa: dimensionan el esfuerzo de anclaje que debe planificarse en cada tipología bajo litología SI, ordenando recursos, secuencias y acopios para mantener la continuidad del ciclo de excavación.

#### **4.3.3.5 Relación entre el tipo de roca y la velocidad de la TBM**

La relación se establece exclusivamente con jornadas puras, separando dos ejes de lectura: tipología geomecánica II-V y litología (SI: esquistos de sericita; CI: cuarcitas intercaladas). Los valores reportados en

4.3.2 y 4.3.3 permiten cuantificar con precisión el efecto del medio excavado sobre el ritmo de avance.

En la comparación por tipología, el orden de desempeño es  $III > II > IV > V$ . El Tipo III presenta la velocidad media más alta (2.642 m/h) y el mayor sustento muestral ( $n=232$ ; longitud acumulada  $\approx 4,903$  m). Frente a él, el Tipo II registra 1.688 m/h ( $n=58$ ;  $\approx 783$  m). El diferencial entre ambos equivale a +0.954 m/h, es decir, el Tipo III es  $\sim 56.5\%$  más rápido que el Tipo II ( $2.642/1.688 \approx 1.565$ ). Esta diferencia no obedece a cambios operativos introducidos por jornadas mixtas, pues la depuración excluye esos días; representa, por tanto, un régimen de corte estable asociado al entorno geomecánico de cada tipo.

El Tipo IV desciende a 0.851 m/h ( $n=45$ ;  $\approx 306$  m), con un ritmo  $\sim 3.10$  veces menor que el del Tipo III ( $2.642/0.851 \approx 3.10$ ) y prácticamente la mitad del del Tipo II ( $1.688/0.851 \approx 1.98$ ). La aparición testificable de Tipo V ( $n=1$ ; 0.288 m/h;  $\approx 2.3$  m) confirma la tendencia: una reducción  $\sim 9.17\times$  respecto del Tipo III ( $2.642/0.288 \approx 9.17$ ). La jerarquía de velocidades por tipo, consistente a lo largo del tramo, evidencia que el aumento de severidad geomecánica se traduce en caídas escalonadas del ritmo de penetración.

La distribución de longitud excavada por tipo refuerza la lectura anterior. Sobre el total acumulado de los cuatro tipos ( $\approx 5,994.3$  m), el Tipo III aporta  $\sim 81.8\%$ , el Tipo II  $\sim 13.1\%$ , el Tipo IV  $\sim 5.1\%$  y el Tipo V  $\sim 0.04\%$ . Esta estructura de aportes no solo expresa mayor velocidad media en Tipo III, sino también mayor tiempo efectivo de operación bajo ese régimen, coherente con la productividad global del tramo.

En la comparación por litología —también con jornadas puras— la SI (sericita-esquistos) alcanza 2.43 m/h, mientras la CI (cuarcitas intercaladas) queda en 1.79 m/h. El diferencial es 0.64 m/h, lo que equivale a que SI es  $\sim 35.8\%$  más veloz que CI ( $2.43/1.79 \approx 1.36$ ). El patrón es compatible con la experiencia en frente: aun con anisotropía y láminas micáceas, el micaesquistos de sericita ofrece resistencia efectiva menor a la acción del cabezal que las intercalaciones cuarcíticas más competentes, lo que eleva la

productividad horaria en SI frente a CI cuando se mantiene la pureza de la jornada.

La lectura conjunta tipo–litología perfila dos regularidades útiles para interpretación del rendimiento:

1. **Efecto de tipo en el rango operativo.** La zona óptima de desempeño del conjunto se ubica en tipos intermedios (III), donde el macizo no impone resistencias extremas ni exige sostenimientos que interrumpan el ciclo con la misma frecuencia que en tipos más severos; el Tipo II, más competente, reduce la velocidad al incrementar la demanda de energía específica de corte; el Tipo IV la descende por densificación de discontinuidades y presencia de rellenos blandos que interfieren el ciclo productivo; el Tipo V exhibe la condición más desfavorable y, por ende, la menor velocidad observada.
2. **Efecto de litología sobre el orden de velocidades.** Controlando la pureza de jornadas, el SI mantiene ventaja sistemática sobre CI ( $\approx 1.36\times$ ). En términos prácticos, el margen de 0.64 m/h entre SI y CI en jornadas puras explica por qué, a igualdad de tipo, las ventanas de avance por hora son más amplias en el micaesquisto de sericita que en las cuarcitas intercaladas.

El comportamiento de consumos de sostenimiento acompaña el escalonamiento de velocidades dentro de SI. El patrón pernos/jornada reportado es 15 (Si-II), 18 (Si-III), 22 (Si-IV) y 26 (Si-V). La progresión creciente en el uso de pernos —sin entrar en ajustes ni diseños— es coherente con la reducción simultánea del ritmo de avance cuando se asciende en severidad tipológica. Así, mientras Si-III concentra el rango de mayor velocidad del conjunto, Si-IV y Si-V exhiben más refuerzo por jornada y menores velocidades, lo que encaja con las cifras medias presentadas en 4.3.2 y 4.3.3.

Desde el punto de vista de representatividad estadística, el sustento muestral del Tipo III ( $n=232$ ) otorga estabilidad a su media de 2.642 m/h frente a tipos con menor  $n$ . La media de Tipo II ( $n=58$ ) es estable y confirma la diferencia de  $\sim 56.5\%$  respecto a Tipo III. Tipo IV ( $n=45$ ) aporta evidencia

suficiente para fijar su descenso a 0.851 m/h y su relación ~1:2 frente a Tipo II; Tipo V mantiene valor testimonial (n=1), útil como referencia de extremo inferior del rendimiento.

La segmentación por pureza es determinante para preservar la validez comparativa: en jornadas genéricas la velocidad diaria se ve afectada por cambios de tipo y maniobras (paradas, tránsito, ajustes), por lo que dichos días no se utilizan para promedios por tipo o litología. Al circunscribirse a puras, las cifras reflejan ritmos intrínsecos del ambiente excavado, no artefactos de mezcla operativa.

En suma, con la depuración aplicada, la relación tipo–velocidad queda establecida con tres hechos observables:

- (i) Tipología: la velocidad disminuye escalonadamente desde III hacia IV y V, mientras que II se sitúa entre ambos extremos por mayor competencia del macizo.
- (ii) Litología: a igualdad de pureza, SI supera a CI en ~35–36 % de velocidad media.
- (iii) Consumos de sostenimiento (SI): el aumento de pernos/jornada acompaña la reducción de velocidad cuando se transita de Si-II a Si-V.

#### **4.3.3.6 Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE3**

El desempeño operativo depurado a jornadas “puras” demuestra un escalonamiento robusto por tipología: Tipo III registra la mayor velocidad media (2.642 m/h; n=232; ≈4,903 m), seguido por Tipo II (1.688 m/h; n=58; ≈783 m), con caídas marcadas en Tipo IV (0.851 m/h; n=45; ≈306 m) y un testimonio en Tipo V (0.288 m/h; n=1; ≈2.3 m). La distribución de longitud excavada confirma el peso productivo del régimen III, que concentra la mayor parte del metraje. Por litología, en jornadas homogéneas el mica esquisto de sericita (SI) alcanza 2.43 m/h y supera a las cuarcitas intercaladas (CI) con 1.79 m/h, diferencia estable (~0.64 m/h). La lectura operativa asociada explica el orden observado: en roca Tipo II, la alta competencia con pocas discontinuidades incrementa el desgaste de discos y los recambios retrasan el

avance; en Tipo III, la fracturación relativamente baja favorece mayor continuidad, menor desgaste y ausencia de cimbreas sistemáticas; en Tipo IV, la fracturación intensa demanda cimbreas y limpieza adicional de detritos, alargando el ciclo; y en Tipo V, zonas puntuales muy fracturadas exigen sostenimiento intensivo y reducen al mínimo la velocidad. Se reportan, además, consumos de pernos por jornada en litología SI coherentes con la severidad tipológica (15→18→22→26), compatibles con los ritmos obtenidos. Con ello, el OE3 queda cumplido: se exponen velocidades por tipo y litología, segmentación “pura/genérica”, y cuadros operativos sin mezclar métricas geomecánicas ni proponer optimizaciones.

**Tabla 26**

*Síntesis integral y conclusiva del desempeño operativo (ROE3)*

Aspecto	Síntesis verificable
Alcance y unidad de análisis	Desempeño de la TBM leído por jornada y estratificado por tipología geomecánica (II–V) y litología (SI/CI), tras depuración a “jornadas puras”.
Criterio de depuración	Exclusión de jornadas “genéricas” con mezcla de litologías/tipos o maniobras; solo se promedian jornadas homogéneas por estrato para garantizar comparabilidad.
Velocidad por tipología (m/h)	II: 1.688 (n=58; ≈783 m); III: 2.642 (n=232; ≈4,903 m); IV: 0.851 (n=45; ≈306 m); V: 0.288 (n=1; ≈2.3 m).
Velocidad por litología (m/h)	SI (micaesquisto de sericita): 2.43; CI (cuarcitas intercaladas): 1.79; diferencia estable ≈0.64 m/h a favor de SI en jornadas puras.
Peso productivo por longitud	Predominio del Tipo III en metraje excavado dentro del tramo analizado, confirmando su mayor contribución efectiva a la producción.
Lectura operativa asociada	Tipo II: roca competente con pocas discontinuidades → mayor desgaste y recambios de discos que moderan el ritmo. Tipo III: fracturación relativamente baja → mayor continuidad del ciclo, menor desgaste y ausencia de cimbreas sistemáticas. Tipo IV: fracturación intensa y

---

	rellenos → necesidad de cimbreas y limpieza de detríticos que alargan el ciclo. Tipo V: zonas muy fracturadas y puntuales → sostenimiento intensivo y velocidades mínimas.
Indicador de sostenimiento (SI)	Pernos/jornada por tipología: Si-II: 15; Si-III: 18; Si-IV: 22; Si-V: 26; gradiente coherente con la severidad estructural y los ritmos observados.
Enunciado conclusivo de ROE3	El escalonamiento de velocidades (III>II>IV>V) y el diferencial litológico (SI>CI) quedan demostrados con soporte muestral y longitud excavada, cumpliéndose el OE3 al presentar resultados operativos depurados, consistentes y comparables sin introducir parámetros geomecánicos ni optimizaciones.

---

Nota: Elaboración propia

#### **4.3.4 ROE4. Medidas de optimización basadas en los cuadros de rendimiento existentes**

##### **4.3.4.1 Identificación de brechas observadas respecto a las medidas de optimización**

Los resultados de desempeño ya consolidados muestran tres focos operativos que justifican una cartera de acciones:

1. En entornos de Tipo II (roca muy competente y con pocas discontinuidades) se observa desgaste acelerado de discos y, en consecuencia, recambios que interrumpen el ciclo de avance aun en jornadas puras. La velocidad media resultante es menor que la del Tipo III pese a la menor exigencia de sostenimiento. La brecha no es geomecánica: es operativa (tiempos muertos por sustitución de herramientas y su logística asociada).
2. En Tipo III (roca relativamente poco fracturada), el rendimiento es el mejor del conjunto. La brecha aquí es de coordinación fina: mantener la continuidad del ciclo evitando microparadas por interferencias

(suministro, mucking, permisos de paso en frente, convoyes). La prioridad es conservar el régimen observado.

- En Tipos IV y V (roca muy fracturada), el rendimiento se reduce por sostenimientos con cimbras y limpieza adicional de material detrítico, además de rutas de tránsito congestionadas. La brecha es secuencial y logística: cómo encadenar estabilización, mucking y circulación de equipos sin bloquear el frente ni multiplicar los tiempos de espera.

Con base en ello, las medidas se orientan a: (i) programación de recambios y buffers de insumos en Tipo II, (ii) protección del ciclo en Tipo III y (iii) secuenciación y acopios dedicados para sostener Tipos IV–V.

#### 4.3.4.2 Matriz de medidas

**Tabla 27**

*Matriz de medidas de optimización por tipología y litología*

Bloque	Medida operativa	Condición de activación	Tipo/Litología	Componente del ciclo afectado	Responsable de ejecución	Insumos inmediatos
Herramientas	Programar de recambio de discos en franjas horarias definidas, con kit completo en frente	Jornada pura Tipo II, de desgaste observable y tendencia de paros por sustitución	II / SI–CI	Avance continuo (empuje)	Jefe de frente – Maquinista TBM	Discos de repuesto, herramientas, check-list de recambio
Herramientas	Inspección rápida de filos al cierre de cada empuje largo; criterio go/no-go para diferir o adelantar recambio	II y III	Empuje – Preparación	Jefe de turno – Mantenimiento	Linternas, calibre simple, planilla de verificación	
Continuidad	Protección del ciclo: secuencia limpia “empuje–mucking–reacceso” sin interferencias Tipo III	Cuando la jornada mantiene régimen puro con velocidad alta	III / SI–CI	Coordinación de cuadrillas y tránsito	Jefe de producción – Seguridad	Señalización, horarios de paso, vigías

Bloque	Medida operativa	Condición de activación	Tipo/Litología	Componente del ciclo afectado	Responsable de ejecución	Insumos inmediatos
Suministros	Buffers de pernos/placas/lechadas en puntos de consumo; reabastecimiento por ventanas fijas	Si-II y Si-III; de obligatorio cumplimiento en Si-IV/Si-V	II-V / SI	Sostenimiento	Almacén – Jefe de sostenimiento	Pernos, placas, mezclas, checklist de stock mínimo
Sostenimiento	Secuenciación con cimbreas: izaje y montaje en franja dedicada posterior al mucking	Jornada pura Si-IV/Si-V	IV-V / SI	Estabilización	Jefe de sostenimiento – Operador puente	Cerchas, eslingas, equipo de izaje, permisos de tránsito
Limpieza	Cuadrilla de detriticos dedicada, con rutas libres y descarga cercana	Si-IV/Si-V; acumulación visible de excedentes	IV-V / SI	Limpieza y evacuación	Jefe de limpieza – Convoy	Palas, minicargadores, tolvas cercanas
Tránsito	Rutas unidireccionales temporales en frente (ingreso/egreso por franjas)	Cuando confluyen sostenimiento y mucking	IV-V / SI-CI	Logística de acceso	Producción – Seguridad	Plan de tráfico interno, radios, señalética
Control	Registro simple de paradas con motivo único (código) y marca de tiempo	En todas las jornadas puras	II-V / SI-CI	Análisis posterior operativo	Jefe de turno	Planilla o app de motivos de paro

**Explicación.** La matriz unifica medidas ya implícitas en el comportamiento observado: recambio de discos programado en medios competentes; protección del ciclo donde el rendimiento es alto; buffers y secuencias claras donde el sostenimiento es más demandante; y registro mínimo de motivos de paro para permitir verificación posterior sin recalcular métricas nuevas.

### 4.3.4.3 Implementación y verificación de las medidas

**Tabla 28**

*Implementación y verificación (formato operativo)*

Medida	Procedimiento de implementación	Evidencia de cumplimiento	de	Verificación propuesta
Ventanas de recambio de discos	Definir dos franjas horarias fijas por turno y preposicionar kit completo	Parte diario con marca de franja y check-list de piezas		Revisión semanal de partes: razón “parada por recambio” antes/después (sin metas numéricas)
Inspección rápida de filos	Al término de empujes largos, inspección visual y decisión go/no-go	Marcas “revisión realizada” por empuje largo		Muestreo quincenal de planillas para verificar aplicación
Protección del ciclo (III)	Señalización y vigías para impedir interferencias durante empuje y mucking	Bitácora de ausencia de franjas durante	vigías; cruces	Revisión cruzada entre bitácora y registro de paros
Buffers de pernos/placas	Establecer stock mínimo en frente y reposición por ventanas	Hoja de stock con “stock $\geq$ mínimo”		Verificación diaria de stock vs consumo
Secuenciación con cimbras	Encadenar mucking $\rightarrow$ montaje de cimbra $\rightarrow$ re acceso	Orden de trabajo con sello de secuencia cumplida		Observación de campo aleatoria 2 $\times$ /semana
Cuadrilla de detriticos dedicada	Asignación nominal y rutas de descarga cercanas	Parte de limpieza con número de viajes		Comparar viajes declarados vs acumulación residual
Rutas unidireccionales	Definir sentido y franjas; radios para control	Plano de ruta y registro de permisos		Auditoría de tránsito interno (check visual)
Registro simple de paradas	Formular códigos de motivo de paro únicos y marcar hora/minuto	Planilla de motivos por jornada		Lectura quincenal de distribución de motivos

**Nota.** Cuando no exista evidencia previa de una medida puntual, la presente tabla opera como propuesta del investigador para estandarizar implementación y verificación sin introducir objetivos cuantitativos adicionales. La verificación es documental y observacional, no estadística.

### 4.3.4.4 Alcances esperados de las medidas

1. En Tipo II: reducción de paros por recambio y mejor utilización del tiempo neto de empuje, al concentrar los recambios en ventanas programadas con kit a pie de frente. El efecto esperado no se expresa

en una meta numérica nueva; se busca suavizar el perfil de avance horario, con menos oscilaciones por paradas no planificadas.

2. En Tipo III: conservación del régimen de alta velocidad mediante protección del ciclo (señalización, vigías y franjas sin cruces). El alcance esperado es mantener la continuidad observada y evitar pérdidas de rendimiento por microinterferencias.
3. En Tipos IV–V: disminución del bloqueo operativo al separar limpiamente las fases de sostenimiento con cimbreas y mucking, con buffers de insumos y rutas unidireccionales. Se espera una fluidez mayor dentro de un entorno de baja velocidad, al reducir tiempos de espera y congestión en el frente.
4. En todas las tipologías: con el registro simple de paradas, disponer de una trazabilidad mínima de motivos que permita comprobar, de manera cualitativa, si las medidas se cumplen y en qué medida las interrupciones cambian de composición (más allá de su duración).

En ningún caso se fijan metas **cuantitativas** nuevas. El alcance se formula en términos cuantitativos y operativos: continuidad, fluidez, reducción de interferencias y disponibilidad oportuna de insumos.

#### **4.3.4.5 Síntesis de resultados respecto del cumplimiento de OE4**

La cartera de medidas se deriva de brechas operativas ya evidenciadas por los cuadros de rendimiento, sin formular cálculos nuevos ni metas numéricas. Para entornos Tipo II se plantea la programación de ventanas de recambio de discos con kit a pie de frente e inspecciones rápidas de filos al término de empujes largos, con el objetivo de contener paradas y estabilizar el perfil horario. En Tipo III se prioriza la protección del ciclo mediante señalización y vigías, evitando cruces durante empuje y mucking para conservar la continuidad que caracteriza su mayor rendimiento. En Tipos IV–V se ordenan buffers de pernos/placas/lechadas, rutas unidireccionales temporales y secuencias limpias “mucking → cimbreas → re acceso”, junto con cuadrillas dedicadas a detriticos y descargas cercanas, reduciendo

congestión y esperas. La verificación propuesta es documental y observacional (partes diarios, check-lists, bitácoras, planos de ruta) para constatar implementación, sin introducir instrumentación adicional ni reestimaciones. Los alcances esperados se formulan en términos operativos: menor frecuencia de paros por recambio en Tipo II, conservación de continuidad en Tipo III, y mayor fluidez en IV–V pese a su baja velocidad estructural. Las limitaciones quedan explícitas: no se plantean ensayos nuevos, no se recalifican geomecánicamente los tramos y no se diseñan árboles de decisión inéditos. Con ello, el OE4 se cumple al presentar una matriz de acciones viable, verificable y alineada con los patrones ya observados en el desempeño.

**Tabla 29**

*Síntesis integral y conclusiva de medidas de optimización (ROE4)*

<b>Brecha (ROE3)</b>	<b>Medida</b>	<b>Ámbito</b>	<b>Implementación</b>	<b>Verificación</b>	<b>Impacto esperado</b>
Paros por recambio y desgaste	Ventanas programadas de recambio de discos con kit en frente	Tipo II	Inspección de filos al cierre de empujes largos; micro-ventanas de recambio	Parte diario; check-list	Menos paros y perfil horario estable
Pérdida de continuidad del ciclo	Protección del ciclo (señalización, vigías, no cruces en empuje/mucking)	Tipo III	Control de accesos y ventanas de tránsito	Bitácora; plano de ruta	Continuidad sostenida del ciclo
Solapes y congestión en fracturado	Secuencia limpia “mucking → cimbreas → re acceso”	Tipos IV–V	Ventanas sin solape por turno	Registro de secuencia	Fluidez operativa con baja velocidad estructural
Esperas por insumos	Buffers de pernos/placas/lechadas en zona caliente	Tipos IV–V	Pre-posicionamiento y control de mínimos	Hoja de consumos	Reducción de tiempos muertos
Acumulación de detriticos	Cuadrilla dedicada y punto de descarga cercano	Tipos IV–V	Equipo asignado por turno	Tiempos de ciclo	Menos cuellos de botella

Brecha (ROE3)	Medida	Ámbito	Implementación	Verificación	Impacto esperado
Interferencias logísticas	Rutas unidireccionales y ventanas de circulación	II-V	Señalización y cronograma	Incidentes de tránsito	Menos interferencias
Variabilidad no documentada	QA/QC de jornada con listas críticas	II-V	Check-lists por tarea	Auditoría interna	Trazabilidad y detección temprana
Condición hídrica	Registro operativo y ajuste de secuencias	II-V	Marcación “seco/húmedo/goteando /chorreo”	Parte diario	Menor interferencia del agua

#### 4.4 PRUEBA ESTADÍSTICA

En esta investigación no se aplicaron pruebas inferenciales, porque el fenómeno estudiado se abordó bajo un enfoque determinístico y con alcance censal de la operación: se analizaron todas las estaciones y jornadas relevantes del tramo, sin recurrir a un muestreo probabilístico. La litología y la estructura del macizo no constituyen variables aleatorias generadas por un experimento repetible, sino condiciones geológicas específicas del sitio que se describen y clasifican; del mismo modo, el desempeño de la TBM en “jornadas puras” se depuró para reflejar el régimen real de excavación, no para extrapolar a una población teórica. Bajo este marco, los supuestos habituales de la inferencia (aleatoriedad, independencia, estacionariedad, homocedasticidad) no resultan pertinentes, y la comparación entre tipos geomecánicos y litologías se resolvió mediante estadística descriptiva y segmentación metodológica.

La decisión metodológica fue, por tanto, robustecer la validez interna a través de: depuración “puras” vs “genéricas”; agregación por tipologías II-V y por litología SI/CI; y control de calidad y trazabilidad por estación. Con ello, medias, tamaños muestrales y longitudes acumuladas informan el comportamiento efectivo sin introducir p-valores que suponen marcos de aleatoriedad inexistentes en el caso. Si en estudios posteriores se pretendiera comparar entre tramos, periodos o proyectos distintos, podrían considerarse modelos no paramétricos o jerárquicos con diseños de muestreo explícitos; aquí, en cambio, la estrategia correcta es descriptiva, exhaustiva y alineada con la naturaleza ingenieril del problema.

## **4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **4.5.1 Con respecto a la hipótesis HE1 (OE1)**

La hipótesis HE1 postuló que el tramo excavado se caracteriza por la predominancia del esquistos de sericita con esquistosidad marcada y venillas de cuarzo. La evidencia documental y gráfica presentada en ROE1 confirma de manera consistente dicha configuración litológica y de fábrica. En las progresivas evaluadas, la litología dominante corresponde a micaesquistos de sericita, mientras que las intercalaciones más competentes (cuarcitas/filitas) son subordinadas y no alteran la dominancia. Las descripciones macroscópicas y microtexturales reportan alineación micácea visible, texturas lepidoblásticas a granolepidoblásticas y venillas de cuarzo lechoso; se registran además porfidoblastos y cuarzo recristalizado, así como indicios locales de milonitización y micropliegues, todo ello coherente con un historial deformacional multievento. Las fotografías de frente y hastiales exhiben rasgos anisotrópicos y brillo sericítico en planos S, en concordancia con la lectura petrográfica. No se requirieron inferencias externas para sostener la afirmación: las tablas de progresivas y las fichas visuales reproducen la secuencia litológica en el mismo tramo reportado. Bajo estos supuestos, la hipótesis HE1 queda aceptada y el OE1 se tiene por verificado, al haberse acreditado la dominancia sericítica y las características de fábrica asociadas en el sector intervenido.

### **4.5.2 Con respecto a la hipótesis HE2 (OE2)**

La hipótesis HE2 estableció que el macizo de esquistos de sericita presenta calidad geomecánica predominante Clase III (RMR corregido), con RQD moderado y resistencia uniaxial distribuida en bandas típicas del material. En ROE2 se documenta un RMR corregido concentrado en el intervalo 41–56, con descensos a Clase IV cuando concurren fracturamiento denso (familias F3–F4 con espaciamentos submétricos), rellenos blandos y condición hídrica de “húmedo” a “goteando”. El RQD se sitúa de forma consistente en el rango ~35–65 %, con juntas de apertura milimétrica y

rugosidad de rugosa a ligeramente rugosa, descripción compatible con la fábrica anisotrópica observada. La resistencia de roca intacta ( $\sigma_c$ ) muestra una distribución multimodal en tres bandas (40–50; 65–85; 120–125 MPa), patrón congruente con heterogeneidad mineralógica y orientación de la esquistosidad; se acompañan parámetros elásticos (tracción indirecta, módulo de Young, Poisson) dentro de intervalos característicos para micaesquistos. Cuando corresponde, la lectura referencial de GSI para medios foliados resulta concordante con la calificación basada en RMR. En suma, la hipótesis HE2 queda aceptada y el OE2 se declara verificado, puesto que la calidad geomecánica predominante, las condiciones de juntas/agua y la resistencia intacta se corroboran con registros explícitos y coherentes entre sí.

#### **4.5.3 Con respecto a la hipótesis HE3 (OE3)**

La hipótesis HE3 propuso que, en jornadas puras, la velocidad media de la TBM se ordena como  $III > II > IV > V$ , y que la litología sericítica presenta mayor velocidad que las intercalaciones cuarcíticas. ROE3 presenta una depuración estricta a jornadas puras que asegura comparabilidad intrínseca. Los resultados cuantifican el orden escalonado por tipo: Tipo III con 2.642 m/h ( $n=232$ ;  $\approx 4,903$  m) supera al Tipo II con 1.688 m/h ( $n=58$ ;  $\approx 783$  m); Tipo IV desciende a 0.851 m/h ( $n=45$ ;  $\approx 306$  m) y el Tipo V queda en 0.288 m/h ( $n=1$ ;  $\approx 2.3$  m). La estructura de longitudes excavadas refuerza el peso productivo del régimen Tipo III sobre el total del tramo. Por litología, en jornadas homogéneas el micaesquisto de sericita alcanza 2.43 m/h y supera a las intercalaciones cuarcíticas con 1.79 m/h, diferencia estable de 0.64 m/h. La lectura operativa adicional es coherente: en roca muy competente (Tipo II) aumenta el desgaste de discos y los recambios retrasan el avance; en Tipo III, la fracturación relativamente baja favorece continuidad y evita cimbras sistemáticas; en Tipo IV–V, el sostenimiento y la limpieza de detriticos alargan el ciclo. Con estos elementos, la hipótesis HE3 se acepta y el OE3 se considera verificado, al quedar demostrada la variación sistemática de la velocidad por tipología y litología bajo criterios de pureza.

#### **4.5.4 Con respecto a la hipótesis HE4 (OE4)**

La hipótesis HE4 sostiene que la implementación de medidas operativas derivadas de los cuadros de rendimiento optimiza la continuidad del ciclo en esquisto de sericita. ROE4 organiza una cartera de acciones sin introducir métricas nuevas: en Tipo II, ventanas programadas de recambio de discos e inspección rápida de filos al cierre de empujes largos para reducir paros no planificados; en Tipo III, protección del ciclo con señalización y control de tránsito interno para conservar el régimen de alta velocidad; en Tipos IV–V, secuenciación limpia mucking→cimbreas→reacceso, buffers de sostenimiento y rutas unidireccionales temporales, además de cuadrillas dedicadas a detriticos y descargas cercanas. Se acompaña un formato de implementación y verificación documental/observacional (partes diarios, check-lists, bitácoras, planos de ruta) que permite constatar su adopción sin añadir ensayos ni metas cuantitativas. Dado que las medidas alinean la organización del ciclo con los patrones de rendimiento ya observados, la hipótesis HE4 queda aceptada en el alcance del estudio y el OE4 se da por verificado: la mejora esperada se formula en términos de continuidad, reducción de interferencias y fluidez del ciclo, coherente con la evidencia operativa disponible.

#### **4.5.5 Con respecto a la hipótesis general (HG)**

La hipótesis general plantea que la condición del esquisto de sericita —entendida como combinación de litología y calidad geomecánica— influye directamente en el rendimiento de la TBM, medido por velocidad de avance y continuidad del ciclo. Al haberse aceptado HE1 (dominancia sericítica con rasgos de fábrica definidos), HE2 (calidad geomecánica predominantemente Clase III con parámetros consistentes), HE3 (orden escalonado de velocidades por tipología y mayor rendimiento en sericita frente a cuarcitas bajo jornadas puras) y HE4 (medidas operativas efectivas para sostener y optimizar la continuidad del ciclo), la HG queda respaldada. Los capítulos ROE1–ROE3 establecen el vínculo entre medio excavado y desempeño;

ROE4 ordena acciones operativas que sintonizan con ese vínculo y buscan preservar/elevar la continuidad allí donde los resultados muestran mayor eficiencia. En consecuencia, se acepta la hipótesis general dentro del marco empírico del estudio, dado que las condiciones del macizo sericítico explican de manera consistente las variaciones observadas en velocidad y las necesidades de organización del ciclo durante la excavación con TBM.

## **4.6 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **4.6.1 Discusión de resultados respecto del OE1**

La caracterización litológica y de fábrica, con predominancia de micaesquisto de sericita, foliación marcada con buzamientos medios-altos, venillas de cuarzo y heterogeneidad mesoscópica, se alinea con la experiencia reportada para túneles en roca dura donde la anisotropía y la orientación de las discontinuidades gobiernan la respuesta del frente. En contextos mineros chilenos, Rodríguez (2020) subrayó que el desempeño de TBM en profundidad depende de una lectura fina del terreno y del diseño del equipo, advirtiendo que la extrapolación entre proyectos es improcedente por la especificidad de la estructura y los esfuerzos in situ (Rodríguez, 2020).

En el marco conceptual de TBM para roca dura, Zheng et al. (2016), enfatizan que la clasificación y selección de máquina responde a condiciones del macizo y que la fábrica lepidoblástica, típica de esquistos, condiciona los mecanismos de corte y la estabilidad local del frente (Zheng et al., 2016). De forma complementaria, Syomik et al. (2025) sitúan la discusión en el plano de la gestión de riesgo en construcción de túneles: identificar rasgos estructurales persistentes (p. ej., alineación micácea, bandas de cuarzo, zonas de cizalla) es requisito para prevenir contingencias que emergen por interacciones entre foliación, agua y esfuerzos (do Carmo y Nogueira, 2024).

La convergencia entre estos autores y los resultados del tramo analizado es nítida: la litología dominante y sus texturas explican la anisotropía del macizo observada en frente y hastiales; la foliación, a su vez,

define dominios de respuesta contrastante sin necesidad de invocar parámetros mecánicos en esta sección. La constatación de intercalaciones competentes (cuarcitas) y niveles más micáceos es coherente con escenarios donde la estructura controla la geometría de la rotura a escala de frente, sin que ello suponga aún inferencias operativas. En suma, la lectura geológica conseguida es consistente con las mejores prácticas descritas en la literatura técnica sobre TBM en roca dura, que privilegian el reconocimiento de fábrica y discontinuidades como base para las etapas posteriores de clasificación y modelado del comportamiento.

#### **4.6.2 Discusión de resultados respecto del OE2 (clasificación y parámetros geomecánicos)**

La concentración de calidades intermedias (RMR corregido típico en torno a Clase III), RQD moderado y presencia de agua de “húmedo” a “goteando”, junto con bandas de  $\sigma_c$  para roca intacta, converge con antecedentes de caracterización en labores subterráneas. En un estudio de galería minera, Martínez e Yglesias (2021) reportaron  $RQD \approx 65$ ,  $Q \approx 6.5$  y  $RMR \approx 49$ , valores que definen un macizo de calidad intermedia y habilitan ajustes de diseño para mejorar la eficiencia de perforación; la conclusión central fue la necesidad de un estudio geomecánico cuidadoso para dimensionar mallas y disposiciones constructivas (Martínez e Yglesias, 2021). En el plano regional, Herrera (2020) mostró que la alteración hidrotermal correlaciona fuertemente con la calidad del macizo y, por extensión, con la estabilidad, recordando que la estructura y los rellenos blandos penalizan los índices integradores (Herrera, 2020).

Respecto del uso de esquemas alternativos, la adopción del método BQ para túneles hidráulicos en San Gabán III —con resultados porcentuales dominados por Tipo III y ocurrencia menor de Tipo IV— es coherente con su diseño para captar la influencia del agua, las discontinuidades y las tensiones in situ mediante correcciones K (Pejerrey, 2025). La literatura técnica coincide en que la lectura BQ es particularmente sensible a las

condiciones hídricas, lo que refuerza la convergencia con los registros de humedad observados en el tramo.

El patrón multimodal de  $\sigma_c$  (con bandas bajas, medias y altas) es el esperable en micaesquistos heterogéneos y con anisotropía, sin comprometer la lectura de Clase III predominante cuando se integran RMR y observaciones de juntas. En conjunto, los antecedentes sostienen la interpretación de un macizo con calidad media, controlado por la estructura foliada y por agua puntual, donde los índices empíricos convergen hacia rangos intermedios y, por tanto, orientan soluciones de soporte sistemático acordes.

#### **4.6.3 Discusión de resultados respecto del OE3**

El escalonamiento de velocidades en jornadas depuradas ( $III > II > IV > V$ ) y el diferencial litológico  $SI > CI$  reflejan un comportamiento gobernado por la estructura del macizo y la competencia local. La relación inversa entre resistencia uniaxial y tasa de penetración, junto con la influencia de la foliación y de la humedad, coincide con marcos operativos donde la respuesta de la TBM depende de más de un descriptor mecánico, requiriendo integrar clasificación y parámetros estructurales para explicar la dispersión de la productividad (síntesis alineada con la experiencia comparada en túneles de roca dura).

En clave de planeamiento, Rodríguez (2020) validó el uso del modelo CSM para estimar rendimiento en condiciones exigentes, subrayando que la viabilidad operativa se sostiene cuando el terreno y el diseño de máquina se abordan de manera integrada y sin generalizaciones entre proyectos (Rodríguez, 2020). En escenarios productivos, Syomik, et al. (2025) mostraron que, aun cuando TBM acorta plazos de excavación frente a métodos convencionales, restricciones geométricas y de disponibilidad de frentes pueden introducir interferencias y retrasos que degradan beneficios agregados, una observación coherente con la necesidad de segregar “jornadas puras” y “genéricas” al analizar el rendimiento (Syomik, et al., 2025). Para el caso hidráulico, los estudios comparativos de método TBM vs. convencional en Majes Sigvas II indican que el uso de TBM reduce plazos aun con

incremento presupuestal moderado, y que su desempeño es más resistente a escenarios con roca de peor calidad—lectura compatible con la superioridad del régimen de Tipo III en el tramo analizado (Pazos, 2021).

Así, el patrón empírico observado —mejores medias en Clase III y en sericita, descenso pronunciado en IV–V y en intercalaciones cuarcíticas— se encuentra respaldado por la literatura: el rendimiento se maximiza cuando la anisotropía favorece el clivaje y la estabilidad del ciclo, y disminuye cuando se intensifican las discontinuidades o la competencia del frente obliga a mayores energías específicas y a más interferencias.

#### **4.6.4 Discusión de resultados respecto del OE4**

Las medidas de optimización derivadas de los cuadros de rendimiento se centran en la continuidad del ciclo y en la adecuación del sostenimiento al régimen geomecánico observado. En términos de soporte sistemático, las recomendaciones técnicas para roca Tipo IV y Tipo III —cerchas y mayor densidad de pernos con shotcrete en IV; configuración más liviana en III— son consistentes con guías de diseño para túneles hidráulicos y responden a la distribución real de calidades del tramo. La advertencia sobre avances controlados en transiciones de tipo de roca apunta directamente al problema que, en los resultados, se traduce en pérdida de rendimiento en jornadas “genéricas”; la gestión de esos cambios minimiza detenciones y sobreexcavación en estratos fuertemente foliados (Pejerrey, 2025).

Desde la perspectiva productiva, la literatura muestra que TBM puede reducir plazos respecto a métodos convencionales, siempre que la logística de ciclo, pernos, cerchas, limpieza, dovelas, no introduzcan cuellos de botella. El caso de Majes Sigvas II es ilustrativo: mejor desempeño temporal con un costo ligeramente mayor, y mayor resiliencia del método ante proporciones no previstas de roca de peor calidad, lo que respalda medidas centradas en estabilización rápida del perímetro y gestión de interferencias (Pazos, 2021). En paralelo, la experiencia en niveles de producción masiva con TBM advierte que los beneficios dependen de la disponibilidad de frentes y de restricciones geométricas; la optimización debe, por ello, priorizar secuencias

que eviten bloqueos de recursos y reconfiguración frecuente del ciclo (Herrera, 2021).

Finalmente, el énfasis en tipificar ventanas de operación preferentes (Clase III; litología SI) y en modular el soporte según familia de juntas y humedad guarda plena coherencia con la evidencia y con la literatura sobre gestión del riesgo en túneles: el ordenamiento operativo a partir de la clasificación y del patrón de discontinuidades es la vía para consolidar rendimiento sin añadir incertidumbre.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se ha caracterizado las propiedades geológicas del tramo excavado, estableciendo la predominancia del micaesquisto de sericita como litología continua en las progresivas analizadas, con intercalaciones subordinadas más competentes (cuarcitas y filitas) que no modifican la dominancia sericítica. La fábrica observada corresponde a texturas lepidoblásticas a granolepidoblásticas con alineación micácea que define planos S bien desarrollados, brillo sedoso en superficies de esquistosidad y venillas de cuarzo lechoso de espesor centimétrico. A nivel microtextural se han reconocido porfidoblastos de biotita y clorita inmersos en matriz micácea, cuarzo recristalizado y evidencias puntuales de milonización y micropliegues, rasgos coherentes con una evolución deformacional multievento. Las fotografías de frente y hastiales corroboran la anisotropía del macizo, mostrando laminación marcada, direcciones de foliación persistentes y sectores con bandas más competentes, todo ello sin introducir elementos operativos en la lectura. La tabla de progresivas reproducida mantiene, sin inferencias, los subtramos y longitudes muestreadas con la denominación litológica exacta. En su conjunto, la caracterización entrega una imagen geológica consistente: un paquete sericítico dominante, texturalmente anisótropo y con heterogeneidad mesoscópica acotada por intercalaciones más duras. Este cuadro proporciona la base descriptiva necesaria para las secciones posteriores, al delimitar dominios litológicos y rasgos de fábrica que explican la variabilidad estructural del macizo, sin recurrir a parámetros geomecánicos ni operativos en esta etapa. La evidencia presentada es suficiente para sustentar que la unidad sericítica rige la configuración del entorno excavado y condiciona las observaciones estructurales inmediatas en el frente de túnel.

**SEGUNDA:** Se han determinado las características geomecánicas del macizo esquistoso, precisando que la calidad según RMR corregido se concentra en el rango 41–56 (Clase III), con descensos locales a Clase IV cuando confluyen fracturamiento efectivo denso, rellenos blandos y condición hídrica de “húmedo” a “goteando”. El RQD se ubica en intervalos moderados (~35–65 %), mientras que el espaciamiento de familias F3–F4 se sitúa típicamente entre 0.20 y 0.60 m, con juntas de apertura milimétrica y rugosidad de rugosa

a ligeramente rugosa. En resistencia de roca intacta ( $\sigma_c$ ) se ha verificado una distribución multimodal en tres bandas: 40–50 MPa, 65–85 MPa y 120–125 MPa, patrón compatible con la heterogeneidad mineralógica y la anisotropía por foliación propias del micaesquisto; se complementa con tracción indirecta de 5–9 MPa, módulo de Young de 20–35 GPa y relación de Poisson de 0.25–0.30, delimitando la deformabilidad elástica del material. Cuando corresponde, se ha consignado un GSI referencial de 25–45, útil para lecturas cruzadas en medios foliados sin sustituir la clasificación base empleada. La evaluación de la resistencia a la percusión y rotura indica predominio de R4 con tramos R5, en concordancia con la litología y el estado de discontinuidades. En suma, el macizo presenta calidad intermedia con variación espacial acotada por estructura y humedad, y parámetros de resistencia intacta que explican la respuesta del material a escala de muestra sin desbordar la consistencia de Clase III predominante. Estos resultados conforman un marco geomecánico suficientemente detallado para la lectura del comportamiento observado en operación.

**TERCERA:** Se ha evaluado el desempeño operativo de la tuneladora con segmentación estricta a jornadas puras, demostrando un escalonamiento robusto por tipología: Tipo III registra la mayor velocidad media (2.642 m/h; n=232;  $\approx$ 4,903 m), seguido por Tipo II (1.688 m/h; n=58;  $\approx$ 783 m); Tipo IV desciende a 0.851 m/h (n=45;  $\approx$ 306 m) y Tipo V se sitúa en 0.288 m/h (n=1;  $\approx$ 2.3 m). La distribución de longitudes confirma el peso productivo del régimen III sobre el total excavado. Por litología, en jornadas homogéneas el micaesquisto de sericita alcanza 2.43 m/h y supera a las intercalaciones cuarcíticas con 1.79 m/h, diferencia estable de 0.64 m/h. La lectura operativa asociada explica el patrón: en Tipo II, la alta competencia y baja densidad de discontinuidades incrementan el desgaste de discos y los recambios retrasan el ritmo; en Tipo III, la fracturación relativamente baja favorece continuidad del ciclo y ausencia de cimbreas sistemáticas; en Tipo IV, la fracturación intensa demanda cimbreas y limpieza adicional de detriticos, alargando el ciclo; en Tipo V, zonas puntuales muy fracturadas reducen la velocidad a mínimos observados. El indicador de pernos por jornada en litología sericítica crece monótonamente (15→18→22→26 de Si-II a Si-V), en coherencia con el descenso de velocidad al aumentar la severidad. La consistencia entre

promedios, tamaños muestrales y metraje ejecutado respalda la solidez de la evaluación.

**CUARTA:** Se han propuesto medidas de optimización alineadas con las brechas operativas identificadas, sin introducir cálculos nuevos ni metas numéricas adicionales, y con verificación documental/observacional. Para entornos Tipo II se han definido ventanas programadas de recambio de discos con kit preposicionado e inspección rápida de filos al cierre de empujes largos, orientadas a reducir detenciones no planificadas y estabilizar la continuidad horaria. Para Tipo III se ha dispuesto protección del ciclo mediante señalización, vigías y control de tránsito interno, evitando interferencias durante empuje y mucking a fin de conservar el régimen alto de avance. En Tipos IV–V se ha establecido secuenciación limpia “mucking→cimbreas→reacceso”, buffers de pernos/placas/lechadas en puntos de consumo, rutas unidireccionales temporales y cuadrillas dedicadas a detriticos con descargas cercanas, buscando disminuir bloqueos y esperas en frentes muy fracturados. La verificación se apoya en partes diarios, check-lists, bitácoras y planos de ruta, suficientes para constatar adopción sin instrumentación adicional. El alcance esperado se expresa en términos de continuidad, fluidez y reducción de interferencias, reforzando el desempeño observado donde el ciclo ya es favorable e introduciendo orden operativo donde la estructura del macizo impone mayores exigencias de estabilización. Estos lineamientos constituyen una base práctica de mejora compatible con los cuadros de rendimiento consolidados.

**GENERAL:** Se concluye que el comportamiento de la TBM en la Central Hidroeléctrica San Gabán III está gobernado por la condición del macizo sericítico y su estructura. La caracterización geológica mostró predominio de micaesquisto de sericita con esquistosidad marcada, texturas lepidoblásticas a granolepidoblásticas y venillas de cuarzo subordinadas; esta arquitectura anisótropa explica la heterogeneidad observada a escala de frente. En términos geomecánicos, la calidad se concentró en Clase III según RMR corregido ( $\approx 41-56$ ), con RQD moderado ( $\approx 35-65\%$ ) y resistencia intacta en tres bandas ( $\approx 40-50$ ,  $65-85$  y  $120-125$  MPa), parámetros coherentes con un medio foliado con variaciones locales por discontinuidades y humedad. Sobre esa base, el desempeño operativo depurado a jornadas puras presentó un escalonamiento estable por tipología: III (2.642 m/h) > II (1.688 m/h) > IV

(0.851 m/h) > V (0.288 m/h). Por litología, el micaesquisto de sericita (2.43 m/h) superó a las intercalaciones cuarcíticas (1.79 m/h); y el esfuerzo de sostenimiento en sericita aumentó de 15→18→22→26 pernos/jornada al pasar de Si-II a Si-V, en consonancia con el descenso de velocidad. Estas relaciones confirman que la mayor eficiencia se alcanza en dominios sericíticos de calidad intermedia y se reduce donde la competencia o la fracturación intensifican la interferencia del ciclo. Finalmente, las medidas operativas organizadas —ventanas programadas de recambio de discos en Tipo II, protección del ciclo en Tipo III y secuenciación con cimbreas, buffers y rutas unidireccionales en Tipos IV–V— resultan consistentes con los patrones de rendimiento y orientan una implementación verificable para sostener continuidad y fluidez del uso eficiente de la TBM.

## RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda a los futuros investigadores ampliar la caracterización geológica del esquistos de sericita durante las actividades de perforación con TBM, consolidando un protocolo único de mapeo de frente y hastiales con registros estandarizados de litología, estructuras y atributos texturales. Resulta pertinente aplicar una estrategia de muestreo sistemático por estaciones, con repetibilidad documentada y control de sesgo de observador, incorporando descripciones petrográficas comparables y un banco de imágenes con pauta fija de iluminación y escala. Para robustecer la lectura anisotrópica, conviene priorizar mediciones de orientación de foliación y familias de juntas con intervalos regulares y metadatos completos. La construcción de una base de datos relacional, con trazabilidad por progresiva y fecha, permitirá reproducibilidad, auditoría interna y futuras integraciones con módulos geomecánicos y operativos sin alterar la lógica descriptiva propia de este objetivo. Se recomienda a los futuros proyectistas tomar como supuestos de partida los rasgos verificados en esta tesis, en particular la predominancia de micaesquistos de sericita con foliación marcada y venillas de cuarzo, y utilizar estos patrones para planificar campañas de mapeo y segmentación por estaciones.
- SEGUNDA:** Se a proyectistas desarrollar un programa integrado de clasificación y parámetros que contemple lecturas comparables entre esquemas empíricos y mediciones mecánicas del material intacto y la masa rocosa. En términos metodológicos, la agenda futura debe incluir planillas estación por estación con componentes RMR, RQD, condiciones de juntas y agua, y un repositorio de ensayos que capture la anisotropía del micaesquisto. Es aconsejable incorporar rutinas de control de calidad de datos, con validaciones cruzadas y reglas de detección de outliers, y habilitar análisis retrospectivo para contrastar índices con comportamientos observados en obra. Un módulo de seguimiento hidrogeológico, con registro básico de caudales y estados de humedad, permitiría afinar lecturas temporales y mejorar la coherencia entre clasificación y respuesta del macizo sin cambiar el enfoque del objetivo.
- TERCERA:** Se recomienda desarrollar un marco de modelado predictivo del rendimiento basado en series de tiempo y segmentación operativa, manteniendo la separación estricta entre jornadas puras y genéricas. Metodológicamente,

conviene construir variables de contexto que representen litología, tipología geomecánica y condiciones de ciclo, junto con indicadores de mantenimiento y logística. La implementación de control estadístico del proceso, con alertas tempranas ante cambios de régimen, permitiría anticipar caídas de velocidad y priorizar intervenciones. La comparación entre tramos y periodos, bajo un esquema de diseño cuasi experimental, facilitará la evaluación de la transferibilidad de patrones. Finalmente, la trazabilidad de cada jornada mediante un diccionario de motivos de paro estable garantiza consistencia en el etiquetado y potencia futuros análisis de sensibilidad sin modificar la naturaleza de este objetivo. Se recomienda a los futuros proyectistas usar como referencias operativas los ritmos depurados aquí: 2.642 m/h para Tipo III, 1.688 m/h para Tipo II y 0.851 m/h para Tipo IV; y por litología, 2.43 m/h en sericita frente a 1.79 m/h en intercalaciones cuarcíticas, con segmentación previa de jornadas.

**CUARTA:** Se recomienda ejecutar un plan de validación por fases de las medidas propuestas, combinando pilotos operativos, auditorías observacionales y evaluación formativa de procesos. Un enfoque de simulación de eventos discretos ayudaría a ensayar distintas secuencias de ciclo, verificando cuellos de botella y ventanas de intervención sin afectar la producción. Para la evaluación, conviene definir indicadores de cumplimiento y de estabilidad del ciclo, con comparación antes y después en horizontes razonables y sin imponer metas numéricas rígidas. La documentación sistemática de lecciones aprendidas permitirá la mejora continua y la elaboración de manuales operativos transferibles. Finalmente, un análisis cualitativo de aceptabilidad por parte de los equipos de frente contribuirá a la sostenibilidad de las medidas y a su adaptación a distintos contextos de macizo.

## REFERENCIAS

- Afradi, A., Ebrahimabadi, A., & Hedayatzadeh, M. (2024). Performance prediction of a hard rock TBM using statistical and artificial intelligence methods. *Journal of Mining and Environment*, 15(1), 323–343. <https://doi.org/10.22044/jme.2023.13370.2460>
- Abril, E. G. (2013). *Macizos rocosos* [Clases de laboratorio. Geotecnia I. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba]. Córdoba, Argentina.
- Alvarado, F. (2020). *Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)* [Tesis de magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176858>
- Barla, G., & Pelizza, S. (2000). TBM tunnelling in difficult ground conditions. En *ISRM International Symposium* (pp. ISRM-IS). OnePetro. <https://onepetro.org/ISRMIS/proceedings-abstract/IS00/All-IS00/50725>
- Barton, N. R. (2000). *TBM tunnelling in jointed and faulted rock*. CRC Press.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons.
- Bieniawski von Preinl, Z. T., Celada Tamames, B., Galera Fernández, J. M., & Álvarez Hernández, M. (2006). Rock mass excavability indicator: New way to selecting the optimum tunnel construction method. *Tunnelling and Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research*, 21(3), 237-237.
- Carnero, M. L. (2019). *Análisis del procedimiento constructivo del túnel Pucará trasandino con tuneladora simple escudo en el proyecto Majes Siguan II Fase I, Sibayo—Caylloma—Arequipa 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7715>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.
- Delisio, A., Zhao, J., & Einstein, H. H. (2013). Analysis and prediction of TBM performance in blocky rock conditions at the Lotschberg Base Tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.06.015>
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., & Cording, E. J. (1966, September). Design of surface and near-surface construction in rock. In *ARMA US rock mechanics/geomechanics symposium* (pp. ARMA-66). ARMA.

- Diederichs, M. S. (2007). The 2003 Canadian Geotechnical Colloquium: Mechanistic interpretation and practical application of damage and spalling prediction criteria for deep tunnelling. *Canadian Geotechnical Journal*, 44(9), 1082-1116. <https://doi.org/10.1139/T07-033>
- do Carmo Santos, A. P., & Nogueira, M. C. (2024). Estudo de caso de instrumentação geotécnica das escavações com tuneladora TBM na expansão da linha 2 verde do metrô de São Paulo. *Caderno Pedagógico*, 21(6), e4845-e4845. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-087>.
- Giraldo, E. M. (2010). *Las maquinas tuneleras tipo "TBM" como alternativa al sistema de perforación y voladura para la excavación de tuneles caso: Desarrollo de tuneles en Yuncan*.
- Gong, Q., Lu, J., Xu, H., Chen, Z., Zhou, X., & Han, B. (2021). A modified rock mass classification system for TBM tunnels and tunneling based on the HC method of China. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 137, 104551. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104551>
- Gong, Q., Yin, L., Ma, H., & Zhao, J. (2016). TBM tunnelling under adverse geological conditions: An overview. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57, 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.04.002>
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson.
- Hassanpour, J., Rostami, J., & Zhao, J. (2011). A new hard rock TBM performance prediction model for project planning. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(5), 595–603. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2011.04.004>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Herrenknecht, A. (2023). *Gripper TBM* [Imagen]. Herrenknecht. <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/gripper-tbm/>
- Herrera, E. (2020). *Caracterización Geomecánica Del Macizo Rocoso Aplicado Al Análisis De Estabilidad De Taludes En El Yacimiento Jésica, Ocuvi—Lampa—Puno—2015—2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15519>
- Herrera Pino, G. G. (2021). *Análisis de la aplicabilidad de TBM en nivel de producción de minería Block Caving* [Tesis de magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181787>
- Hoek, E. (2006). *Rock Mass Classification*.

- Kaiser, P. (2006). Rock mechanics considerations for construction of deep tunnels in brittle rock. En S. H. K. (Ed.), *Rock engineering in difficult ground conditions—Soft rock and karst* (pp. 47-58). World Scientific. [https://doi.org/10.1142/9789812772411\\_0004](https://doi.org/10.1142/9789812772411_0004)
- Karami, M., Zare, S., & Rostami, J. (2022). Real-scale numerical analyzing dynamic process of TBM boring in jointed rock; a case study: Kerman Water Conveyance Tunnel in Iran. *Journal of Mining and Environment*, 13(3), 643–666. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.11996.2194>
- Katuwal, P., & Panthi, K. K. (2025). TBM Penetration Rate Prediction in Himalayan Geology Using Machine Learning (ML) Techniques. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00603-025-05044-z>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). Wadsworth.
- Khademi Hamidi, J., Shahriar, K., Rezai, B., & Rostami, J. (2010). Performance prediction of hard rock TBM using Rock Mass Rating (RMR) system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25(4), 333-345. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2010.01.008>
- Li, X., Chen, Z., Chen, J., & Zhu, H. (2024). Multi-step real-time prediction of hard-rock TBM penetration rate combining temporal convolutional network and squeeze-and-excitation block. *Scientific Reports*, 14, 14341. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65351-3>
- Li, X., Wu, L., Wang, Y., Liu, H., Chen, Z., Jing, L., & Wang, Y. (2024). A data driven real-time perception method of rock condition in TBM construction. *Canadian Geotechnical Journal*, 61(5), 1018-1034. <https://doi.org/10.1139/cgj-2023-0168>
- Mamani, Y. D. (2023). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso de la Mina 9-10 de Shougang Hierro Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19537>
- Martinez, D. S., & Yglesias, J. R. (2021). *Estudio geomecánico del macizo rocoso para mejorar la malla de perforación en la galería 700 SW - Mina Pallasca* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99664>
- Pazos Alvarado, I. J. (2021). *Análisis comparativo de la construcción de túnel hidráulico mediante máquina tuneladora tipo escudo simple y método convencional: Caso Majes Siguas II* [Tesis de magíster, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/22069>

- Pejerrey Dioscris, J. J. (2025). Máquina perforadora de túneles para optimizar costo y tiempo en la construcción del trasvase de recursos hídricos en la Cordillera de Los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15719>
- Reátegui, C. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la construcción del túnel de metro de Lima-Callao línea 2, mediante máquinas tuneladoras* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15892>
- Ricai, I. C. D. (2019). *Evaluación de las características geomecánicas del macizo rocoso en el yacimiento de caliza “Mogote San Nicolás”* [Tesis doctoral, Departamento de Minas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa]. Repositorio Institucional del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3752>
- Rodríguez Toro, C. E. (2020). *Desafíos geomecánicos para el uso de TBM en minería masiva de Chile* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177569>
- Rostami, J. (2016). Performance prediction of hard rock Tunnel Boring Machines (TBMs) in difficult ground. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.01.009>
- Ruiz, J. K. (2022). *Influencia del estudio geomecánico en el diseño de mallas de perforación y voladura en labores mineras subterráneas en Minera Chalhuane S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8184>
- Salimi, A., Rostami, J., Moormann, C., & Delisio, A. (2017). Evaluating the Suitability of Existing Rock Mass Classification Systems for TBM Performance Prediction by using a Regression Tree. *Procedia Engineering*, 191, 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.185>
- Sapigni, M., Berti, M., Bethaz, E., Busillo, A., & Cardone, G. (2002). TBM performance estimation using rock mass classifications. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39(6), 771-788. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00069-2](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00069-2)
- Syomik, A., Logarzo, A., Padron, L. S., Iacullo, S., y Manfroi, E. (2025). Beneath the city: Tunnelling challenges and solutions for the Metro Line 2 viaduct undercrossing in Lima. En *Tunnelling into a Sustainable Future—Methods and Technologies* pp. 3263–3270. CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003559047-416/beneath-city-tunnelling-challenges-solutions-metro-line-2-viaduct-undercrossing-lima-syomik-logarzo-suarez-padron-iacullo-manfroi>

- Scherrenberg, A. F., Kohn, B. P., Holcombe, R. J., & Rosenbaum, G. (2016). Thermotectonic history of the Marañón Fold–Thrust Belt, Peru: Insights into mineralisation in an evolving orogen. *Tectonophysics*, 667, 16-36. [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2016Tectp.667...16S/doi:10.1016/j.tecto.2015.11.007](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2016Tectp.667...16S/doi:10.1016/j.tecto.2015.11.007)
- Sun, M., Chen, S., He, H., Wang, W., Song, K., & Lin, X. (2024). Classification and prediction of rock mass drillability for a tunnel boring machine based on operational data mining. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1518844. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1518844>
- Zhang, Y., Zhou, J., Qiu, Y., Armaghani, D. J., Xie, Q., Yang, P., & Xu, C. (2024). A visual survey of tunnel boring machine (TBM) performance in tunneling excavation: Mainstream direction, brief review and future prospects. *Applied Sciences*, 14(11), 4512. <https://doi.org/10.3390/app14114512>
- Zheng, Y. L., Zhang, Q. B., & Zhao, J. (2016). Challenges and opportunities of using tunnel boring machines in mining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57, 287-299. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.01.023>

## APÉNDICES

## Apéndice 1: Matriz de consistencia

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Variabes	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Unidades	Metodología
<p><b>Pregunta general de investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo influyen las características geológicas y geomecánicas del esquistos de sericita en el rendimiento de la tuneladora TBM para la excavación del túnel de conducción en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?</li> </ul> <p><b>Preguntas específicas de investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son las propiedades geológicas del esquistos de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?</li> <li>¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso conformado por el esquistos de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?</li> <li>¿Cómo varía el desempeño operativo de la tuneladora TBM al excavar el túnel de conducción en diferentes tipos de características geomecánicas presentes en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III?</li> <li>¿Qué medidas de optimización se pueden desarrollar para el uso de la tuneladora (TBM) en el esquistos de sericita en el Proyecto San Gabán III?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar la influencia del esquistos de sericita en el rendimiento de la tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterizar las propiedades geológicas del esquistos de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.</li> <li>Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso conformado por esquistos de sericita durante la excavación con TBM en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.</li> <li>Evaluar el desempeño operativo de la tuneladora (TBM) en diferentes tipos de características geomecánicas en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.</li> <li>Proponer medidas para la optimización del uso de la tuneladora (TBM) sobre el macizo rocoso conformado por esquistos de sericita mediante cuadros de rendimiento.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La condición del esquistos de sericita influye directamente en el rendimiento de la TBM en la Central Hidroeléctrica San Gabán III, medido por la velocidad de avance y la continuidad del ciclo (interferencias).</li> </ul> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El tramo de excavación con TBM se caracteriza por la predominancia de esquistos de sericita con esquistosidad marcada y venillas de cuarzo en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.</li> <li>El macizo de esquistos de sericita presenta calidad geomecánica predominante Clase III (RMR corregido), lo que condiciona la excavación con TBM.</li> <li>La velocidad de la TBM en jornadas puras varía significativamente con la tipología geomecánica (II-V) y resulta mayor en sericita que en intercalaciones cuarcíticas.</li> <li>La implementación de medidas operativas basadas en los cuadros de rendimiento mejora la continuidad del ciclo y optimiza el rendimiento de la TBM en esquistos de sericita.</li> </ul>	<p>Variable independiente: <b>Esquistos de sericita</b></p> <p>Variable dependiente: <b>Rendimiento operativo de la TBM</b></p>	<p>Descripción geológica</p> <p>Discontinuidades e hidrología</p> <p>Clasificación geomecánica</p> <p>Resistencia de roca intacta</p> <p>Segmentación operativa</p> <p>Velocidad de avance</p> <p>Sostenimiento operativo</p> <p>Continuidad del ciclo</p>	<p>Progresivas y estaciones</p> <p>Litología y fábrica</p> <p>Familias y espaciamiento</p> <p>Condición de juntas</p> <p>Condición de agua</p> <p>RQD</p> <p>RMR básico y corregido</p> <p>σc, tracción, módulo y Poisson</p> <p>Segmentación operativa</p> <p>Velocidad de avance</p> <p>Sostenimiento operativo</p> <p>Continuidad del ciclo</p>	<p>Listados de subtramos (inicio-fin) y longitudes; correspondencia estación-progresiva</p> <p>Denominación litológica (micaesquistos de sericita); foliación/laminación; venillas de cuarzo; brillo micáceo; micropliegues/milonitización cuando constan</p> <p>Familias F3-F4; espaciamiento típico 0.20-0.60 m</p> <p>Apertura (mm), rugosidad (de rugosa a ligeramente rugosa), relleno blando cuando corresponde</p> <p>Seco, húmedo, goteando/chorreando (según registro)</p> <p>Porcentaje de roca sana recuperada por estación</p> <p>Puntaje RMR(b); corrección por orientación (0, -2, -5, -10, -12); Clase II-V</p> <p>σc en bandas (p. ej., 40-50; 65-85; 120-125 MPa); tracción indirecta (MPa); módulo de Young (GPa); v (-) cuando constan</p> <p>Marca de pureza: pura / genérica (las genéricas no se usan para promedios)</p> <p>SI (sericita) / CI (cuarcitas intercaladas)</p> <p>II, III, IV, V (consistentes con RMR corregido)</p> <p>Velocidad promedio (m/h) por II-V; n de jornadas; longitud acumulada (m)</p> <p>Velocidad promedio (m/h) SI vs CI (jornadas puras)</p> <p>Número total de pernos instalados por jornada en SI, discriminado por tipología (SI-II...SI-V)</p> <p>Recambio de discos, limpieza de détricos, montaje de cimbra; registro descriptivo asociado a tipología</p>	<p>Códigos de progresiva; m</p> <p>Categorías/nota descriptiva</p> <p>m</p> <p>mm / categorías</p> <p>Categorías</p> <p>%</p> <p>Puntos / clase</p> <p>MPa, GPa, —</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>m/h; jornadas; m</p> <p>m/h</p> <p>Pernos/jornada</p> <p>Categorías/nota descriptiva</p>	<p><b>Tipo:</b> cuantitativo, no experimental, observacional, de fuente primaria.</p> <p><b>Nivel:</b> descriptivo-explicativo.</p> <p><b>Diseño:</b> longitudinal por progresivas, con depuración de jornadas (puras vs. genéricas).</p> <p><b>Población:</b> totalidad del túnel de conducción de la C.H. San Gabán III.</p> <p><b>Muestra:</b> subtramos con esquistos de sericita entre Y5+990 y Y12+793 (aprox. 7km muestreados) y jornadas operativas asociadas.</p> <p><b>Unidad de análisis:</b> estación-progresiva (geología/geomecánica) y jornada (operación).</p> <p><b>Técnicas de recolección:</b> mapeo de frente y hastiales con registro fotográfico; clasificación geomecánica (RMR/RQD, condición de juntas y agua); ensayos de roca intacta (sigma c, tracción indirecta); revisión de partes y planillas de operación; depuración de base para velocidades por tipología y litología.</p> <p><b>Instrumentos:</b> fichas de campo geológicas; formatos RMR; hojas de laboratorio; partes diarios TBM; bitácoras de sostenimiento; planillas de producción y control; criterios de inclusión y control de calidad documental aplicado.</p>

**Apéndice 2:** *Instrumentos de Investigación*

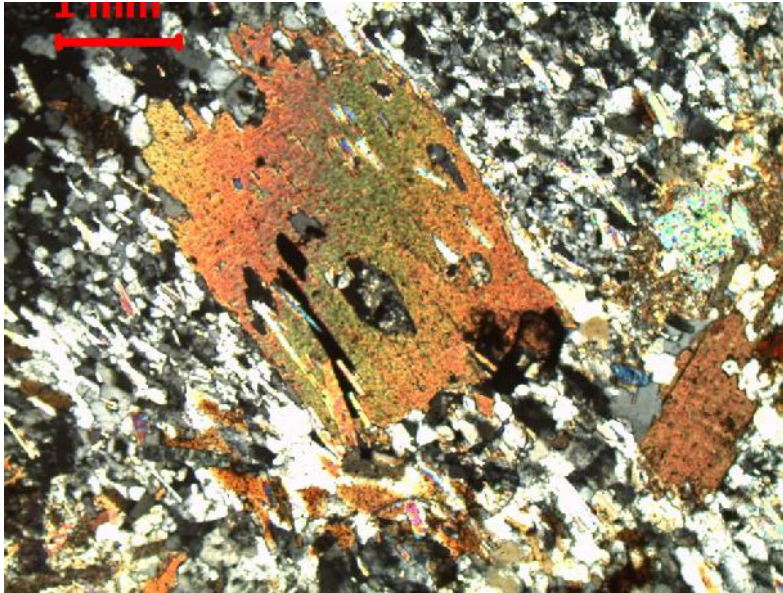
## APÉNDICE

### DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA PARA EL TÚNEL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN GABAN III

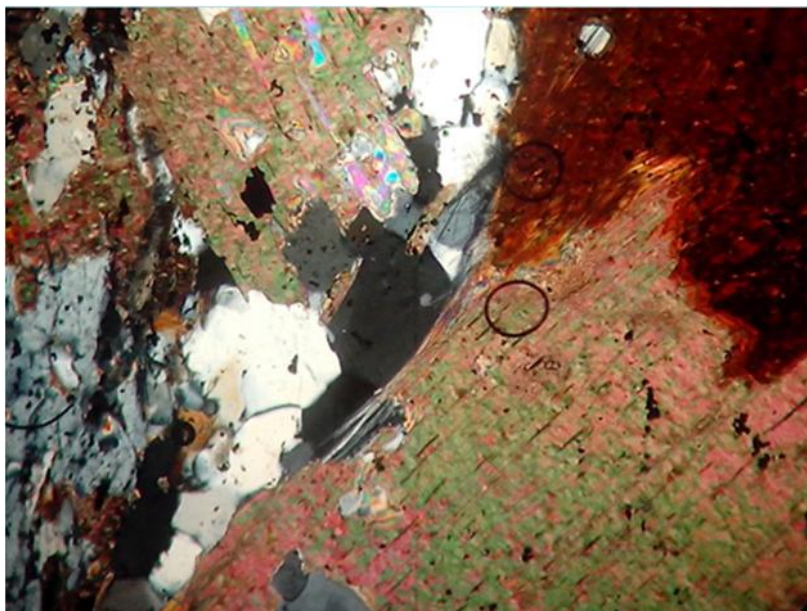
El macizo rocoso interceptado por el túnel de la Central Hidroeléctrica San Gabán III incluye una unidad metamórfica dominante constituida por micaesquistos de composición pelítica, que representan el producto de un metamorfismo progresivo de rocas de origen arcilloso. Este proceso implica una transición gradual desde pizarra fina, pasando por filitas, hasta esquistos micáceos de mayor tamaño de grano, sin cambios extremos de temperatura, de modo que las asociaciones mineralógicas se mantienen en gran medida comparables a lo largo de la serie. La roca resultante exhibe una fábrica intensamente orientada, con desarrollo de esquistosidad bien definida y clara anisotropía mecánica, rasgos que condicionan su respuesta frente a la excavación mecanizada con TBM.

La asociación mineral típica de estos micaesquistos pelíticos de bajo a medio grado está dominada por micas blancas (moscovita/sericita) y clorita, acompañadas por cuarzo en proporciones significativas, con albita, epidota y calcita como fases subordinadas. En lámina delgada, la moscovita aparece como cristales relativamente gruesos, de carácter biaxial, que suelen conformar agregados compuestos por láminas alternantes de moscovita prácticamente incolora y clorita de tonalidad verde intensa. Con el incremento del grado metamórfico, propio de subfacies donde se estabilizan biotita y clorita, emergen láminas de biotita parda rojiza en reemplazo parcial del par moscovita-clorita, reforzando el bandeo micáceo y la diferenciación textural.

**Figura A.1:** Fotomicrografía. Porfidoblastos de biotita y clorita en matriz micácea de micaesquisto de la zona de San Gabán III.



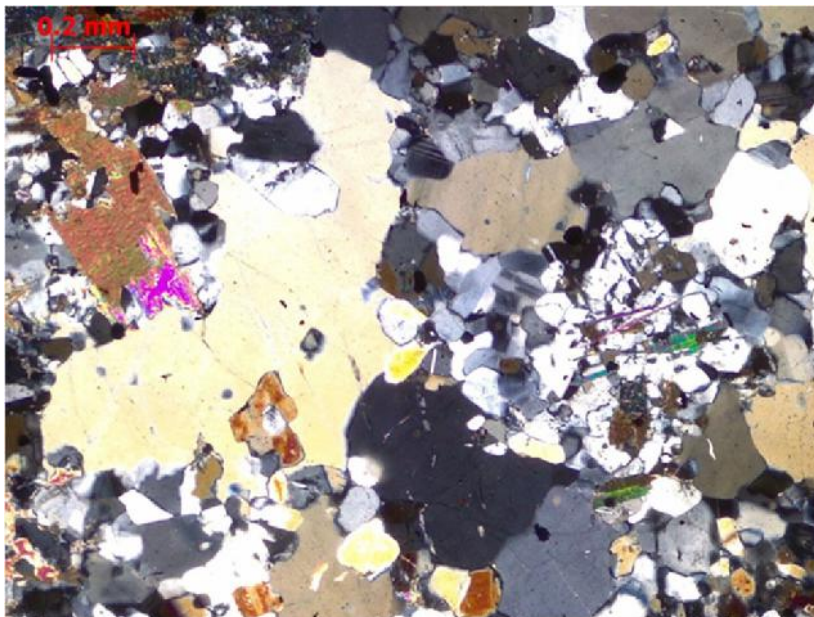
**Figura A.2:** Fotomicrografía Micaesquisto de biotita, clorita, cuarzo y albita, con sericita, talco y minerales opacos como accesorios.



Además de estas fases principales, en algunos sectores se observa cloritoide en forma de porfidoblastos tabulares, densamente cargados con inclusiones de cuarzo, típico de ensamblajes pelíticos relativamente pobres en potasio y enriquecidos en hierro. Entre los minerales accesorios se reconocen con frecuencia esfena, turmalina, apatito, magnetita, grafito y granates ricos en magnesio, que completan el inventario mineral de estos esquistos de origen pelítico. Estas especies contribuyen a matices de color, opacidad y respuesta óptica, y, en ciertos casos, marcan microzonas de mayor rigidez o de alteración incipiente.

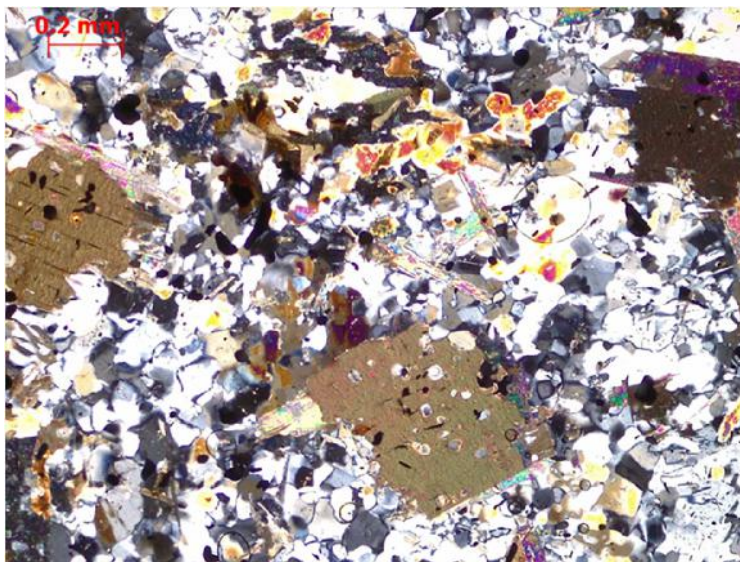
Desde el punto de vista textural, el micaesquisto se describe como una roca de grano fino a muy fino, con tonos gris oscuros a verdosos y un brillo sedoso marcado en planos preferentes. En superficies frescas se distingue el lustre vítreo del cuarzo y el brillo sedoso de las micas, organizados en una fábrica lepidoblástica a granolepidoblástica: los cristales micáceos definen láminas y bandas, mientras que el cuarzo forma mosaicos subequantiales recristalizados que aportan rigidez local. El resultado es un bandeado anisótropo claramente visible tanto en frente como en hastiales, que se corresponde con un plano de esquistosidad continuo a semicontinuo (plano S), responsable de la marcada lajosidad y del comportamiento anisótropo del macizo.

**Figura A.3:** Fotomicrografía Micaesquisto de cuarzo, albita y biotita, mostrando ligera orientación de los planos de esquistosidad.



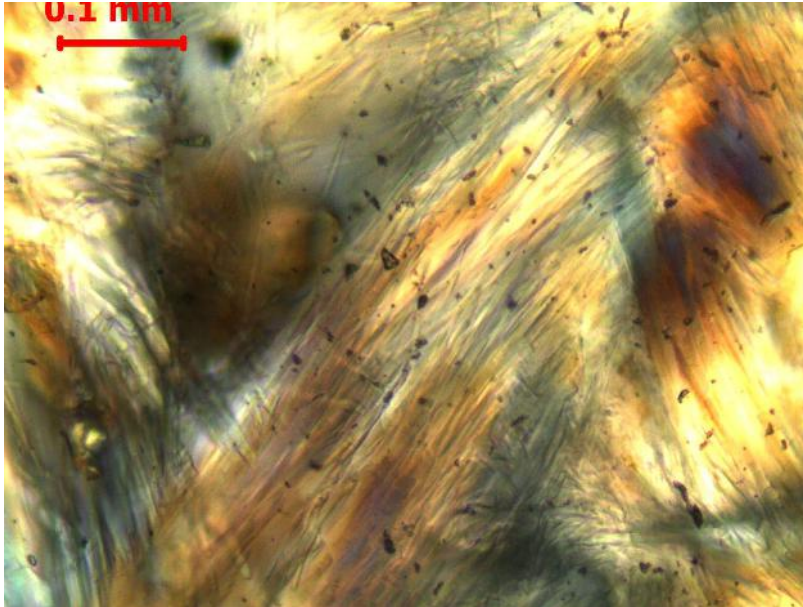
La observación microscópica de secciones delgadas procedentes de la Central Hidroeléctrica San Gabán III confirma la presencia de texturas granoblásticas de cuarzo recristalizado en íntima asociación con biotita y otras micas, lo que evidencia procesos de recristalización bajo condiciones de metamorfismo regional. Estos mosaicos de cuarzo, a menudo poligonales, se intercalan con agregados de biotita y clorita que refuerzan el alineamiento preferente de la fábrica.

**Figura A.4:** Fotomicrografía 21. Texturas granoblásticas de cristales de biotita y cuarzo recristalizado en micaesquisto de la central hidroeléctrica de San Gabán III (luz polarizada, 10x).



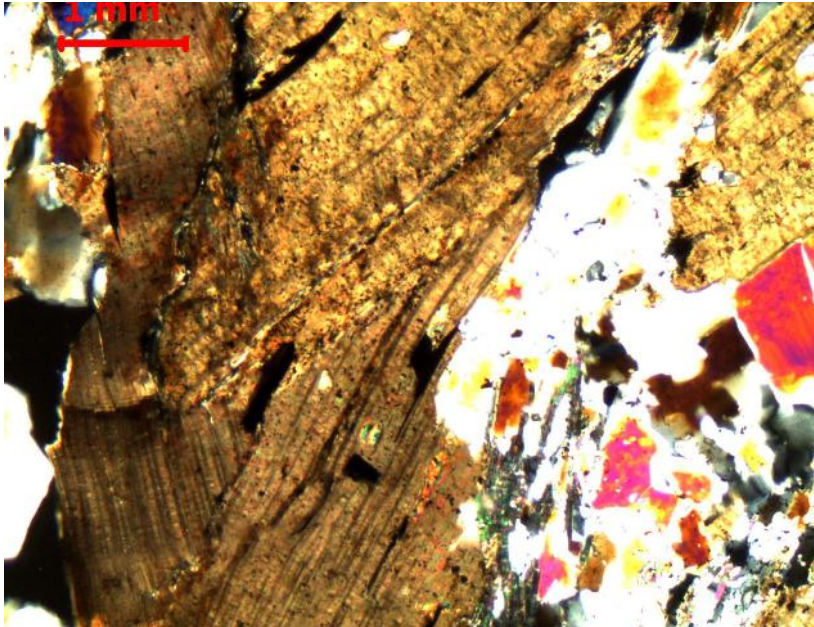
En distintos sectores se documenta también la presencia de minerales de alteración, en particular talco asociado a lepidolitas y biotitas, lo que sugiere episodios de transformación posteriores sobre el ensamblaje original de micas y cuarzo. Estas fases de alteración suelen concentrarse en zonas de mayor perfusión de fluidos o en bandas miloníticas, donde el retrabajo tectónico ha incrementado la permeabilidad y la susceptibilidad a procesos hidrotermales o de alteración retrograda.

**Figura A.5:** Fotomicrografía 23. Talco asociado a lepidolitas y biotitas en micaesquisto de la Central Hidroeléctrica San Gabán II (metamorfismo regional de grado medio a alto).

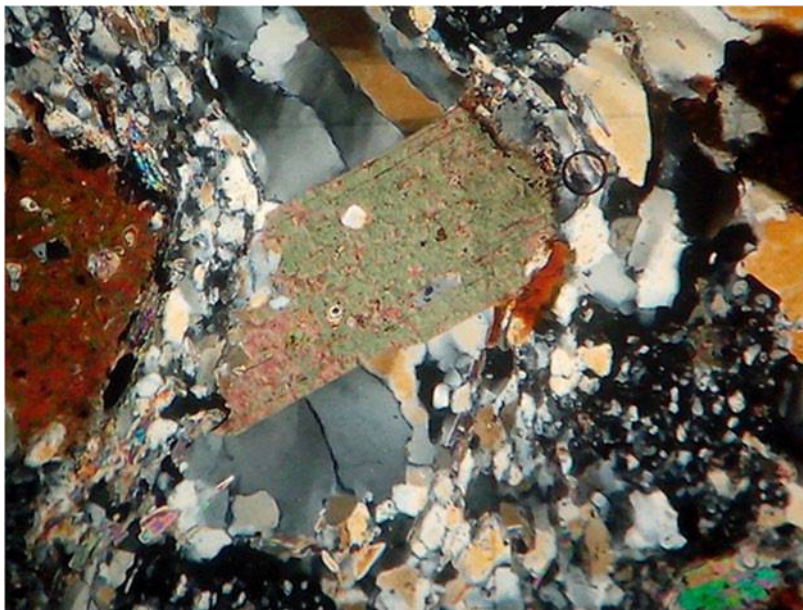


En algunas láminas se identifican porfidoblastos de biotita con evidencias de milonitización, es decir, cristales parcialmente desmembrados y elongados en la dirección de flujo, que delatan más de un episodio de metamorfismo de alto grado y deformación superpuesta. Estas estructuras indican una historia geológica compleja, con al menos tres eventos metamórficos registrados en la textura, reflejados en plegamientos internos y en la reorientación de las micas.

**Figura A.6:** Fotomicrografía 24. Porfidoblastos de biotita milonitizada en micaesquisto de San Gabán, evidenciando múltiples eventos de metamorfismo de alto grado.

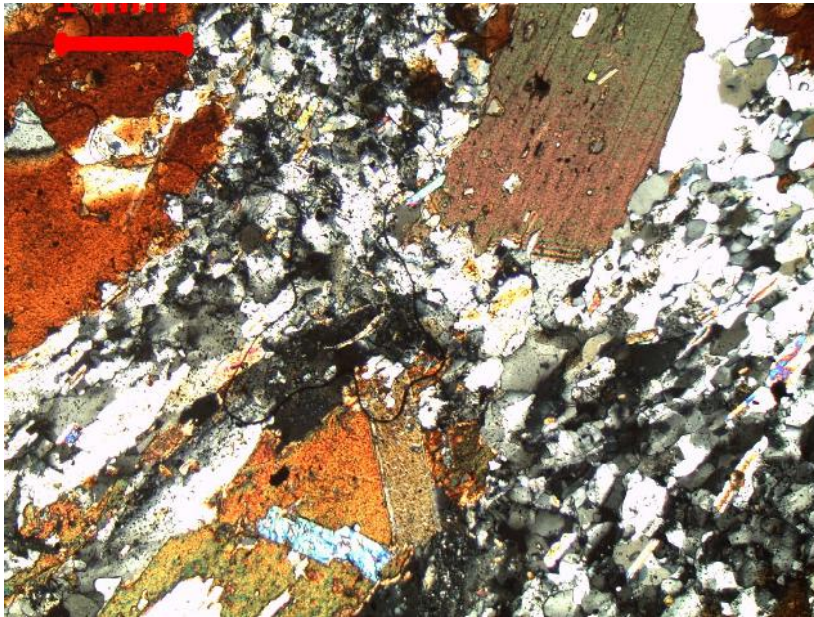


**Figura A.7:** Fotomicrografía “Esquisto biotítico de San Gabán I”, con cristales de cuarzo y biotita recrystalizados y plegados en la dirección de flujo.



La combinación de biotita, cuarzo, clorita, sericita y albita, acompañados de minerales máficos subordinados, refuerza la interpretación de un micaesquisto pelítico con elevado grado de anisotropía estructural. En secciones donde la esquistosidad se observa con nitidez, la orientación paralela de las micas define planos de debilidad preferentes, mientras que el cuarzo y los feldspatos ocupan dominios relativamente más competentes. Esta organización interna genera un comportamiento mecánico fuertemente direccional, con diferencias marcadas de resistencia y deformabilidad según la orientación de la carga respecto del plano S.

**Figura A.8:** Fotomicrografía 39. Micaesquisto de biotita, cuarzo, clorita, sericita y albita con minerales máficos, donde se aprecia claramente la dirección de la esquistosidad.



En síntesis, el micaesquisto de San Gabán se caracteriza por: (a) una transición metamórfica típica de rocas pelíticas, con asociaciones moscovita–clorita–cuarzo más albita y epidota, evolucionando hacia ensamblajes con biotita; (b) una fábrica lepidoblástica a granolepidoblástica con fuerte esquistosidad; (c) presencia de porfidoblastos de cloritoide y biotita, así como minerales accesorios como esfena, turmalina, apatito, magnetita, grafito y granate magnesiano; y (d) evidencias de alteración y milonitización que reflejan una historia tectono-metamórfica compleja.

# CENTRAL HIDROELECTRICA SAN GABAN III PERU

## INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE ROCAS

### INFLUENCIA DEL ESQUISTO DE SERICITA EN EL RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA SAN GABÁN III, 2024

#### DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS MÁXIMOS

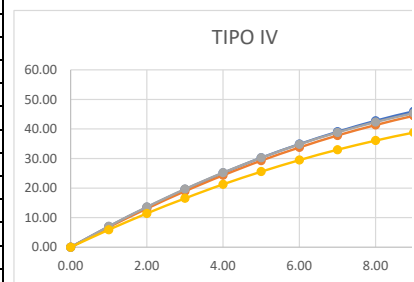
##### TIPO DE ROCA IV

1

1		2		3		4		5		6	
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.25	1.00	8.32	1.00	11.00	1.00	9.79	1.00	7.63	1.00	7.85
2	16.02	2.00	16.15	2.00	21.44	2.00	18.98	2.00	14.75	2.00	15.25
3	23.32	3.00	23.51	3.00	31.34	3.00	27.56	3.00	21.34	3.00	22.22
4	30.14	4.00	30.38	4.00	40.68	4.00	35.54	4.00	27.41	4.00	28.75
5	36.49	5.00	36.78	5.00	49.47	5.00	42.91	5.00	32.95	5.00	34.84
6	42.36	6.00	42.69	6.00	57.71	6.00	49.67	6.00	37.98	6.00	40.48
7	47.76	7.00	48.13	7.00	65.40	7.00	55.83	7.00	42.48	7.00	45.69
8	52.68	8.00	53.08	8.00	72.53	8.00	61.39	8.00	46.47	8.00	50.46
9	57.12	9.00	57.55	9.00	79.11	9.00	66.34	9.00	49.93	9.00	54.78
10	61.09	10.00	61.54	10.00	85.15	10.00	70.68	10.00	52.87	10.00	58.67
10.50	62.90	10.40	63.00	10.60	88.50	10.60	73.00	10.40	53.90	10.40	60.10
66.90											

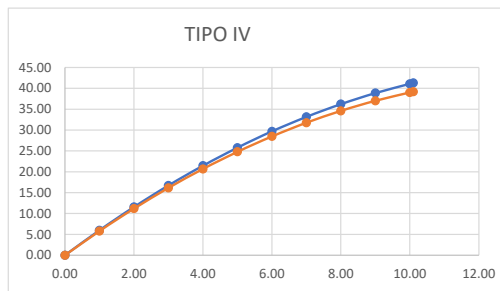
2

1		2		3		4	
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	7.00	1.00	6.78	1.00	7.08	1.00	5.93
2.00	13.52	2.00	13.10	2.00	13.64	2.00	11.45
3.00	19.58	3.00	18.96	3.00	19.70	3.00	16.57
4.00	25.16	4.00	24.36	4.00	25.25	4.00	21.28
5.00	30.27	5.00	29.30	5.00	30.29	5.00	25.59
6.00	34.91	6.00	33.78	6.00	34.82	6.00	29.50
7.00	39.08	7.00	37.80	7.00	38.84	7.00	33.00
8.00	42.78	8.00	41.36	8.00	42.35	8.00	36.10
9.00	46.01	9.00	44.46	9.00	45.36	9.00	38.80
10.00	48.77	10.00	47.10	10.00	47.85	10.00	41.09
10.30	49.50	10.30	47.80	10.30	48.50	10.20	41.50
46.83							



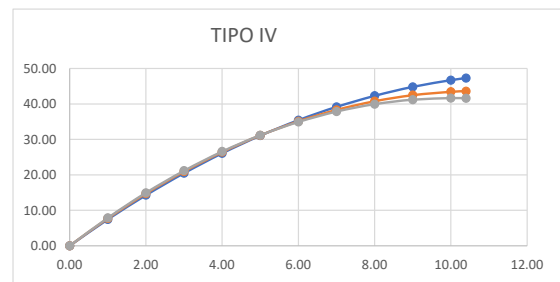
3

1		2	
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	6.00	1.00	5.81
2.00	11.58	2.00	11.19
3.00	16.74	3.00	16.15
4.00	21.48	4.00	20.69
5.00	25.80	5.00	24.81
6.00	29.70	6.00	28.50
7.00	33.18	7.00	31.76
8.00	36.24	8.00	34.61
9.00	38.88	9.00	37.03
10.00	41.10	10.00	39.02
10.10	41.30	10.10	39.20
40.25			



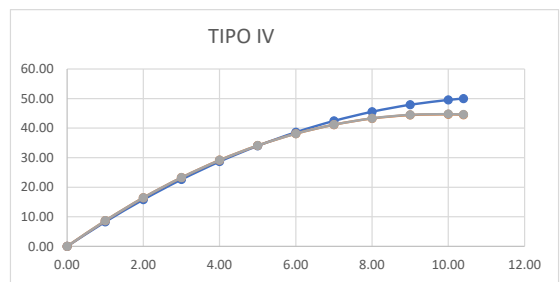
4

1		2		3	
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	7.45	1.00	7.74	1.00	7.89
2.00	14.28	2.00	14.72	2.00	14.96
3.00	20.50	3.00	20.95	3.00	21.20
4.00	26.10	4.00	26.43	4.00	26.60
5.00	31.08	5.00	31.15	5.00	31.18
6.00	35.44	6.00	35.11	6.00	34.93
7.00	39.19	7.00	38.32	7.00	37.86
8.00	42.31	8.00	40.78	8.00	39.95
9.00	44.82	9.00	42.48	9.00	41.22
10.00	46.72	10.00	43.43	10.00	41.66
10.40	47.30	10.40	43.60	10.40	41.60
44.17					



5

1		2		3	
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	8.28	1.00	8.71	1.00	8.70
2.00	15.83	2.00	16.48	2.00	16.47
3.00	22.63	3.00	23.30	3.00	23.29
4.00	28.70	4.00	29.19	4.00	29.18
5.00	34.02	5.00	34.13	5.00	34.12
6.00	38.61	6.00	38.12	6.00	38.13
7.00	42.46	7.00	41.17	7.00	41.20
8.00	45.56	8.00	43.28	8.00	43.33
9.00	47.93	9.00	44.45	9.00	44.51
10.00	49.56	10.00	44.67	10.00	44.76
10.40	50.00	10.40	44.50	10.40	44.60
46.37					



**TIPO DE ROCA III**

6

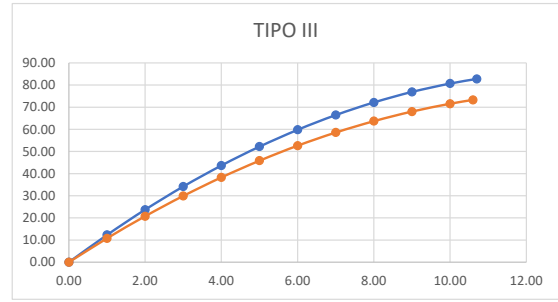
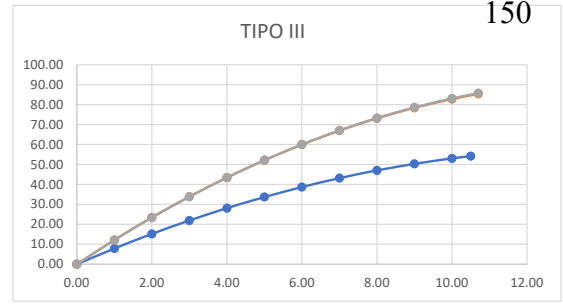
T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	7.88	1.00	12.15	1.00	12.12
2.00	15.20	2.00	23.44	2.00	23.39
3.00	21.93	3.00	33.87	3.00	33.82
4.00	28.10	4.00	43.44	4.00	43.40
5.00	33.69	5.00	52.15	5.00	52.14
6.00	38.71	6.00	60.01	6.00	60.03
7.00	43.16	7.00	67.00	7.00	67.08
8.00	47.03	8.00	73.13	8.00	73.28
9.00	50.33	9.00	78.41	9.00	78.64
10.00	53.05	10.00	82.82	10.00	83.15
10.50	54.20	10.70	85.40	10.70	85.80

75.13

T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	12.35	1.00	10.79
2.00	23.74	2.00	20.78
3.00	34.19	3.00	29.96
4.00	43.69	4.00	38.33
5.00	52.23	5.00	45.89
6.00	59.83	6.00	52.64
7.00	66.47	7.00	58.59
8.00	72.17	8.00	63.73
9.00	76.91	9.00	68.05
10.00	80.71	10.00	71.58
10.70	82.80	10.60	73.30

78.05

7

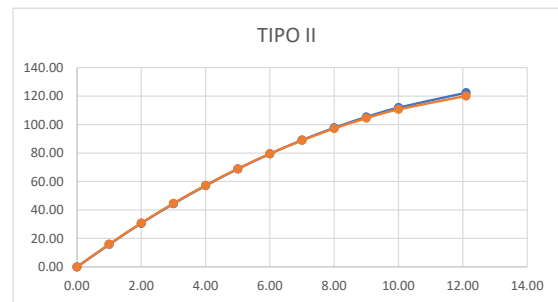


**TIPO DE ROCA II**

8

T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	15.82	1.00	15.98
2.00	30.61	2.00	30.86
3.00	44.37	3.00	44.66
4.00	57.10	4.00	57.36
5.00	68.81	5.00	68.98
6.00	79.49	6.00	79.50
7.00	89.15	7.00	88.94
8.00	97.77	8.00	97.28
9.00	105.37	9.00	104.54
10.00	111.94	10.00	110.70
12.10	122.40	12.10	120.10

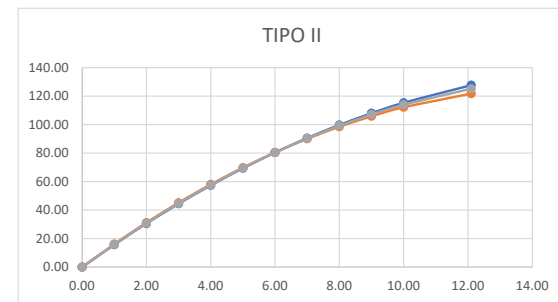
121.25



9

T	Esfuerzo	T	Esfuerzo	T	Esfuerzo
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	15.75	1.00	16.16	1.00	15.93
2.00	30.57	2.00	31.22	2.00	30.85
3.00	44.45	3.00	45.19	3.00	44.76
4.00	57.40	4.00	58.06	4.00	57.68
5.00	69.40	5.00	69.83	5.00	69.58
6.00	80.47	6.00	80.50	6.00	80.48
7.00	90.60	7.00	90.07	7.00	90.38
8.00	99.80	8.00	98.54	8.00	99.27
9.00	108.06	9.00	105.92	9.00	107.15
10.00	115.38	10.00	112.19	10.00	114.03
12.10	127.70	12.10	121.80	12.10	125.20

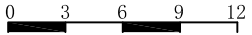
124.90



# APENDICE MAPEO GEOLÓGICO

## 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PEP

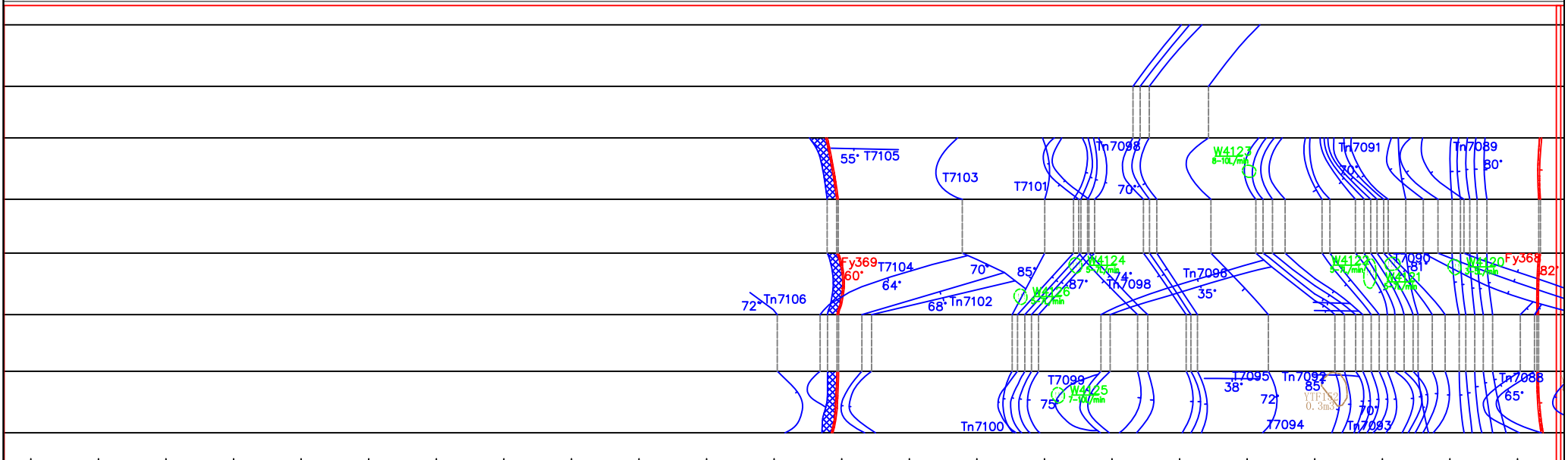
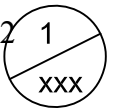
Scale 

**Y06+700 -----Y14-830**

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 152 1

Scale 0 3 6 9 12



Y6+650	Y6+660	Y6+670	Y6+680	Y6+690	Y6+700	Y6+710	Y6+720	Y6+730	Y6+740	Y6+750
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo					寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系伊里斯组:绢云母片岩 (E-ci):Esquistos de sericita		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	
微新岩体 Fresca 较完整 Relativamente Completo					微新岩体 Fresca 较破碎 Relativamente Fracturado		微新岩体 Fresca 破碎 Fracturado		微新岩体 Fresca 较破碎 Relativamente Fracturado	
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo					潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	
II					III		IV		III	

冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y numeracion	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nemeracion	126.8°
奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabón III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01

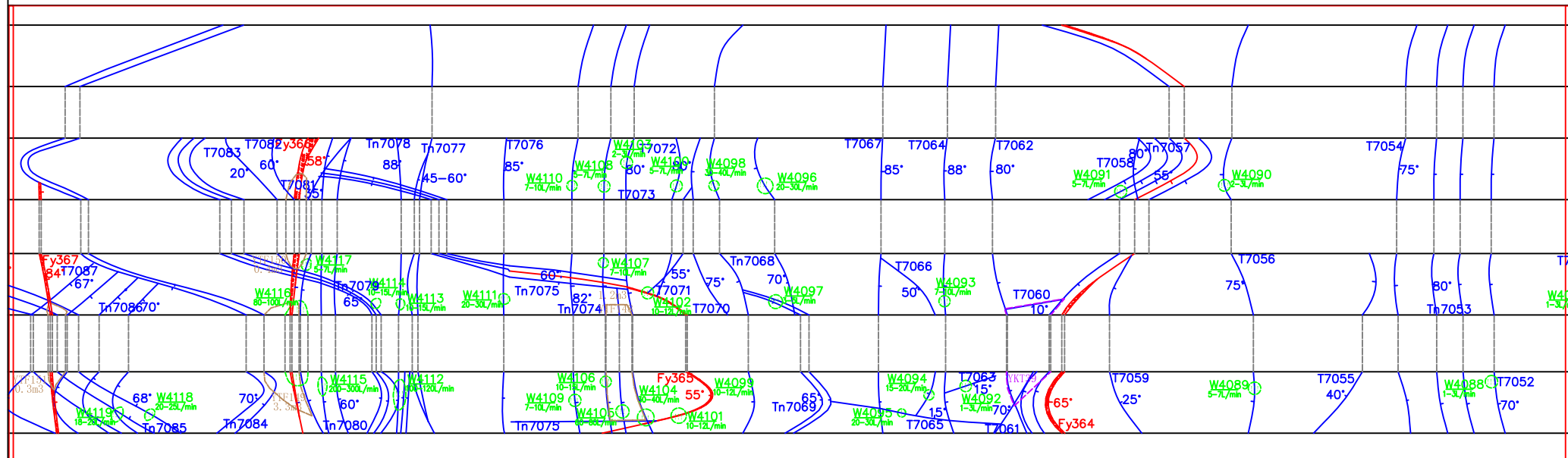
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 153 1



Scale 0 3 6 9 12



Y6+760	Y6+770	Y6+780	Y6+790	Y6+800	Y6+810	Y6+820	Y6+830	Y6+840	Y6+850	Y6+860	Y6+870
伊斯组: 绢云母片岩 Esquistos de sericita	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-c): Esquistos de sericita	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较完整 Relativamente Completo	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
IV	III	IV	III	II	III						

**Lengenda**

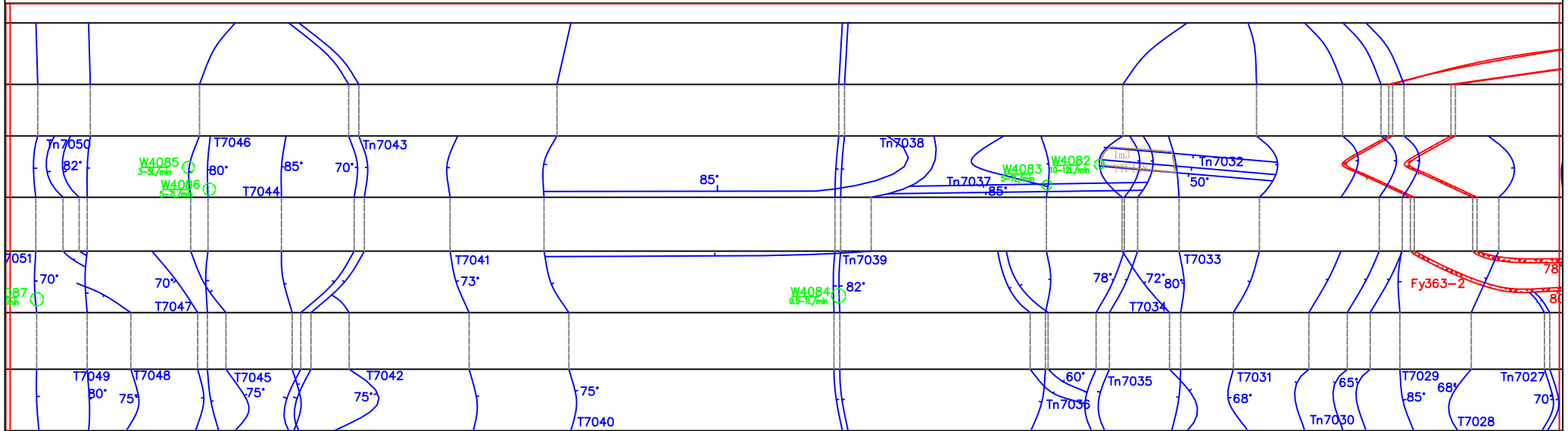
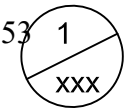
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩坡积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO	比例 SCALE	如图 AS NOTED
日期 FECHA	设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 153 1

Scale 0 3 6 9 12



Y6+880	Y6+890	Y6+900	Y6+910	Y6+920	Y6+930	Y6+940	Y6+950	Y6+960	Y6+970	Y6+980
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		
微新岩体 Fresca 较完整			微新岩体 Fresca 较完整			微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		
Relativamente Completo			Relativamente Completo			Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		
干燥 Seco			干燥 Seco			干燥 Seco		干燥 Seco		
II			II			III		III		

Legend

冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y nomenclacion	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
二叠系花岗岩长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion	126.8°
奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabón III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01

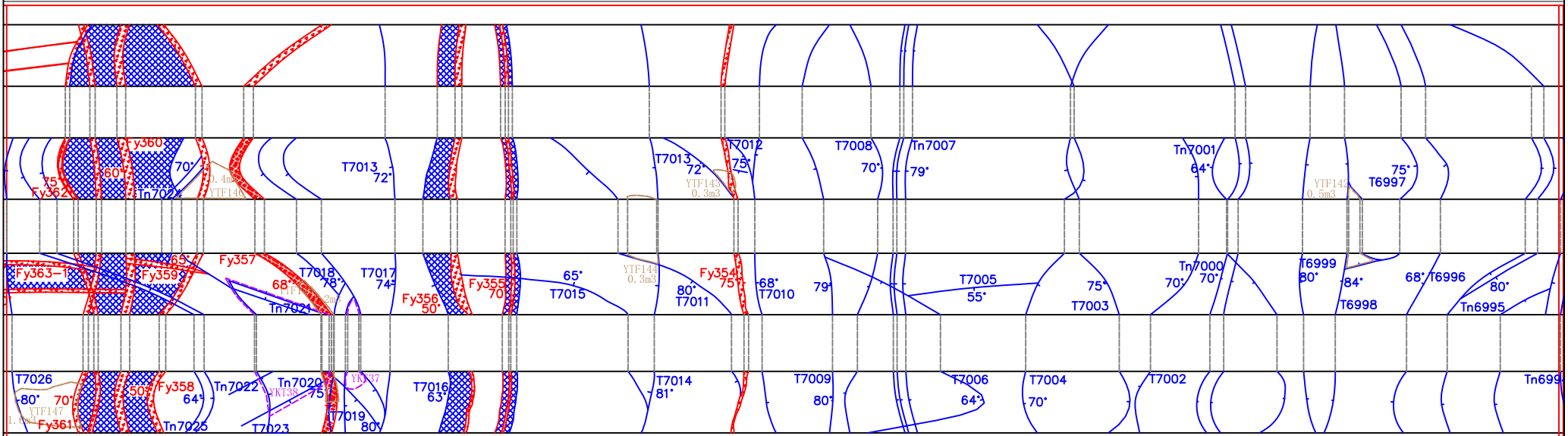
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

154 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y6+990	Y7+000	Y7+010	Y7+020	Y7+030	Y7+040	Y7+050	Y7+060	Y7+070	Y7+080	Y7+090	Y7+100
寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita			寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		
微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca		
破碎 Fracturado			较破碎 Relativamente Fracturado			较完整 Relativamente Completo			较完整 Relativamente Completo		
干燥 Seco			干燥 Seco			干燥 Seco			干燥 Seco		
IV			III			II			II		

Legend

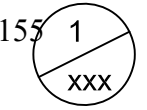
冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩坡积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y nomenclación	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nomenclación	
奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01

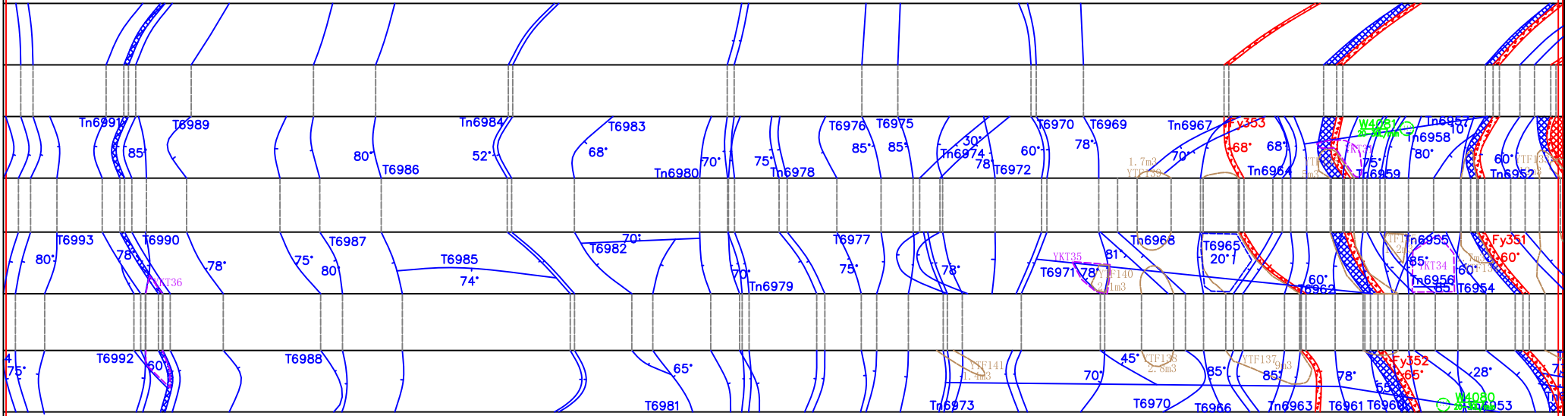
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 155 1



Scale 0 3 6 9 12



Y7+110	Y7+120	Y7+130	Y7+140	Y7+150	Y7+160	Y7+170	Y7+180	Y7+190	Y7+200	Y7+210
寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita
微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎
Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Fracturado	Fracturado	Fracturado	Fracturado
干燥 Seco	干燥 Seco	干燥 Seco	干燥 Seco	干燥 Seco	干燥 Seco	干燥 Seco	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	II	II	II	II	III	III	IV	IV	IV	IV

??  
Lengeda

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeracion
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litologia		强风化线 Linea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeracion
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nemeracion		中等风化线 Linea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩长岩 Periodo Permico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nemeracion		
	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificacion y numeracion.		
	寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeracion		

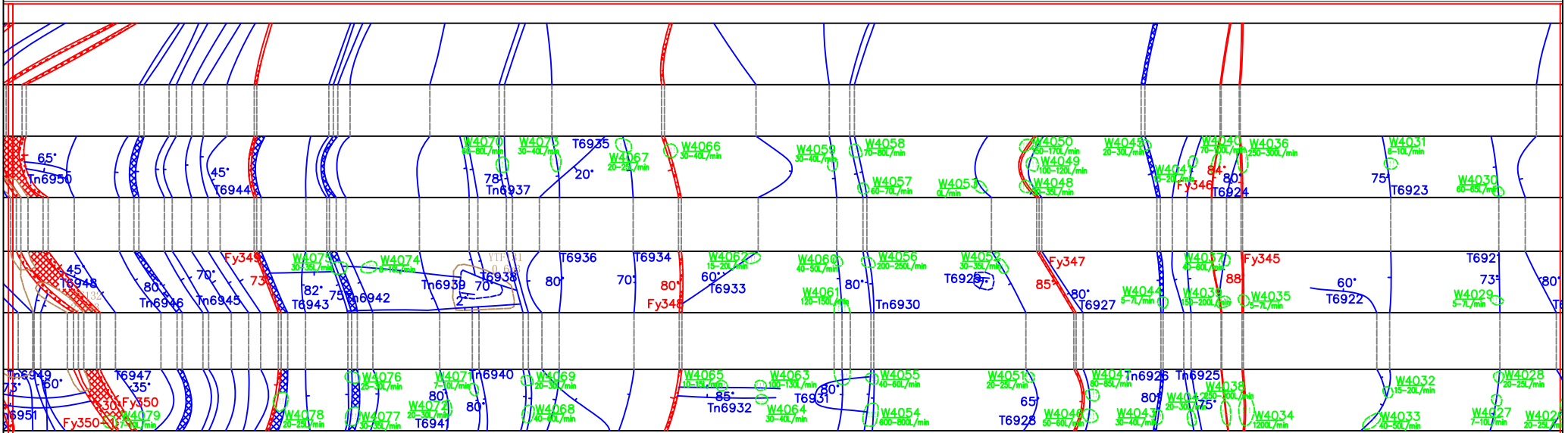
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

156 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y7+220	Y7+230	Y7+240	Y7+250	Y7+260	Y7+270	Y7+280	Y7+290	Y7+300	Y7+310	Y7+320	Y7+330
绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (E-ci):Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo
新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca	新鲜岩体 Fresca
较完整	较破碎	破碎	较完整	较完整	较破碎	较完整	较完整	较破碎	较完整	较完整	较完整
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	III	IV	IV	II	III	III	II	III	III	II	II

??  
Lengenda

- 冲积层: 卵石、漂石夹砂  
Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena
- 冲洪积层: 漂石、卵石砾夹土  
Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla
- 崩积层: 块石、碎石夹土  
Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla
- P-gγ 二叠系花岗岩闪长岩  
Periodo Permico: Granodiorita
- 0-sj 奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩  
Ordovico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite
- e-ci 寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩  
E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo
- 地层分界线  
Separatriz de formacion
- 岩性分界线  
Separatriz de litología
- 断层及其编号  
Fallas y numeracion
- 岩体破碎带  
Zona de fractura de roca
- 断层泥  
Harina de falla
- 碎石夹土  
Piedra con arcilla
- 碎裂岩  
Roca fragmentada
- 强风化线  
Linea de erosion alta
- 中等风化线  
Linea de erosion media
- 裂隙及其编号  
Grieta and numeracion
- 层面及编号  
Estratificación y numeración.
- 水点及编号  
Punto de salida de agua y numeración
- 块体及编号  
Bloque y numeración
- 塌方体及编号  
Colapso y numeración
- 126.8° 洞室(边坡)走向  
Tunnel (talud) alineacion

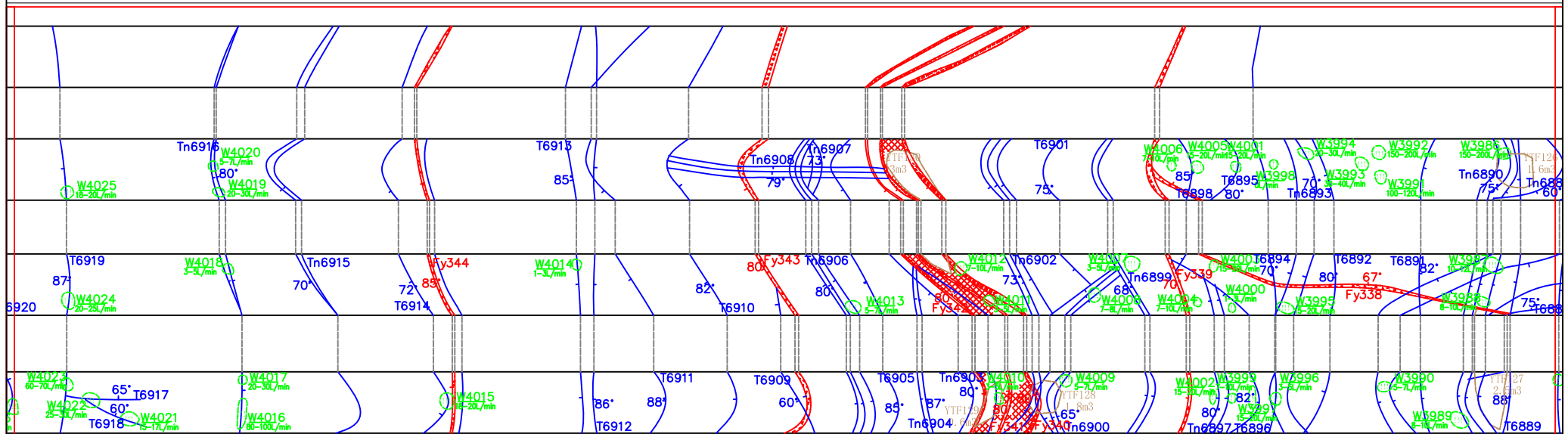
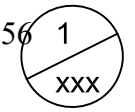
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分 GEOLOGICO SECCION
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01

声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 156 1

Scale 0 3 6 9 12



Y7+340	Y7+350	Y7+360	Y7+370	Y7+380	Y7+390	Y7+400	Y7+410	Y7+420	Y7+430	Y7+440
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita
微新岩体 Fresca 较完整		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 破碎		微新岩体 Fresca 破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 破碎
Relativamente Completo		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
II		III		IV		III		IV		

Legend

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquisto de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司	
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司	
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APPROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO. 01

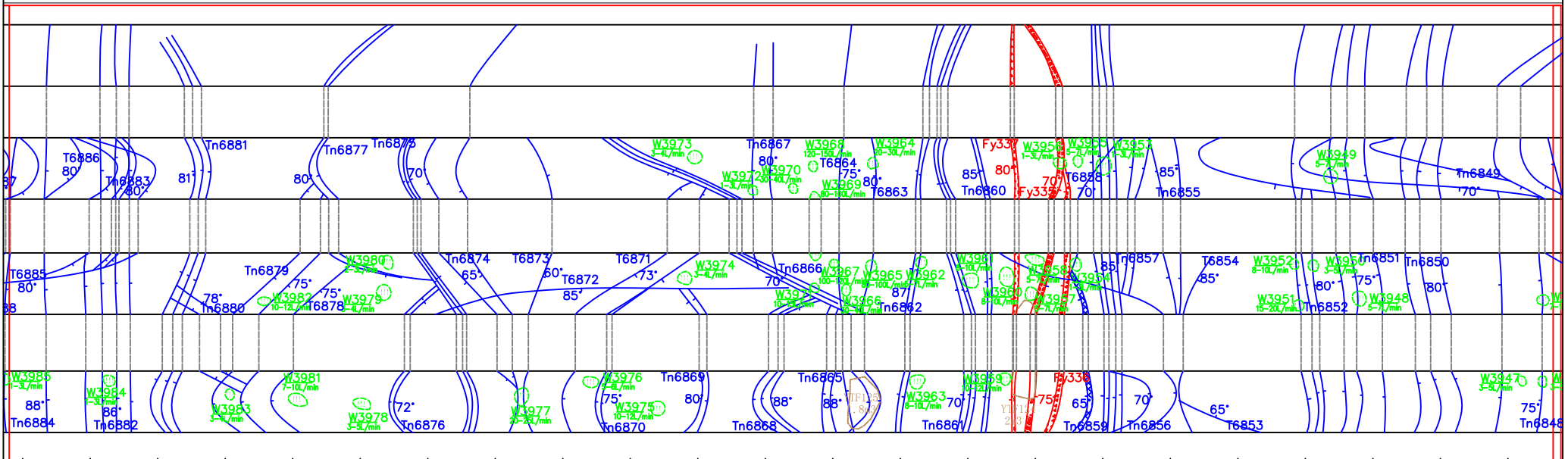
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

157 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y7+450	Y7+460	Y7+470	Y7+480	Y7+490	Y7+500	Y7+510	Y7+520	Y7+530	Y7+540	Y7+550	Y7+560
寒武系: 石英绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系伊斯基组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita			寒武系: 石英绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo			寒武系: 石英绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		
微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca		
较破碎 Relativamente Fracturado			破碎 Fracturado			较破碎 Relativamente Fracturado			较完整 Relativamente Completo		
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		
III			IV			III			II		

Legend

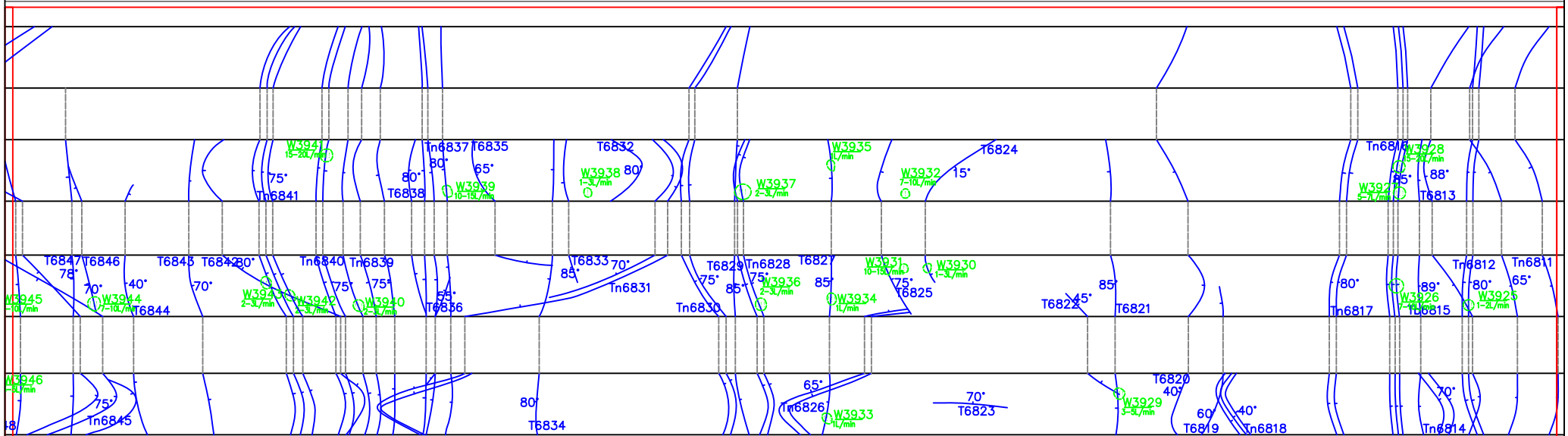
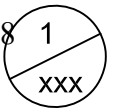
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeracion
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litologia		强风化线 Linea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeracion
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Linea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Permico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		层面及编号 Estratificacion y numeracion.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeracion		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 158 1

Scale 0 3 6 9 12



Y7+570	Y7+580	Y7+590	Y7+600	Y7+610	Y7+620	Y7+630	Y7+640	Y7+650	Y7+660	Y7+670
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较完整
Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
II	III	III	III	II	II	II	II	II	III	III

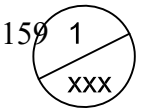
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y numeración		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and numeración		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROBADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

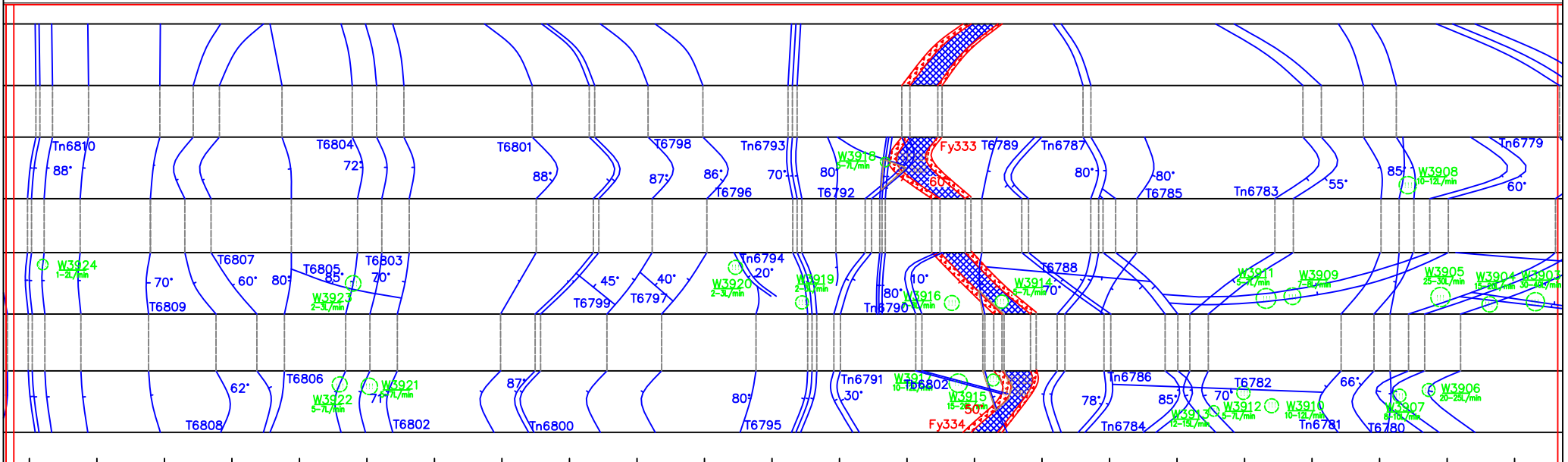
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU



Scale 0 3 6 9 12



Y7+680	Y7+690	Y7+700	Y7+710	Y7+720	Y7+730	Y7+740	Y7+750	Y7+760	Y7+770	Y7+780	Y7+790
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (E-ci):Esquistos de sericita	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 较完整	微新岩体 Fresca 较破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎	微新岩体 Fresca 破碎
Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Fracturado	Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado	Relativamente Fracturado
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	干燥 Seco	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro
II	III	II	III	IV	IV	III	III	III	III	III	III

**Lengenda**

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración
	寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo						

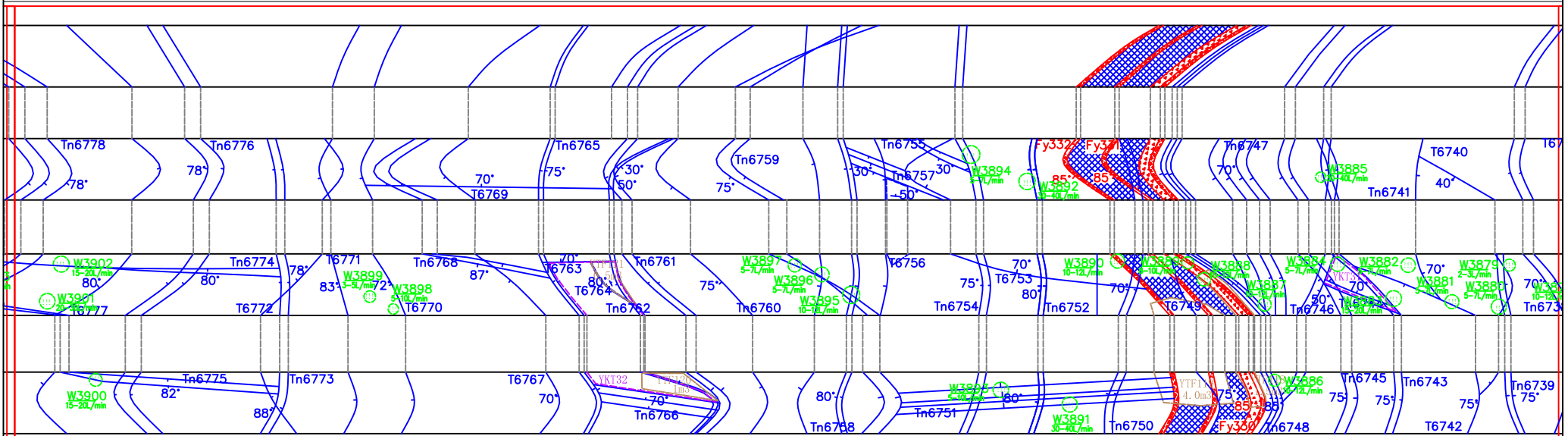
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司	
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司	
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质 部分
制图 DIBUJADO	地质 部分
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO. 01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。	

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

160 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y7+800	Y7+810	Y7+820	Y7+830	Y7+840	Y7+850	Y7+860	Y7+870	Y7+880	Y7+890	Y7+900
寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较破碎	较破碎	破碎	较完整	较破碎	较破碎	破碎	破碎	较破碎	较破碎	破碎
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	IV	IV	II	III	IV	IV	III	III	IV	IV

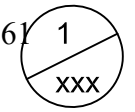
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01

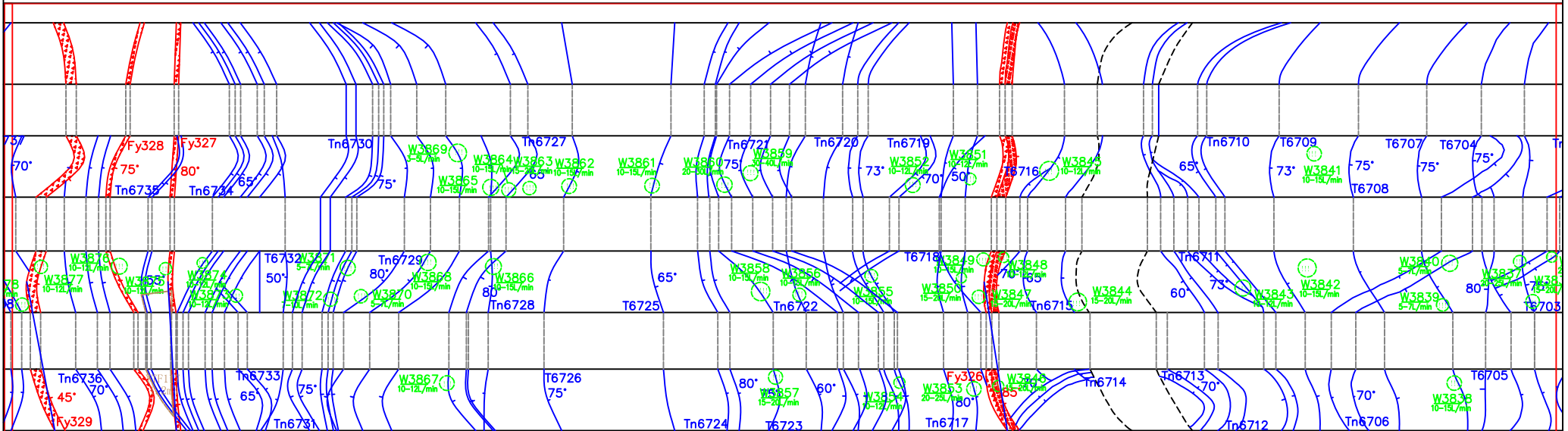
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Maapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 161



Scale 0 3 6 9 12



Y7+910	Y7+920	Y7+930	Y7+940	Y7+950	Y7+960	Y7+970	Y7+980	Y7+990	Y8+000	Y8+010	Y8+020
寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较破碎	较完整	较破碎	较完整	较破碎	较完整	较破碎	较完整	较破碎	较完整	较破碎	较完整
Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo	Relativamente Fracturado	Relativamente Completo
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	II	III	II	III	II	III	II	III	II	III	II

**Lengend**

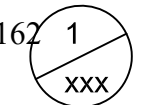
冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y nomenclación	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
P-g γ Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nomenclación	层面及编号 Estratificación y numeración.
O-sj Ordovícico(O-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración
e-ci E-c: Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	层面及编号 Estratificación y numeración.	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Maapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

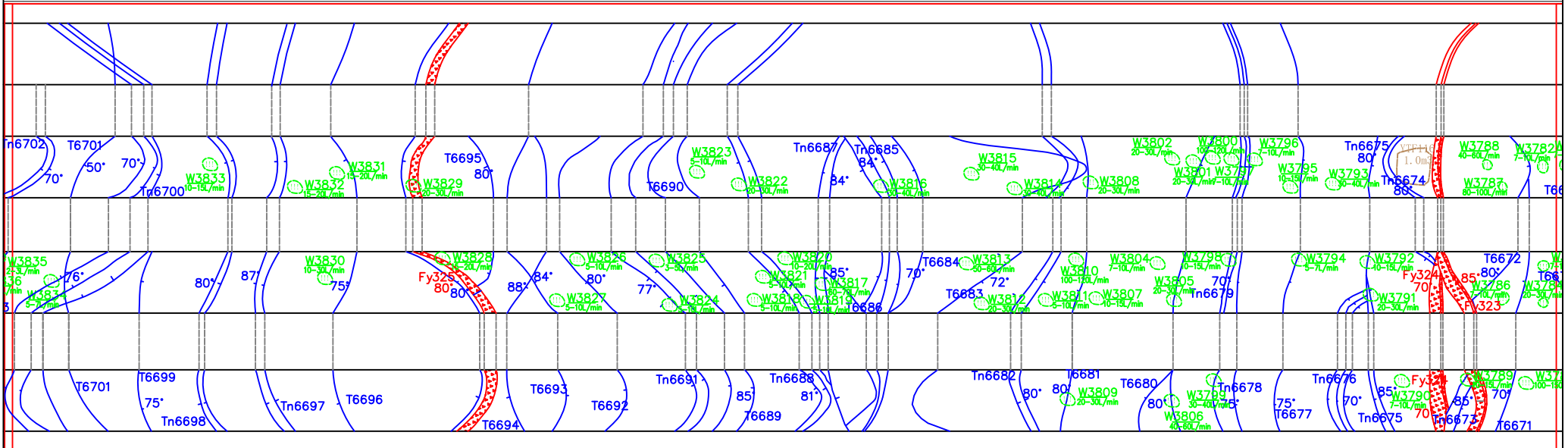
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 162





Scale 0 3 6 9 12





Y8+030	Y8+040	Y8+050	Y8+060	Y8+070	Y8+080	Y8+090	Y8+100	Y8+110	Y8+120	Y8+130
寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组:绢云母片岩 (e-ci):Esquistos de sericita	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较完整 Relativamente Completo	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较破碎 Relativamente Fracturado	破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
II	III	III	III	III	II	III	III	IV	IV	IV


Lengenda


- 


冲积层: 卵石、漂石夹砂  
Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena
- 


冲洪积层: 漂石、卵石石夹土  
Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla
- 


崩积层: 块石、碎石夹土  
Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla
- 


二叠系花岗岩闪长岩  
Periodo Permico: Granodiorita
- 


奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩  
Ordovico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite
- 


寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩  
e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
- 


地层分界线  
Separatriz de formacion
- 


岩性分界线  
Separatriz de litología
- 


断层及其编号  
Fallas y nomenclacion
- 


岩体破碎带  
Zona de fractura de roca
- 


断层泥  
Harina de falla
- 


碎石夹土  
Piedra con arcilla
- 


碎裂岩  
Roca fragmentada
- 


强风化线  
Linea de erosion alta
- 


中等风化线  
Linea de erosion media
- 

裂隙及其编号  
Grieta and nomenclacion
- 

层面及编号  
Estratificación y numeración.
- 

水点及编号  
Punto de salida de agua y numeración
- 

块体及编号  
Bloque y numeración
- 

塌方体及编号  
Colapso y numeración
- 

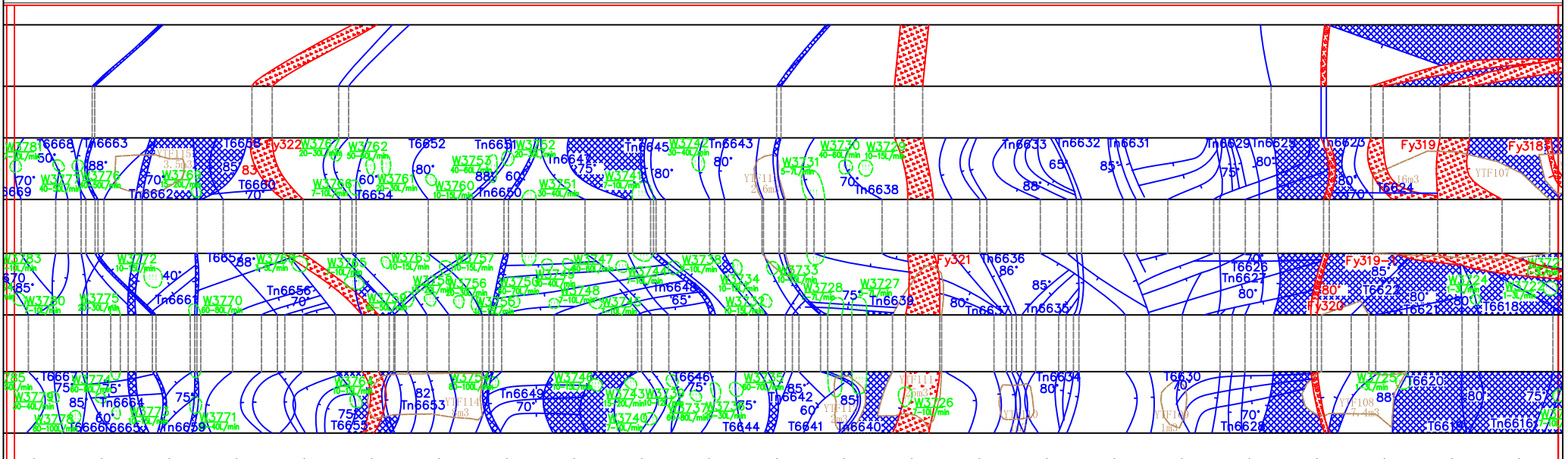
洞室(边坡)走向  
Tunnel (talud) alineacion

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司		
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司		
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APPROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
制图 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

Scale 0 3 6 9 12



Y8+140	Y8+150	Y8+160	Y8+170	Y8+180	Y8+190	Y8+200	Y8+210	Y8+220	Y8+230	Y8+240	Y8+250
石英绢云母片岩 Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquisto de sericita			寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquisto de sericita			寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquisto de sericita		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquisto de sericita		
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca		微新岩体 Fresca		
较破碎 Fracturado	较破碎 Fracturado			较破碎 Fracturado			较破碎 Fracturado		较破碎 Fracturado		
或点滴出水 o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		
III	IV			IV			III		IV		

**Lengend**

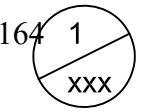
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Linea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Linea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Permico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 e-ci: Esquisto de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
制图 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01

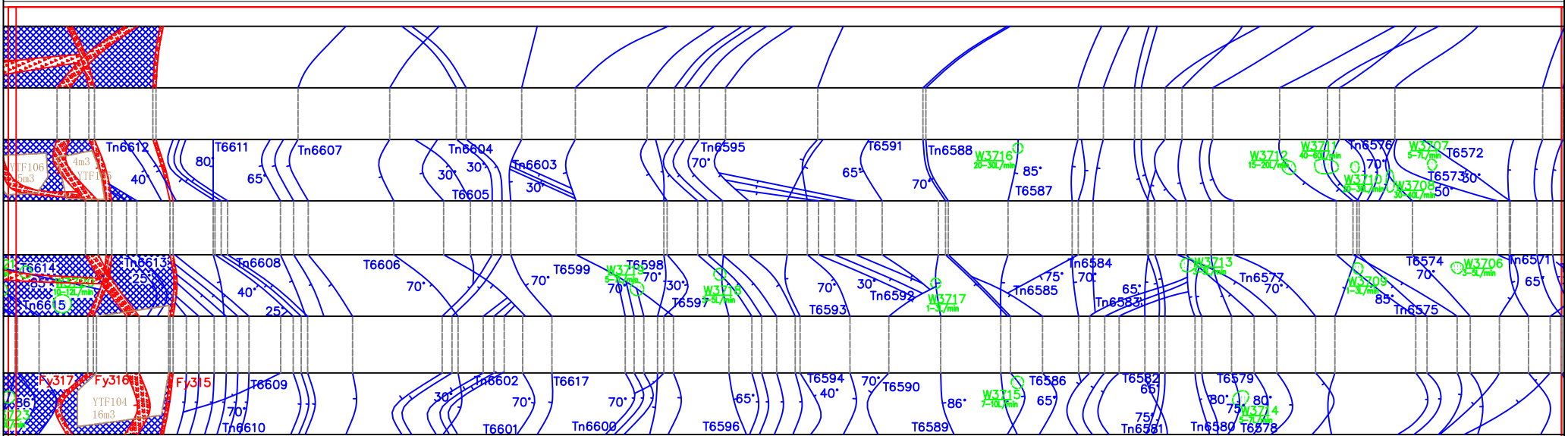
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 164 1



Scale 0 3 6 9 12



Y8+260	Y8+270	Y8+280	Y8+290	Y8+300	Y8+310	Y8+320	Y8+330	Y8+340	Y8+350	Y8+360
寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较完整		微新岩体 Fresca 较完整
Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Fracturado		Relativamente Completo		Relativamente Completo
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III		III		III		III		II		I

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01

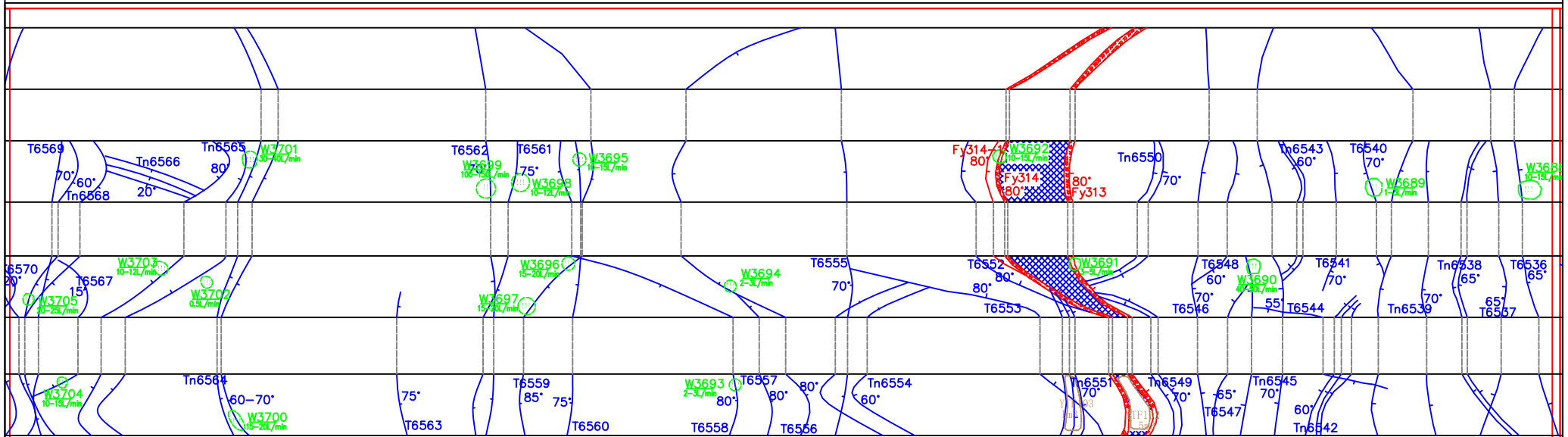
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

165 1 / XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y8+370	Y8+380	Y8+390	Y8+400	Y8+410	Y8+420	Y8+430	Y8+440	Y8+450	Y8+460	Y8+470	Y8+480
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整	较完整
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
II			II				III		II		

**Lengenda**

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y numeración		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and numeracion		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

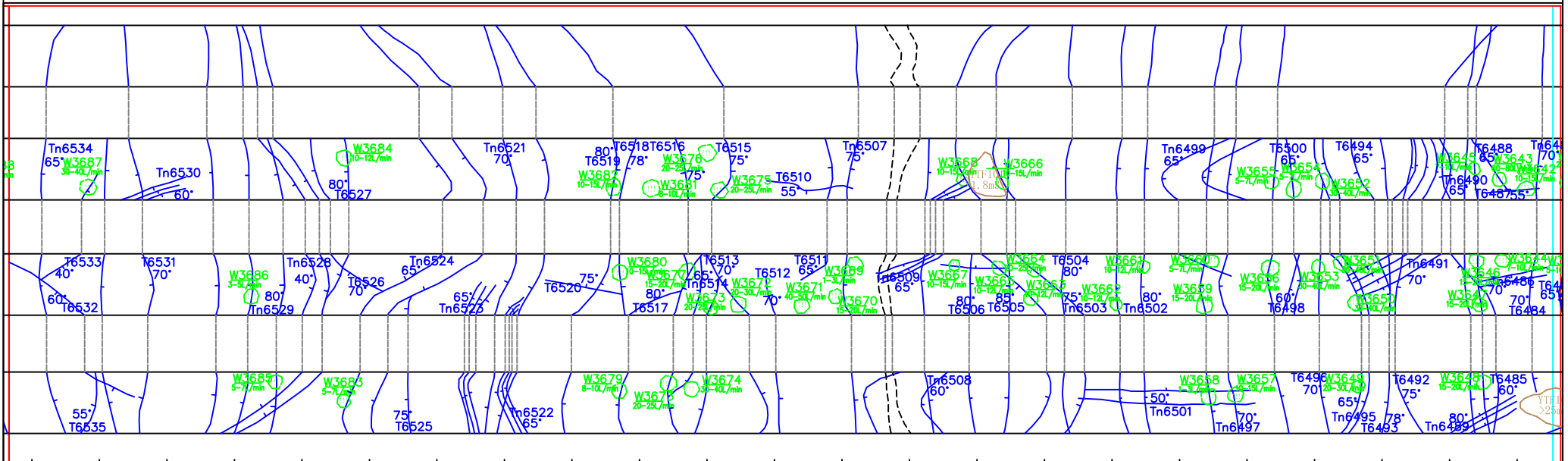
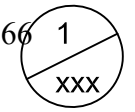
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 166 1

Scale 0 3 6 9 12



Y8+490	Y8+500	Y8+510	Y8+520	Y8+530	Y8+540	Y8+550	Y8+560	Y8+570	Y8+580	Y8+590
寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 E-c:Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较破碎 Fracturado	较完整 Completo	较破碎 Fracturado	较完整 Completo	较完整 Completo	较完整 Completo	较破碎 Fracturado	较破碎 Fracturado	较破碎 Fracturado	较破碎 Fracturado	较破碎 Fracturado
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	II	III	III	II	II	III	III	III	III	IV

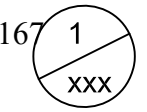
**Lenged**

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		层面及编号 Estratificación y numeración.
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-c: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla				

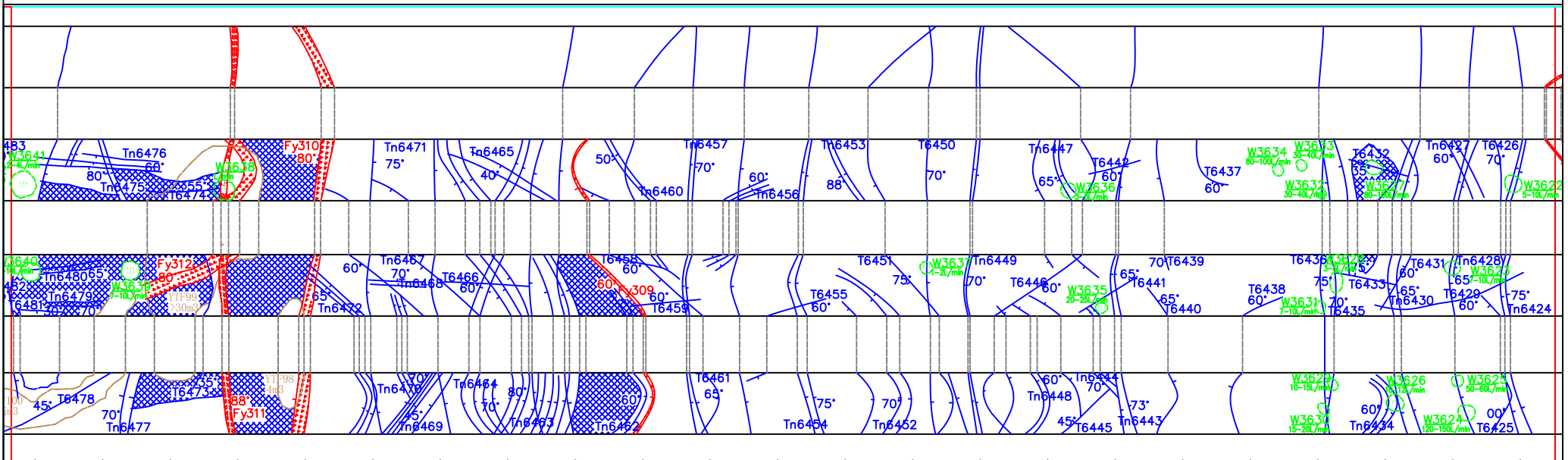
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APPROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 167



Scale 0 3 6 9 12



Y8+600	Y8+610	Y8+620	Y8+630	Y8+640	Y8+650	Y8+660	Y8+670	Y8+680	Y8+690	Y8+700	Y8+710
片岩 E-c-i:Esquisto de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组: (e-ci):Esquisto de sericita de cuarzo
	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
	极度破碎 Extremadamente Fracturado	破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较完整 Relativamente Completo	较破碎 Relativamente Fracturado	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo
	线状流 Flujo lineal	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	干燥 seco	干燥 seco	干燥 seco	线状流 Flujo lineal
	V	IV	III	II	III	II	III	II	III	II	III

片岩 E-c-i:Esquisto de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci):Esquisto de sericita	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系:石英绢云母片岩 e-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	寒武系伊斯组: (e-ci):Esquisto de sericita de cuarzo
----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Lengenda**

- 冲积层: 卵石、漂石夹砂  
Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena
- 冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土  
Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla
- 崩积层: 块石、碎石夹土  
Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla
- P-g γ 二叠系花岗岩闪长岩  
Periodo Permico: Granodiorita
- O-sj 奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩  
Ordovico(O-sj):Pizarra de cuarzo Sericite
- e-ci 寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩  
E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo

- 地层分界线  
Separatriz de formacion
- 岩性分界线  
Separatriz de litología
- 断层及其编号  
Fallas y nomenclacion
- 岩体破碎带  
Zona de fractura de roca
- 断层泥  
Harina de falla
- 碎石夹土  
Piedra con arcilla

- 碎裂岩  
Roca fragmentada
- 强风化线  
Linea de erosion alta
- 中等风化线  
Linea de erosion media
- 裂隙及其编号  
Grieta and nomenclacion
- 层面及编号  
Estratificación y numeración.
- 水点及编号  
Punto de salida de agua y numeración

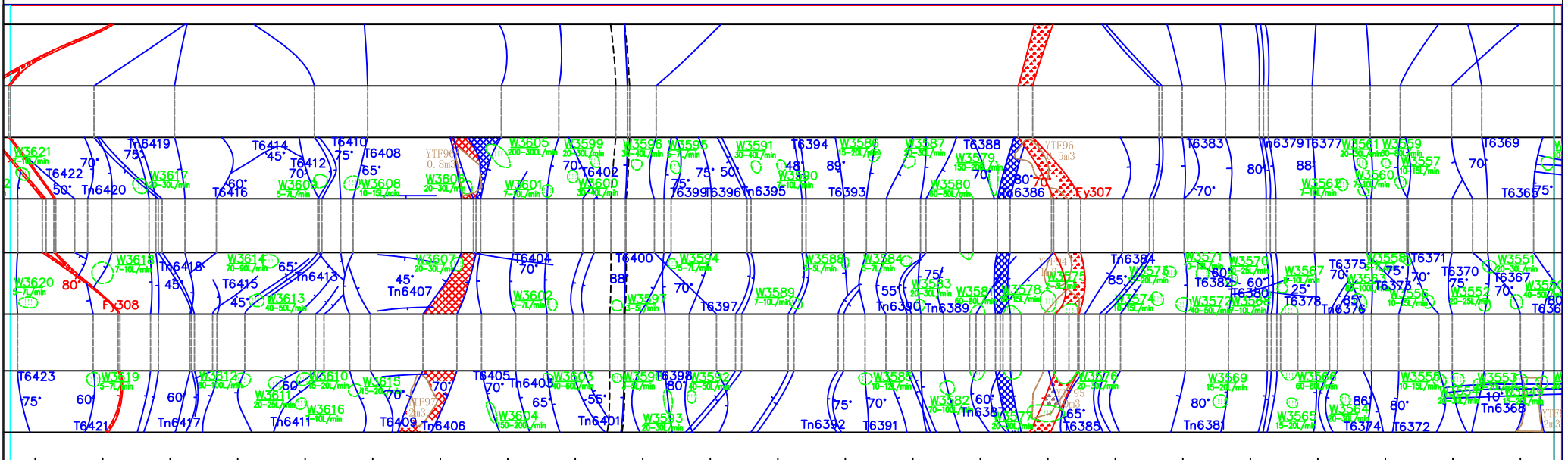
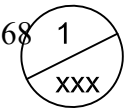
- YKT1 块体及编号  
Bloque y numeración
- YTF1 塌方体及编号  
Colapso y numeración
- 126.8° 洞室(边坡)走向  
Tunnel (talud) alineacion

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 168 1

Scale 0 3 6 9 12



Y8+720	Y8+730	Y8+740	Y8+750	Y8+760	Y8+770	Y8+780	Y8+790	Y8+800	Y8+810	Y8+820
寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系: 石英片岩 (E-ci): Esquistos de sericita
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或 Mojado
III	IV	III	III	IV	IV	III	III	III	III	III

??  
Lengenda

- |  |  |  |                                   |  |   |  |  |
|--|--|--|-----------------------------------|--|---|--|--|
|  | 冲积层: 卵石、漂石夹砂<br>Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena                   |  | 地层分界线<br>Separatriz de formacion  |  | 碎裂岩<br>Roca fragmentada                       |  | 块体及编号<br>Bloque y numeración           |
|  | 冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土<br>Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla           |  | 岩性分界线<br>Separatriz de litología  |  | 强风化线<br>Línea de erosion alta                 |  | 塌方体及编号<br>Colapso y numeración         |
|  | 崩坡积层: 块石、碎石夹土<br>Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla |  | 断层及其编号<br>Fallas y nomenclación   |  | 中等风化线<br>Línea de erosion media               |  | 洞室(边坡)走向<br>Tunnel (talud) alineacion  |
|  | 二叠系花岗岩闪长岩<br>Periodo Pérmico: Granodiorita   |  | 岩体破碎带<br>Zona de fractura de roca |  | 裂隙及其编号<br>Grieta and nomenclación             |  | 层面及编号<br>Estratificación y numeración. |
|  | 奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩<br>Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite                   |  | 断层泥<br>Harina de falla            |  | 水点及编号<br>Punto de salida de agua y numeración |  |  |
|  | 寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩<br>E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo                        |  | 碎石夹土<br>Piedra con arcilla        |  |   |  |  |

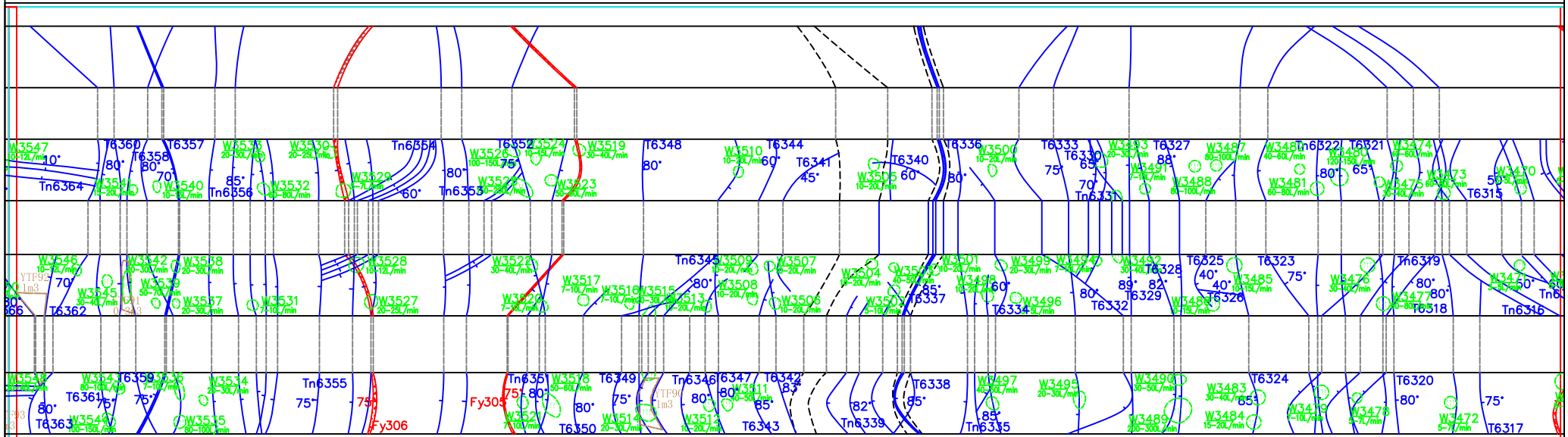
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。		

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

169 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



Y8+830	Y8+840	Y8+850	Y8+860	Y8+870	Y8+880	Y8+890	Y8+900	Y8+910	Y8+920	Y8+930	Y8+940
英绢云母片岩 E-sericita de cuarzo	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci): Esquistos de sericita
较完整 Relativamente Completo	较破碎 Relativamente Fracturado	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo	较完整 Relativamente Completo
点滴出水 Puntos de goteo	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
II	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III

**Lengenda**

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Bolonera con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Linea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩塌积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y numeracion		中等风化线 Linea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Permico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and numeracion		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

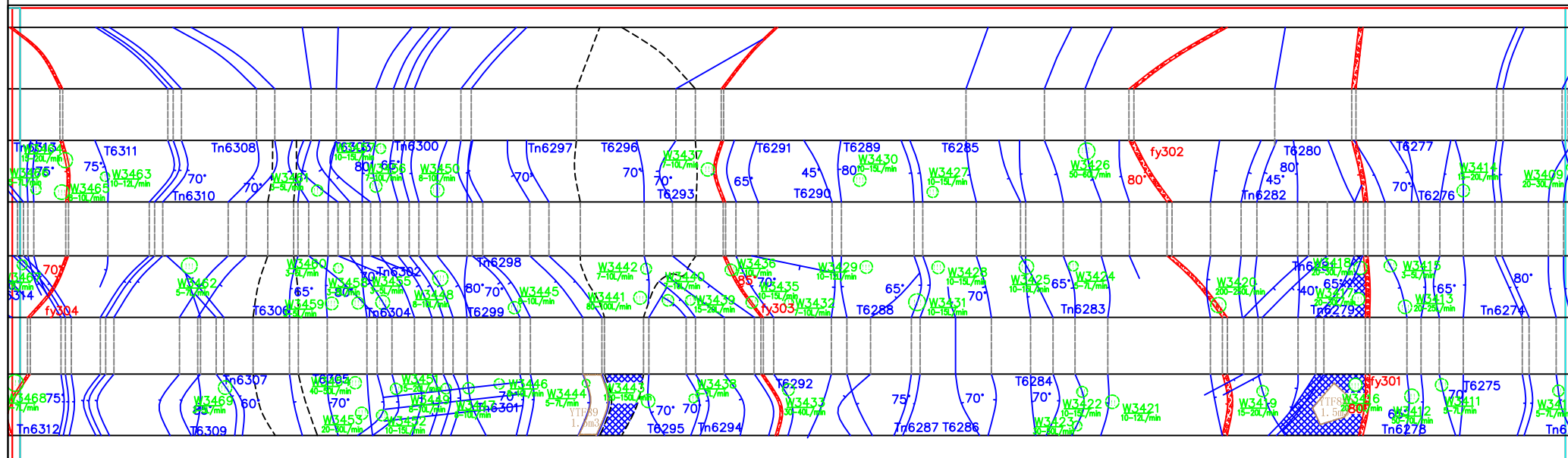
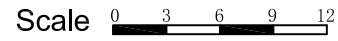
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APPROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01

声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

170 1  
XXX



Y8+950	Y8+960	Y8+970	Y8+980	Y8+990	Y9+000	Y9+010	Y9+020	Y9+030	Y9+040	Y9+050
寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita			寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita			寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita			寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	
微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca			微新岩体 Fresca	
Relativamente Fracturado			Fracturado			Relativamente Fracturado			Rel	
线状及股状流 Flujo lineal y chorro			线状及股状流 Flujo lineal y chorro			线状及股状流 Flujo lineal y chorro			线状及股状流 Flujo lineal y chorro	
III			IV			III			IV	

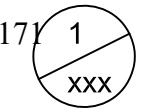
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Bolonera con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长勘勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION 部分
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

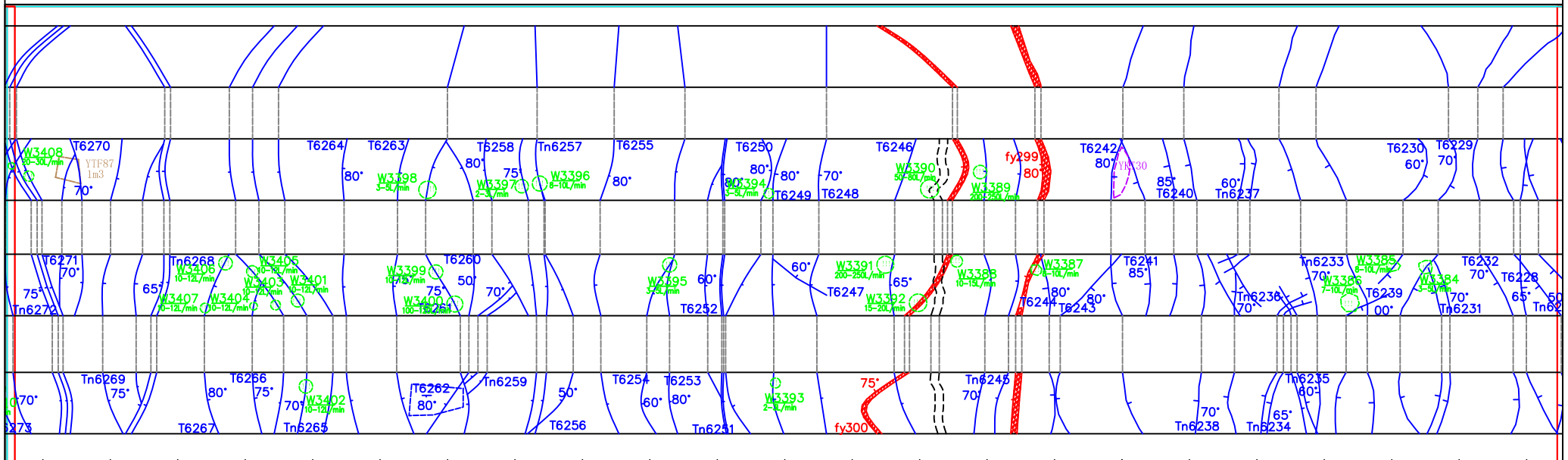
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 171



Scale 0 3 6 9 12



Y9+060	Y9+070	Y9+080	Y9+090	Y9+100	Y9+110	Y9+120	Y9+130	Y9+140	Y9+150	Y9+160	Y9+170
寒武系伊组: 绢云母片岩 E-squistu de sericita			寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci):E-squistu de sericita			寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci:E-squistu de sericita de cuarzo			寒武系伊组: 绢云母片岩 (E-ci):E-squistu de sericita		寒武系: 石英绢云母片岩 E-ci:E-squistu de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca 较破碎			微新岩体 Fresca 较破碎			微新岩体 Fresca 较完整			微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较完整
ativamente Fracturado			Relativamente Fracturado			Relativamente Completo			Relativamente Fracturado		Relativamente Comple
线状及股状流 Flujo lineal y chorro			线状及股状流 Flujo lineal y chorro			潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo			线状及股状流 Flujo lineal y chorro		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III			III			II			III		II

Legend

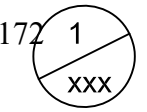
	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Linea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩坡积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclacion		中等风化线 Linea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Permico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclacion		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:E-squistu de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司	
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司	
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO. 01

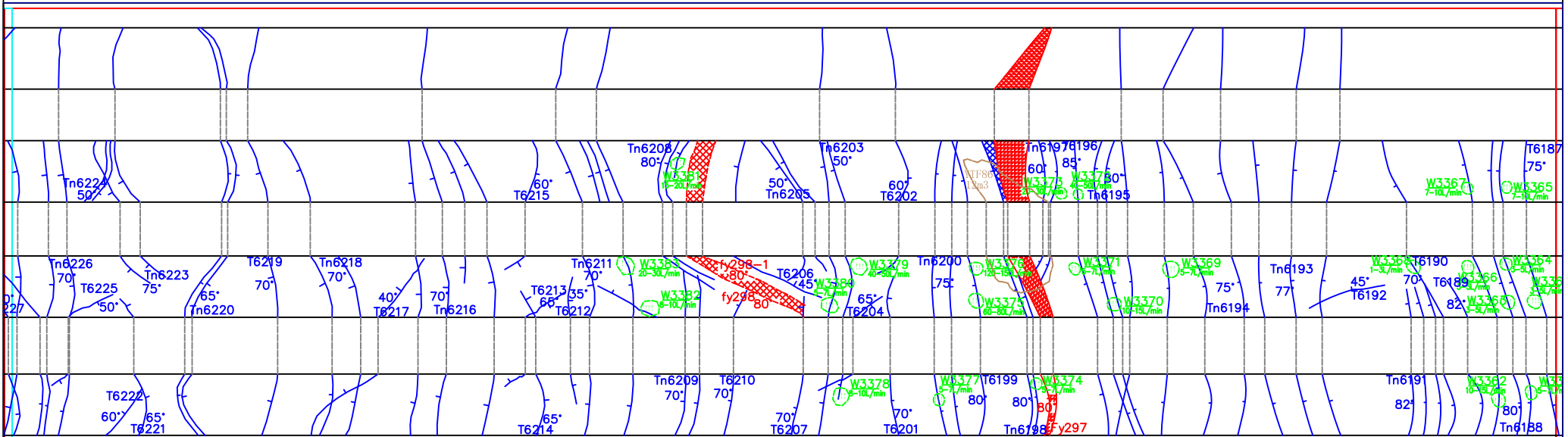
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 172



Scale 0 3 6 9 12



	Y9+180	Y9+190	Y9+200	Y9+210	Y9+220	Y9+230	Y9+240	Y9+250	Y9+260	Y9+270	Y9+280
岩	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita		寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita		寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita de cuarzo		寒武系: 石英绢云母片岩 (E-ci):Esquisto de sericita de cuarzo
构造	微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 破碎		微新岩体 Fresca 较破碎		微新岩体 Fresca 较完整
水文	线状及股状流 Flujo lineal y chorro		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
环境	III		IV		III		IV		III		II

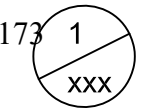
**Lengend**

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石夹粘土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩坡积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		126.8° 洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

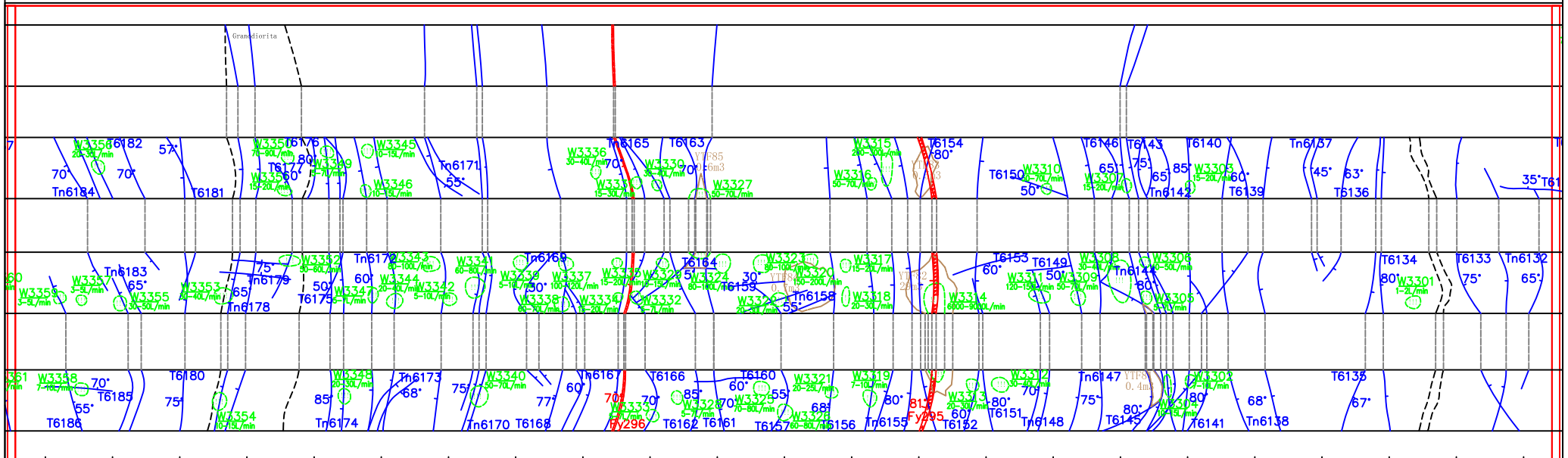
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司		EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司		DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图	设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION	DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质	部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图		
制图 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED	
设计证号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01	
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。			

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 173



Scale 0 3 6 9 12



Y9+290	Y9+300	Y9+310	Y9+320	Y9+330	Y9+340	Y9+350	Y9+360	Y9+370	Y9+380	Y9+390	Y9+400
寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系伊斯组: 绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita	寒武系: 石英绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita de cuarzo	寒武系: 石英绢云母片岩 (e-ci): Esquistos de sericita de cuarzo
微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
较破碎	破碎	较破碎	破碎	较破碎	破碎	较破碎	较破碎	较完整	较完整	较完整	较完整
线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	线状及股状流 Flujo lineal y chorro	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo
III	IV	III	IV	III	IV	III	III	II	II	II	II

**Lengend**

冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y nomenclación	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
P-gγ 二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nomenclación	126.8°
0-sj 奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
e-ci 寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 e-ci: Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司		EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司			
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.			
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图	设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION	DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质	部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图		
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion		
制图 DIBUJADO	比例 SCALE	如图 AS NOTED	
日期 FECHA	设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

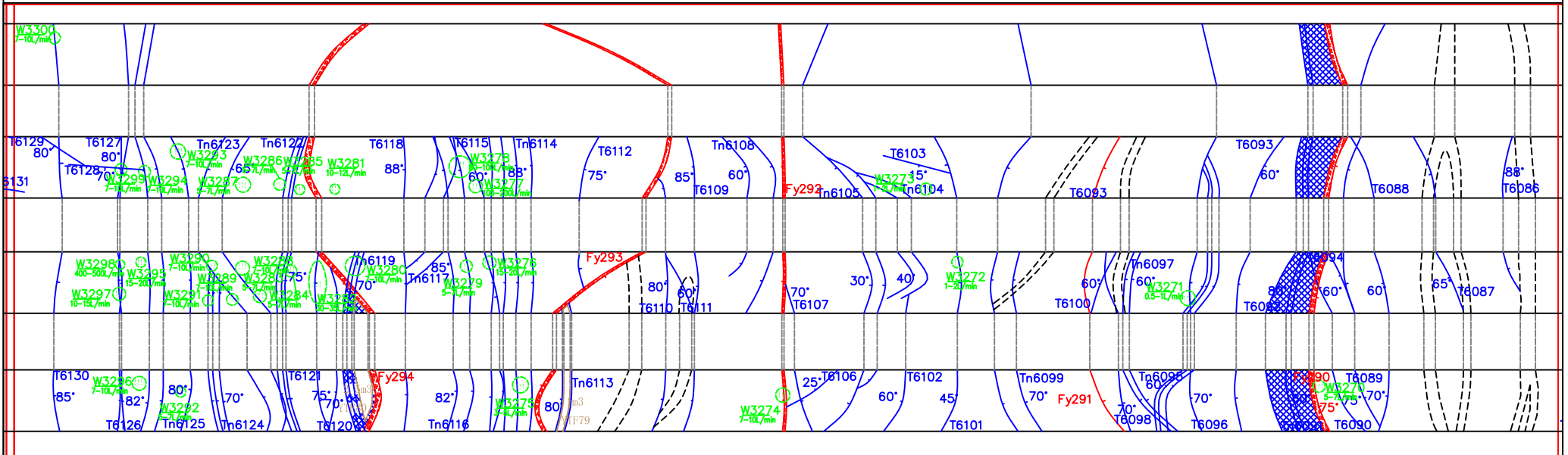
声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

174 1  
XXX

Scale 0 3 6 9 12



**Lengenda**

- 冲积层: 卵石、漂石夹砂  
Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena
- 冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土  
Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla
- 崩积层: 块石、碎石夹土  
Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla
- 二叠系花岗岩闪长岩  
Periodo Permico: Granodiorita
- 奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩  
Ordovico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite
- 寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩  
E-c:Esquistos de sericita de cuarzo

- 地层分界线  
Separatriz de formacion
- 岩性分界线  
Separatriz de litología
- 断层及其编号  
Fallas y nomenclacion
- 岩体破碎带  
Zona de fractura de roca
- 断层泥  
Harina de falla
- 碎石夹土  
Piedra con arcilla

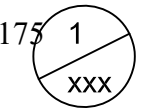
- 碎裂岩  
Roca fragmentada
- 强风化线  
Linea de erosion alta
- 中等风化线  
Linea de erosion media
- 裂隙及其编号  
Grieta and nomenclacion
- 层面及编号  
Estratificación y numeración.
- 水点及编号  
Punto de salida de agua y numeración

- 块体及编号  
Bloque y numeración
- 塌方体及编号  
Colapso y numeración
- 洞室(边坡)走向  
Tunnel (talud) alineacion

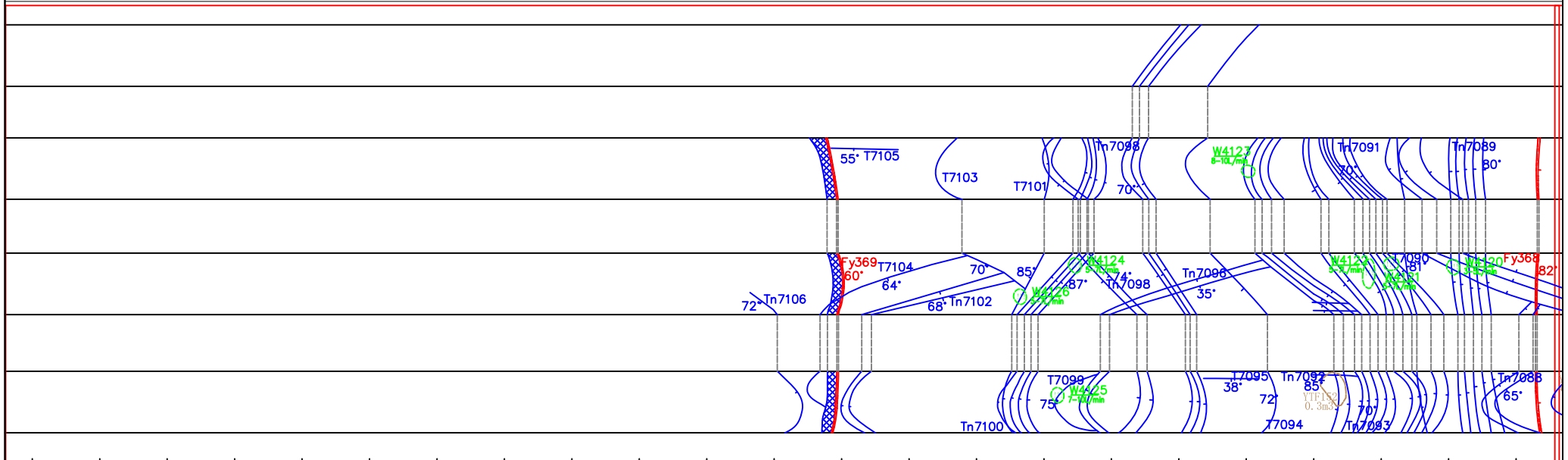
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司	
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.	
设计方: 长江勘测规划设计研究院有限责任公司	
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	
核准 APPROVADO	秘鲁圣加旺III水电站 施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT 地质部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion
制图 DIBUJADO	
日期 FECHA	比例 SCALE 如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO. 01
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。	

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 175 1



Scale 0 3 6 9 12



Y6+650	Y6+660	Y6+670	Y6+680	Y6+690	Y6+700	Y6+710	Y6+720	Y6+730	Y6+740	Y6+750
寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo					寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo		寒武系伊斯基组:绢云母片岩 (E-ci):Esquistos de sericita		寒武系:石英绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	
微新岩体 Fresca 较完整 Relativamente Completo					微新岩体 Fresca 较破碎 Relativamente Fracturado		微新岩体 Fresca 破碎 Fracturado		微新岩体 Fresca 较破碎 Relativamente Fracturado	
潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo					潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo		线状及股状流 Flujo lineal y chorro		潮湿或点滴出水 Mojado o por goteo	
II					III		IV		III	

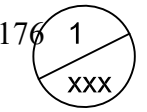
冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石夹砂 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y numeracion	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and numeracion	126.8°
奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquistos de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
设计 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
制图 DIBUJADO		
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计号 D.C. No.142000843	图号 DRAWING NO.	01

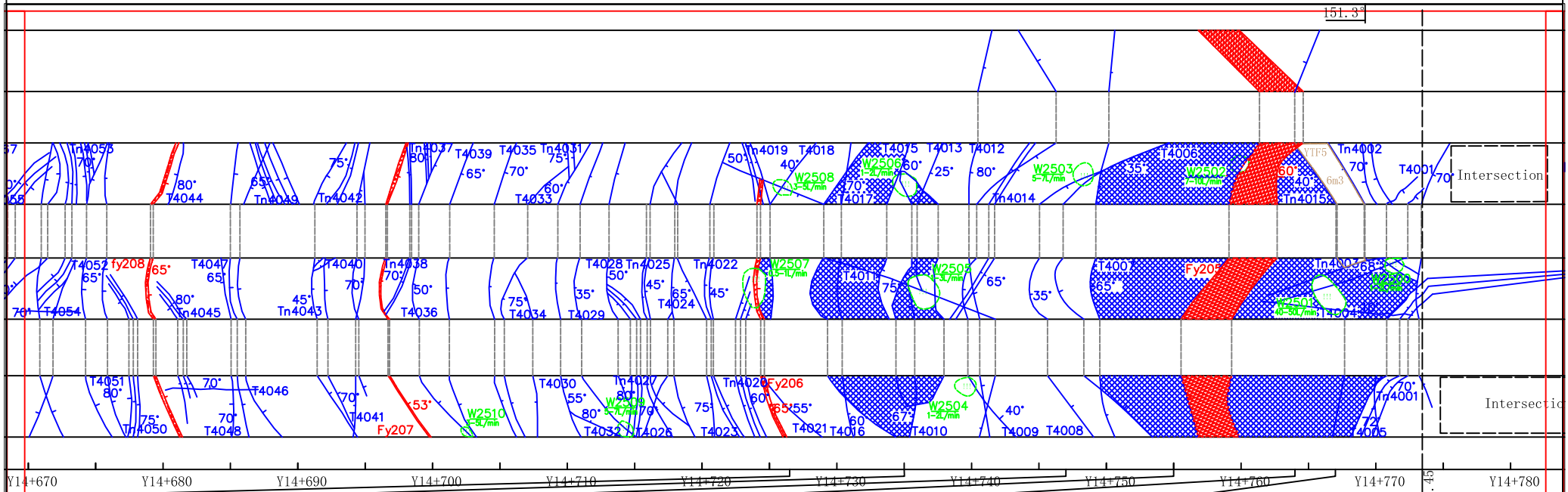
声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU 176 1



Scale 0 3 6 9 12



Y14+670	Y14+680	Y14+690	Y14+700	Y14+710	Y14+720	Y14+730	Y14+740	Y14+750	Y14+760	Y14+770	Y14+780
板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩	奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩
sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite
微新岩体	Fresca	微新岩体	Fresca	微新岩体	Fresca	中等风化岩体	Erosion Media	微新岩体	Fresca	微新岩体	Fresca
破碎	Fracturado	较破碎	Relativamente Fracturado	破碎	Fracturado	破碎	Extremadamente Fracturado	破碎	Fracturado	较破碎	Relativamente Fracturado
潮湿	Humedo	潮湿	Humedo	潮湿	Humedo	线状流	Flujo lineal	潮湿	Humedo	潮湿	Humedo
IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	IV	IV	III	III

??  
Lenged

冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena	地层分界线 Separatriz de formacion	碎裂岩 Roca fragmentada	块体及编号 Bloque y numeración
冲洪积层: 漂石、卵石砾石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla	岩性分界线 Separatriz de litología	强风化线 Línea de erosion alta	塌方体及编号 Colapso y numeración
崩坡积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla	断层及其编号 Fallas y nomenclación	中等风化线 Línea de erosion media	洞室(边坡)走向 Tunel (talud) alineacion
二叠系花岗岩闪长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita	岩体破碎带 Zona de fractura de roca	裂隙及其编号 Grieta and nomenclación	126.8°
奥陶系圣何塞组:石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj):Pizarra de cuarzo Sericite	断层泥 Harina de falla	层面及编号 Estratificación y numeración.	
寒武系:石英绢云母片岩、绢云母片岩 E-ci:Esquisto de sericita de cuarzo	碎石夹土 Piedra con arcilla	水点及编号 Punto de salida de agua y numeración	

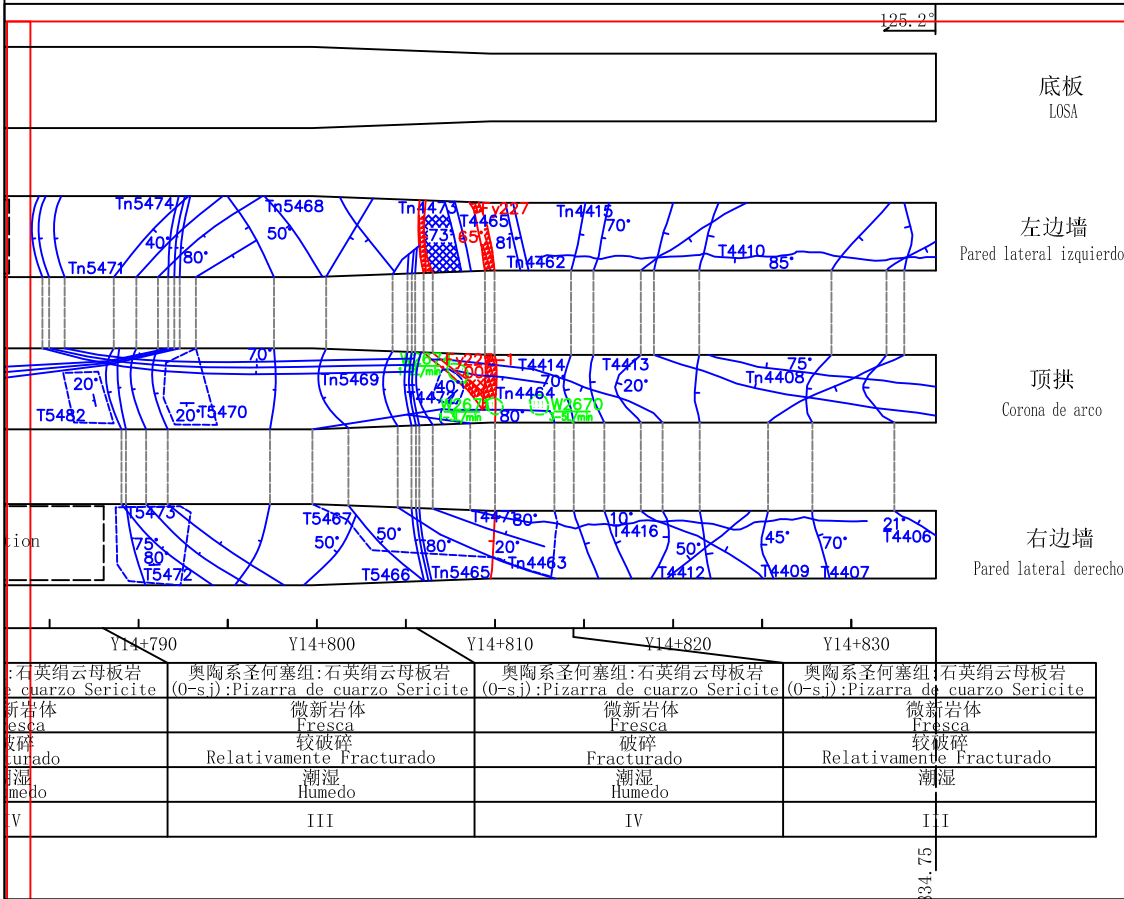
EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司		
EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司		
DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROVADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
制图 DISEÑADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunel de Aduccion	
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. 142000843	图号 DRAWING NO.	01

声明: 未经许可, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究法律责任的权利。

# 秘鲁圣加旺III水电站引水隧洞地质编录图

Mapeo Geologico Detallado Del Tunnel De Aduccion Proyecto Hidroelectrico San Gaban III PERU

Scale 0 3 6 9 12



Y14+790	Y14+800	Y14+810	Y14+820	Y14+830
石英绢云母板岩 cuarzo Sericite	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 (0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 (0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 (0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 (0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite
新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca	微新岩体 Fresca
破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	破碎 Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado	较破碎 Relativamente Fracturado
潮湿 Humedo	潮湿 Humedo	潮湿 Humedo	潮湿 Humedo	潮湿 Humedo
V	III	IV	IV	II

	冲积层: 卵石、漂石夹砂 Deposito diluvial: Guijarro, Boloneria con arena		地层分界线 Separatriz de formacion		碎裂岩 Roca fragmentada		块体及编号 Bloque y numeración
	冲洪积层: 漂石、卵石石夹土 Deposito diluvial: cantos rodados y grava con arcilla		岩性分界线 Separatriz de litología		强风化线 Línea de erosion alta		塌方体及编号 Colapso y numeración
	崩积层: 块石、碎石夹土 Deposito coluvial: piedra en bloque, piedra triturada con arcilla		断层及其编号 Fallas y nomenclación		中等风化线 Línea de erosion media		洞室(边坡)走向 Tunnel (talud) alineacion
	二叠系花岗岩长岩 Periodo Pérmico: Granodiorita		岩体破碎带 Zona de fractura de roca		裂隙及其编号 Grieta and nomenclación		
	奥陶系圣何塞组: 石英绢云母板岩 Ordovícico(0-sj): Pizarra de cuarzo Sericite		断层泥 Harina de falla		层面及编号 Estratificación y numeración.		
	寒武系: 石英绢云母片岩、绢云母片岩 É-ci: Esquistos de sericita de cuarzo		碎石夹土 Piedra con arcilla		水点及编号 Punto de salida de agua y numeración		

EPC总承包商: 中国水利电力对外有限公司 EPC: CHINA INTERNATIONAL WATER & ELECTRIC CORP.		
设计方: 长江勘测规划设计研究有限责任公司 DESIGN: CHANGJIANG SURVEY, PLANNING, DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.		
核准 APROBADO	秘鲁圣加旺III水电站	施工详图 设计
核定 VERIFICADO	PERU San Gabán III	CONSTRUCCION DISEÑO
审查 EXAMINADO	HYDROPOWER PROJECT	地质 部分
校核 COMPROBADO	引水隧洞地质编录图	
制图 DIBUJADO	Mapeo Geologico Detallado del Tunnel de Aduccion	
日期 FECHA	比例 SCALE	如图 AS NOTED
设计证号 D.C. No. A142000843	图号 DRAWING NO.	01

声明: 未经授权, 不得翻印(录)、传播或使用, 对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利。

## **APENDICE PROCESAMIENTO DE DATOS**

**INFLUENCIA DEL ESQUISTO DE SERICITA EN EL  
RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III, 2024**



DATA SET SIN PROCESAMIENTO

fecha	progresiva	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno	jornada	velocidad
2023.11.21	Y5+953.2~Y5+959.0	5.8	€-ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación del tunel	día	p	0.725
2023.11.20	Y5+959~Y5+964	5.0	€-ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación del tunel	noche	c	0
2023.11.20	Y5+964~Y5+975	11.0	€-ci	II		noche	c	0
2023.11.20	Y5+975~Y5+989	14.0	€-ci	II		día	p	1.75
2023.11.19	Y5+989~Y5+990	1.0	€-ci	II		noche	c	0
2023.11.19	Y5+990~Y6+007	17.0	€-ci	III		noche	c	0
2023.11.18	Y6+007~Y6+015	8.0	€-ci	III		noche	c	0
2023.11.18	Y6+015~Y6+022	7.0	€-ci	II		noche	c	0
2023.11.18	Y6+022~Y6+036	14.0	€-ci	II		día	p	1.75
2023.11.17	Y6+036~Y6+052	16.0	€-ci	II		noche	p	2
2023.11.17	Y6+052~Y6+064	12.0	€-ci	II		día	p	1.5
2023.11.16	Y6+064~Y6+086	22.0	€-ci	II		noche	p	2.75
2023.11.15	Y6+086~Y6+100	14.0	€-ci	II		día	c	0
2023.11.15	Y6+100~Y6+112	12.0	€-ci	II		día	c	0
2023.11.14	Y6+112~Y6+130	18.0	€-ci	II		noche	p	2.25
2023.11.14	Y6+130~Y6+142	12.0	€-ci	II		día	p	1.5
2023.11.13	Y6+142~Y6+155	13.0	€-ci	II		noche	p	1.625
2023.11.13	Y6+155~Y6+169	14.0	€-ci	II	4 pernos puntuales en Tn7271	día	p	1.75
2023.11.12	Y6+169~Y6+178	9.0	€-ci	II		noche	c	0
2023.11.12	Y6+178~Y6+186	8.0	€-ci	III		noche	c	0
2023.11.11	Y6+186~Y6+200	14.0	€-ci	III		noche	p	1.75
2023.11.11	Y6+200~Y6+216	16.0	€-ci	III		día	p	2
2023.11.10	Y6+216~Y6+233	17.0	€-ci	III		noche	p	2.125
2023.11.10	Y6+233~Y6+238	5.0	€-ci	III		día	c	0
2023.11.10	Y6+238~Y6+247	9.0	€-ci	II		día	c	0
2023.11.09	Y6+247~Y6+260	13.0	€-ci	II		noche	p	1.625
2023.11.09	Y6+260~Y6+272	12.0	€-ci	II		día	p	1.5
2023.11.08	Y6+272~Y6+281	9.0	€-ci	II		noche	p	1.125
2023.11.08	Y6+281~Y6+287	6.0	€-ci	II		día	p	0.75
2023.11.07	Y6+287~Y6+295	8.0	€-ci	II		noche	p	1
2023.11.07	Y6+295~Y6+309	14.0	€-ci	II	Fy376 en desarrollo, 3 pernos puntuales en Fy376	día	p	1.75
2023.11.06	Y6+309~Y6+322	13.0	€-ci	II		noche	p	1.625
2023.11.06	Y6+322~Y6+333	11.0	€-ci	II		día	c	0
2023.11.06	Y6+333~Y6+338	5.0	€-ci	III		día	c	0
2023.11.05	Y6+338~Y6+354	16.0	€-ci	III		noche	p	2
2023.11.04	Y6+354~Y6+374	20.0	€-ci	III		noche	p	2.5

...	...	...	...	...	...	...	...	...
2022.07.21	Y14+475.8~Y14+485.0	9.2	O-sj	III		día	p	1.15
2022.07.20	Y14+485.0~Y14+491.4	6.4	O-sj	IV		día	p	0.8
2022.07.19	Y14+491.4~Y14+494.8	3.4	O-sj	IV		día	p	0.425
2022.07.18	Y14+494.8~Y14+501.5	6.7	O-sj	IV		día	p	0.8375
2022.07.16	Y14+501.5~Y14+506.0	4.5	O-sj	IV	Fy212 en desarrollo y Fy212-1	día	p	0.5625
2022.07.15	Y14+506.0~Y14+508.0	2.0	O-sj	IV	Fy212 en desarrollo y Fy212-1	día	p	0.25
2022.07.14	Y14+508.0~Y14+520.5	12.5	O-sj	IV	Fy211 en desarrollo y Fy212	día	p	1.5625
2022.07.13	Y14+520.5~Y14+526.0	5.5	O-sj	IV	Fy211 y Fy211-1 en desarrollo	día	c	0
2022.07.13	Y14+526.0~Y14+540.5	14.5	O-sj	III		día	c	0
2022.07.12	Y14+540.5~Y14+557.5	17.0	O-sj	III		día	p	2.125
2022.07.09	Y14+557.5~Y14+575.0	17.5	O-sj	III		día	p	2.1875
2022.07.08	Y14+575.0~Y14+614.1	20.0	O-sj	III	Fy210 en desarrollo	día	p	2.5
2022.07.07	Y14+595.0~Y14+614.0	19.0	O-sj	III		día	p	2.375
2022.07.06	Y14+614.0~Y14+624.0	10.0	O-sj	III		día	p	1.25
2022.07.05	Y14+624.0~Y14+645.0	21.0	O-sj	III		día	p	2.625
2022.07.04	Y14+645.0~Y14+658.9	13.9	O-sj	III		día	c	0
2022.07.04	Y14+658.9~Y14+663.7	4.8	O-sj	IV	Fy209 en desarrollo	día	c	0
2022.07.02	Y14+663.7~Y14+681.0	17.3	O-sj	III	Fy208 en desarrollo	día	p	2.1625
2022.07.01	Y14+681.0~Y14+692.0	11.0	O-sj	III		día	p	1.375
2022.06.30	Y14+692.0~Y14+709.0	17.0	O-sj	III	Fy 207 en desarrollo	día	p	2.125
2022.06.27	Y14+709.0~Y14+712.0	3.0	O-sj	III		día	c	0
2022.06.27	Y14+712.0~Y14+723.0	11.0	O-sj	III		día	c	0
2022.06.24	Y14+723.0~Y14+726.0	3.0	O-sj	III	Fy 206 en desarrollo.Pernos puntuales en falla por parte	día	c	0
2022.06.24	Y14+726.0~Y14+732.0	6.0	O-sj	IV	Cimbras a 1.2m	día	c	0
2022.06.24	Y14+732.0~Y14+735.0	3.0	O-sj	IV	Cimbras a 1.2m	día	c	0
2022.06.22	Y14+735.0~Y14+743.0	8.0	O-sj	III	Cimbras a 1.2m	día	p	1
2022.06.21	Y14+743.0~Y14+747.0	4.0	O-sj	III	Cimbras a 1.2m	día	c	0
2022.06.21	Y14+747.0~Y14+749.0	2.0	O-sj	IV		día	c	0
2022.06.20	Y14+749.0~Y14+755.0	6.0	O-sj	IV		día	c	0
2022.06.20	Y14+755.0~Y14+764.0	9.0	O-sj	V	Fy 205 en desarrollo	día	c	0
2022.06.20	Y14+764.0~Y14+767.0	3.0	O-sj	IV		día	c	0
2022.05.22	Y14+767.0~Y14+768.5	1.5	O-sj	III		día	p	0.1875
2022.04.07	Y14+768.5~Y14+773.5	5.0	O-sj	III	El departamento de TBM colocó 4 cimbras a 1.2m	día	p	0.625

# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## PROCESAMIENTO DE DATOS DEL DATA SET

### RENDIMIENTO DE LA TUNELADORA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III

#### 1. Introducción

En el dinámico campo de la ingeniería civil y minera, la eficiencia en la excavación de túneles es un factor crítico para el éxito de grandes proyectos de infraestructura. La Central Hidroeléctrica San Gabán III, ubicada en la región de Puno, Perú, representa un desafío geotécnico significativo debido a la predominancia del esquistos de sericita de cuarzo. Esta investigación se centra en comprender y optimizar el rendimiento de la Tuneladora (TBM) frente a las propiedades geomecánicas específicas de esta roca metamórfica. A través del análisis de datos operativos detallados, buscamos arrojar luz sobre cómo las características del esquistos de sericita de cuarzo impactan directamente en la velocidad y eficiencia de la excavación, con el fin último de mejorar la planificación y ejecución de futuros proyectos subterráneos en entornos geológicamente complejos.



#### 2. Título del trabajo

**Impacto del Esquistos de Sericita en el Rendimiento de la Tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III**

#### 3. Resumen

**Impacto del Esquistos de Sericita en el Rendimiento de la Tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III**

El presente proyecto de investigación se enfoca en analizar y evaluar el **rendimiento operativo de la máquina tuneladora (TBM)** durante la excavación en la formación geológica de esquistos de sericita de cuarzo, específicamente en los tipos II, III, IV y V, dentro del megaproyecto de la Central Hidroeléctrica San Gabán III. Esta obra, crucial para el desarrollo energético de la región de Puno, Perú, presenta desafíos geotécnicos significativos debido a la presencia de esta roca metamórfica.

El objetivo general de esta investigación es **evaluar la influencia específica de las propiedades del esquistos de sericita de cuarzo en el rendimiento de la tuneladora**. El esquistos de sericita de cuarzo, una roca metamórfica caracterizada por su dureza variable, fuerte foliación y compleja composición mineralógica, interactúa de manera particular con la TBM a lo largo de estructuras geológicas como fallas, diaclasas y contactos litológicos. Por ello, se busca explicar cómo las características geomecánicas de esta roca inciden directamente en el desempeño operativo de la máquina, utilizando para ello los registros de funcionamiento de la tuneladora.

Para lograr este objetivo, se analizará el rendimiento de la TBM en relación con la clasificación geomecánica del esquistos de sericita de cuarzo. Se han definido dos variables clave:

- **Variable Independiente:**

**Esquisto de sericita de cuarzo.** Esta variable describirá en detalle las propiedades geotécnicas de la roca, incluyendo su resistencia a la compresión simple, el grado de fracturación del macizo rocoso y otras características geológicas específicas que influyen en la excavación

- **Variable Dependiente:**

**Rendimiento de la tuneladora (TBM) sobre el esquisto de sericita de cuarzo en el Proyecto Central Hidroeléctrica San Gabán III.** Aquí se abordará la eficiencia y la efectividad de la TBM durante la excavación en los diferentes tipos de clasificación geomecánica de la sericita. Se evaluarán datos cruciales como la velocidad de excavación (metros por hora), la necesidad y el tipo de sostenimiento (sistemático y/o puntual), así como otros aspectos operativos que impactan directamente en la productividad de la máquina.

#### 4. Objetivos a alcanzar

Evaluar la influencia del esquisto de sericita de cuarzo en el rendimiento de la tuneladora en la Central Hidroeléctrica San Gabán III.

#### 5. Descripción del dataset

- Fecha: El día específico en que se realizó el análisis o registro del avance de la TBM.
- Progresiva: El registro de la distancia acumulada (o progresiva) avanzada por la tuneladora.
- Largo: El avance en metros lineales logrado por la TBM en un período determinado.
- Litología: El tipo de formación geológica encontrada, específicamente si es esquisto de sericita o pizarra.
- Clasificación de rocas: La clasificación geomecánica específica del esquisto de sericita de cuarzo (tipos II, III, IV y V).
- Tratamiento especial: Una descripción cualitativa de las condiciones encontradas y las acciones tomadas durante el avance de la TBM (e.g., presencia de agua, zonas de falla, etc.).
- Turno: El período de trabajo en un día (noche o día), correspondiendo a un avance registrado durante un turno de 8 horas.
- Pernos: El número de pernos adicionales utilizados para reforzar el túnel en una sección específica.
- Fallas: La descripción o registro de las fallas geológicas encontradas en el túnel de excavación.
- Cuñas: El registro de las cuñas colocadas para asegurar y estabilizar el techo del túnel.
- Jornada: El tipo de jornada de trabajo, pudiendo ser "pura" o "genérica", indicando posiblemente la continuidad o interrupciones en la operación.

## 6. Muestra del Dataset (incluir un XLS con no más de 100 casos)

[Enlace del dataset](#)

```
import pandas as pd
import numpy as np
import plotly
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import re
```

```
url = "https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vTxGjH1iVE3_QIdRscEcw98-t5TB10S6KYHLoiOvt7SM3JBdpPQvwX6bAtia43oaA/pu
data = pd.read_csv(url)
```

### Preprocesamiento

DataSet original

```
data.head(100)
```

	fecha	progresiva	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno
0	2023.11.21	Y5+953.2~Y5+959.0	5,8	€-ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	día
1	2023.11.20	Y5+959~Y5+964	5,0	€-ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	noche
2	2023.11.20	Y5+964~Y5+975	11,0	€-ci	II		NaN noche
3	2023.11.20	Y5+975~Y5+989	14,0	€-ci	II		NaN día
4	2023.11.19	Y5+989~Y5+990	1,0	€-ci	II		NaN noche
...	...	...	...	...	...	...	...
95	2023.10.09	Y6+887~Y6+903	16,0	€-ci	II		NaN día
96	2023.10.08	Y6+903~Y6+916	13,0	€-ci	II		NaN noche
97	2023.10.07	Y6+916~Y6+928	12,0	€-ci	II		NaN día
98	2023.10.06	Y6+928~Y6+941	13,0	€-ci	II	1 perno en Tn4038	noche
99	2023.10.06	Y6+941~Y6+945	4,0	€-ci	II	4 pernos sistematicos en hastial derecho	día

100 rows × 7 columns

### Tipos de datos

```
resumen = pd.DataFrame({
    'No Nulos': data.notnull().sum(),
    '':" ",
    'Nulos': data.isnull().sum(),
    '':" ",
    'Tipo Dato': data.dtypes
})

# Mostramos la tabla resultante
print(resumen)
```

	No Nulos	Nulos	Tipo Dato
fecha	679	0	object
progresiva	679	0	object
largo	679	0	object
litologia	679	0	object
tipo_roca	679	0	object
tratamiento	253	426	object

```
turno          679          0          object
```

### Eliminando columna innecesaria y reemplazando caracteres especiales

```
data.drop('progresiva', axis=1, inplace=True)
```

```
data = data.replace({'€-ci':'ci', '0-sj':'sj'})
```

### Convirtiendo a flotante

```
data['largo'] = data['largo'].str.replace(',','').astype(float)
data
```

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno
0	2023.11.21	5.8	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	día
1	2023.11.20	5.0	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	noche
2	2023.11.20	11.0	ci	II		NaN noche
3	2023.11.20	14.0	ci	II		NaN día
4	2023.11.19	1.0	ci	II		NaN noche
...	...	...	...	...		...
674	2022.06.20	6.0	sj	IV		NaN día
675	2022.06.20	9.0	sj	V	Fy 205 en desarrollo	día
676	2022.06.20	3.0	sj	IV		NaN día
677	2022.05.22	1.5	sj	III		NaN día
678	2022.04.07	5.0	sj	III	El departamento de TBM coloco 4 cimbras a 1.2m	día

679 rows × 6 columns

### Convirtiendo la caacterística "fecha" a tipo FECHA

```
# Convirtiendo a tipo fecha
data['fecha'] = pd.to_datetime(data['fecha'], format="%Y.%m.%d")
# Cambiar el formato de visualización sin perder el tipo datetime
data['fecha'] = pd.to_datetime(data['fecha'].dt.strftime('%d-%m-%Y'), format='%d-%m-%Y')
data
```

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno
0	2023-11-21	5.8	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	día
1	2023-11-20	5.0	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	noche
2	2023-11-20	11.0	ci	II		NaN noche
3	2023-11-20	14.0	ci	II		NaN día
4	2023-11-19	1.0	ci	II		NaN noche
...	...	...	...	...		...
674	2022-06-20	6.0	sj	IV		NaN día
675	2022-06-20	9.0	sj	V	Fy 205 en desarrollo	día
676	2022-06-20	3.0	sj	IV		NaN día
677	2022-05-22	1.5	sj	III		NaN día
678	2022-04-07	5.0	sj	III	El departamento de TBM coloco 4 cimbras a 1.2m	día

679 rows × 6 columns

### Eliminando los espacios en blanco de la característica "turno"

```
# Eliminando espacios en blanco de la columna Turno
data['turno'] = data['turno'].str.strip()
```

```
data_agrupado = data.groupby(['fecha', 'turno']).size().reset_index().rename(columns={0: 'cantidad'}).sort_values(by = 'fecha')
#data_agrupado = data_agrupado[data_agrupado['cantidad']==1]
```

data\_agrupado

	fecha	turno	cantidad
489	2023-11-21	día	1
488	2023-11-20	noche	2
487	2023-11-20	día	1
486	2023-11-19	noche	2
485	2023-11-18	noche	2
...	...	...	...
4	2022-06-22	día	1
3	2022-06-21	día	2
2	2022-06-20	día	3
1	2022-05-22	día	1
0	2022-04-07	día	1

490 rows × 3 columns

## ✓ Ingeniería de características

### Determinando la jornada completa en todo el DataSet y generando una nueva característica

```
# Versión con apply y lambda
data['jornada'] = data.apply(
    lambda row: 'puro' if
        ((data_agrupado['cantidad'] == 1) &
         (data_agrupado['fecha'] == row['fecha']) &
         (data_agrupado['turno'] == row['turno'])).any()
        else 'genérico',
    axis=1
)
```

data.head(15)

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno	jornada
0	2023-11-21	5.8	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	día	puro
1	2023-11-20	5.0	ci	III	arcos de acero para reforzar la comunicación d...	noche	genérico
2	2023-11-20	11.0	ci	II		NaN	noche genérico
3	2023-11-20	14.0	ci	II		NaN	día puro
4	2023-11-19	1.0	ci	II		NaN	noche genérico
5	2023-11-19	17.0	ci	III		NaN	noche genérico
6	2023-11-18	8.0	ci	III		NaN	noche genérico
7	2023-11-18	7.0	ci	II		NaN	noche genérico
8	2023-11-18	14.0	ci	II		NaN	día puro
9	2023-11-17	16.0	ci	II		NaN	noche puro
10	2023-11-17	12.0	ci	II		NaN	día puro
11	2023-11-16	22.0	ci	II		NaN	noche puro
12	2023-11-15	14.0	ci	II		NaN	día genérico
13	2023-11-15	12.0	ci	II		NaN	día genérico
14	2023-11-14	18.0	ci	II		NaN	noche puro

### Convirtiendo a mayúsculas la característica "tratamiento"

```
data['tratamiento'] = data['tratamiento'].str.upper()
data.head(5)
```

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno	jornada
0	2023-11-21	5.8	ci	III	ARCOS DE ACERO PARA REFORZAR LA COMUNICACIÓN D...	día	puro
1	2023-11-20	5.0	ci	III	ARCOS DE ACERO PARA REFORZAR LA COMUNICACIÓN D...	noche	genérico
2	2023-11-20	11.0	ci	II		NaN	noche genérico
3	2023-11-20	14.0	ci	II		NaN	día puro
4	2023-11-19	1.0	ci	II		NaN	noche genérico

#### Generando 4 características nuevas de la variable "tratamiento"

- Pernos
- Fallas
- Cuñas

```
# -----
# para extraer la cantidad de pernos
def contar_pernos(texto):
    # Si es NaN, devolver 0
    if pd.isna(texto):
        return 0
    # Convertir a string por seguridad
    match = re.search(r'(\d+)\s*PERNO[S]?', str(texto), re.IGNORECASE)
    return int(match.group(1)) if match else 0
# -----
def contar_fallas(texto):
    fallas = re.findall(r'FY\s*\d+', str(texto), re.IGNORECASE)
    return len(fallas)
# -----
def contar_cunias(texto):
    cunias = re.findall(r'YKT\s*\d+', str(texto), re.IGNORECASE)
    return len(cunias)
# -----
```

```
data['pernos'] = data['tratamiento'].apply(contar_pernos)
```

```
data.loc[data['pernos'] != 0, ['tratamiento', 'pernos']]
```

	tratamiento	pernos
17	4 PERNOS PUNTUALES EN TN7271	4
30	FY376 EN DESARROLLO, 3 PERNOS PUNTUALES EN FY376	
42	2 PERNOS PUNTUALES EN TN7207, YKT41 (Y6+435-Y6...	2
45	YKT40 (Y6+457-Y6+463), 2 PERNOS PUNTUALES EN T...	2
52	FY370 EN DESARROLLO, 3 PERNOS PUNTUALES EN FY370	
58	2 PERNOS PUNTUALES EN T7152	2
64	2 PERNOS PUNTUALES EN TN7130	2
69	1 PERNO PUNTUAL EN TN7111 Y 1 EN T7109	1
70	FY369 EN DESARROLLO 1 PERNO PUNTUAL EN FY369	1
89	3 PERNOS PUNTUALES EN T4060, 2 CIMBRAS INSTALA...	
91	2 PERNOS PUNTUALES EN TN 4057	2
94	2 PERNOS PUNTUALES	2
98	1 PERNO EN TN4038	1
99	4 PERNOS SISTEMATICOS EN HASTIAL DERECHO	4
117	2 PERNOS PUNTUALES	2
134	1 PERNO PUNTUAL EN TN 6939	1
137	FY348 EN DESARROLLO, 8 PERNOS PUNTUALES EN FY348	8
140	FY347 EN DESARROLLO, 4 PERNOS PUNTUALES EN FY347	4
147	FY344 EN DESARROLLO 4 PERNOS PUNTUALES EN FY344	4
159	1 PERNO PUNTUAL EN TN6887 YTF126(Y7+444-Y7+446.5)	1
175	4 PERNOS PUNTUALES EN TN6828	4
190	3 PERNOS PUNTUALES EN YKT33, YKT33(Y7+767-Y7+765)	
199	8 PERNOS PUNTUALES EN TN 6756	8
252	12 PERNOS PUNTUALES EN T6561 Y T6562	12
253	3 PERNOS PUNTUALES EN T6559	
257	8 PERNOS EN FY314, YTF102(Y8+453-Y8+451), YTF ...	8
285	3 PERNOS PUNTUALES ENT6446 Y TN6449	
291	FY308 EN DESARROLLO 4 PERNOS PUNTUALES EN FY308	4
329	4 PERNOS PUNTUALES EN FY299 Y 6 PERNOS PUNTUAL...	4
333	4 PERNOS EN T6230 Y 3 PERNOS EN T6229	4
338	3 PERNOS EN TN6208	
367	FY 293 EN DESARROLLO, 3 PERNOS PUNTUALES EN FY293	
370	4 PERNOS PUNTUALES EN TN6099	4
386	FY287 Y FY287-1 EN DESARROLLO, 5 PERNOS PUNTUA...	5
398	FY 285 EN DESARROLLO, 1 PERNO PUNTUAL EN FY 285	1
401	2 PERNOS PUNTUALES EN T5971, YTF78(Y9+905-Y9+907)	2
402	FY 284 EN DESARROLLO, AÑADIR 2 PERNOS DE ANCLA...	2
415	3 PERNOS EN LA FY280 Y FY280-1 EN DESARROLLO	
416	FALLA EN DESARROLLO, 2 PERNOS EN LA FY279	2
421	2 PERNOS PUNTUALES EN TN5868	2
435	FY 276 EN DESARROLLO. 4 PERNOS PUNTUALES	4
495	3 PERNOS PUNTUALES EN TN5340	
562	COLOCAR 3 PERNOS PUNTUALES EN YKT6	
563	COLOCAR 2 PERNOS EN T4714	2
588	2 PERNOS PUNTUALES EN TN4609	2
595	2 PERNOS EN T4557	2
640	1 PERNO EN FRACTURA.	1

Haciendo uso de la función creado para contar la cantidad de fallas

```
data["fallas"] = data["tratamiento"].apply(contar_fallas)
```

```
data.head()
```

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	tratamiento	turno	jornada	pernos	fallas
0	2023-11-21	5.8	ci	III	ARCOS DE ACERO PARA REFORZAR LA COMUNICACIÓN D...	día	puro	0	0
1	2023-11-20	5.0	ci	III	ARCOS DE ACERO PARA REFORZAR LA COMUNICACIÓN D...	noche	genérico	0	0
2	2023-11-20	11.0	ci	II		NaN	noche genérico	0	0

### Haciendo uso de la función creado para contar la cantidad de cuñas

```
data["cunias"] = data["tratamiento"].apply(contar_cunias)
data[["fecha", "tratamiento", "cunias"]].sort_values(by = 'cunias', ascending = False)
```

	fecha	tratamiento	cunias
451	2023-04-13	YTF58(Y10+809-Y10+805),YTF59(Y10+805-Y10+803)...	5
445	2023-04-19	YKT22(Y10+644.5-Y10+650), YKT23(Y10+643-Y10+64...	5
447	2023-04-18	YKT19(Y10+771-Y10+775), YKT20(Y10+664-Y10+666)...	3
42	2023-10-31	2 PERNOS PUNTUALES EN TN7207, YKT41 (Y6+435-Y6...	2
190	2023-08-26	3 PERNOS PUNTUALES EN YKT33, YKT33(Y7+767-Y7+765)	2
...	...	...	...
236	2023-08-03	FY 319 EN DESARROLLO, CIMBRAS ESPACIADAS A 0.9M	0
237	2023-08-02	FY 319 EN DESARROLLO, CIMBRAS ESPACIADAS A 0.9M	0
238	2023-08-02	FY318 EN DESARROLLO, YTF 107 (Y8+251-Y8+243), ...	0
239	2023-08-01	YTF 106 (Y8+250-Y8+256)	0
229	2023-08-08	YTF113(Y8+193.5 - Y8+196.5)	0

679 rows × 3 columns

```
data.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 679 entries, 0 to 678
Data columns (total 10 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  ---
0   fecha           679 non-null   datetime64[ns]
1   largo           679 non-null   float64
2   litologia       679 non-null   object
3   tipo_roca       679 non-null   object
4   tratamiento     253 non-null   object
5   turno           679 non-null   object
6   jornada         679 non-null   object
7   pernos          679 non-null   int64
8   fallas          679 non-null   int64
9   cunias          679 non-null   int64
dtypes: datetime64[ns](1), float64(1), int64(3), object(5)
memory usage: 53.2+ KB
```

### Eliminando la característica "tratamiento"

```
data = data.drop(['tratamiento'], axis=1)
```

```
data
```

	fecha	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias
0	2023-11-21	5.8	ci	III	día	puro	0	0	0
1	2023-11-20	5.0	ci	III	noche	genérico	0	0	0
2	2023-11-20	11.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0
3	2023-11-20	14.0	ci	II	día	puro	0	0	0
4	2023-11-19	1.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	6.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0
675	2022-06-20	9.0	sj	V	día	genérico	0	1	0
676	2022-06-20	3.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0
677	2022-05-22	1.5	sj	III	día	puro	0	0	0
678	2022-04-07	5.0	sj	III	día	puro	0	0	0

679 rows × 9 columns

### Generando nuevas características de la variable fecha

```
data['dia'] = data['fecha'].dt.day
data['mes'] = data['fecha'].dt.month
data['anio'] = data['fecha'].dt.year
```

### Reordenar columnas: día, mes, año

```
columns = ['fecha', 'dia', 'mes', 'anio']
columnas_nuevas = columns + [col for col in data.columns if col not in columns]
data = data[columnas_nuevas]
data
```

	fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias
0	2023-11-21	21	11	2023	5.8	ci	III	día	puro	0	0	0
1	2023-11-20	20	11	2023	5.0	ci	III	noche	genérico	0	0	0
2	2023-11-20	20	11	2023	11.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0
3	2023-11-20	20	11	2023	14.0	ci	II	día	puro	0	0	0
4	2023-11-19	19	11	2023	1.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	20	6	2022	6.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0
675	2022-06-20	20	6	2022	9.0	sj	V	día	genérico	0	1	0
676	2022-06-20	20	6	2022	3.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0
677	2022-05-22	22	5	2022	1.5	sj	III	día	puro	0	0	0
678	2022-04-07	7	4	2022	5.0	sj	III	día	puro	0	0	0

679 rows × 12 columns

### Calculando la velocidad de las jornadas completas

```
df = data.copy()
df['velocidad'] = np.where(df['jornada'] == 'puro', df['largo'] / 8, 0)
```

df

	fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias	velocidad
0	2023-11-21	21	11	2023	5.8	ci	I	día	puro	0	0	0	0.7250
1	2023-11-20	20	11	2023	5.0	ci	I	noche	genérico	0	0	0	0.0000
2	2023-11-20	20	11	2023	11.0	ci	I	noche	genérico	0	0	0	0.0000
3	2023-11-20	20	11	2023	14.0	ci	I	día	puro	0	0	0	1.7500
4	2023-11-19	19	11	2023	1.0	ci	I	noche	genérico	0	0	0	0.0000
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	20	6	2022	6.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0	0.0000
675	2022-06-20	20	6	2022	9.0	sj	V	día	genérico	0	1	0	0.0000
676	2022-06-20	20	6	2022	3.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0	0.0000
677	2022-05-22	22	5	2022	1.5	sj	I	día	puro	0	0	0	0.1875
678	2022-04-07	7	4	2022	5.0	sj	I	día	puro	0	0	0	0.6250

679 rows × 13 columns

```
df.to_csv('procesado.csv', index=False)
```

```
filtrado = df[df['jornada']=='puro']
filtrado = filtrado.groupby('tipo_roca')['velocidad'].mean().reset_index()
filtrado = filtrado.sort_values(by='tipo_roca', ascending=True)
```

filtrado

	tipo_roca	velocidad
0	II	1.687931
1	III	2.641864
2	IV	0.850833
3	V	0.287500

```
# reemplazando la velocidad = 0 con el promedio del tipo de roca para las jornadas puras.
for index, row in filtrado.iterrows():
    mask = (df['tipo_roca'] == row['tipo_roca']) & (df['velocidad'] == 0)
    df.loc[mask, 'velocidad'] = row['velocidad']
```

df

	fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias	velocidad
0	2023-11-21	21	11	2023	5.8	ci	III	día	puro	0	0	0	0.725000
1	2023-11-20	20	11	2023	5.0	ci	III	noche	genérico	0	0	0	2.641864
2	2023-11-20	20	11	2023	11.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0	1.687931
3	2023-11-20	20	11	2023	14.0	ci	II	día	puro	0	0	0	1.750000
4	2023-11-19	19	11	2023	1.0	ci	II	noche	genérico	0	0	0	1.687931
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	20	6	2022	6.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0	0.850833
675	2022-06-20	20	6	2022	9.0	sj	V	día	genérico	0	1	0	0.287500
676	2022-06-20	20	6	2022	3.0	sj	IV	día	genérico	0	0	0	0.850833
677	2022-05-22	22	5	2022	1.5	sj	III	día	puro	0	0	0	0.187500
678	2022-04-07	7	4	2022	5.0	sj	III	día	puro	0	0	0	0.625000

679 rows × 13 columns

```
# Crear nueva columna TIEMPO (que avanza la máquina - m/h)
df['tiempo'] = np.where(df['jornada'] == 'genérico', df['largo']/df['velocidad'], 8)

# actualizado los pernos (normal + adicional) x Cada metro y medio se adiciona 8 pernos
df['pernos'] = df['pernos'] + df['largo']/1.5*8
```

df

	fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias	velocidad	tiempo
0	2023-11-21	21	11	2023	5.8	ci	II	día	puro	30.933333	0	0	0.725000	8.000000
1	2023-11-20	20	11	2023	5.0	ci	I	noche	genérico	26.666667	0	0	2.641864	1.892603
2	2023-11-20	20	11	2023	11.0	ci	I	noche	genérico	58.666667	0	0	1.687931	6.516854
3	2023-11-20	20	11	2023	14.0	ci	II	día	puro	74.666667	0	0	1.750000	8.000000
4	2023-11-19	19	11	2023	1.0	ci	I	noche	genérico	5.333333	0	0	1.687931	0.592441
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	20	6	2022	6.0	sj	IV	día	genérico	32.000000	0	0	0.850833	7.051910
675	2022-06-20	20	6	2022	9.0	sj	V	día	genérico	48.000000	1	0	0.287500	31.304348

### Generando consultas para realizar los gráficos

```

velocidad_turno = df.groupby(['turno', df['fecha'].dt.year, df['fecha'].dt.month])['velocidad'].mean().sort_values()

velocidad_turno2 = df.groupby(['turno'])['velocidad'].mean().sort_values()
velocidad_litologia = df.groupby('litologia')['velocidad'].mean().sort_values()
velocidad_tipo_roca = df.groupby('tipo_roca')['velocidad'].mean().sort_values()
pernos_tipo_roca = df.groupby('tipo_roca')['pernos'].mean().sort_values()
correlacion = df[['largo', 'velocidad']].corr().iloc[0, 1]
productividad_dia = df.groupby('fecha')['largo'].sum().sort_values(ascending=False).head(10)

```

```

velocidad_turno = velocidad_turno.rename_axis(index=['turno', 'año', 'mes'])
velocidad_turno = velocidad_turno.reset_index()
velocidad_turno.sort_values(by=['año', 'mes'], ascending=False, inplace=True)
#velocidad_turno

```

### Resultado de gráficos



```

import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Convertir a DataFrame y crear etiquetas
df_plot = velocidad_turno.reset_index()
df_plot['etiqueta'] = df_plot['turno'] + ' ' + df_plot['año'].astype(str) + '-' + df_plot['mes'].astype(str).str.zfill(2)

# 2. Ordenar por año y mes (ascendente)
df_plot = df_plot.sort_values(['año', 'mes'])

# 3. Crear el gráfico
sns.set(style="whitegrid")
plt.figure(figsize=(10, 8))

ax = sns.barplot(
    x='velocidad',
    y='etiqueta',
    hue='turno',
    data=df_plot,
    palette="Blues_d",
    dodge=False,
    order=df_plot['etiqueta'], # Orden específico
    legend=False
)

# 4. Agregar valores en la parte superior de las barras
for i, (index, row) in enumerate(df_plot.iterrows()):
    # Obtener el valor de la barra
    valor = row['velocidad']
    # Formatear el valor con 2 decimales
    texto_valor = f'{valor:.2f}'
    # Agregar el texto en la posición adecuada
    ax.text(valor + 0.01, # posición x (justo después del final de la barra)

```

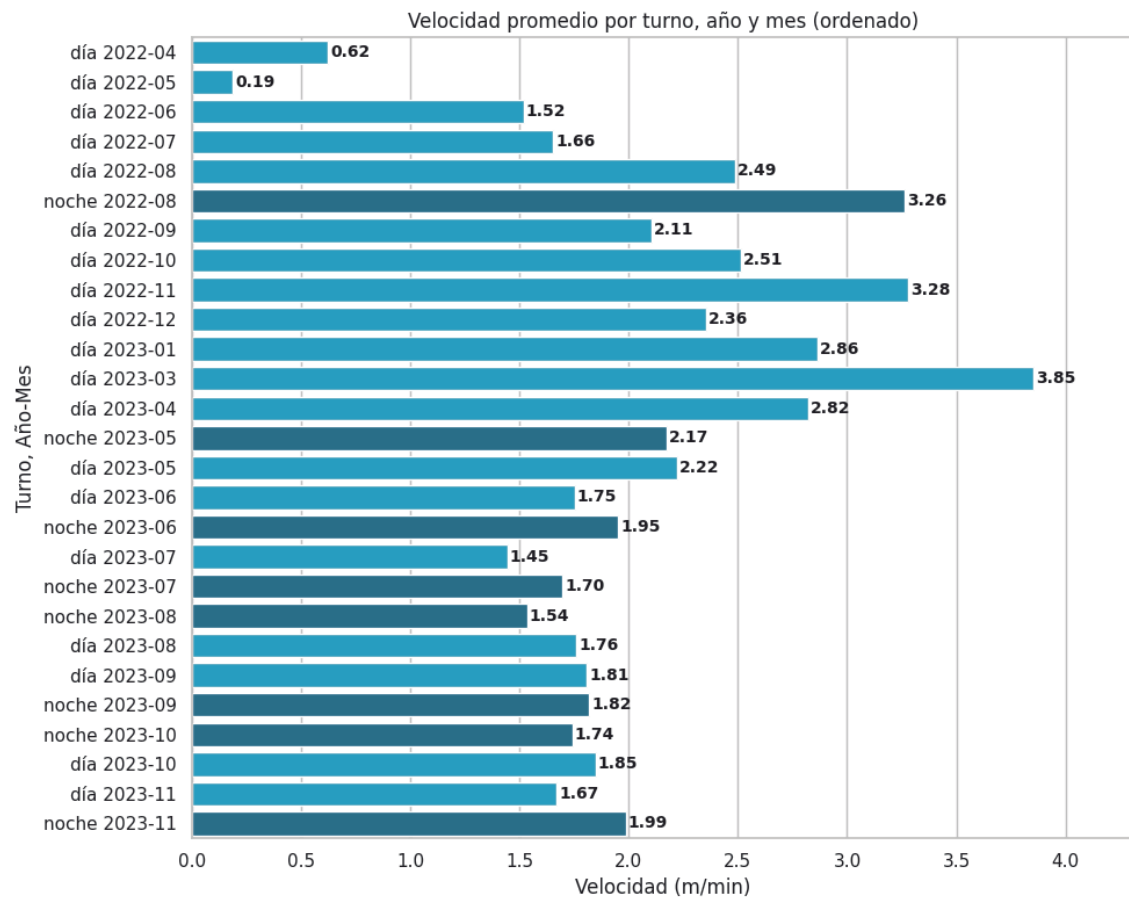
```

i,          # posición y (índice de la barra)
texto_valor, # texto a mostrar
va='center', # alineación vertical centrada
ha='left',   # alineación horizontal a la izquierda
fontsize=10,
fontweight='bold')

# 5. Ajustar límites del eje x para mejor visualización
max_velocidad = df_plot['velocidad'].max()
plt.xlim(0, max_velocidad * 1.12) # 12% más de espacio para los valores

# 6. Ajustes finales
plt.title("Velocidad promedio por turno, año y mes (ordenado)")
plt.xlabel("Velocidad (m/min)")
plt.ylabel("Turno, Año-Mes")
plt.tight_layout()
plt.show()

```



```
df.groupby([df['fecha'].dt.year, df['fecha'].dt.month, 'turno']).size()
```

[Mostrar el resultado oculto](#)

```

sns.set(style="whitegrid")

plt.figure(figsize=(8, 4))
ax = sns.barplot(
    x=velocidad_turno2.values,
    y=velocidad_turno2.index,
    hue=velocidad_turno2.index,
    palette="Blues_d"
)

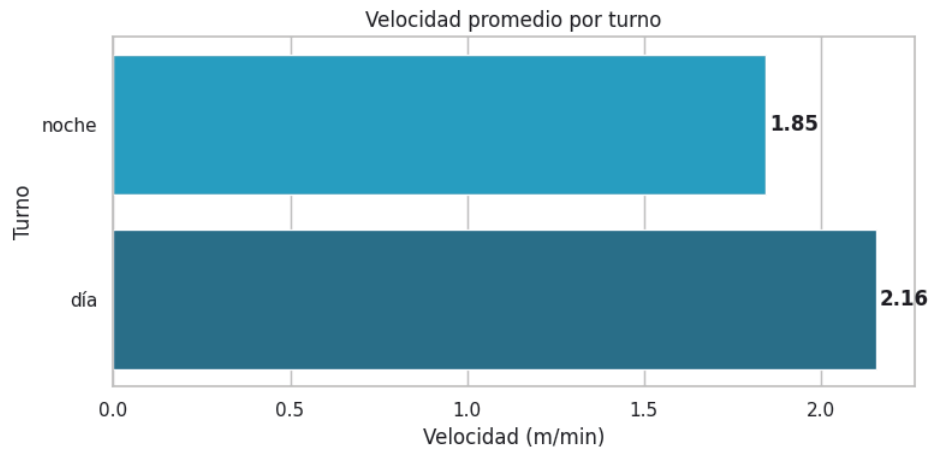
for i, v in enumerate(velocidad_turno2.values):
    ax.text(v + 0.01, i, f'{v:.2f}', va='center', fontweight='bold')

plt.title("Velocidad promedio por turno")
plt.xlabel("Velocidad (m/min)")
plt.ylabel("Turno")
plt.tight_layout()

```

```
plt.show()
plt.close()
```

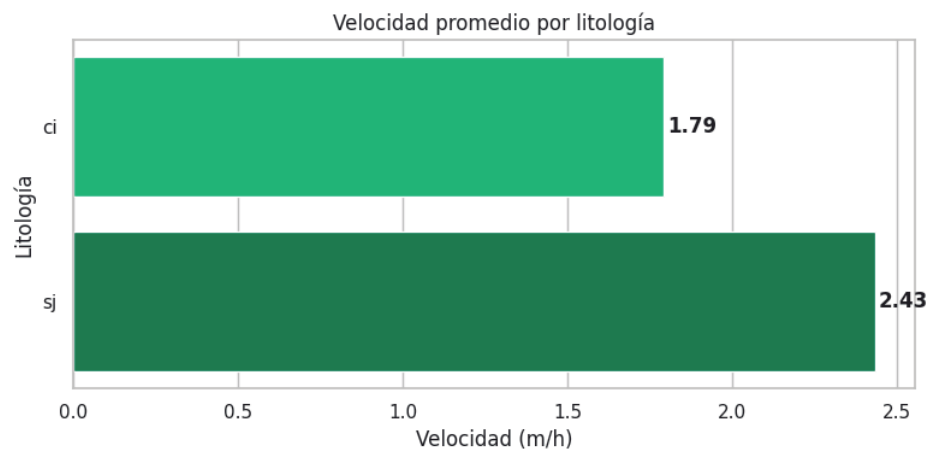
193



```
plt.figure(figsize=(8, 4))
ax = sns.barplot(
    x=velocidad_litologia.values,
    y=velocidad_litologia.index,
    hue=velocidad_litologia.index,
    palette="Greens_d")

for i, v in enumerate(velocidad_litologia.values):
    ax.text(v + 0.01, i, f'{v:.2f}', va='center', fontweight='bold')

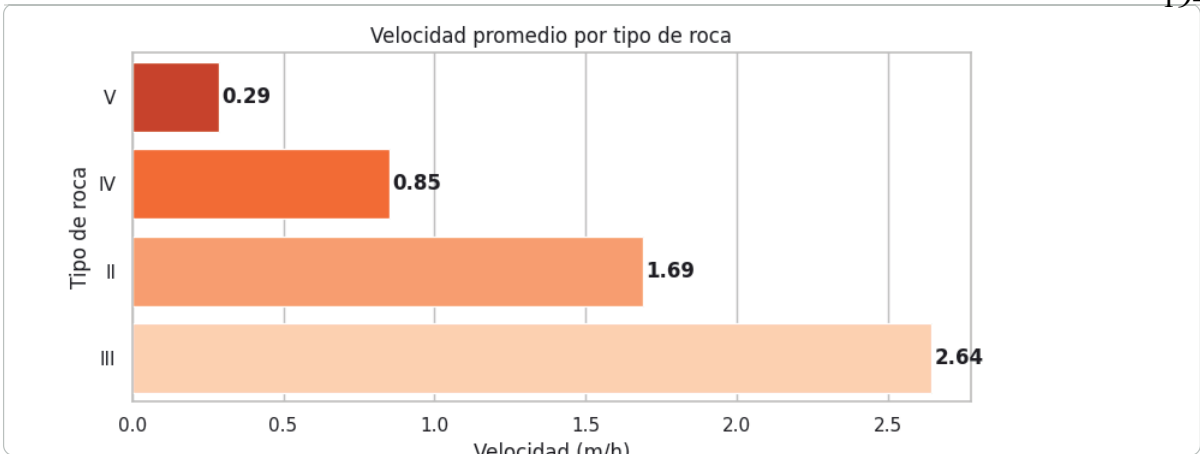
plt.title("Velocidad promedio por litología")
plt.xlabel("Velocidad (m/h)")
plt.ylabel("Litología")
plt.tight_layout()
plt.show()
plt.close()
```



```
plt.figure(figsize=(8, 4))
ax = sns.barplot(
    x=velocidad_tipo_roca.values,
    y=velocidad_tipo_roca.index,
    hue=velocidad_tipo_roca.index,
    palette="Oranges_r")

for i, v in enumerate(velocidad_tipo_roca.values):
    ax.text(v + 0.01, i, f'{v:.2f}', va='center', fontweight='bold')

plt.title("Velocidad promedio por tipo de roca")
plt.xlabel("Velocidad (m/h)")
plt.ylabel("Tipo de roca")
plt.tight_layout()
plt.show()
```



```

anio = df['anio'].unique()
for i in anio:
    print(df[(df['velocidad']!=0) & (df['anio']==i)].velocidad.mean())
    
```

1.9322150306879469  
2.340232941672193

```

df2 = df.drop(df[df['velocidad']==0].index)
df2
    
```

	fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias	velocidad	tiempo
0	2023-11-21	21	11	2023	5.8	ci	III	día	puro	30.933333	0	0	0.725000	8.000000
1	2023-11-20	20	11	2023	5.0	ci	III	noche	genérico	26.666667	0	0	2.641864	1.892603
2	2023-11-20	20	11	2023	11.0	ci	II	noche	genérico	58.666667	0	0	1.687931	6.516854
3	2023-11-20	20	11	2023	14.0	ci	II	día	puro	74.666667	0	0	1.750000	8.000000
4	2023-11-19	19	11	2023	1.0	ci	II	noche	genérico	5.333333	0	0	1.687931	0.592441
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
674	2022-06-20	20	6	2022	6.0	sj	IV	día	genérico	32.000000	0	0	0.850833	7.051910
675	2022-06-20	20	6	2022	9.0	sj	V	día	genérico	48.000000	1	0	0.287500	31.304348

```

productividad_dia = df.groupby('fecha')['largo'].sum().sort_values(ascending=False).head(40)

plt.figure(figsize=(10, 5))
productividad_dia.sort_index().plot(kind='bar')

plt.title("Top 10 días con mayor productividad (largo total)")
plt.xlabel("Fecha")
plt.ylabel("Largo total (m)")
plt.tight_layout()
plt.show()
    
```



```
productividad_dia = df.groupby('fecha')['largo'].sum().sort_values(ascending=False).head(40)
```

```
# Formato de fecha en x
```

```
productividad_dia.index = pd.to_datetime(productividad_dia.index).strftime('%d-%m-%Y')
```

```
plt.figure(figsize=(10, 5))
```

```
ax = productividad_dia.sort_index().plot(kind='bar')
```

```
plt.title("Top 40 días con mayor productividad (largo total)")
```

```
plt.xlabel("Fecha")
```

```
plt.ylabel("Largo total (m)")
```

```
# Agregar los valores en la parte superior de cada barra
```

```
for i, v in enumerate(productividad_dia.sort_index()):
    ax.text(i, v + (v * 0.02), f'{v:.0f}', ha='center', va='bottom',
           fontweight='normal', fontsize=9, rotation=0)
```

```
# Rotar las etiquetas del eje x para mejor legibilidad
```

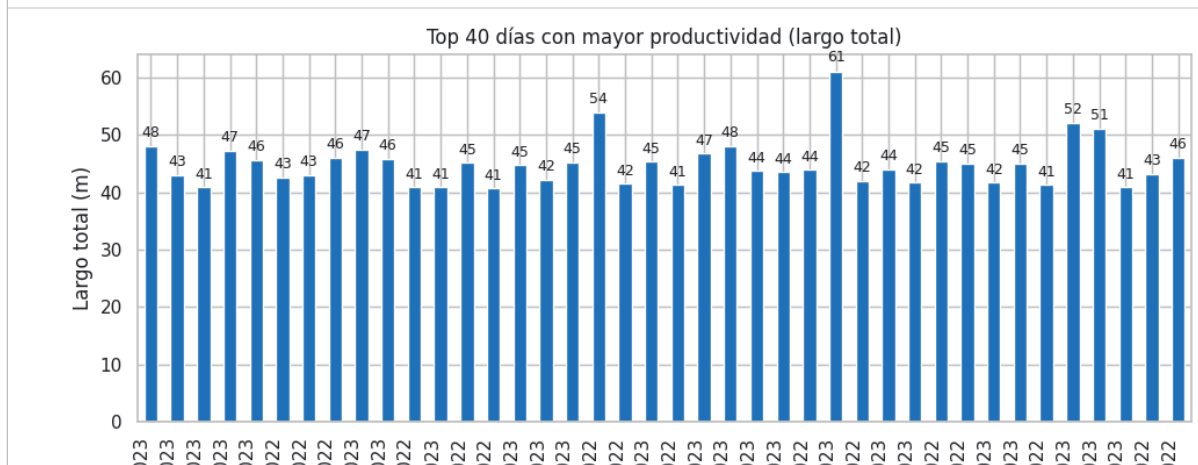
```
plt.xticks(rotation=90, ha='right')
```

```
# Ajustar los márgenes para que quepan las etiquetas
```

```
plt.subplots_adjust(bottom=0.2)
```

```
plt.tight_layout()
```

```
plt.show()
```



**Apéndice 3:** *Dataset de avance del TBM en el túnel*

DATA SET DEL AVANCE DE LATUNELADORA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III, 2024

fecha	dia	mes	anio	largo	litologia	tipo_roca	turno	jornada	pernos	fallas	cunias	velocidad
21/11/2023	21	11	2023	5.8	ci	III	día	puro	30.9333333	0	0	0.725
20/11/2023	20	11	2023	5	ci	III	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
20/11/2023	20	11	2023	11	ci	II	noche	genérico	58.6666667	0	0	0
20/11/2023	20	11	2023	14	ci	II	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
19/11/2023	19	11	2023	1	ci	II	noche	genérico	5.3333333	0	0	0
19/11/2023	19	11	2023	17	ci	III	noche	genérico	90.6666667	0	0	0
18/11/2023	18	11	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	0	0	0
18/11/2023	18	11	2023	7	ci	II	noche	genérico	37.3333333	0	0	0
18/11/2023	18	11	2023	14	ci	II	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
17/11/2023	17	11	2023	16	ci	II	noche	puro	85.3333333	0	0	2
17/11/2023	17	11	2023	12	ci	II	día	puro	64	0	0	1.5
16/11/2023	16	11	2023	22	ci	II	noche	puro	117.333333	0	0	2.75
15/11/2023	15	11	2023	14	ci	II	día	genérico	74.6666667	0	0	0
15/11/2023	15	11	2023	12	ci	II	día	genérico	64	0	0	0
14/11/2023	14	11	2023	18	ci	II	noche	puro	96	0	0	2.25
14/11/2023	14	11	2023	12	ci	II	día	puro	64	0	0	1.5
13/11/2023	13	11	2023	13	ci	II	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
13/11/2023	13	11	2023	14	ci	II	día	puro	78.6666667	0	0	1.75
12/11/2023	12	11	2023	9	ci	II	noche	genérico	48	0	0	0
12/11/2023	12	11	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	0	0	0
11/11/2023	11	11	2023	14	ci	III	noche	puro	74.6666667	0	0	1.75
11/11/2023	11	11	2023	16	ci	III	día	puro	85.3333333	0	0	2
10/11/2023	10	11	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
10/11/2023	10	11	2023	5	ci	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
10/11/2023	10	11	2023	9	ci	II	día	genérico	48	0	0	0
09/11/2023	9	11	2023	13	ci	II	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
09/11/2023	9	11	2023	12	ci	II	día	puro	64	0	0	1.5
08/11/2023	8	11	2023	9	ci	II	noche	puro	48	0	0	1.125
08/11/2023	8	11	2023	6	ci	II	día	puro	32	0	0	0.75
07/11/2023	7	11	2023	8	ci	II	noche	puro	42.6666667	0	0	1
07/11/2023	7	11	2023	14	ci	II	día	puro	77.6666667	2	0	1.75
06/11/2023	6	11	2023	13	ci	II	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
06/11/2023	6	11	2023	11	ci	II	día	genérico	58.6666667	0	0	0
06/11/2023	6	11	2023	5	ci	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
05/11/2023	5	11	2023	16	ci	III	noche	puro	85.3333333	0	0	2
04/11/2023	4	11	2023	20	ci	III	noche	puro	106.666667	0	0	2.5
03/11/2023	3	11	2023	23	ci	III	noche	puro	122.666667	0	0	2.875
03/11/2023	3	11	2023	10	ci	III	día	puro	53.3333333	0	0	1.25
02/11/2023	2	11	2023	9	ci	IV	noche	puro	48	1	0	1.125
02/11/2023	2	11	2023	6	ci	IV	día	genérico	32	1	0	0
02/11/2023	2	11	2023	5	ci	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
31/10/2023	31	10	2023	2	ci	III	noche	puro	10.6666667	0	0	0.25
31/10/2023	31	10	2023	18	ci	III	día	genérico	98	0	2	0
31/10/2023	31	10	2023	2	ci	II	día	genérico	10.6666667	0	0	0
30/10/2023	30	10	2023	5	ci	II	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
30/10/2023	30	10	2023	14	ci	III	noche	genérico	76.6666667	0	1	0
30/10/2023	30	10	2023	5	ci	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
30/10/2023	30	10	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	0	0	0
29/10/2023	29	10	2023	7	ci	IV	noche	genérico	37.3333333	2	0	0
29/10/2023	29	10	2023	10	ci	III	noche	genérico	53.3333333	0	0	0
28/10/2023	28	10	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	1	0	0
28/10/2023	28	10	2023	10	ci	II	noche	genérico	53.3333333	0	0	0
28/10/2023	28	10	2023	16	ci	II	día	puro	88.3333333	2	0	2
27/10/2023	27	10	2023	9	ci	II	noche	puro	48	0	0	1.125
27/10/2023	27	10	2023	13	ci	II	día	puro	69.3333333	0	0	1.625
24/10/2023	24	10	2023	12	ci	II	noche	puro	64	0	0	1.5
24/10/2023	24	10	2023	13	ci	II	día	puro	69.3333333	0	0	1.625
23/10/2023	23	10	2023	13	ci	II	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
23/10/2023	23	10	2023	17	ci	II	día	puro	92.6666667	0	0	2.125
22/10/2023	22	10	2023	1	ci	II	noche	genérico	5.3333333	0	0	0
22/10/2023	22	10	2023	16	ci	III	noche	genérico	85.3333333	0	0	0
21/10/2023	21	10	2023	1	ci	III	noche	genérico	5.3333333	0	0	0
21/10/2023	21	10	2023	11	ci	II	noche	genérico	58.6666667	0	0	0
21/10/2023	21	10	2023	13	ci	II	día	puro	69.3333333	0	0	1.625
20/10/2023	20	10	2023	7	ci	II	noche	genérico	39.3333333	0	0	0
20/10/2023	20	10	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	0	0	0
20/10/2023	20	10	2023	20	ci	III	día	puro	106.666667	0	0	2.5
19/10/2023	19	10	2023	7	ci	III	noche	genérico	37.3333333	0	0	0
19/10/2023	19	10	2023	5	ci	II	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
19/10/2023	19	10	2023	7	ci	II	día	puro	38.3333333	0	0	0.875
18/10/2023	18	10	2023	15	ci	II	noche	puro	81	2	0	1.875
18/10/2023	18	10	2023	2	ci	II	día	genérico	10.6666667	0	0	0
18/10/2023	18	10	2023	7	ci	III	día	genérico	37.3333333	0	0	0
17/10/2023	17	10	2023	15	ci	III	noche	genérico	80	0	0	0
17/10/2023	17	10	2023	2	ci	IV	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
17/10/2023	17	10	2023	13	ci	IV	día	puro	69.3333333	0	0	1.625
16/10/2023	16	10	2023	10	ci	IV	noche	genérico	53.3333333	2	0	0
16/10/2023	16	10	2023	9	ci	III	noche	genérico	48	0	0	0
16/10/2023	16	10	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
16/10/2023	16	10	2023	5	ci	IV	día	genérico	26.6666667	1	0	0
15/10/2023	15	10	2023	1	ci	IV	noche	genérico	5.3333333	0	0	0
15/10/2023	15	10	2023	12	ci	III	noche	genérico	64	0	0	0
13/10/2023	13	10	2023	7	ci	III	noche	genérico	37.3333333	0	0	0

13/10/2023	13	10	2023	3	ci	IV	noche	genérico	16	1	0	0
13/10/2023	13	10	2023	6	ci	III	día	genérico	32	0	0	0
13/10/2023	13	10	2023	10	ci	II	día	genérico	53.3333333	0	0	0
12/10/2023	12	10	2023	8	ci	II	noche	puro	42.6666667	0	0	1
12/10/2023	12	10	2023	2	ci	II	día	genérico	10.6666667	0	0	0
12/10/2023	12	10	2023	2	ci	III	día	genérico	10.6666667	0	0	0
11/10/2023	11	10	2023	7	ci	III	noche	puro	40.3333333	1	1	0.875
11/10/2023	11	10	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
11/10/2023	11	10	2023	8	ci	II	día	genérico	44.6666667	0	0	0
10/10/2023	10	10	2023	15	ci	II	noche	puro	80	0	0	1.875
10/10/2023	10	10	2023	12	ci	II	día	puro	64	0	0	1.5
09/10/2023	9	10	2023	9	ci	II	noche	puro	50	0	0	1.125
09/10/2023	9	10	2023	16	ci	II	día	puro	85.3333333	0	0	2
08/10/2023	8	10	2023	13	ci	II	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
07/10/2023	7	10	2023	12	ci	II	día	puro	64	0	0	1.5
06/10/2023	6	10	2023	13	ci	II	noche	puro	70.3333333	0	0	1.625
06/10/2023	6	10	2023	4	ci	II	día	genérico	25.3333333	0	0	0
06/10/2023	6	10	2023	10	ci	III	día	genérico	53.3333333	0	0	0
05/10/2023	5	10	2023	10	ci	III	noche	puro	53.3333333	0	0	1.25
05/10/2023	5	10	2023	15	ci	III	día	puro	80	0	0	1.875
04/10/2023	4	10	2023	6	ci	III	noche	genérico	32	0	0	0
04/10/2023	4	10	2023	5	ci	IV	noche	genérico	26.6666667	2	0	0
04/10/2023	4	10	2023	6	ci	IV	día	puro	32	2	0	0.75
03/10/2023	3	10	2023	8	ci	IV	noche	puro	42.6666667	3	0	1
03/10/2023	3	10	2023	7	ci	IV	día	puro	37.3333333	1	1	0.875
02/10/2023	2	10	2023	5	ci	IV	noche	genérico	26.6666667	0	1	0
02/10/2023	2	10	2023	16	ci	III	noche	genérico	85.3333333	2	0	0
01/10/2023	1	10	2023	10	ci	III	noche	genérico	53.3333333	1	0	0
01/10/2023	1	10	2023	3	ci	II	noche	genérico	16	0	0	0
30/09/2023	30	9	2023	17	ci	II	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
30/09/2023	30	9	2023	14	ci	II	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
29/09/2023	29	9	2023	18	ci	II	noche	puro	96	0	0	2.25
29/09/2023	29	9	2023	11	ci	II	día	genérico	58.6666667	0	0	0
29/09/2023	29	9	2023	3	ci	III	día	genérico	16	0	1	0
28/09/2023	28	9	2023	8	ci	III	noche	genérico	44.6666667	0	0	0
28/09/2023	28	9	2023	4	ci	II	noche	genérico	21.3333333	0	0	0
28/09/2023	28	9	2023	16	ci	II	día	puro	85.3333333	0	0	2
27/09/2023	27	9	2023	11	ci	II	noche	puro	58.6666667	0	0	1.375
27/09/2023	27	9	2023	9	ci	II	día	genérico	48	0	0	0
27/09/2023	27	9	2023	10	ci	III	día	genérico	53.3333333	0	0	0
26/09/2023	26	9	2023	10	ci	III	noche	puro	53.3333333	0	0	1.25
24/09/2023	24	9	2023	5	ci	III	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
24/09/2023	24	9	2023	6	ci	IV	noche	genérico	32	0	1	0
23/09/2023	23	9	2023	7	ci	IV	noche	puro	37.3333333	0	0	0.875
22/09/2023	22	9	2023	6	ci	IV	día	genérico	32	1	0	0
22/09/2023	22	9	2023	7	ci	IV	noche	puro	37.3333333	1	0	0.875
22/09/2023	22	9	2023	9	ci	IV	día	genérico	48	1	1	0
21/09/2023	21	9	2023	6	ci	IV	noche	puro	32	2	0	0.75
21/09/2023	21	9	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	2	0	0
21/09/2023	21	9	2023	10	ci	III	día	genérico	53.3333333	0	0	0
20/09/2023	20	9	2023	14	ci	III	noche	puro	74.6666667	1	0	1.75
20/09/2023	20	9	2023	3	ci	III	día	genérico	17	0	0	0
20/09/2023	20	9	2023	4	ci	IV	día	genérico	21.3333333	0	0	0
20/09/2023	20	9	2023	4	ci	II	día	genérico	21.3333333	0	0	0
19/09/2023	19	9	2023	16	ci	II	noche	puro	93.3333333	2	0	2
19/09/2023	19	9	2023	2	ci	II	día	genérico	10.6666667	0	0	0
19/09/2023	19	9	2023	12	ci	III	día	genérico	64	0	0	0
18/09/2023	18	9	2023	10	ci	II	noche	puro	57.3333333	2	0	1.25
18/09/2023	18	9	2023	2	ci	II	día	genérico	10.6666667	0	0	0
18/09/2023	18	9	2023	9	ci	III	día	genérico	48	2	0	0
18/09/2023	18	9	2023	3	ci	II	día	genérico	16	0	0	0
17/09/2023	17	9	2023	15	ci	II	noche	puro	80	0	0	1.875
16/09/2023	16	9	2023	17	ci	II	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
16/09/2023	16	9	2023	8	ci	II	día	puro	42.6666667	0	0	1
14/09/2023	14	9	2023	18	ci	II	noche	puro	100	2	0	2.25
14/09/2023	14	9	2023	9	ci	II	día	genérico	48	0	0	0
14/09/2023	14	9	2023	2	ci	III	día	genérico	10.6666667	0	0	0
13/09/2023	13	9	2023	12	ci	III	noche	genérico	64	1	0	0
13/09/2023	13	9	2023	2	ci	IV	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
13/09/2023	13	9	2023	9	ci	IV	día	puro	48	2	0	1.125
12/09/2023	12	9	2023	6	ci	IV	noche	genérico	32	1	0	0
12/09/2023	12	9	2023	6	ci	III	noche	genérico	32	0	0	0
12/09/2023	12	9	2023	9	ci	III	día	puro	48	1	0	1.125
11/09/2023	11	9	2023	13	ci	III	noche	genérico	69.3333333	1	0	0
11/09/2023	11	9	2023	2	ci	IV	noche	genérico	10.6666667	1	0	0
11/09/2023	11	9	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	0	0	0
11/09/2023	11	9	2023	16	ci	III	día	genérico	86.3333333	0	0	0
10/09/2023	10	9	2023	20	ci	III	noche	puro	106.6666667	0	0	2.5
09/09/2023	9	9	2023	22	ci	III	noche	puro	117.3333333	0	0	2.75
09/09/2023	9	9	2023	14	ci	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
08/09/2023	8	9	2023	4	ci	III	noche	genérico	21.3333333	0	0	0
08/09/2023	8	9	2023	6	ci	IV	noche	genérico	32	1	0	0
08/09/2023	8	9	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	2	0	0
08/09/2023	8	9	2023	6	ci	III	día	genérico	32	0	0	0
08/09/2023	8	9	2023	7	ci	II	día	genérico	37.3333333	0	0	0
06/09/2023	6	9	2023	1	ci	II	noche	genérico	5.33333333	0	0	0

06/09/2023	6	9	2023	15	ci	III	noche	genérico	80	0	0	0
06/09/2023	6	9	2023	17	ci	III	día	puro	90.6666667	0	0	2.125
05/09/2023	5	9	2023	7	ci	II	noche	genérico	37.3333333	0	0	0
05/09/2023	5	9	2023	11	ci	III	noche	genérico	58.6666667	0	0	0
05/09/2023	5	9	2023	5	ci	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
05/09/2023	5	9	2023	13	ci	II	día	genérico	69.3333333	0	0	0
04/09/2023	4	9	2023	13	ci	II	noche	puro	73.3333333	0	0	1.625
01/09/2023	1	9	2023	16	ci	II	noche	puro	85.3333333	0	0	2
01/09/2023	1	9	2023	17	ci	II	día	puro	90.6666667	0	0	2.125
31/08/2023	31	8	2023	9	ci	II	noche	genérico	48	0	0	0
31/08/2023	31	8	2023	4	ci	III	noche	genérico	21.3333333	0	0	0
31/08/2023	31	8	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
31/08/2023	31	8	2023	16	ci	II	día	genérico	85.3333333	0	0	0
29/08/2023	29	8	2023	9	ci	II	noche	puro	48	0	0	1.125
29/08/2023	29	8	2023	7	ci	II	día	genérico	37.3333333	0	0	0
29/08/2023	29	8	2023	8	ci	III	día	genérico	42.6666667	0	0	0
28/08/2023	28	8	2023	15	ci	II	noche	puro	80	0	0	1.875
28/08/2023	28	8	2023	5	ci	II	día	genérico	26.6666667	0	0	0
28/08/2023	28	8	2023	11	ci	III	día	genérico	58.6666667	0	0	0
27/08/2023	27	8	2023	7	ci	IV	noche	genérico	37.3333333	1	0	0
27/08/2023	27	8	2023	2	ci	III	noche	genérico	10.6666667	1	0	0
26/08/2023	26	8	2023	18	ci	III	noche	puro	99	0	2	2.25
26/08/2023	26	8	2023	15	ci	III	día	puro	80	0	0	1.875
25/08/2023	25	8	2023	19	ci	III	noche	puro	101.3333333	0	0	2.375
25/08/2023	25	8	2023	12	ci	III	día	puro	64	0	0	1.5
24/08/2023	24	8	2023	13	ci	III	noche	puro	69.3333333	0	0	1.625
24/08/2023	24	8	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
24/08/2023	24	8	2023	3	ci	IV	día	genérico	16	0	0	0
23/08/2023	23	8	2023	4	ci	IV	noche	genérico	21.3333333	0	1	0
23/08/2023	23	8	2023	2	ci	II	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
23/08/2023	23	8	2023	7	ci	II	día	genérico	45.3333333	0	0	0
23/08/2023	23	8	2023	10	ci	III	día	genérico	53.3333333	0	0	0
22/08/2023	22	8	2023	6	ci	III	noche	puro	32	0	0	0.75
22/08/2023	22	8	2023	10	ci	III	día	puro	53.3333333	1	0	1.25
21/08/2023	21	8	2023	5	ci	IV	noche	puro	26.6666667	2	0	0.625
21/08/2023	21	8	2023	7	ci	IV	día	genérico	37.3333333	1	0	0
21/08/2023	21	8	2023	2	ci	III	día	genérico	10.6666667	0	0	0
20/08/2023	20	8	2023	19	ci	III	noche	genérico	101.3333333	0	1	0
20/08/2023	20	8	2023	5	ci	IV	noche	genérico	26.6666667	1	0	0
19/08/2023	19	8	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	2	0	2.125
19/08/2023	19	8	2023	20	ci	III	día	genérico	106.6666667	0	0	0
19/08/2023	19	8	2023	5	ci	II	día	genérico	26.6666667	0	0	0
19/08/2023	19	8	2023	19	ci	III	día	genérico	101.3333333	0	0	0
18/08/2023	18	8	2023	15	ci	III	día	puro	80	2	0	1.875
17/08/2023	17	8	2023	20	ci	III	noche	puro	106.6666667	0	0	2.5
17/08/2023	17	8	2023	11	ci	III	día	genérico	58.6666667	0	0	0
17/08/2023	17	8	2023	17	ci	II	día	genérico	90.6666667	0	0	0
16/08/2023	16	8	2023	7	ci	II	día	genérico	37.3333333	0	0	0
16/08/2023	16	8	2023	28	ci	III	día	genérico	149.3333333	1	0	0
15/08/2023	15	8	2023	27	ci	III	día	puro	144	0	0	3.375
14/08/2023	14	8	2023	2	ci	III	día	genérico	10.6666667	0	0	0
14/08/2023	14	8	2023	5	ci	II	día	genérico	26.6666667	0	0	0
14/08/2023	14	8	2023	18	ci	III	día	genérico	96	0	0	0
14/08/2023	14	8	2023	6	ci	IV	día	genérico	32	1	0	0
12/08/2023	12	8	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	1	0	0
12/08/2023	12	8	2023	13	ci	III	día	genérico	69.3333333	0	0	0
12/08/2023	12	8	2023	5	ci	IV	día	genérico	26.6666667	0	0	0
11/08/2023	11	8	2023	11	ci	IV	día	puro	58.6666667	1	0	1.375
10/08/2023	10	8	2023	10	ci	IV	día	puro	53.3333333	0	0	1.25
09/08/2023	9	8	2023	12	ci	IV	día	puro	64	0	0	1.5
08/08/2023	8	8	2023	13	ci	IV	día	puro	69.3333333	0	0	1.625
07/08/2023	7	8	2023	8	ci	IV	día	puro	42.6666667	2	0	1
05/08/2023	5	8	2023	9	ci	IV	noche	genérico	48	2	0	0
05/08/2023	5	8	2023	9	ci	III	noche	genérico	48	0	0	0
04/08/2023	4	8	2023	9	ci	IV	noche	puro	48	0	0	1.125
04/08/2023	4	8	2023	4	ci	IV	día	puro	21.3333333	1	0	0.5
03/08/2023	3	8	2023	6	ci	IV	noche	puro	32	1	0	0.75
03/08/2023	3	8	2023	1	ci	IV	día	puro	5.3333333	1	0	0.125
02/08/2023	2	8	2023	2	ci	IV	noche	puro	10.6666667	1	0	0.25
02/08/2023	2	8	2023	6	ci	IV	día	puro	32	1	0	0.75
01/08/2023	1	8	2023	5	ci	IV	noche	puro	26.6666667	0	0	0.625
01/08/2023	1	8	2023	3	ci	IV	día	puro	16	2	0	0.375
31/07/2023	31	7	2023	4	ci	IV	noche	puro	21.3333333	1	0	0.5
31/07/2023	31	7	2023	3	ci	IV	día	genérico	16	1	0	0
31/07/2023	31	7	2023	29	ci	III	día	genérico	154.6666667	0	0	0
26/07/2023	26	7	2023	25	ci	III	noche	puro	133.3333333	0	0	3.125
26/07/2023	26	7	2023	10	ci	III	día	puro	53.3333333	0	0	1.25
25/07/2023	25	7	2023	16	ci	III	noche	puro	85.3333333	0	0	2
25/07/2023	25	7	2023	14	ci	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
24/07/2023	24	7	2023	7	ci	II	noche	genérico	37.3333333	0	0	0
24/07/2023	24	7	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	0	0	0
24/07/2023	24	7	2023	5	ci	II	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
24/07/2023	24	7	2023	15	ci	II	día	puro	80	0	0	1.875
20/07/2023	20	7	2023	10	ci	II	noche	genérico	65.3333333	0	0	0
20/07/2023	20	7	2023	10	ci	II	noche	genérico	56.3333333	0	0	0
18/07/2023	18	7	2023	12	ci	II	noche	puro	64	0	0	1.5

18/07/2023	18	7	2023	9	ci	II	día	puro	48	0	0	1.125
17/07/2023	17	7	2023	2	ci	II	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
17/07/2023	17	7	2023	18	ci	III	noche	genérico	104	1	0	0
17/07/2023	17	7	2023	9	ci	III	día	genérico	48	0	0	0
17/07/2023	17	7	2023	10	ci	II	día	genérico	53.3333333	0	0	0
16/07/2023	16	7	2023	21	ci	III	noche	puro	112	0	0	2.625
15/07/2023	15	7	2023	11	ci	II	noche	genérico	58.6666667	0	0	0
15/07/2023	15	7	2023	3	ci	III	noche	genérico	16	0	0	0
15/07/2023	15	7	2023	15	ci	III	día	puro	80	0	0	1.875
14/07/2023	14	7	2023	9	ci	III	noche	genérico	48	0	0	0
14/07/2023	14	7	2023	5	ci	II	día	genérico	26.6666667	0	0	0
14/07/2023	14	7	2023	9	ci	III	día	genérico	48	0	0	0
13/07/2023	13	7	2023	15	ci	III	noche	puro	80	0	0	1.875
13/07/2023	13	7	2023	11	ci	III	día	puro	58.6666667	0	0	1.375
12/07/2023	12	7	2023	11	ci	III	noche	puro	58.6666667	0	0	1.375
11/07/2023	11	7	2023	3	ci	III	noche	puro	16	0	0	0.375
11/07/2023	11	7	2023	3	ci	IV	día	puro	16	0	0	0.375
10/07/2023	10	7	2023	2	ci	IV	noche	puro	10.6666667	0	0	0.25
10/07/2023	10	7	2023	3.6	ci	IV	día	puro	19.2	0	0	0.45
09/07/2023	9	7	2023	3.4	ci	IV	noche	puro	18.1333333	0	0	0.425
09/07/2023	9	7	2023	3.7	ci	IV	día	puro	19.7333333	1	0	0.4625
08/07/2023	8	7	2023	2.3	ci	V	noche	puro	12.2666667	1	0	0.2875
08/07/2023	8	7	2023	5	ci	V	día	genérico	26.6666667	3	0	0
08/07/2023	8	7	2023	3	ci	IV	día	genérico	16	0	0	0
07/07/2023	7	7	2023	11	ci	IV	noche	puro	58.6666667	0	0	1.375
07/07/2023	7	7	2023	8	ci	IV	día	puro	42.6666667	0	0	1
06/07/2023	6	7	2023	5	ci	IV	noche	genérico	26.6666667	1	0	0
06/07/2023	6	7	2023	14	ci	III	noche	genérico	74.6666667	0	0	0
06/07/2023	6	7	2023	10	ci	III	día	puro	53.3333333	0	0	1.25
05/07/2023	5	7	2023	6	ci	II	noche	genérico	35	0	0	0
05/07/2023	5	7	2023	9	ci	III	noche	genérico	48	0	0	0
05/07/2023	5	7	2023	6	ci	II	noche	genérico	32	0	0	0
05/07/2023	5	7	2023	3	ci	II	día	genérico	16	0	0	0
05/07/2023	5	7	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
04/07/2023	4	7	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
04/07/2023	4	7	2023	12	ci	III	día	puro	68	2	0	1.5
03/07/2023	3	7	2023	19	ci	III	noche	puro	101.3333333	0	0	2.375
03/07/2023	3	7	2023	5	ci	IV	día	genérico	26.6666667	0	0	0
03/07/2023	3	7	2023	17	ci	III	día	genérico	90.6666667	0	0	0
02/07/2023	2	7	2023	10	ci	III	noche	puro	53.3333333	0	0	1.25
01/07/2023	1	7	2023	8	ci	III	noche	puro	42.6666667	0	0	1
01/07/2023	1	7	2023	6	ci	IV	día	puro	32	1	0	0.75
30/06/2023	30	6	2023	4	ci	IV	noche	puro	21.3333333	0	0	0.5
30/06/2023	30	6	2023	4	ci	III	día	puro	21.3333333	0	0	0.5
28/06/2023	28	6	2023	9	ci	III	noche	puro	48	0	0	1.125
28/06/2023	28	6	2023	9	ci	III	día	puro	48	0	0	1.125
27/06/2023	27	6	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
27/06/2023	27	6	2023	14	ci	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
26/06/2023	26	6	2023	3	ci	II	noche	genérico	16	0	0	0
26/06/2023	26	6	2023	7	ci	III	noche	genérico	37.3333333	1	0	0
26/06/2023	26	6	2023	2	ci	II	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
26/06/2023	26	6	2023	5.5	ci	II	día	genérico	29.3333333	0	0	0
26/06/2023	26	6	2023	8.5	ci	III	día	genérico	45.3333333	1	0	0
25/06/2023	25	6	2023	31	ci	III	noche	puro	165.3333333	0	0	3.875
24/06/2023	24	6	2023	12	ci	III	noche	puro	64	0	0	1.5
23/06/2023	23	6	2023	25	ci	III	noche	puro	133.3333333	0	0	3.125
23/06/2023	23	6	2023	20	ci	III	día	puro	106.6666667	1	0	2.5
22/06/2023	22	6	2023	10	ci	III	noche	puro	53.3333333	0	0	1.25
22/06/2023	22	6	2023	14	ci	III	día	genérico	74.6666667	0	0	0
22/06/2023	22	6	2023	1	ci	IV	día	genérico	5.3333333	0	0	0
21/06/2023	21	6	2023	1	ci	IV	noche	genérico	21.3333333	0	0	0
21/06/2023	21	6	2023	11	ci	III	noche	genérico	58.6666667	1	0	0
21/06/2023	21	6	2023	14	ci	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
20/06/2023	20	6	2023	16	ci	III	noche	puro	85.3333333	0	0	2
20/06/2023	20	6	2023	8	ci	III	día	genérico	42.6666667	1	0	0
20/06/2023	20	6	2023	2	ci	IV	día	genérico	10.6666667	0	0	0
19/06/2023	19	6	2023	3	ci	IV	noche	genérico	16	1	0	0
19/06/2023	19	6	2023	8	ci	III	noche	genérico	42.6666667	0	0	0
19/06/2023	19	6	2023	15	ci	III	día	puro	80	0	0	1.875
18/06/2023	18	6	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
17/06/2023	17	6	2023	17	ci	III	noche	puro	90.6666667	0	0	2.125
16/06/2023	16	6	2023	15	ci	III	noche	puro	80	0	0	1.875
16/06/2023	16	6	2023	18	ci	III	día	puro	96	1	0	2.25
15/06/2023	15	6	2023	2	ci	III	noche	genérico	14.6666667	1	1	0
15/06/2023	15	6	2023	7	ci	II	noche	genérico	37.3333333	0	0	0
15/06/2023	15	6	2023	3	ci	III	noche	genérico	16	0	0	0
15/06/2023	15	6	2023	14	ci	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
14/06/2023	14	6	2023	16	ci	II	noche	puro	89.3333333	0	0	2
14/06/2023	14	6	2023	8	ci	II	día	puro	42.6666667	0	0	1
13/06/2023	13	6	2023	19	ci	II	noche	puro	101.3333333	0	0	2.375
13/06/2023	13	6	2023	4	ci	II	día	genérico	21.3333333	0	0	0
13/06/2023	13	6	2023	14	ci	III	día	genérico	74.6666667	0	0	0
12/06/2023	12	6	2023	5	ci	III	noche	genérico	29.6666667	0	0	0
12/06/2023	12	6	2023	4	ci	IV	noche	genérico	21.3333333	2	0	0
12/06/2023	12	6	2023	11	ci	III	día	puro	58.6666667	0	0	1.375

11/06/2023	11	6	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
11/06/2023	11	6	2023	6	ci	IV	día	genérico	32	1	0	0
11/06/2023	11	6	2023	4	ci	III	día	genérico	21.3333333	0	0	0
10/06/2023	10	6	2023	14	ci	II	noche	genérico	74.6666667	0	0	0
10/06/2023	10	6	2023	6	ci	III	noche	genérico	32	0	0	0
10/06/2023	10	6	2023	21	ci	III	día	puro	112	0	0	2.625
09/06/2023	9	6	2023	11	ci	III	noche	puro	58.6666667	0	0	1.375
09/06/2023	9	6	2023	8	ci	III	día	puro	42.6666667	0	0	1
08/06/2023	8	6	2023	15.5	ci	III	noche	puro	82.6666667	0	0	1.9375
08/06/2023	8	6	2023	8.5	ci	III	día	puro	45.3333333	1	0	1.0625
07/06/2023	7	6	2023	2	ci	III	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
07/06/2023	7	6	2023	6.7	ci	IV	noche	genérico	35.7333333	0	0	0
06/06/2023	6	6	2023	2.3	ci	IV	noche	puro	12.2666667	0	0	0.2875
06/06/2023	6	6	2023	3.5	ci	III	día	genérico	18.6666667	0	0	0
06/06/2023	6	6	2023	2.5	ci	IV	día	genérico	13.3333333	1	0	0
05/06/2023	5	6	2023	3	ci	IV	noche	genérico	16	0	0	0
05/06/2023	5	6	2023	5	ci	III	noche	genérico	26.6666667	0	0	0
05/06/2023	5	6	2023	5.9	ci	III	día	puro	31.4666667	0	0	0.7375
03/06/2023	3	6	2023	5.1	ci	III	noche	genérico	27.2	0	0	0
03/06/2023	3	6	2023	3	ci	II	noche	genérico	16	0	0	0
03/06/2023	3	6	2023	23	ci	II	día	puro	122.6666667	0	0	2.875
02/06/2023	2	6	2023	2	ci	II	noche	genérico	10.6666667	0	0	0
02/06/2023	2	6	2023	13	ci	III	noche	genérico	69.3333333	0	0	0
02/06/2023	2	6	2023	8	ci	III	día	genérico	42.6666667	0	0	0
02/06/2023	2	6	2023	7	ci	IV	día	genérico	37.3333333	1	0	0
01/06/2023	1	6	2023	13	ci	III	noche	genérico	69.3333333	0	0	0
01/06/2023	1	6	2023	11	ci	III	día	puro	61.6666667	2	0	1.375
01/06/2023	1	6	2023	6	ci	III	noche	genérico	32	1	0	0
01/06/2023	1	6	2023	13	ci	II	noche	genérico	69.3333333	0	0	0
31/05/2023	31	5	2023	8	ci	II	día	genérico	46.6666667	0	0	0
31/05/2023	31	5	2023	11	ci	III	día	genérico	58.6666667	1	0	0
30/05/2023	30	5	2023	2	ci	III	día	genérico	10.6666667	0	0	0
30/05/2023	30	5	2023	6	ci	IV	día	genérico	32	1	0	0
30/05/2023	30	5	2023	12	ci	III	día	genérico	64	0	0	0
29/05/2023	29	5	2023	11	ci	III	noche	genérico	58.6666667	0	0	0
29/05/2023	29	5	2023	9.4	ci	II	noche	genérico	50.1333333	0	0	0
28/05/2023	28	5	2023	1.6	ci	II	día	genérico	8.5333333	0	0	0
28/05/2023	28	5	2023	26	ci	III	día	genérico	138.6666667	2	0	0
28/05/2023	28	5	2023	3.4	ci	II	día	genérico	18.1333333	0	0	0
26/05/2023	26	5	2023	0.6	ci	II	noche	genérico	3.2	0	0	0
26/05/2023	26	5	2023	6	ci	III	noche	genérico	32	0	0	0
26/05/2023	26	5	2023	17	ci	II	noche	genérico	90.6666667	0	0	0
25/05/2023	25	5	2023	15.2	ci	II	noche	puro	81.0666667	0	0	1.9
25/05/2023	25	5	2023	7.8	ci	II	día	genérico	41.6	0	0	0
25/05/2023	25	5	2023	18	ci	III	día	genérico	96	0	0	0
24/05/2023	24	5	2023	26.5	ci	III	noche	puro	146.3333333	3	0	3.3125
24/05/2023	24	5	2023	11.6	ci	III	día	puro	61.8666667	0	0	1.45
23/05/2023	23	5	2023	11.4	ci	III	noche	puro	60.8	0	0	1.425
23/05/2023	23	5	2023	19.8	ci	III	día	puro	105.6	0	0	2.475
22/05/2023	22	5	2023	23.4	ci	III	noche	puro	124.8	0	0	2.925
22/05/2023	22	5	2023	18.3	ci	III	día	puro	97.6	0	0	2.2875
21/05/2023	21	5	2023	12.5	ci	III	día	puro	66.6666667	0	0	1.5625
20/05/2023	20	5	2023	22.8	ci	III	noche	puro	121.6	0	0	2.85
20/05/2023	20	5	2023	21.2	ci	III	día	puro	113.0666667	0	0	2.65
19/05/2023	19	5	2023	19	ci	III	noche	puro	101.3333333	0	0	2.375
18/05/2023	18	5	2023	15.2	ci	III	noche	puro	81.0666667	0	0	1.9
18/05/2023	18	5	2023	28.3	sj	III	día	puro	150.9333333	1	0	3.5375
17/05/2023	17	5	2023	19.1	sj	III	día	puro	102.8666667	2	0	2.3875
16/05/2023	16	5	2023	12.5	sj	III	noche	puro	66.6666667	0	0	1.5625
16/05/2023	16	5	2023	15.1	sj	III	día	puro	80.5333333	0	0	1.8875
15/05/2023	15	5	2023	15	sj	III	noche	puro	82	0	0	1.875
15/05/2023	15	5	2023	30.3	sj	III	día	puro	163.6	2	0	3.7875
14/05/2023	14	5	2023	20	sj	III	noche	puro	106.6666667	0	0	2.5
13/05/2023	13	5	2023	14.2	sj	III	noche	puro	75.7333333	0	0	1.775
13/05/2023	13	5	2023	4.2	sj	III	día	genérico	22.4	0	0	0
13/05/2023	13	5	2023	2.5	sj	IV	día	genérico	13.3333333	0	0	0
13/05/2023	13	5	2023	0.1	sj	III	día	genérico	0.5333333	0	0	0
12/05/2023	12	5	2023	12.5	sj	III	noche	puro	66.6666667	1	0	1.5625
12/05/2023	12	5	2023	32.7	sj	III	día	puro	174.4	0	0	4.0875
11/05/2023	11	5	2023	22.3	sj	III	noche	genérico	118.9333333	0	0	0
11/05/2023	11	5	2023	0.9	sj	IV	noche	genérico	4.8	1	0	0
11/05/2023	11	5	2023	4.1	sj	IV	día	genérico	21.8666667	0	0	0
11/05/2023	11	5	2023	5.3	sj	III	día	genérico	28.2666667	1	0	0
11/05/2023	11	5	2023	12.1	sj	III	noche	genérico	64.5333333	0	0	0
10/05/2023	10	5	2023	21.1	sj	III	día	puro	115.5333333	2	0	2.6375
10/05/2023	10	5	2023	17.3	sj	III	noche	puro	94.2666667	1	0	2.1625
09/05/2023	9	5	2023	25.9	sj	III	día	puro	138.1333333	0	0	3.2375
08/05/2023	8	5	2023	9	sj	III	día	puro	48	0	0	1.125
07/05/2023	7	5	2023	19.3	sj	III	día	puro	102.9333333	0	0	2.4125
07/05/2023	7	5	2023	28.1	sj	III	noche	puro	149.8666667	0	0	3.5125
06/05/2023	6	5	2023	15	sj	III	día	puro	82	0	0	1.875
04/05/2023	4	5	2023	27	sj	III	día	puro	144	0	0	3.375
04/05/2023	4	5	2023	18.6	sj	III	noche	puro	99.2	1	0	2.325
03/05/2023	3	5	2023	14.8	sj	III	día	puro	78.9333333	0	0	1.85
03/05/2023	3	5	2023	13.6	sj	III	noche	puro	72.5333333	0	0	1.7
02/05/2023	2	5	2023	25.4	sj	III	día	genérico	135.4666667	0	0	0

02/05/2023	2	5	2023	4.9	sj	IV	día	genérico	26.1333333	0	0	0
01/05/2023	1	5	2023	2.1	sj	IV	día	genérico	11.2	0	0	0
01/05/2023	1	5	2023	45.9	sj	III	día	genérico	244.8	0	0	0
28/04/2023	28	4	2023	32.5	sj	III	día	puro	173.333333	0	0	4.0625
27/04/2023	27	4	2023	29	sj	III	día	puro	154.666667	0	0	3.625
26/04/2023	26	4	2023	28.6	sj	III	día	genérico	152.533333	0	0	0
26/04/2023	26	4	2023	6	sj	IV	día	genérico	32	1	0	0
26/04/2023	26	4	2023	0.8	sj	III	día	genérico	4.26666667	0	0	0
25/04/2023	25	4	2023	51	sj	III	día	puro	276	1	0	6.375
24/04/2023	24	4	2023	21.2	sj	III	día	genérico	113.066667	1	0	0
24/04/2023	24	4	2023	9	sj	IV	día	genérico	48	0	0	0
24/04/2023	24	4	2023	21.8	sj	III	día	genérico	116.266667	0	0	0
22/04/2023	22	4	2023	13.2	sj	III	día	genérico	70.4	0	0	0
22/04/2023	22	4	2023	15.4	sj	IV	día	genérico	82.1333333	0	1	0
21/04/2023	21	4	2023	2.6	sj	IV	día	genérico	13.8666667	1	1	0
21/04/2023	21	4	2023	17	sj	III	día	genérico	90.6666667	0	0	0
21/04/2023	21	4	2023	1.5	sj	IV	día	genérico	8	0	0	0
20/04/2023	20	4	2023	5.5	sj	IV	día	puro	29.3333333	0	1	0.6875
19/04/2023	19	4	2023	25	sj	IV	día	genérico	133.333333	4	5	0
19/04/2023	19	4	2023	4.6	sj	III	día	genérico	24.5333333	0	0	0
18/04/2023	18	4	2023	43.7	sj	III	día	puro	233.066667	0	3	5.4625
17/04/2023	17	4	2023	16	sj	III	día	puro	85.3333333	0	1	2
16/04/2023	16	4	2023	46.7	sj	III	día	puro	249.066667	0	0	5.8375
15/04/2023	15	4	2023	21	sj	III	día	puro	112	0	1	2.625
13/04/2023	13	4	2023	40.3	sj	III	día	puro	214.933333	0	5	5.0375
12/04/2023	12	4	2023	42.2	sj	III	día	puro	225.066667	0	0	5.275
11/04/2023	11	4	2023	34.1	sj	III	día	puro	181.866667	0	0	4.2625
10/04/2023	10	4	2023	20	sj	III	día	puro	106.666667	0	0	2.5
09/04/2023	9	4	2023	3.4	sj	III	día	genérico	18.1333333	0	0	0
09/04/2023	9	4	2023	8.5	sj	IV	día	genérico	45.3333333	0	0	0
08/04/2023	8	4	2023	2.5	sj	IV	día	genérico	13.3333333	1	0	0
08/04/2023	8	4	2023	43.3	sj	III	día	genérico	230.933333	0	0	0
04/04/2023	4	4	2023	47.2	sj	III	día	puro	251.733333	0	0	5.9
01/04/2023	1	4	2023	25.9	sj	III	día	puro	138.133333	0	0	3.2375
31/03/2023	31	3	2023	26.6	sj	III	día	puro	141.866667	0	0	3.325
29/03/2023	29	3	2023	30.6	sj	III	día	puro	163.2	0	0	3.825
28/03/2023	28	3	2023	36	sj	III	día	puro	192	0	0	4.5
27/03/2023	27	3	2023	40.2	sj	III	día	puro	214.4	0	0	5.025
25/03/2023	25	3	2023	35.3	sj	III	día	puro	188.266667	0	0	4.4125
24/03/2023	24	3	2023	19.6	sj	III	día	puro	104.533333	1	0	2.45
23/03/2023	23	3	2023	41.7	sj	III	día	puro	222.4	1	0	5.2125
15/03/2023	15	3	2023	26.9	sj	III	día	puro	143.466667	0	0	3.3625
14/03/2023	14	3	2023	20.5	sj	III	día	puro	109.333333	0	0	2.5625
03/01/2023	3	1	2023	22.9	sj	III	día	puro	122.133333	2	0	2.8625
31/12/2022	31	12	2022	35	sj	III	día	puro	186.666667	0	0	4.375
30/12/2022	30	12	2022	13.3	sj	III	día	genérico	70.9333333	0	0	0
30/12/2022	30	12	2022	3.8	sj	IV	día	genérico	20.2666667	1	0	0
29/12/2022	29	12	2022	3.2	sj	IV	día	genérico	17.0666667	0	0	0
29/12/2022	29	12	2022	11.3	sj	III	día	genérico	60.2666667	0	0	0
28/12/2022	28	12	2022	23.7	sj	III	día	puro	126.4	1	0	2.9625
27/12/2022	27	12	2022	32.6	sj	III	día	puro	173.866667	0	0	4.075
26/12/2022	26	12	2022	6.4	sj	III	día	puro	34.1333333	0	0	0.8
24/12/2022	24	12	2022	12	sj	III	día	puro	64	0	0	1.5
23/12/2022	23	12	2022	17	sj	III	día	puro	90.6666667	0	0	2.125
22/12/2022	22	12	2022	45	sj	III	día	puro	240	0	0	5.625
13/12/2022	13	12	2022	21.5	sj	III	día	puro	114.666667	0	0	2.6875
12/12/2022	12	12	2022	3.5	sj	III	día	genérico	18.6666667	0	0	0
12/12/2022	12	12	2022	9.1	sj	IV	día	genérico	48.5333333	1	0	0
10/12/2022	10	12	2022	1.9	sj	IV	día	genérico	10.1333333	1	0	0
10/12/2022	10	12	2022	15	sj	III	día	genérico	80	0	0	0
10/12/2022	10	12	2022	10	sj	IV	día	genérico	53.3333333	2	0	0
10/12/2022	10	12	2022	13	sj	III	día	genérico	69.3333333	0	0	0
10/12/2022	10	12	2022	0.9	sj	IV	día	genérico	4.8	0	0	0
09/12/2022	9	12	2022	5.1	sj	IV	día	genérico	27.2	0	0	0
09/12/2022	9	12	2022	3	sj	IV	día	genérico	16	0	0	0
09/12/2022	9	12	2022	4.6	sj	III	día	genérico	24.5333333	0	0	0
08/12/2022	8	12	2022	15.4	sj	III	día	genérico	82.1333333	0	0	0
08/12/2022	8	12	2022	1.7	sj	IV	día	genérico	9.06666667	0	0	0
07/12/2022	7	12	2022	6.3	sj	IV	día	genérico	36.6	0	0	0
07/12/2022	7	12	2022	16.5	sj	III	día	genérico	88	0	0	0
06/12/2022	6	12	2022	39	sj	III	día	puro	208	0	0	4.875
05/12/2022	5	12	2022	12.5	sj	III	día	puro	66.6666667	0	0	1.5625
04/12/2022	4	12	2022	26.7	sj	III	día	puro	142.4	0	0	3.3375
03/12/2022	3	12	2022	33.3	sj	III	día	puro	177.6	0	0	4.1625
02/12/2022	2	12	2022	28.6	sj	III	día	puro	152.533333	0	0	3.575
01/12/2022	1	12	2022	33	sj	III	día	puro	176	0	0	4.125
30/11/2022	30	11	2022	23.9	sj	III	día	puro	127.466667	0	0	2.9875
29/11/2022	29	11	2022	46	sj	III	día	puro	245.333333	0	0	5.75
28/11/2022	28	11	2022	6.5	sj	III	día	puro	34.6666667	0	0	0.8125
27/11/2022	27	11	2022	43.2	sj	III	día	puro	230.4	0	0	5.4
26/11/2022	26	11	2022	40.5	sj	III	día	puro	216	0	0	5.0625
25/11/2022	25	11	2022	24	sj	III	día	puro	128	1	0	3
24/11/2022	24	11	2022	21.5	sj	III	día	puro	114.666667	0	0	2.6875
23/11/2022	23	11	2022	41.3	sj	III	día	puro	220.266667	0	0	5.1625
22/11/2022	22	11	2022	45.4	sj	III	día	puro	242.133333	0	0	5.675
21/11/2022	21	11	2022	26	sj	III	día	puro	138.666667	0	0	3.25

20/11/2022	20	11	2022	18.1	sj	III	día	genérico	96.5333333	0	0	0
20/11/2022	20	11	2022	3.9	sj	IV	día	genérico	20.8	1	0	0
19/11/2022	19	11	2022	1.1	sj	IV	día	genérico	5.8666667	1	0	0
19/11/2022	19	11	2022	9	sj	III	día	genérico	48	0	0	0
19/11/2022	19	11	2022	7	sj	IV	día	genérico	37.3333333	2	0	0
19/11/2022	19	11	2022	24.9	sj	III	día	genérico	132.8	0	0	0
18/11/2022	18	11	2022	43.9	sj	III	día	puro	234.133333	0	0	5.4875
17/11/2022	17	11	2022	34.4	sj	III	día	puro	183.466667	0	0	4.3
16/11/2022	16	11	2022	19.8	sj	III	día	puro	105.6	1	0	2.475
15/11/2022	15	11	2022	29	sj	III	día	genérico	154.666667	1	0	0
15/11/2022	15	11	2022	12.3	sj	IV	día	genérico	65.6	0	0	0
14/11/2022	14	11	2022	1.7	sj	IV	día	genérico	9.0666667	1	0	0
14/11/2022	14	11	2022	15.3	sj	III	día	genérico	81.6	0	0	0
13/11/2022	13	11	2022	41.6	sj	III	día	puro	221.866667	0	0	5.2
12/11/2022	12	11	2022	39.6	sj	III	día	puro	211.2	0	0	4.95
11/11/2022	11	11	2022	15.1	sj	III	día	puro	80.5333333	0	0	1.8875
10/11/2022	10	11	2022	45.1	sj	III	día	puro	240.533333	0	0	5.6375
09/11/2022	9	11	2022	39.3	sj	III	día	puro	209.6	0	0	4.9125
08/11/2022	8	11	2022	41	sj	III	día	puro	218.666667	0	0	5.125
07/11/2022	7	11	2022	27.4	sj	III	día	puro	146.133333	0	0	3.425
06/11/2022	6	11	2022	46	sj	III	día	puro	245.333333	0	0	5.75
05/11/2022	5	11	2022	43	sj	III	día	puro	229.333333	0	0	5.375
04/11/2022	4	11	2022	4.8	sj	III	día	genérico	25.6	0	0	0
04/11/2022	4	11	2022	37.8	sj	IV	día	genérico	201.6	1	0	0
03/11/2022	3	11	2022	21	sj	IV	día	puro	112	3	0	2.625
02/11/2022	2	11	2022	10.5	sj	IV	día	genérico	56	2	0	0
02/11/2022	2	11	2022	28	sj	III	día	genérico	149.333333	0	0	0
30/10/2022	30	10	2022	14	sj	III	día	puro	74.6666667	0	0	1.75
29/10/2022	29	10	2022	28.2	sj	III	día	puro	150.4	0	0	3.525
28/10/2022	28	10	2022	18.1	sj	III	día	puro	96.5333333	0	0	2.2625
27/10/2022	27	10	2022	9.2	sj	III	día	puro	49.0666667	0	0	1.15
26/10/2022	26	10	2022	27.3	sj	III	día	puro	145.6	0	0	3.4125
25/10/2022	25	10	2022	28.9	sj	III	día	puro	154.133333	0	0	3.6125
24/10/2022	24	10	2022	22.8	sj	III	día	puro	121.6	0	0	2.85
23/10/2022	23	10	2022	22.4	sj	III	día	puro	119.466667	0	0	2.8
18/10/2022	18	10	2022	4.2	sj	III	día	puro	22.4	0	0	0.525
17/10/2022	17	10	2022	18.9	sj	III	día	puro	100.8	0	0	2.3625
15/10/2022	15	10	2022	12.4	sj	III	día	genérico	66.1333333	0	0	0
15/10/2022	15	10	2022	5	sj	IV	día	genérico	26.6666667	0	0	0
14/10/2022	14	10	2022	13.1	sj	IV	día	genérico	69.8666667	0	0	0
14/10/2022	14	10	2022	21	sj	III	día	genérico	112	0	0	0
13/10/2022	13	10	2022	19.2	sj	III	día	puro	102.4	0	0	2.4
12/10/2022	12	10	2022	36.7	sj	III	día	puro	195.733333	0	0	4.5875
11/10/2022	11	10	2022	28.2	sj	III	día	puro	150.4	0	0	3.525
10/10/2022	10	10	2022	5.3	sj	III	día	puro	28.2666667	0	0	0.6625
09/10/2022	9	10	2022	27.8	sj	III	día	puro	148.266667	0	0	3.475
08/10/2022	8	10	2022	29.4	sj	III	día	puro	156.8	0	0	3.675
07/10/2022	7	10	2022	28.9	sj	III	día	puro	154.133333	0	0	3.6125
06/10/2022	6	10	2022	23.1	sj	III	día	puro	123.2	0	0	2.8875
04/10/2022	4	10	2022	27	sj	III	día	puro	147	0	1	3.375
03/10/2022	3	10	2022	19.3	sj	III	día	puro	104.933333	0	0	2.4125
02/10/2022	2	10	2022	35.1	sj	III	día	genérico	187.2	0	0	0
02/10/2022	2	10	2022	0.5	sj	IV	día	genérico	2.6666667	1	0	0
30/09/2022	30	9	2022	6.1	sj	IV	día	genérico	32.5333333	1	0	0
30/09/2022	30	9	2022	9.4	sj	III	día	genérico	50.1333333	1	0	0
30/09/2022	30	9	2022	2	sj	IV	día	genérico	10.6666667	2	0	0
29/09/2022	29	9	2022	6	sj	IV	día	genérico	32	3	0	0
29/09/2022	29	9	2022	15	sj	III	día	genérico	80	0	0	0
28/09/2022	28	9	2022	5	sj	III	día	genérico	26.6666667	0	0	0
28/09/2022	28	9	2022	11	sj	IV	día	genérico	58.6666667	4	0	0
28/09/2022	28	9	2022	5.5	sj	III	día	genérico	29.3333333	0	0	0
27/09/2022	27	9	2022	3.3	sj	III	día	genérico	17.6	0	0	0
27/09/2022	27	9	2022	5	sj	IV	día	genérico	26.6666667	1	0	0
27/09/2022	27	9	2022	6.9	sj	III	día	genérico	36.8	1	0	0
26/09/2022	26	9	2022	5.3	sj	IV	día	puro	28.2666667	1	0	0.6625
25/09/2022	25	9	2022	1.9	sj	IV	día	genérico	10.1333333	1	0	0
25/09/2022	25	9	2022	13.2	sj	III	día	genérico	70.4	1	0	0
24/09/2022	24	9	2022	22.8	sj	III	día	puro	121.6	1	0	2.85
23/09/2022	23	9	2022	28.5	sj	III	día	puro	152	0	0	3.5625
22/09/2022	22	9	2022	15.6	sj	III	día	puro	83.2	0	0	1.95
21/09/2022	21	9	2022	2.1	sj	III	día	genérico	11.2	0	0	0
21/09/2022	21	9	2022	1.7	sj	IV	día	genérico	9.0666667	1	0	0
20/09/2022	20	9	2022	13	sj	IV	día	puro	69.3333333	3	0	1.625
19/09/2022	19	9	2022	1.6	sj	IV	día	genérico	8.53333333	1	0	0
19/09/2022	19	9	2022	9.4	sj	III	día	genérico	50.1333333	1	0	0
18/09/2022	18	9	2022	11.7	sj	III	día	puro	64.4	0	0	1.4625
17/09/2022	17	9	2022	21.2	sj	III	día	puro	113.066667	0	0	2.65
16/09/2022	16	9	2022	7.9	sj	III	día	puro	42.1333333	0	0	0.9875
15/09/2022	15	9	2022	21.4	sj	III	día	puro	114.133333	0	0	2.675
14/09/2022	14	9	2022	11.5	sj	III	día	puro	61.3333333	0	0	1.4375
10/09/2022	10	9	2022	11.8	sj	III	día	genérico	62.9333333	0	0	0
10/09/2022	10	9	2022	16.7	sj	III	día	genérico	89.0666667	0	0	0
09/09/2022	9	9	2022	8.3	sj	III	día	genérico	46.2666667	0	0	0
09/09/2022	9	9	2022	18.3	sj	III	día	genérico	97.6	0	0	0
09/09/2022	9	9	2022	3.2	sj	IV	día	genérico	17.0666667	0	0	0
08/09/2022	8	9	2022	0.6	sj	IV	día	genérico	3.2	1	0	0

08/09/2022	8	9	2022	4.4	sj	III	día	genérico	23.4666667	0	0	0
08/09/2022	8	9	2022	25.5	sj	III	día	genérico	136	0	0	0
07/09/2022	7	9	2022	27.4	sj	III	día	puro	146.1333333	0	0	3.425
06/09/2022	6	9	2022	28.3	sj	III	día	puro	150.9333333	0	0	3.5375
04/09/2022	4	9	2022	25.7	sj	III	día	puro	137.0666667	0	0	3.2125
03/09/2022	3	9	2022	18	sj	III	día	puro	96	2	0	2.25
02/09/2022	2	9	2022	36.6	sj	III	día	puro	195.2	0	0	4.575
01/09/2022	1	9	2022	10.5	sj	III	día	puro	56	0	0	1.3125
31/08/2022	31	8	2022	27.1	sj	III	día	puro	144.5333333	0	0	3.3875
30/08/2022	30	8	2022	10.6	sj	III	día	puro	56.53333333	0	0	1.325
28/08/2022	28	8	2022	12.3	sj	III	día	puro	65.6	0	0	1.5375
27/08/2022	27	8	2022	21.5	sj	III	día	puro	114.6666667	0	0	2.6875
26/08/2022	26	8	2022	20.4	sj	III	día	puro	108.8	0	0	2.55
25/08/2022	25	8	2022	29.4	sj	III	día	genérico	156.8	0	0	0
25/08/2022	25	8	2022	2.9	sj	IV	día	genérico	15.4666667	0	0	0
24/08/2022	24	8	2022	1.5	sj	IV	día	genérico	8	1	0	0
24/08/2022	24	8	2022	2.7	sj	III	día	genérico	14.4	0	0	0
23/08/2022	23	8	2022	21.8	sj	III	día	puro	116.2666667	0	0	2.725
21/08/2022	21	8	2022	34	sj	III	día	puro	181.3333333	0	0	4.25
20/08/2022	20	8	2022	27.3	sj	III	día	puro	145.6	0	0	3.4125
14/08/2022	14	8	2022	35.2	sj	III	día	puro	187.7333333	0	0	4.4
13/08/2022	13	8	2022	53.8	sj	III	día	puro	286.9333333	0	0	6.725
12/08/2022	12	8	2022	37.1	sj	III	día	puro	197.8666667	0	0	4.6375
11/08/2022	11	8	2022	7.7	sj	III	día	puro	41.0666667	0	0	0.9625
10/08/2022	10	8	2022	24.9	sj	III	día	puro	132.8	0	0	3.1125
09/08/2022	9	8	2022	26.1	sj	III	noche	puro	139.2	0	0	3.2625
07/08/2022	7	8	2022	14.4	sj	III	día	puro	76.8	0	0	1.8
06/08/2022	6	8	2022	8.6	sj	III	día	puro	45.8666667	0	0	1.075
05/08/2022	5	8	2022	12.5	sj	III	día	genérico	66.6666667	0	0	0
05/08/2022	5	8	2022	2.6	sj	IV	día	genérico	13.8666667	2	0	0
04/08/2022	4	8	2022	8	sj	IV	día	puro	42.6666667	1	0	1
03/08/2022	3	8	2022	2.4	sj	IV	día	genérico	12.8	1	0	0
03/08/2022	3	8	2022	11.5	sj	III	día	genérico	61.33333333	0	0	0
02/08/2022	2	8	2022	21.5	sj	III	día	puro	114.6666667	2	0	2.6875
01/08/2022	1	8	2022	19.4	sj	III	día	puro	103.4666667	2	0	2.425
29/07/2022	29	7	2022	19.4	sj	III	día	puro	103.4666667	0	0	2.425
28/07/2022	28	7	2022	26.8	sj	III	día	puro	142.9333333	0	0	3.35
27/07/2022	27	7	2022	12.4	sj	III	día	puro	66.13333333	0	0	1.55
26/07/2022	26	7	2022	6.8	sj	III	día	genérico	36.2666667	0	0	0
26/07/2022	26	7	2022	5	sj	IV	día	genérico	26.6666667	0	0	0
25/07/2022	25	7	2022	0.4	sj	IV	día	genérico	2.133333333	1	0	0
25/07/2022	25	7	2022	11.5	sj	III	día	genérico	62.33333333	0	0	0
23/07/2022	23	7	2022	12.2	sj	III	día	genérico	65.0666667	0	0	0
23/07/2022	23	7	2022	5	sj	IV	día	genérico	26.6666667	0	0	0
23/07/2022	23	7	2022	9.9	sj	IV	día	genérico	52.8	1	0	0
22/07/2022	22	7	2022	1.6	sj	IV	día	genérico	8.533333333	1	0	0
22/07/2022	22	7	2022	10.8	sj	III	día	genérico	57.6	0	0	0
21/07/2022	21	7	2022	9.2	sj	III	día	puro	49.0666667	0	0	1.15
20/07/2022	20	7	2022	6.4	sj	IV	día	puro	34.13333333	0	0	0.8
19/07/2022	19	7	2022	3.4	sj	IV	día	puro	18.13333333	0	0	0.425
18/07/2022	18	7	2022	6.7	sj	IV	día	puro	35.73333333	0	0	0.8375
16/07/2022	16	7	2022	4.5	sj	IV	día	puro	24	2	0	0.5625
15/07/2022	15	7	2022	2	sj	IV	día	puro	10.6666667	2	0	0.25
14/07/2022	14	7	2022	12.5	sj	IV	día	puro	66.6666667	2	0	1.5625
13/07/2022	13	7	2022	5.5	sj	IV	día	genérico	29.33333333	2	0	0
13/07/2022	13	7	2022	14.5	sj	III	día	genérico	77.33333333	0	0	0
12/07/2022	12	7	2022	17	sj	III	día	puro	90.6666667	0	0	2.125
09/07/2022	9	7	2022	17.5	sj	III	día	puro	93.33333333	0	0	2.1875
08/07/2022	8	7	2022	20	sj	III	día	puro	106.6666667	1	0	2.5
07/07/2022	7	7	2022	19	sj	III	día	puro	101.3333333	0	0	2.375
06/07/2022	6	7	2022	10	sj	III	día	puro	53.33333333	0	0	1.25
05/07/2022	5	7	2022	21	sj	III	día	puro	112	0	0	2.625
04/07/2022	4	7	2022	13.9	sj	III	día	genérico	74.13333333	0	0	0
04/07/2022	4	7	2022	4.8	sj	IV	día	genérico	25.6	1	0	0
02/07/2022	2	7	2022	17.3	sj	III	día	puro	92.2666667	1	0	2.1625
01/07/2022	1	7	2022	11	sj	III	día	puro	58.6666667	0	0	1.375
30/06/2022	30	6	2022	17	sj	III	día	puro	90.6666667	1	0	2.125
27/06/2022	27	6	2022	3	sj	III	día	genérico	16	0	0	0
27/06/2022	27	6	2022	11	sj	III	día	genérico	58.6666667	0	0	0
24/06/2022	24	6	2022	3	sj	III	día	genérico	16	1	0	0
24/06/2022	24	6	2022	6	sj	IV	día	genérico	32	0	0	0
24/06/2022	24	6	2022	3	sj	IV	día	genérico	16	0	0	0
22/06/2022	22	6	2022	8	sj	III	día	puro	42.6666667	0	0	1
21/06/2022	21	6	2022	4	sj	III	día	genérico	21.33333333	0	0	0
21/06/2022	21	6	2022	2	sj	IV	día	genérico	10.6666667	0	0	0
20/06/2022	20	6	2022	6	sj	IV	día	genérico	32	0	0	0
20/06/2022	20	6	2022	9	sj	V	día	genérico	48	1	0	0
20/06/2022	20	6	2022	3	sj	IV	día	genérico	16	0	0	0
22/05/2022	22	5	2022	1.5	sj	III	día	puro	8	0	0	0.1875
07/04/2022	7	4	2022	5	sj	III	día	puro	26.6666667	0	0	0.625