UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"ANÁLISIS DEL SOSTENIMIENTO DEFINITIVO PARA ROCA CLASE IV, V, VI, EN EL TUNEL DE RELAVES SALVEANI CAPILLUNE, PROYECTO QUELLAVECO"

PRESENTADO POR:

Bach. Isaac Aldair Viza Huiza

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

“ANÁLISIS DEL SOSTENIMIENTO DEFINITIVO PARA ROCA CLASE IV, V, VI, EN EL TUNEL DE RELAVES SALVEANI CAPILLUNE, PROYECTO QUELLAVECO”

Examen Profesional aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N°505-2022-UNAM, de fecha 15 de julio de 2022.

ASESOR .....
Dr. Marcos Luis Quispe Pérez

BACHILLER .....
Isaac Aldair Viza Huiza

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FEDATARIO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 003

ACTA DE TITULACIÓN

I. Modalidad:

Examen Profesional

II. Documento de aprobación:

Resolución de Comisión Organizadora N° 505- 2022 - UNAM

Fecha: 15 - 07 - 2022

III. Título de Informe de Examen Profesional:

"ANÁLISIS DEL SOSTENIMIENTO DEFINITIVO PARA ROCAS CLASE IV, V, VI EN EL TUNEL DE RELAVES SALVEANI CAPILLUNE, PROYECTO QUELLAVECO"

Bachiller: Isaac Aldair, VIZA HUIZA

Asesor Principal: Dr. Marcos Luis, QUISPE PÉREZ

Co-Asesor :

IV. Se dictamina con las siguientes notas:

Examen Escrito: 16 Entrevista: 0.33 Promedio: 16

Promedio en letras: Dieciséis por lo que: Sí [x] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 09:15 horas, del 02 de agosto del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado.

Dr. Marcos Luis, QUISPE PÉREZ
Presidente del comité de grados y títulos
de Examen Profesional
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Dr. Arquímedes León, VARGAS LUQUE
Director
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Isaac A., VIZA HUIZA
Bachiller

Dr. Marcos Luis, QUISPE PÉREZ
Asesor
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado en primer lugar a dios por haberme guiado durante todo este tiempo y por levantarme en mis caídas.

A mis padres: Maritza e Isaac, a mis hermanos, por su apoyo incondicional, y a todas aquellas personas que me apoyaron en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a mi Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por ser parte de mi formación durante 5 años de carrera.

Reconocer a los catedráticos de la escuela profesional de ingeniería de minas por compartir sus enseñanzas y por cooperar en mi desarrollo como profesional.

Agradecer a la empresa global Mapping por contribuir en mi desarrollo laboral, a todo el personal de la empresa por su apoyo y hospitalidad, y en especial al Ing. Ludwig Chambe por su apoyo y amistad durante la elaboración del presente informe.

A Doc. Ing. Marcos Luis Quispe Pérez por el apoyo brindado durante el asesoramiento del presente informe.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en analizar el soporte utilizado en el proceso de excavación del túnel, cuyo fin es asegurar la estabilidad a largo plazo del túnel durante toda la etapa de extracción y crear un entorno seguro para las personas, el proceso y la propiedad. El túnel Salveani – Capillune tiene una longitud de 1.1 kilómetros, forma parte del sistema de disposición de relaves que conecta la Planta concentradora Papujune y el dique de relaves Cortadera, Proyecto Quellaveco. La metodología empleada para la determinación del macizo rocoso se realizó mediante métodos empíricos como el índice de Q de Barton, GSI, así mismo el análisis y modelación por elementos finitos en la herramienta FLAC 3D para roca clasbe IV, V, VI. Según los resultados del análisis de esfuerzos y deformaciones considerando el sostenimiento establecido se corroboro que los elementos de sostenimiento definitivo para el túnel cumplen su función de estabilizar el macizo rocoso. Para roca clase IV se consideró una ronda de pernos sistemáticos en techo y cajas, con una grilla de 1,5 x 1,5 m además se consideró shotcrete lanzado y reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas, con espesor de 100 mm. Para roca clase V se consideró ronda de pernos sistemáticos en techo y caja, con una grilla de 1.3 x 1.0 m además se consideró marco reticulado de 3 barras, embebido con shotcrete y reforzado con fibra de polipropileno de 275mm de espesor y shotcrete eventual en el frente de 50 mm de espesor, cada 2 m de avance durante los 20 primeros metros, Para roca clase VI se toma las mismas consideraciones de sostenimiento del tipo de roca clase V, adicionalmente incluye shotcrete lanzado de 50mm de espesor en el frente cada 2m de avance , cabe resaltar que presenta muy poca o nula filtraciones de aguas subterráneas ya que el nivel freático se encuentra muy por debajo del nivel del túnel.

Palabra clave: túnel, sostenimiento, deformaciones

ABSTRACT

The present work focuses on analyzing the support used in the tunnel excavation process, whose purpose is to ensure the long-term stability of the tunnel during the entire extraction stage, and to create a safe environment for people, processes and property. The Salveani – Capillune tunnel is 1.1 kilometers long and is part of the tailings disposal system that connects the Papujune concentrator plant and the Cortadera tailings dam, Quellaveco Project. The methodology used for the determination of the rock mass was carried out using empirical methods such as the Barton Q index, GSI, as well as the analysis and modeling by finite elements in the FLAC 3D tool for rock class IV, V, VI. According to the results of the stress and strain analysis considering the established support, it was confirmed that the definitive support elements for the tunnel fulfill their function of stabilizing the rock mass. For class IV rock, a round of systematic bolts was considered in the roof and boxes, with a grid of 1.5 x 1.5 m. In addition, shotcrete was considered shotcrete reinforced with polypropylene fiber in the roof and boxes, with a thickness of 100 mm. For class V rock, a round of systematic bolts in the roof and box was considered, with a grid of 1.3 x 1.0 m. In addition, a 3-bar reticulated frame was considered, embedded with shotcrete and reinforced with 275mm thick polypropylene fiber and eventual shotcrete in the 50 mm thick face, every 2 m of advance during the first 20 meters. For class VI rock, the same support considerations are taken as for class V rock type, additionally it includes 50 mm thick shotcrete thrown in the face every 2 m of advance, it should be noted that it presents very little or no groundwater seepage since the water table is well below the level of the tunnel.

Key word: tunnel, support, deformations

CONTENIDO

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

CONTENIDO vi

ÍNDICE DE TABLAS ix

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE ANEXOS xiv

LISTA DE ABREVIATURAS xv

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

ASPECTOS GENERALES 2

1.1 Descripción de la empresa 3

1.1.1 Ubicación 3

1.1.2 Misión 3

1.1.3 Visión 3

1.1.4 Historia 4

1.1.5 Organigrama de la empresa 4

CAPÍTULO II 5

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD 5

2.1 Bases teóricas de la Geomecánica 5

2.1.1 Índice de calidad de Roca en túneles Q de Barton (2002) 5

2.1.2 Criterio de Rotura de Hoek y Brown (2002) 14

2.1.3 Índice de Resistencia Geológica - GSI (Hoek y Brown 1998) 15

2.2 Descripción Túnel Salveani Capillune 18

2.2.1 Geología del Túnel Salveani – Capillune 18

2.2.2 Ubicación Túnel Salveani – Capillune 21
2.2.3 Accesibilidad 22
2.2.4 Parámetros Túnel Salveani – Capillune 22
2.3 Monitoreo geomecánico túnel de relaves Salveani – Capillune 26
2.4 Monitoreo geotécnico túnel de relaves Salveani – Capillune 28
2.4.1 Monitoreo de convergencia 29
2.4.2 Estaciones de Monitoreo 30
2.4.3 Deformación visible del sostenimiento 31
2.4.4 Límites de alerta y de intervención 34
2.5 Sección Transversal del Túnel Salveani – Quellaveco 36
2.6 Tipos de sostenimiento Túnel Salveani - Capillune 38
2.6.1 Barra de Acero o Pernos Helicoidal 39
2.6.2 Pernos Autoperforantes 40
2.6.3 Barras cimentadas 41
2.6.4 Placas de sujeción y tuerca 42
2.6.5 Perno de anclaje de combinación 42
2.6.6 Cables de acero 43
2.6.7 Pernos de fibra 45
2.6.8 Pernos paragua (Helicoidales, Autoperforantes, Micropilotes) 45
2.6.9 Malla tejida 46
2.6.10 Malla electrosoldada 47
2.6.11 Marcos metálicos reticulados 48
2.6.12 Marcos metálicos perfil laminado 50
2.6.13 Concreto lanzado – Shotcrete 51
2.7 Distribución del sostenimiento 54
2.7.1 Sostenimiento portales túnel Salveani Capillune 54
2.7.2 Sostenimiento túnel Salveani Capillune 59

2.7.3 Sostenimiento Estocadas túnel Salveani Capillune 67
2.8 Análisis FLAC 3D 68
2.8.1 Modelaciones de estudio 68
2.8.2 Descripción de Modelo Numérico. 69
2.8.3 Parámetros considerados en el análisis numérico 72
2.8.4 Propiedad de los materiales considerados para el análisis 74
2.8.5 Secuencia de excavación/Modelación 76
2.8.6 Modelación FLAC 3D 80
2.8.7 Deformaciones del medio 80
2.8.8 Esfuerzos en el medio 84
CAPÍTULO III 89
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 89
3.1 Objetivos 89
3.1.1 Objetivos General 89
3.1.2 Objetivos Específicos 89
3.2 Antecedentes 89
3.2.1 Antecedentes internacionales 89
3.2.2 Antecedentes nacional 91
3.2.3 Antecedentes Local 92
CAPÍTULO IV 93
DISCUSIÓN Y APORTES 93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 94
BIBLIOGRAFIA 95
ANEXOS 957

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sede central Global Mapping 3
Tabla 2 Valoración RQD 6
Tabla 3 Valoración Jn - número de familias de diaclasas 6
Tabla 4 Numero de rugosidad de las fisuras - Jr. 7
Tabla 5 Numero de alteración de fisuras 8
Tabla 6 Factor de reducción por agua en las fisuras - Jw 9
Tabla 7 Factor de reducción de esfuerzos - SRF 10
Tabla 8 Valoración Q de Barton 11
Tabla 9 Valoración ESR 12
Tabla 10 Ubicaciones coordenadas topográficas túnel Salveani - Capillune 21
Tabla 11 Accesibilidad Proyecto Quellaveco 22
Tabla 12 Clase de roca según Q de Barton y su equivalente en GSI 23
Tabla 13 Parámetros geomecánicos y Geotécnicos 23
Tabla 14 Parámetro geotécnico, Grado de alteración 24
Tabla 15 Parámetro geotécnico, Grado de Fracturamiento 24
Tabla 16 Parámetro Geotécnico, grado de resistencia 24
Tabla 17 Avance total por tipo de roca Túnel entrada Salveani Capillune. 27
Tabla 18 Avance total por tipo de roca Túnel salida Salveani Capillune. 27
Tabla 19 Estaciones de monitoreo en el Túnel Salveani Capillune 31
Tabla 20 Límites Máximos de Alerta y de Intervención 34
Tabla 21 Sistema de alerta tipo semáforo – túnel Salveani Capillune 35
Tabla 22 Resistencia del Concreto durante los primeros 7 días 53
Tabla 23 Resumen fortificación portal de entrada túnel Salveani Capillune 56
Tabla 24 Resumen fortificación portal de salida túnel Salveani Capillune 56
Tabla 25 Resumen elementos de fortificación brocal portal de entrada 57
Tabla 26 Resumen elementos de fortificación brocal portal de entrada 58
Tabla 27 Avance - Sostenimiento por tipo de roca 59
Tabla 28 Resumen Metrados por Clase de Roca 66
Tabla 29 Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca IV. 73
Tabla 30 Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca V. 73
Tabla 31 Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca VI. 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama empresa Global Mapping en el Proyecto Quellaveco 4
Figura 2 Sostenimiento basado en el Índice de Q de Barton y Span/ESR..... 13
Figura 3 Evaluación de GSI en macizos rocosos heterogéneos..... 15
Figura 4 Evaluación de GSI en macizos rocosos fracturados..... 16
Figura 5 Estimación del grado de perturbación - factor D..... 17
Figura 6 Vista planta geología túnel Salveani Capillune..... 19
Figura 7 Vista perfil longitudinal de la geología túnel Salveani Capillune 20
Figura 8 Ubicación del túnel Salveani Capillune, Proyecto Quellaveco 21
Figura 9 Perfil Hidrogeológico del túnel Salveani Capillune 25
Figura 10 Comportamientos geomecánicos asociado a las calidades de roca. 26
Figura 11 Detalle de elementos de monitoreo dentro de túnel 29
Figura 12 Detalles de pernos de convergencia para medir la deformación 30
Figura 13 Curva de Convergencia y Deformación longitudinal..... 32
Figura 14 Deformación visible y medible en sostenimiento por medio de estaciones de convergencia..... 32
Figura 15 Ejemplo de evolución de convergencias diametral 33
Figura 16 Ejemplo de evolución velocidades de convergencia respecto de la distancia al frente del túnel 33
Figura 17 Sección transversal para rocas I, II, III túnel Salveani Capillune..... 36
Figura 18 Sección transversal para rocas IV, V, VI túnel Salveani Capillune 37
Figura 19 Sección longitudinal de estocada túnel Salveani Capillune 37
Figura 20 Detalles perno helicoidal ASTM A515 39
Figura 21 Detalle perno autoperforante tipo R38N 40
Figura 22 Detalle Barra cimentada - Perno helicoidal..... 41
Figura 23 Detalle tuerca y placa de sujeción para perno autoperforante R38N .. 42
Figura 24 Detalle perno tipo CT-BOLT M22..... 43
Figura 25 Detalle cable simple de acero liso 44
Figura 26 Detalle pernos de fibra..... 45
Figura 27 Detalle colocación de pernos paraguas..... 46
Figura 28 Detalle malla tejida..... 47

Figura 29 Detalle marco metálico reticulado 49
Figura 30 Detalle marco metálico perfil laminado – marco noruego 50
Figura 31 Detalle de tres capas de concreto lanzado (27cm) para roca clase V .. 53
Figura 32 Fortificación portal de entrada túnel Salveani Capillune 55
Figura 33 Fortificación portal de salida túnel Salveani Capillune 55
Figura 34 Detalle brocal portal de entrada 57
Figura 35 Detalle brocal portal de salida 58
Figura 36 Detalles sostenimiento roca clase I 59
Figura 37 Detalles sostenimiento roca clase II 60
Figura 38 Detalles sostenimiento roca clase III 61
Figura 39 Detalles sostenimiento roca clase IV 62
Figura 40 Detalles sostenimiento roca clase V 63
Figura 41 Detalles sostenimiento roca clase V Portal 64
Figura 42 Detalles sostenimiento roca clase VI 65
Figura 43 Detalle Fortificación estacada clase de roca V 67
Figura 44 Diagrama de modelaciones numéricas de zona típica realizadas 68
Figura 45 Diagrama de modelaciones numéricas de estocadas realizadas 69
Figura 46 Modelo numérico en el software FLAC 3D 69
Figura 47 Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo IV 70
Figura 48 Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo V 70
Figura 49 Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo VI 71
Figura 50 Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de estocada para el túnel Salveani Capillune en macizo rocoso Clase IV. 71
Figura 51 Patrones de Pernos y hormigones proyectados en estocadas túneles Salveani Capillune en macizo rocoso tipo IV 72
Figura 52 Longitudes de excavación de túnel SC y espesores de hormigón proyectado según distancia a la frente para Clase IV. 77
Figura 53 Longitudes de excavación de túnel SC y modulo elástico de los hormigones proyectado según distancia a la frente para Clase IV 77

Figura 54 Labores de Fortificación con pernos en Túnel para Clase IV 78
Figura 55 Avance intermedio de galería de estocada para Clase IV (se incluyen labores de excavación, labores de hormigón proyectado y de pernos de fortificación) 78
Figura 56 Excavación y fortificación de desquinches del cruce de túnel y galería estocada. 79
Figura 57 Etapas de Modelación consideradas en modelos de estocadas de túneles Salveani Capillune 79
Figura 58 Deformaciones en el eje transversal al túnel relaves Salveani - Capillune (Plano P1 h=205m) (etapa 2 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m) 80
Figura 59 Deformaciones en ele longitudinal al túnel relaves Salveani Capillune (plano P2 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m) 81
Figura 60 Deformaciones en el eje transversal a la galería de estocada (Plano P3 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m) 81
Figura 61 Deformaciones en el eje longitudinal a la galería de estocada (Plano P4 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m) 82
Figura 62 Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P2 h=205m) para estado final de fase 2 (unidades en m y mm). 82
Figura 63 Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P2) para etapas finales Fase 2 y Fase 4 (unidades en m y mm)..... 83
Figura 64 Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P4) para etapas finales Fase 3 y Fase 4 (unidades en m y mm) 83
Figura 65 Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos verticales Szz del medio 84
Figura 66 Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos horizontales Sxx del medio. 84
Figura 67 Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos horizontales Syy del medio. 85
Figura 68 Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves SC (Plano P1 h=210m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa). 85
Figura 69 Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves SC (Plano P1 h=210m) (etapa 6) Ko=1. 86

Figura 70 Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación de la galería de estocada (Plano P3 h=210m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa). 86
Figura 71 Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación de la galería de estocada (Plano P3 h=205m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa)..... 86
Figura 72 Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves SC y estocada (h=205m) (etapa 4 Ko=1 (unidades en kPa)..... 87
Figura 73 Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves SC y estocada (h=205m) (etapa 4) Ko=1 (unidades en kPa) (esfuerzos transversales a túnel relaves)..... 87
Figura 74 Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves SC y estocada (h=205m) (etapa 2) Ko=1 (unidades en kPa) (esfuerzos transversales a galería de estocada). 88
Figura 75 Zonas de Plastificación para estocada excavada en túnel SC (h=205m) (Ko=1) (etapa 6)..... 88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Evaluación geomecánica Túnel Salveani Capillune 97
ANEXO B: Evaluación geotécnica Túnel Salveani..... 107
ANEXO C: Vista planta y perfil longitudinal Túnel Salveani Capillune 117
ANEXO D: Sostenimiento Túnel Salveani Capillune 119
ANEXO E: Panel Fotográfico..... 121

LISTA DE ABREVIATURAS

Und	: Unidades
kg/cm^2	: Kilogramo por centímetro cuadrado
m^3	: Metro cubico
m^2	: Metros cuadrado por metro
f'c	: Fuerza a la compresión (kg/cm^2)
Mpa	: Mega pascal
UCS	: Resistencia a la compresión axial
mi	: Roca intacta
v	: Razón de Poisson
EM	: Modulo de deformación
K_0	: Estudio de esfuerzos in situ
Fy	: Limite elástico
E	: Modulo de Young
Ft	: Resistencia a la tracción
F'c	: Resistencia a la compresión
Qa	: Depósitos Fluviales
Qt	: Depósitos Torrenciales
Qc	: Depósitos Coluviales
Kti – gd	: Granodiorita Regional
Ts – vhu	: Volcánico Huaylillas
Kti – ra	: Riolita Asana
Kti – sa	: Serie Alta
Kti – pq	: Riolítica Porfírica Quellaveco
P	: Presión Interna
Po	: Condición Litoestatica
β	: Tasa de desconfinamiento
SC	: Salveani Capillune

INTRODUCCIÓN

El sostenimiento es una actividad primordial en la excavación de un túnel, determinar el sostenimiento y lograr la estabilidad del macizo rocoso requiere de criterios y parámetros definidos según las condiciones geomecánicas durante la excavación del túnel , el presente trabajo está enfocado en el análisis del tipo de sostenimiento considerando parámetros geomecánicos, geológicos y condiciones del macizo rocoso para asegurar que el sostenimiento reúna las características necesarias según la clase de roca.

El Presente trabajo de investigación titulado "Análisis del sostenimiento definitivo para roca clase IV, V, VI en el túnel de relaves Salveani – Capillune, proyecto Quellaveco" se plantea que debido a las condiciones de formación geomorfológica del terreno, a la viabilidad de la pendiente del canal de relaves , así mismo del sobre costo de movimiento de tierra que tendría la determinación de otra ruta para la construcción del canal de relaves, se determinó la construcción del túnel en las zonas denominada quebrada Salveani – Capillune en las progresivas 8+945 km al 10+041 del sistema de disposición de relaves con una longitud total de 1.1 km que servirá de transporte de desechos mineros durante toda la etapa de explotación de la mina.

La identificación de las condiciones geomecánicas permitirá una adecuada evaluación de las zonas inestables durante la excavación, así mismo permitirá proponer medidas correctivas para minimizar cualquier riesgo que involucra al personal, proceso y propiedad durante el proceso constructivo del túnel. Para la determinación de la clase de roca se definirá mediante el índice de calidad de roca Q de Barton (2002) y su equivalente en Índice de resistencia Geológica GSI, así mismo para el análisis numérico se utilizó la herramienta FLAC 3D determinando los esfuerzos y deformaciones que se efectúan en los elementos de fortificación a lo largo del túnel.

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES

Según la evaluación y determinación de la clase de roca mediante parámetros geomecánicos y geotécnicos utilizando el índice de Q de Barton y el índice de resistencia geología GSI detallados en los Anexos 1 y 2 se establece el sostenimiento y fortificación definitiva según la clase de roca estimadas por el encargado del diseño de ingeniería del Proyecto - ARCADIS

El diseño final del túnel Salveani Capillune se compone de una sección de excavación útil de 4.8m x 4.8m en su interior tendrá una canaleta de transporte de relaves con una sección interna de 1.25m x 1.25m y una pendiente de 1%, adicionalmente contará con una tubería de 36'' anclada en el techo del túnel que servirá de recirculación de agua recuperada y por último una vía de tránsito vehicular de 2.67m de ancho (Figura 11). Para el diseño de las estocadas se tuvo la misma sección útil que el túnel y una longitud de 12 m (Figura 19 y 44) a lo largo del túnel se tuvo 4 estocadas cada 220m aproximadamente. La excavación del túnel se llevó sobre granodiorita, sin presencia de filtración de aguas subterráneas y en un ambiente seco adicionalmente se consideró una sobreexcavación + 0.20m

En el análisis y modelamiento numérico efectuado en el programa FLAC 3D se consideró las propiedades de los elementos de sostenimiento empleado para roca clase IV, V, VI como el límite elástico y módulo de Young, Además, se consideró el criterio de rotura de Hoek & Brown (2002), módulo de deformación y razón de Poisson para el análisis del sostenimiento para las clases de rocas mencionadas ya que están un rango de mala, muy mala y excepcionalmente muy mala calidad de roca, es por ello que requieren una mayor fortificación y también un análisis más amplio considerando variables teóricas para el modelamiento e identificar posibles deformaciones.

1.1 Descripción de la empresa

Global Mapping es una empresa especializada en el área de la geomática y cartografía digital, ofrece sus servicios de monitoreo y control topografía, diseños de ingeniería, supervisión de trabajos topográficos en el área de la ingeniería, minería y construcción. Actualmente se encarga del trabajo de supervisión de la construcción del proyecto Quellaveco en sus distintas áreas.

1.1.1 *Ubicación*

Global Mapping tiene como sede principal Lima, Perú como se detalla en la Tabla 1, además cuenta con oficinas en varias regiones del país

Tabla 1
Sede central Global Mapping

GLOBAL MAPPING	
Sede Central	Lima, Perú
Dirección	Calle 31 Nro 135 Of. 201 - 202 Urb. Corpac, San Isidro

Nota. Fuente Global Mapping (2022).

1.1.2 *Misión*

Brindar un servicio personalizado y altamente especializado en soluciones de cartografía digital, orientándose a satisfacer las necesidades de nuestros clientes a nivel nacional e internacional, alcanzando niveles de precisión que aseguren su confianza y constituyéndonos en un soporte fundamental para el desarrollo de sus proyectos.

1.1.3 *Visión*

Ser lideres en soluciones cartográficas digital y un referente internacional en el campo de la Geomática.

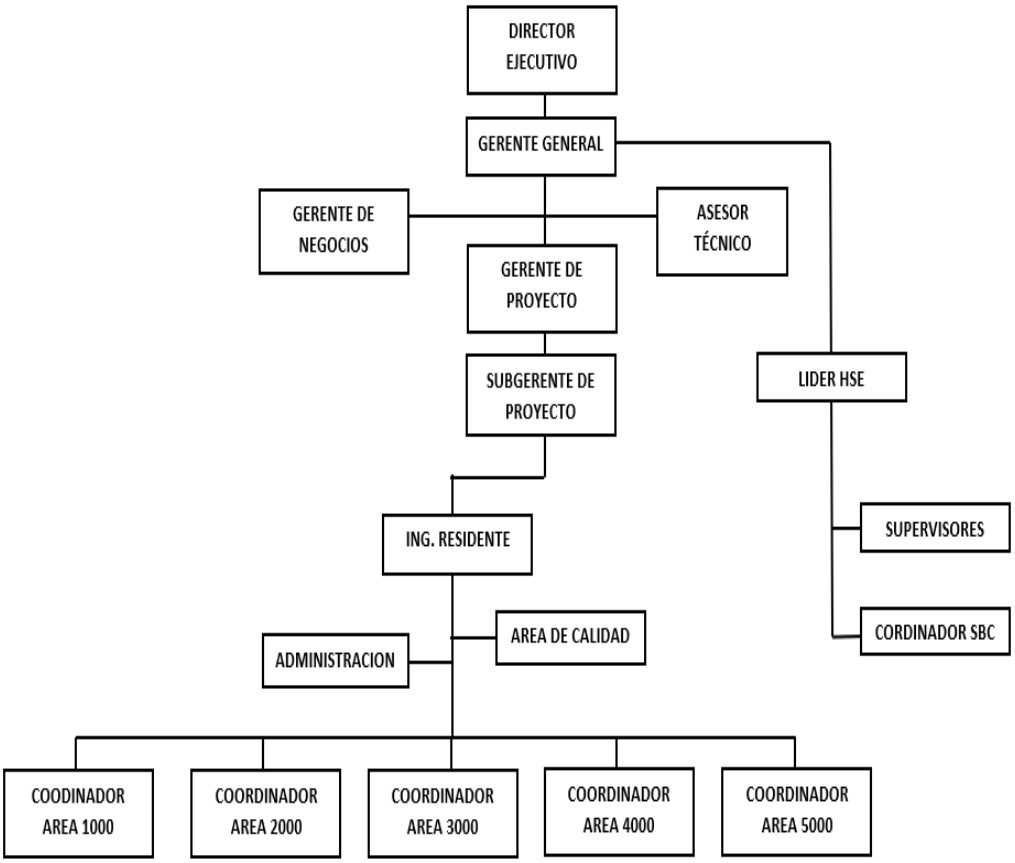
1.1.4 *Historia*

Global Mapping cuenta con 22 años de experiencia en el rubro de la cartografía digital y Geomática, así como supervisión de diferentes proyectos de minería, ingeniería y construcción.

1.1.5 *Organigrama de la empresa*

El presente organigrama mostrado en la figura 1 corresponde a la organización jerárquica de la empresa Global Mapping dentro del proyecto Quellaveco y sus diferentes áreas.

Figura 1
Organigrama empresa Global Mapping en el Proyecto Quellaveco



Nota. Oficina técnica área 4000 Global Mapping (2022).

CAPÍTULO II
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD

1.1 Bases teóricas de la Geomecánica

1.1.1 *Índice de calidad de Roca en túneles Q de Barton (2002)*

Desarrollada por Barton, líen, lunde y el Instituto Geotécnico de Noruega (1974) como solución para la determinación de las propiedades del macizo rocoso y los parámetros de sostenimiento de un túnel, se define por:

$$Q = \frac{RQD}{Jn}\ x\ \frac{Jr}{Ja}\ x\ \frac{Jw}{SRF}$$

Donde,

RQD = índice de calidad de la roca de Deere

Jn = es el número de sistemas de fisuras

Jr = número de la rugosidad de las fisuras

Ja = número de la alteración de las fisuras

Jw = factor de reducción por agua en las fisuras

SRF = factor de reducción por esfuerzos

1.1.1.1 RQD – Rock Quality Designation.- Se determina por la recuperación de testigos que son superiores a los 100mm, no se tienen en cuenta testigos sueltos y que no estén solidos así midan más de 100mm. Forma parte de otros criterios como el RMR y Q.

- Para la formula se usa RQD en intervalos de 5
- El valor mínimo RQD de 10 para la formula.

$$RQD = \frac{\sum > 100mm}{Longitud\ total\ del\ sondeo}\ x\ 100$$

Mediate la aplicación de la fórmula anterior se establece el tipo de roca según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Valoración RQD

	RQD	
A	Muy Pobre	0 - 25
B	Pobre	25 - 50
C	Media	50 - 75
D	Buena	75 - 90
E	Excelente	90 - 100

Nota. Deere, Peck, Parker, Monsees & Schmidt (1970).

1.1.1.2 Jn – Numero de sistema de fisuras.- Determina el grado de fisuración del macizo rocoso, depende de la geometría de los bloques como el tamaño y forma, en la Tabla 3 podemos ver los parámetros a evaluar.

Tabla 3
Valoración Jn - número de familias de diaclasas

	Jn - NUMERO DE FAMILIAS DE DIACLASAS	Jn
A	Roca masiva, sin diaclasa o fisuración escasa.	0.5 - 1.0
B	Una familia de diaclasa.	2
C	Una familia y alguna diaclasa aleatoria.	3
D	Dos familias de diaclasas.	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres familias de diaclasas.	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro a más familias diaclasa aleatoria, roca fracturada roca en terrenos.	15
J	Roca triturada, terrosa.	20

i) Para intersecciones de túneles, use 3 x Jn
ii) Para portales, utilice 2 x Jn

Nota. Deere et al. (1970).

1.1.1.3 Jr – Numero de rugosidad de las fisuras.- En la Tabla 4 se incluye una descripción de la superficie de la pared de las juntas, y fijar si son ondulada, plana, gruesa o lisa. Los términos rugoso y liso se refieren a estructuras pequeñas en la escala de centímetros o milímetros. Esto se puede evaluar deslizando el dedo a lo largo de la pared de la junta; Entonces la aspereza se sentirá a pequeña escala. La rugosidad a gran escala se mide en la escala m y se mide colocando una regla de 1 m en la cara de la junta para determinar la amplitud de la rugosidad a gran escala.

Tabla 4

Numero de rugosidad de las fisuras - Jr.

	NUMERO DE RUGOSIDAD DE LAS FISURAS	**Jr**
a) Contacto entre las dos caras de la fisura.		
b) Contacto entre las dos caras de la fisura ante un desplazamiento cortante menor a 10 cm.		
A	Fisuras continuas.	4
B	Fisuras onduladas, rugosas o irregulares.	3
C	Fisuras onduladas lisas.	2
D	Fisuras onduladas, perfectamente lisos.	1.5
E	Fisuras planas, rugosas o irregulares.	1.5
F	Fisuras planas, lisos.	1
G	Fisuras planas, perfectamente lisas.	0.5
i) Descripción referida a las características de pequeña escala.		
c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1
J	Zona arenosa, de grava o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad.	1
i) Si la separación del conjunto de discontinuidades es superior a 3m, se debe sumar 1 al índice Jr.		
ii) En el caso de fisuras planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, el valor de Jr. = 0.5.		

Nota. Barton & Brandis (1976).

1.1.1.4 Ja – Numero de Alteración de las fisuras.- Indica el contenido de contacto que hay entre las discontinuidades determinado por el ángulo de fricción residual como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Numero de alteración de fisuras

	NUMERO DE ALTERACIONES DE LAS FISURAS	Ja	φr
a) Contacto entre los planos de la discontinuidad - sin relleno			
A	Relleno impermeable, duro, que no se ablanda	0.8	-
B	Paredes de juntas inalteradas, marcas superficiales	1	25 - 35
C	Paredes de juntas levemente alteradas, recubrimientos minerales que no se ablandan, partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla.	2	25 - 30
D	Revestimientos de arcilla limosa o arenosa, pequeña fracción de arcilla (no reblandecimiento)	3	20 - 25
E	Recubrimientos minerales de arcilla suavizante o de baja fricción, es decir, caolinita, mica. También clorita, talco, yeso y grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	4	8 - 16
b) Contacto entre los planos de las discontinuidades de roca antes de un corte de 10 cm - con relleno en pequeños espesores			
F	Partículas arenosas, sin arcilla, rocas en descomposición, etc.	4	25 - 30
G	Rellenos de minerales arcillosos fuertemente sobreconsolidados que no se ablandan (continuos < 5 mm de espesor)	6	16 - 24
H	Sobreconsolidación media o baja, rellenos de minerales arcillosos ablandados (continuos < 5 mm de espesor)	8	12 - 16
J	Rellenos de arcilla expansiva, es decir, montmorillonita, (continua < 5 mm de espesor). Los valores de Ja dependen del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla que se hinchan y del acceso al agua.	8 - 12	6 - 12
c) Sin contacto entre discontinuidades de la roca cuando se corta - con gran relleno			
K	Zonas o bandas de desintegrado o triturado	6	6 - 24
L	roca y arcilla (ver G, H y J para arcilla	8	6 - 24
M	condiciones)	8 - 12	6 - 24
N	Zonas o bandas de arcilla limosa o arenosa, pequeña fracción arcillosa, que no se reblandece	5	-
O	Zonas gruesas continuas o bandas de arcilla	10 - 13	6 - 24
P, R	(ver G.H y J para condiciones de arcilla	13 - 20	6 - 24

Nota. Barton et al. (1974).

1.1.1.5 Jw– Factor de reducción por agua en las fisuras.- El agua de las fisuras puede ablandar o lavar el relleno mineral y, por lo tanto, reducir la fricción entre las paredes de la junta. La presión del agua puede reducir la tensión entre los planos de la junta y facilitar el corte de los bloques. La determinación del factor de reducción de agua se basa en la presión de la misma en una abertura subterránea, ver la Tabla 6. Los valores de Jw más bajos (Jw< 0.2) representan serios problemas de estabilidad.

Tabla 6

Factor de reducción por agua en las fisuras - Jw

	FACTOR DE REDUCCION POR AGUA EN LAS FISURAS	Jw	Presión de agua aprox. Kg/cm2
A	Excavación seca o flujo de entrada menor, es decir, < 5 l/m localmente	1	< 1.0
B	Entrada o presión media, lavado ocasional de rellenos de juntas	0.66	1.0 - 2.5
C	Gran flujo de entrada o alta presión en roca competente con juntas sin relleno	0.5	2.5 - 10
D	Entrada grande o alta presión	0.33	2.5 - 10
E	Entrada o presión excepcionalmente alta en la voladura, decayendo con el tiempo	0.2 - 0.1	> 10
F	Entrada o presión excepcionalmente alta	0.1 - 0.05	> 10

i) Los factores C a F son estimaciones crudas; aumentar Jw si se instala drenaje

ii) No se considerar problemas especiales causado por la formación de hielo.

Nota. Barton N. (1988).

1.1.1.6 SRF – Factor de reducción por esfuerzos.- El SRF describe la relación entre la tensión y la resistencia detallados en la Tabla 7, los efectos de la tensión a menudo se pueden observar como agrietamiento, deformación, compresión, expansión, liberación de masas y fenómenos de estrés evidente.

Tabla 7

Factor de reducción de esfuerzos - SRF

	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ESFUERZOS			SRF
a) Zonas de debilidad que intersectan la excavación, lo que puede provocar el aflojamiento del macizo rocoso cuando se excava el túnel				
A	Zonas de debilidad que contienen arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta a cualquier profundidad)			10
B	Zonas de debilidad únicas que contienen arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad de excavación < 50 m)			5
C	Zonas de debilidad únicas que contienen arcilla o roca químicamente disgregada (profundidad de excavación > 50 m)			2.5
D	Múltiples zonas de corte en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta (cualquier profundidad)			7.5
E	Zona de cizallamiento simple en roca competente (libre de arcilla). (profundidad de excavación < 50 m)			5
F	Zona de cizallamiento simple en roca competente (libre de arcilla). (profundidad de excavación > 50 m)			2.5
G	Juntas abiertas sueltas, muy articuladas o 'terrones de azúcar' (cualquier profundidad)			5
i) Reduzca estos valores de SRF en un 25 - 50%, pero solo si la influencia de las zonas de corte relevantes no interseca la excavación.				
b) Roca competente, problemas de tensión		**σc/σ1**	**σt/σ3**	**SRF**
H	Baja tensión, cerca de la superficie	> 200	> 13	2.5
J	Estrés medio	200 - 10	13 - 0.66	1
K	Esfuerzo alto, estructura muy apretada Esfuerzo alto desfavorable para la estabilidad de la pared	10- 5	0.66 - 0.33	0.5 - 2
L	Estallido de roca leve (roca masiva)	5 - 2.5	0.33 - 0.16	5.0 - 10
M	Estallido de roca fuerte (roca masiva)	< 2.5	< 0.16	10 - 20
ii) Para un campo de tensión virgen fuertemente anisotrópico (si se mide): cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c a $0.8\sigma_c$ y σ_t a $0.8\,\sigma_t$ Cuando $\sigma 1/\sigma 3 > 10$, reduce σc y σt a 0.6 σc y 0.6 σt donde: σc = resistencia a la compresión no confinada, σt = Resistencia a la tracción (carga puntual), σ1 y σ3 = son las tensiones principales mayor y menor				
iii) Pocos registros de casos disponibles donde la profundidad de la copa debajo de la superficie es menor que el ancho del tramo. Se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H)				
c) Roca comprimida, flujo plástico de roca incompetente Roca comprimida, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de alta presión de roca				
N	Presión de roca de compresión leve			5 - 10
O	Presión de roca de compresión pesada			10 - 20
d) Roca expansiva, expansión química depende de presencia de agua				
P	Presión de roca de hinchamiento leve			5 - 10
R	Fuerte expansión de la presión de la roca			10 - 15

Nota. Barton et al. (1974).

1.1.1.7 Valoración índice de Q de Barton.- La estimación y evaluación del índice de Q de Barton para la determinación de la clase de roca se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8
Valoración Q de Barton

CLASE DE ROCA	RANGO Q DE BARTON
Excepcionalmente Buena	400 – 1000
Extremadamente Buena	100 – 400
Muy Buena	40 – 100
Buena	10 – 40
Regular	4 – 10
Mala	1 – 4
Muy Mala	0.1 – 1
Extremadamente Mala	0.01 - 0.1
Excepcionalmente Mala	0.001 - 0.01

Nota. Barton N. (1988).

1.1.1.8 Relación de soporte de excavación – ESR.- La valoración del valor de ESR se detalla en la tabla 9, dependerá del tipo de excavación que ser realizará.

- Un valor de ESR bajo indica la necesidad de un alto nivel de seguridad, un valor de ESR alto indica un nivel más bajo de seguridad.
- Se recomienda utilizar ESR = 1.0 cuando Q ≤0.1 para los tipos de excavación B, C y D. la razón de ello es que los problemas de estabilidad pueden ser graves con valores Q tan bajos, tal vez con riesgo de derrumbe

ESR proporciona la "dimensión equivalente (DE)" en la siguiente manera:

$$\boldsymbol{DE = \frac{Altura\ de\ la\ Excavacion}{ESR}}$$

Se establece la longitud máxima sin soporte (SPAN):

$$\boldsymbol{SPAN = 2\ ESR\ Q^{0.4}}$$

Tabla 9
Valoración ESR

	TIPO DE EXCAVACION	ESR
A	Excavación temporal para minería	3 - 5
B	Excavación minera permanente, túneles de aducción de agua, túnel piloto,	1.6
C	Sala de almacenamiento, planta de tratamiento de aguas túnel de ferrocarril, túnel de acceso, chimeneas	1.3
D	Central hidroeléctrica, túneles importantes de camino o ferrocarril, cavernas de defensa civil, intersecciones	1.0
E	Central nuclear subterránea, estación de ferrocarril, fábricas	0.8

Nota. Barton, Lien, & Lunde. (1974).

La longitud L de anclaje de los pernos en roca se puede evaluar partir del ancho de la sección de excavación B y la relación de soporte de excavación ESR:

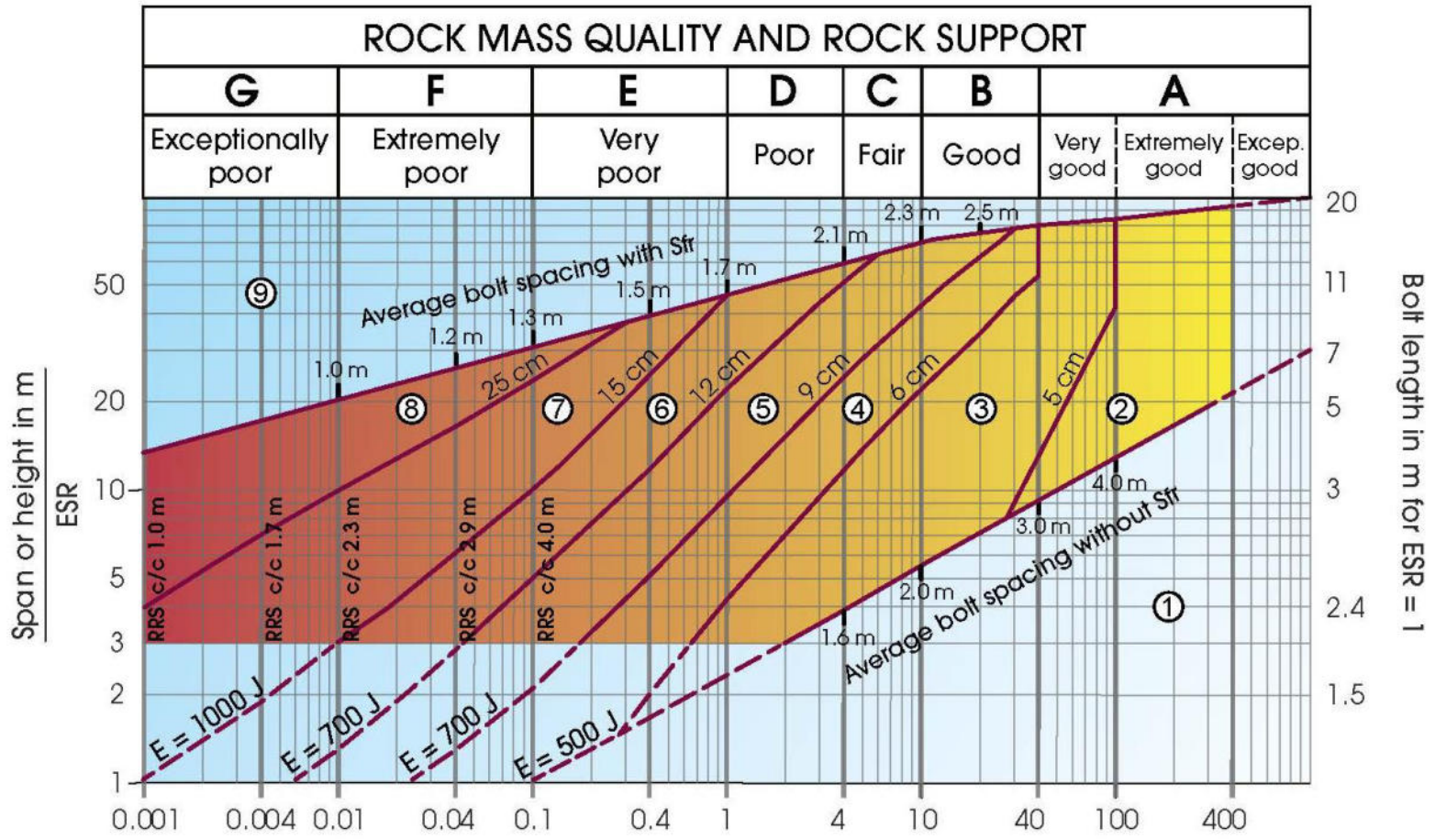
$$\boldsymbol{L = 2 + \frac{0.5B}{ESR}}$$

Según el grafico propuesto por Barton mostrado en la Figura 2, se subdividen de la siguiente manera

1. Sin soporte
2. Perno aislado
3. Sistema de pernos
4. Sistema de pernos con shotcrete proyectado sin fibra de 40-100 mm.
5. Shotcrete proyectado con fibras, 50-90 mm, y pernos.
6. Shotcrete proyectado con fibras, 90-120 mm, y pernos.
7. Shotcrete proyectado con fibras, 120-150 mm, y pernos.
8. Shotcrete proyectado con fibras, >150 mm, con cerchas reforzadas con shotcrete proyectado y pernos.
9. Revestimiento de concreto

Figura 2

Sostenimiento basado en el Índice de Q de Barton y Span/ESR



Nota. Abaco de Barton modificado, NIOSH (2014).

1.1.2 *Criterio de Rotura de Hoek y Brown (2002)*

Permite valorar la rotura de un macizo rocoso, mediante la estimación de esfuerzos que son determinados en un laboratorio calculando las resistencias triaxiales y resistencia a la compresión simple. Se utiliza para el cálculo de estados tensionales en túneles.

La siguiente formula es la última adaptación del criterio de rotura de Hoek & Brown, adiciona nuevos parámetros para la caracterización del macizo rocoso, su expresión es la siguiente:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + S\right)^a$$

Donde:

σ_1 = Tensión principal mayor de la muestra

σ_3 = Tensión principal menor de la muestra

σ_{ci} = Resistencia a la compresión simple (uniaxial)

m_b = Es la resistencia a la rotura del material

s, a = Constante que dependen de las características y propiedades del material, es la medida de disminución de la resistencia a la compresión simple (uniaxial) debido a su fracturación.

Asimismo, mb esta dado por:

$$m_b = m_i exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14\,D}\right)$$

Las constantes s y a de un macizo rocoso están dadas por las siguientes relaciones:

$$s = exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Donde:

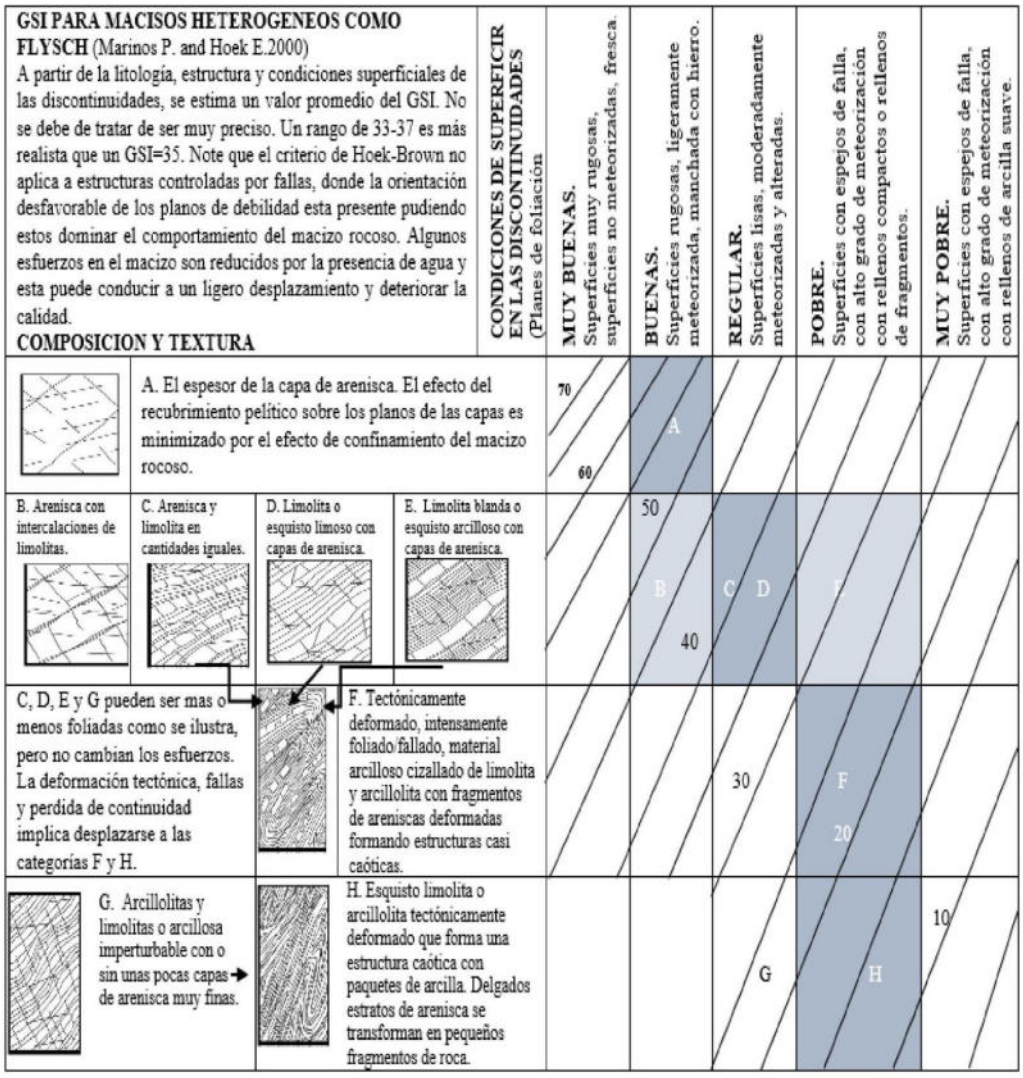
D = Es el factor de perturbación

1.1.3 *Índice de Resistencia Geológica - GSI (Hoek y Brown 1998)*

La determinación del GSI se hace a partir de la Figura 3 y la Figura 4 a las que se ingresa desde 2 puntos diferentes, uno referente al tamaño de bloques, composición y estructura; el otro ingreso referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales, es una relación empírica y no requiere de cálculos.

Figura 3

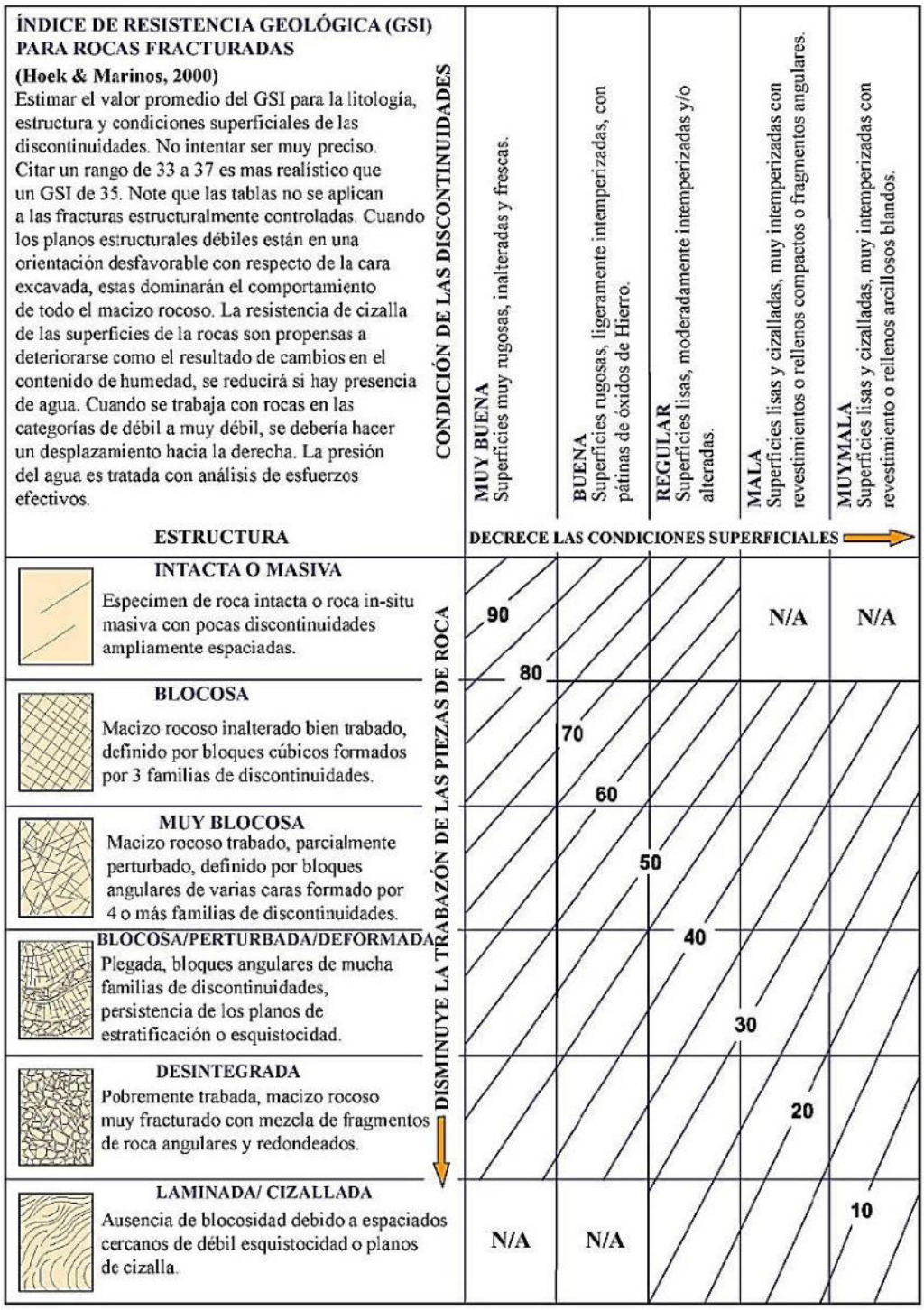
Evaluación de índice de resistencia geológicos en macizos rocosos heterogéneos



Nota. Fuente, Carta Hoek & Marinos. (2000).

Figura 4

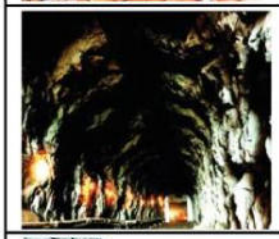
Evaluación de índice de resistencia geológicos en macizos rocosos fracturados



Nota. Fuente, Carta Hoek & Marinos. (2000).

La Figura 5 presenta la relación del parámetro D con el macizo rocoso y el tipo de excavación, este parámetro es empleado por Hoek con el objetivo de considerar los daños ocasionados al macizo por voladura

Figura 5
Estimación del grado de perturbación - factor D

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora TBM, con resultados de alteración minima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	**D=0**
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo circundante Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance. La alteración puede ser servera a menos que se coloquen una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la figura.	**D=0** **D=0.5** No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 metros en el macizo rocoso circundante.	**D=0.8**
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil y geotécnica dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografia. Sin embargo la alteracion de tensión resulta en alguna alteración.	**D=0.7** Good blasting **D=1.0** Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al resistir el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	**D=1.0** Production blasting **D=0.7** Mechanical excavation

Nota. Fuente: Hoek et al. (2002).

1.2 Descripción Túnel Salveani Capillune

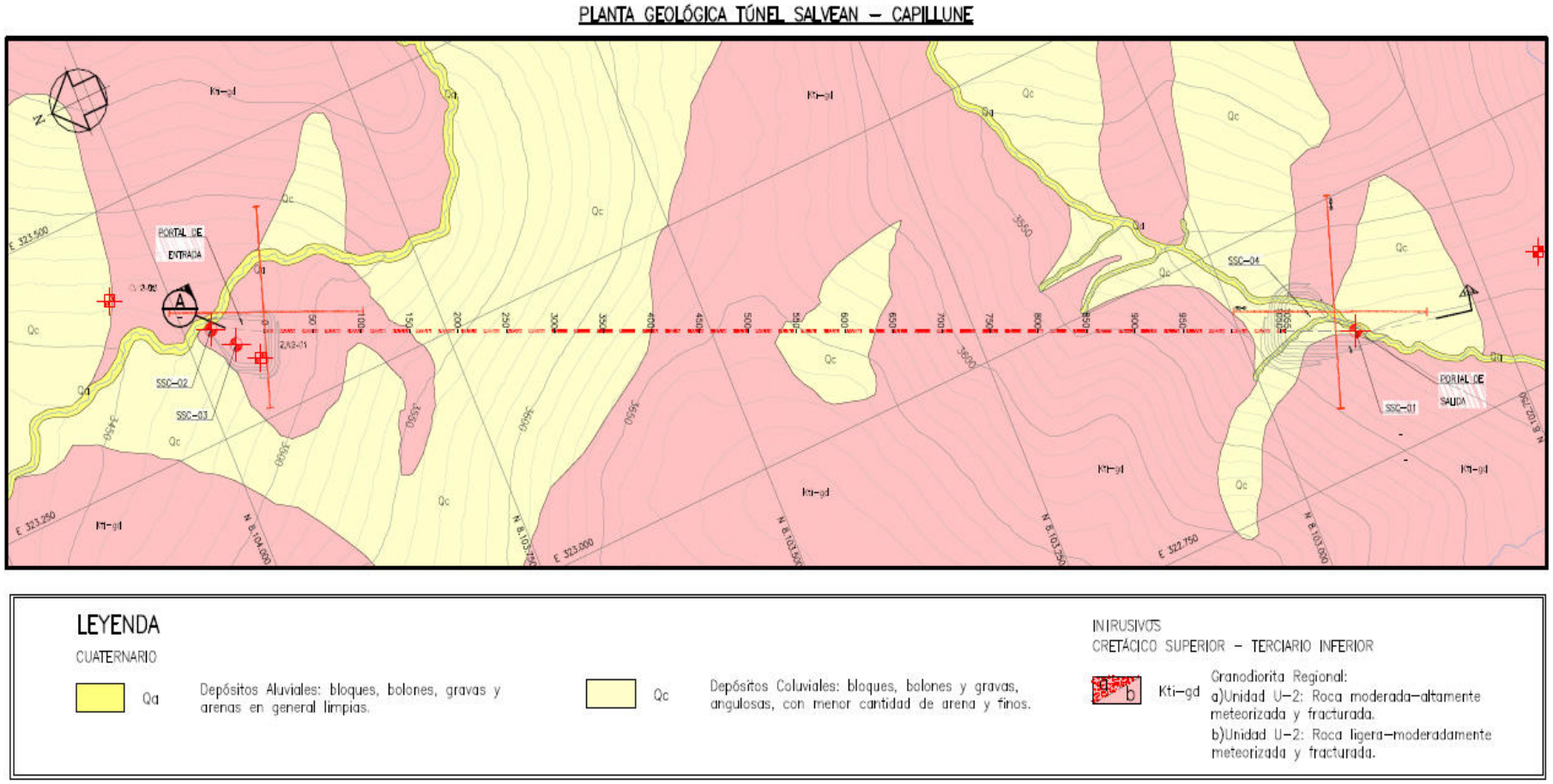
1.2.1 *Geología del Túnel Salveani – Capillune*

El túnel Salveani - Capillune, permite atravesar el cordón montañoso que separa los valles de la quebrada Salveani y quebrada Capillune, tiene una longitud de 1.100 m aproximadamente, y una pendiente longitudinal de 1,0%. El túnel se excavó principalmente en granodioritas moderadamente meteorizada y fracturadas. En la Figura 6 y Figura 7 se muestra una vista en planta y perfil de la geología del túnel. El nivel máximo de sobrecarga que se espera en el túnel corresponde a 205 m. La piezometría (Nivel Freático del túnel, se encuentra a unos 100 m debajo de la rasante del túnel y a mayor profundidad en túnel considerando su emplazamiento y la cota de las quebradas aledañas a los portales de acceso, por lo que no se espera riesgos ligados a la infiltración de aguas subterráneas (Figura 9).

Mediante sondajes geotécnicos subhorizontales ejecutados en cada portal del túnel: SSC-01, SSC-02, SSC-03, SSC-04 como se aprecia en el ANEXO C, se obtiene la descripción litológica - geológica que abarca el área del túnel Salveani - Capillune corresponde a la formación entre las eras del paleoceno, mesozoico y cenozoico Neógeno. Durante la era del Cenozoico y periodo cuaternario: Qa – "Depósitos Fluviales": bloques, bolones, gravas y arenas. Qt – "Depósitos Torrenciales": bloques, bolones y gravas inmersos en matriz arena – limosa, Qc – "Depósitos Coluviales": bloques, bolones y gravas angulosas con menor cantidad de arena y finos. Asimismo, en la era del mesozoico durante los periodos del cretáceo superior y terciario inferior: Kti – gd "Granodiorita Regional": roca de color gris claro completamente meteorizada en superficie y poco fracturada, Ts – vhu "Volcánico Huaylillas": tobas dacíticas y riolíticas de color blanco grisáceo a gris blanquecino. Kti – ra "Riolita Asana": lavas riolíticas de color gris a gris claro, duras, medianamente meteorizadas y competentes. Kti – sa "Serie Alta": lavas andesíticas, color gris oscuro, muy duras, competentes, meteorización limitada a pátina gris amarillento, fuertemente fracturadas. Kti – pq "Riolítica Porfírica Quellaveco": lavas riolíticas color gris claro rosáceo a pardo claro, muy duras y competentes, leve a medianamente meteorizadas, intensamente fracturadas en superficie.

Figura 6

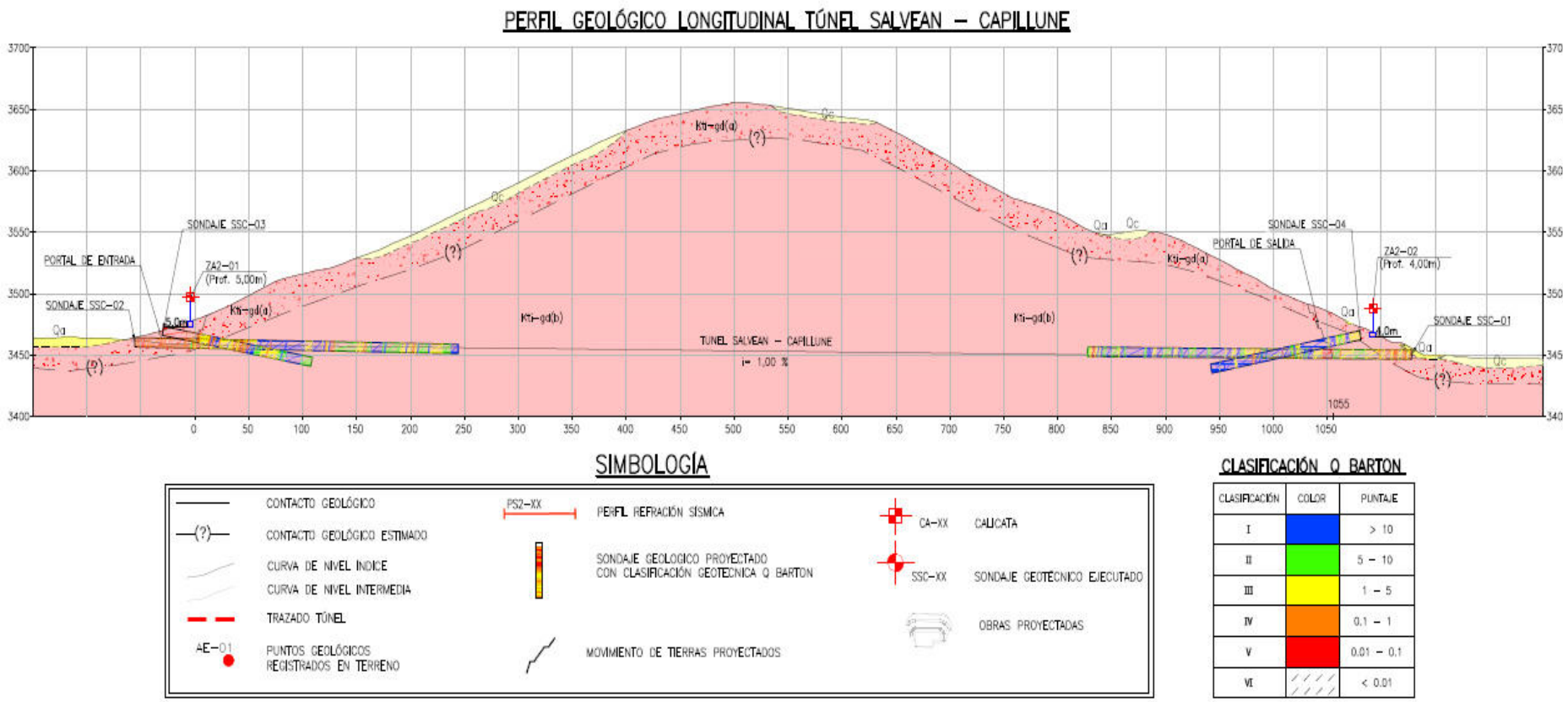
Vista planta geología túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2015).

Figura 7

Vista perfil longitudinal de la geología túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2015).

1.2.2 *Ubicación Túnel Salveani – Capillune*

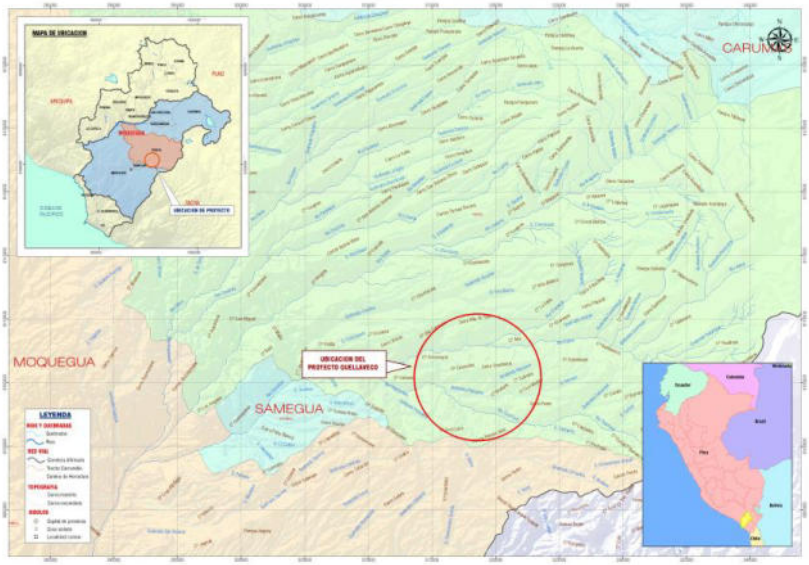
El Túnel Salveani – Capillune está ubicado entre las quebradas Salveani y Capillune forma parte del sistema de disposición de relaves del Proyecto Minero Quellaveco, ubicado en el distrito de Torata, Provincia Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua, a una elevación entre los 3500 a 4000 m.s.n.m como se muestra en la Figura 8. El portal de entrada se ubica en la ladera sur de la quebrada Salveani y el portal de salida está situado en la ladera norte de una quebrada paralela a la Quebrada Capillune. Las coordenadas UTM (topografía levantada por Global Mapping en un sistema de coordenadas locales) y las cotas de los portales de entrada y de salida, se indican en la Tabla 10.

Tabla 10
Ubicaciones coordenadas topográficas túnel Salveani - Capillune

DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA	PK
Portal Entrada	322887.53	8102925.06	3447.29	0+000
Portal salida	323325.92	8103923.01	3458.19	1+ 090

Nota. Oficina técnica área 4000 Global Mapping (2022).

Figura 8
Ubicación del túnel Salveani Capillune, Proyecto Quellaveco



Nota. Elaboración propia ArcGIS (2022).

1.2.3 *Accesibilidad*

El acceso al Proyecto Quellaveco se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Moquegua como se muestra en la siguiente tabla 11.

Tabla 11
Accesibilidad Proyecto Quellaveco

INICIO	LLEGADA	TIPO DE VIA	DISTANCIA
Lima	Moquegua	Asfaltada	1099 km
Moquegua	Torata	Asfaltada	37 km
Torata	Quellaveco	Asfaltada - Trocha	18 km
Moquegua	Quellaveco	Asfaltada - Trocha	55 km

Nota. Elaboración propia (2022).

1.2.4 *Parámetros Túnel Salveani – Capillune*

El túnel se excavo en la litología granodiorita regional, principalmente en rocas de regular a mala calidad geomecánica, la excavación se realizó principalmente en roca III y IV. Así mismo el macizo rocoso se presenta muy meteorizado en superficie, mejorando su calidad geotécnica en profundidad.

Para proceder a la sectorización geomecánica o clase de roca dentro del túnel se ha empleado el sistema del índice "Q" de Barton simplificado (2002). Se han definido en rangos de calidad de macizo rocoso en términos de dicha clasificación, y se presenta con su equivalente en términos del Índice de Resistencia Geológica (GSI), los cuales se muestran en la tabla 12 y tabla 13 correspondiente.

Para proceder a la caracterización geológica, se tuvo al menos cinco parámetros que definieron las condiciones y características del macizo rocoso tales como: aguas subterráneas (nula presencia de aguas subterráneas ver Figura 9), grado de alteración (ver tabla 14), grado de fracturamiento (ver tabla 15), grado de resistencia (ver tabla 16), litología (ver Figura 6),

Tabla 12

Clase de roca según Q de Barton y su equivalente en términos del Índice de Resistencia Geológica (GSI)

CLASE DE ROCA	Q DE BARTON	GSI
Muy Buena, I	Q > 10	GSI > 80
Buena, II	5 > Q < 10	60 < GSI < 80
Regular, III	1 < Q < 5	40 < GSI < 60
Mala, IV	0.1 < Q < 1	30 < GSI < 40
Muy Mala, V	0.01 < Q < 0.1	20 < GSI < 30
Excepcionalmente Mala, VI	Q < 0.01	GSI < 20

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 13

Parámetros geomecánicos y Geotécnicos

Parámetros Geomecánicos - Geotécnicos			
parámetros Geomecánicos	**Q Barton**	**Jn**	Numero de sistema de fisuras
		Ja	Numero de alteración de las fisuras
		Jw	Factor de reducción por agua en fisuras
		SRF	Factor de reducción por esfuerzos
		RQD	índice de calidad de roca
	GSI	**RMS**	Para macizo rocoso heterogéneo
		JC	Para roca fracturada
		D	Factor de Perturbación
parámetros Geotécnicos	**H1, H2, H3, H4, H5**		Agua Subterránea
	F1, F2, F3, F4, F5		Grado de Fracturación
	W1, W2, W3, W4, W5		Grado de alteración
	R1, R2, R3, R4, R5		Grado de Resistencia
	Kti – gd		litología

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 14

Parámetro geotécnico, Grado de alteración

GRADO DE ALTERACION	
W1	Fresca o Sana
W2	Levemente Meteorizada
W3	Moderadamente Meteorizada
W4	Altamente Meteorizada
W5	Completamente Meteorizada
W6	Suelo Residual

Nota. Área de Ingeniería del Proyecto (2019)

Tabla 15

Parámetro geotécnico, Grado de Fracturamiento

GRADO DE FRACTURAMIENTO	
F1	Fresca o Sana
F2	Levemente Meteorizada
F3	Moderadamente Meteorizada
F4	Altamente Meteorizada
F5	Completamente Meteorizada

Nota. Área de Ingeniería del Proyecto (2019).

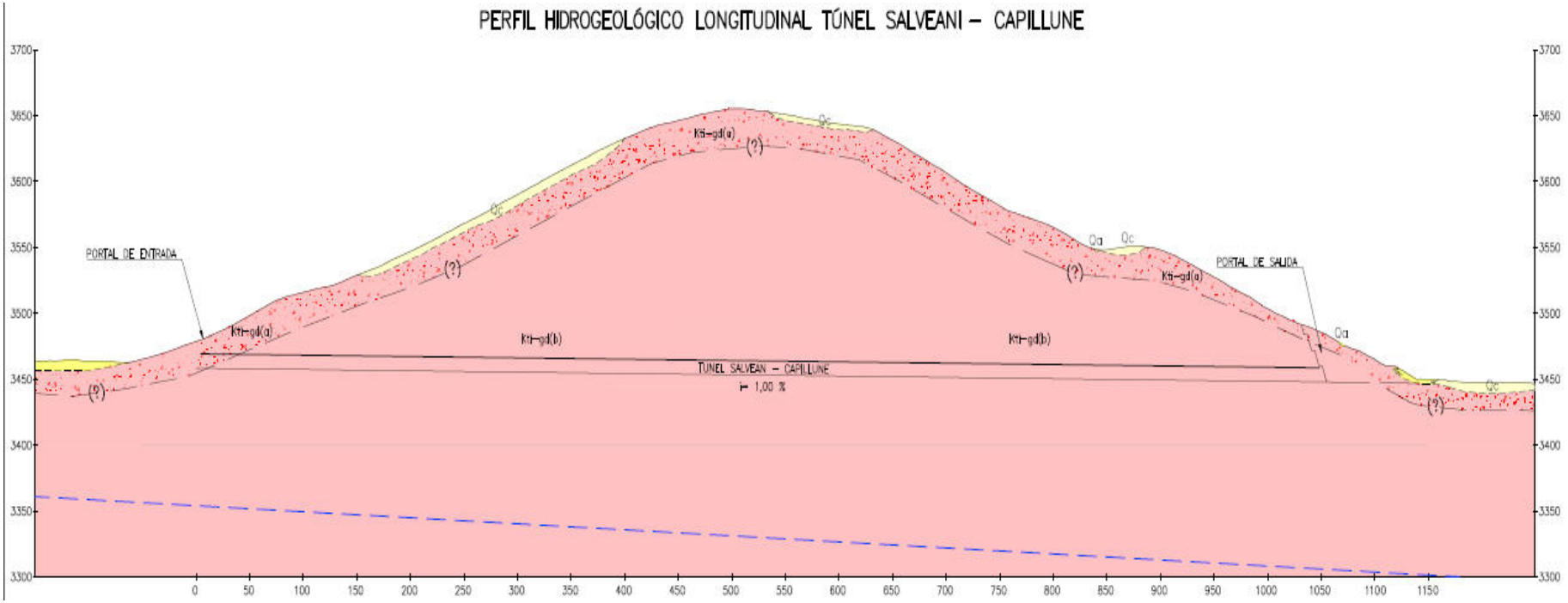
Tabla 16

Parámetro Geotécnico, grado de resistencia

GRADO DE RESISTENCIA		
R6	> 250	Mpa
R5	100 - 250	Mpa
R4	50 - 100	Mpa
R3	25 - 100	Mpa
R2	5 - 25	Mpa
R1	1 - 5	Mpa
R0	0.25 - 1	Mpa

Nota. Área de Ingeniería del Proyecto (2019).

Figura 9
Perfil Hidrogeológico del túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2015).

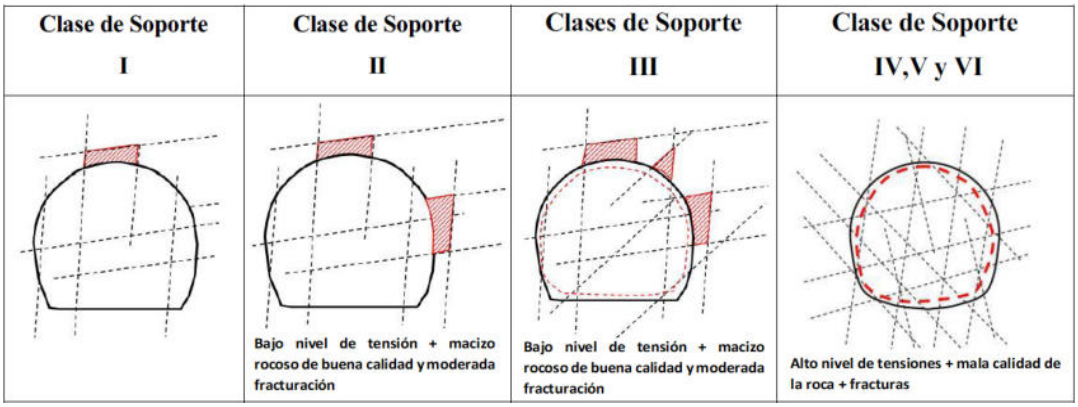
1.3 Monitoreo geomecánico túnel de relaves Salveani – Capillune

La metodología para establecer el soporte definitivo en obras subterráneas se basa en el clásico "Método Observacional" en el cual consiste en determinar el tipo de roca y por ende su sostenimiento a través del método de "Q" de Barton realizado in situ según las características del macizo rocoso (Anexo A), Para medición del comportamiento de las deformaciones plásticas del túnel y del sostenimiento se empleó 4 estaciones de monitoreo geotécnico a lo largo del túnel con la siguiente instrumentación: celdas de carga, celdas de presión, extensómetro, convergencia.

La excavación de túnel Salveani Capillune tiene una longitud final excavada de 1085.73 m en el Anexo A - Resumen de evaluaciones geomecánicas, se detalla el avance por progresivas, los parámetros y valor "Q" Barton definidos, el tipo de roca y la litología determinada en cada avance para ambos frentes de trabajo (entrada y salida). El método interactivo (denominación para el proyecto del enfoque observacional) consiste en evaluar la condición de estabilidad de un sector del túnel en base al comportamiento geomecánico de la excavación. El comportamiento geomecánico se evalúa monitoreando las deformaciones del túnel durante la ejecución de las obras (ver Figura10).

Figura 10

Comportamientos geomecánicos asociado a las calidades de rocas en el túnel.



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

El proceso de evaluación geomecánica y determinación del Q de Barton es realizada por un especialista, verificada sobre las secciones topográficas generadas a cada metro de avance. Se relacionan directamente a las características litológicas y estructurales del macizo rocoso, tales como presencia de fallas, sistema de diaclasas, tipo de relleno, alteración, presencia de agua, entre otras, que contribuyan a la formación de cuñas por intersección de familia de diaclasas, rugosidad y varias condiciones. En la Tabla 17 y Tabla 18 se muestra el avance total por tipo de roca respectivamente.

Tabla 17

Avance total por tipo de roca Túnel entrada Salveani Capillune.

CLASE DE ROCA	PUNTAJE "Q"	Tipo de Roca	Avance (m)	Avance (%)
MUY BUENA	> 10	**I**	223.2	20.56%
BUENA	5 < Q < 10	**II**	233.3	21.49%
REGULAR	1 < Q < 5	**III**	224.9	20.71%
MALA	0.1 < Q < 1	**IV**	104.79	9.65%
MUY MALA	0.01 < Q < 0.1	**V**	10.3	0.95%
		V - Portal	10	0.92%
		TOTAL	806.49	74.28%

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 18

Avance total por tipo de roca Túnel salida Salveani Capillune.

CLASE DE ROCA	PUNTAJE "Q"	Tipo de Roca	Avance (m)	Avance (%)
MUY BUENA	> 10	**I**	12.5	1.15%
BUENA	5 < Q < 10	**II**	57.6	5.31%
REGULAR	1 < Q < 5	**III**	163.2	15.03%
MALA	0.1 < Q < 1	**IV**	34.5	3.18%
MUY MALA	0.01 < Q < 0.1	**V - Portal**	11.44	1.05%
		TOTAL	279.24	25.72%

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.4 Monitoreo geotécnico túnel de relaves Salveani – Capillune

El monitoreo geotécnico del túnel (Anexo B), se efectuó sobre la base de medición de convergencias y del comportamiento global del terreno y de la fortificación. En función de los resultados del monitoreo geotécnico (evaluando las deformaciones y las tazas de incremento) y de la inspección del sostenimiento (inspección visual de grietas, seguimiento de fracturas).

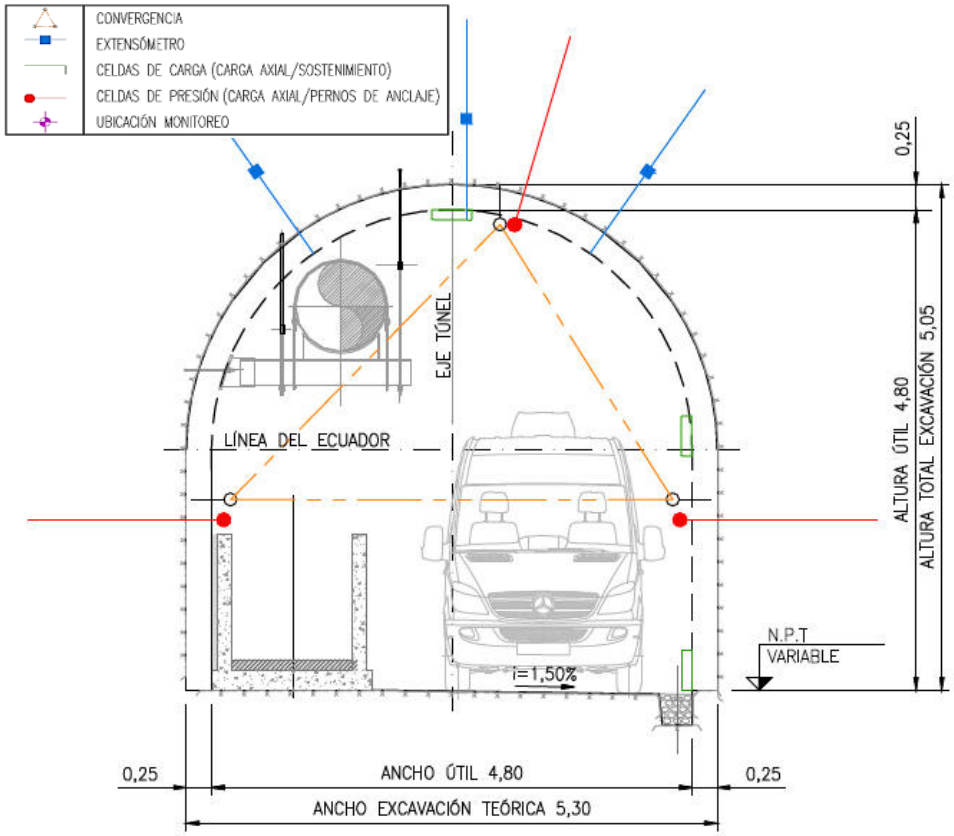
El monitoreo geotécnico de deformación tiene el propósito de determinar el comportamiento tanto del macizo rocoso como la acción de la fortificación instala frente a las solicitaciones generadas por las deformaciones inducidas en el macizo rocoso por la excavación. Las medidas de las deformaciones de la sección del Túnel permiten:

- El monitoreo de las deformaciones es un factor clave para la aplicación del método de diseño interactivo y un mecanismo esencial del control de riesgos.
- Monitorear y verificar la efectividad y estabilidad de la fortificación después de su instalación.
- Analizar e interpretar el comportamiento del terreno y de la sección excavada.
- Anticipar a riesgos de inestabilidad y facilitar la ejecución de una clase de fortificación adecuada o de reforzar la ya instalada en el sitio.
- Verificar las hipótesis de comportamiento estructural.
- Verificar las hipótesis geotécnicas de diseño.
- Verificar y validar las hipótesis de comportamiento del terreno, especialmente en unidades donde
- se espera deformaciones plásticas.

Para el monitoreo se consideró cuatro elementos como son: los pernos de convergencia, celdas de carga, celdas de presión, y cintas extensómetros los cuales se aprecian en la Figura 11.

Figura 11

Detalle de elementos de monitoreo dentro de túnel



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

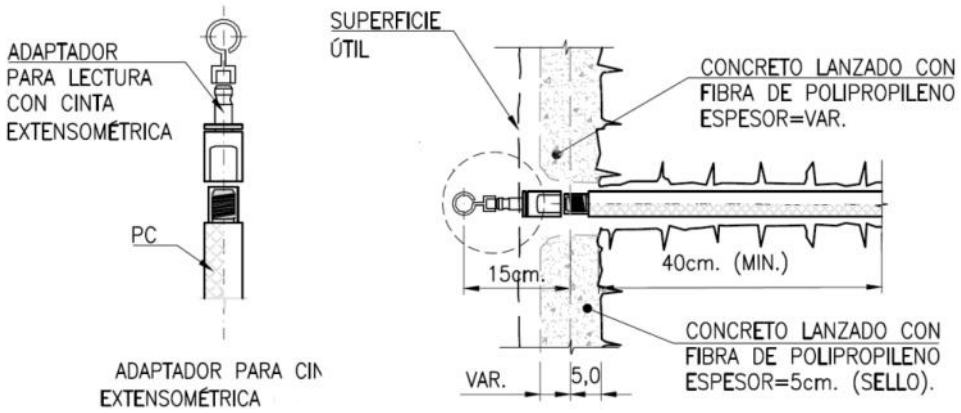
1.4.1 *Monitoreo de convergencia*

Proceso de medición de las deformaciones radial del túnel, expresada en términos de la convergencia diametral y el asentamiento en la clave, que permite evaluar la estabilidad de la sección en términos de deformaciones, comparando los valores medidos, con las deformaciones obtenidas del modelamiento geotécnico. las deformaciones del túnel se realizarán mediante estaciones de convergencia, las cuales estarán conformadas por pernos D= 22 mm, del largo requerido para un anclaje mínimo de 40 cm en la roca. Estos pernos tendrán un sistema de fijación que permita montar y desmontar una huincha extensométrica para las mediciones de control, de tal manera que se obtenga una precisión de +- 1 mm. Se considera instalar 3 pernos por sección.

Para las medidas del nivel de deformaciones se ejecutará básicamente utilizando métodos mecánicos (Cinta Extensométrica). El método mecánico, a ser ejecutado a través de una cinta extensométrica, la cual permite medir las variaciones de distancia entre dos puntos fijos, en una misma sección trasversal del túnel.

Los puntos de medición colocados en el perímetro de la excavación pueden variar de 3 a 5 puntos. Siendo en general, considerando un punto en el zenit o punto más alto de la bóveda del túnel, y 2 a 4 puntos instalados en los hastiales o cajas del túnel. El método a utilizar en la medición de convergencias, por considerarlo un método más práctico y conocido en la actual construcción de túneles del proyecto, será del tipo mecánico, es decir utilizando cinta extensométrica, considerando un total de 5 puntos de medición en el perímetro de la excavación, para distintas clases de roca. El detalle de los pernos de convergencia se detalla en la figura 12.

Figura 12
Detalles de pernos de convergencia para medir la deformación



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.4.2 *Estaciones de Monitoreo*

A continuación, en la Tabla 19 se reportan las estaciones propuestas para el monitoreo durante la operación de los túneles de relaves contempla la medición de Convergencias Sistemáticas, Celdas de Presión y Cargas en los revestimientos, extensómetros, así mismo detallar que el uso de extensómetros y celdas de carga solo se implementan en zonas gobernadas por deformaciones plásticas del macizo rocoso (clase de roca IV, V, VI)

Tabla 19

Estaciones de monitoreo en el Túnel Salveani Capillune

N Estaciones	Ubicación	Estándar de Instrumentación	Condiciones
M1	0 + 005	Convergencias Celdas de Presión	Portal de Entrada en zona de regular calidad y baja cobertura
M2	0 + 350	Convergencias Celdas de Presión Celdas de Carga Extensómetros	Eventual, en función de la condición in situ del macizo rocoso.
M3	0 + 750	Convergencias Celdas de Presión Celdas de Carga Extensómetros	Eventual, en función de la condición in situ del macizo rocoso.
M4	1 + 085	Convergencias Celdas de Presión	Portal de Salida en zona de regular calidad y baja cobertura

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.4.3 *Deformación visible del sostenimiento*

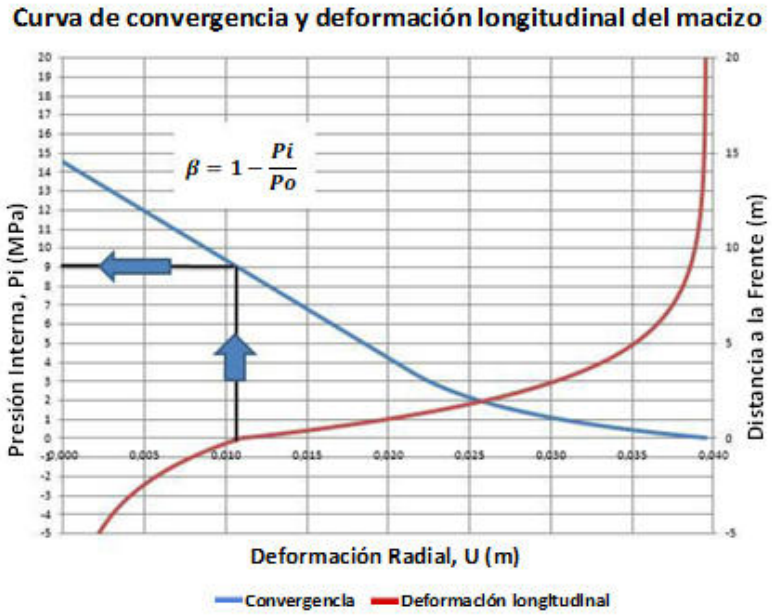
Las deformaciones visibles corresponden a las deformaciones radiales, que se producen desde el frente hasta la distancia en la cual se produce el equilibrio entre el macizo rocoso y el soporte. Vale decir, aplicando la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Def\ visible = Def\ total\ (x\ equlibrio) - Def\ en\ el\ frente\ (x = 0)}$$

De forma esquemática en la siguiente Figura 13, se muestra la curva de convergencia del macizo rocoso (color azul) y junto a la curva de deformación longitudinal del macizo rocoso (color rojo).

Como puede inferirse de la gráfica, en el frente (X=0 m), ya existe una deformación radial asociada a un valor de presión interna (Pi) menor a la condición litoestática (Po). El cociente de ambos valores de presión interna, permite estimar la taza de desconfinamiento (β) del macizo rocoso en la frente del túnel.

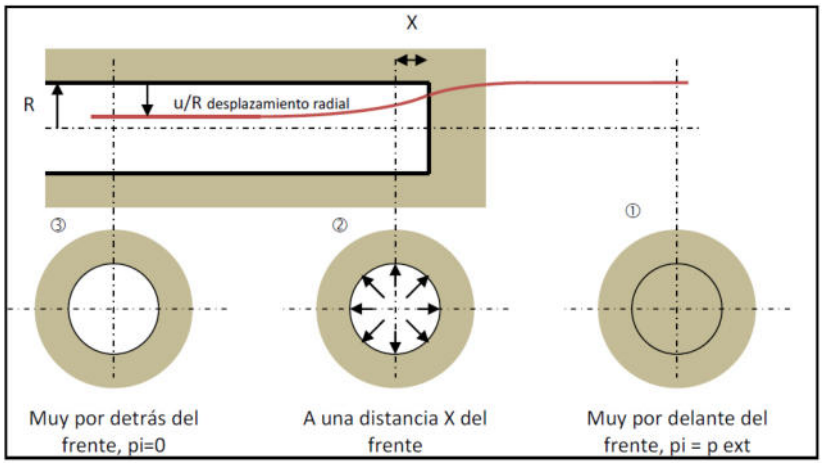
Figura 13
Curva de Convergencia y Deformación longitudinal



Nota. curva de convergencia está en función al comportamiento de la roca y la deformación en función del sostenimiento (2019).

En la Figura 14 se muestra en forma esquemática la curva de deformación longitudinal y el sector de la curva que puede ser estimada a través de mediciones de convergencias (deformaciones visibles). En esta, se visualiza el tramo de la curva que no puede ser medida a través de mediciones de convergencias.

Figura 14
Deformación visible y medible en sostenimiento por medio de estaciones de convergencia

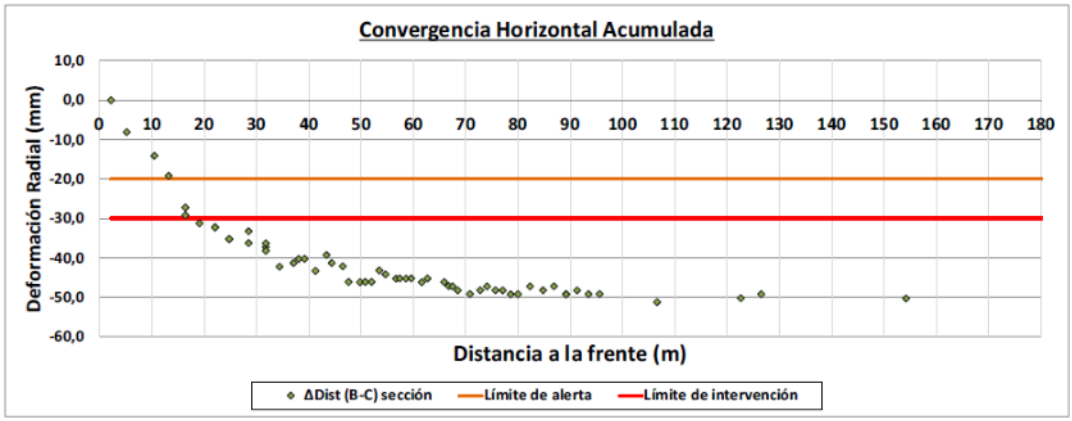


Nota. Deformación radial presentes en el frente (2019).

Los gráficos con las deformaciones (Convergencias y Asentamiento en la Clave) y la tasa o velocidad de incremento de las deformaciones, que incluyan los límites de alerta e intervención de la clase de soporte monitoreada. Adicionalmente, se deben graficar el incremento de convergencias y las tazas de incremento. En las siguientes Figura 15 y Figura 16, se expone un ejemplo de una sección instrumentada.

Figura 15

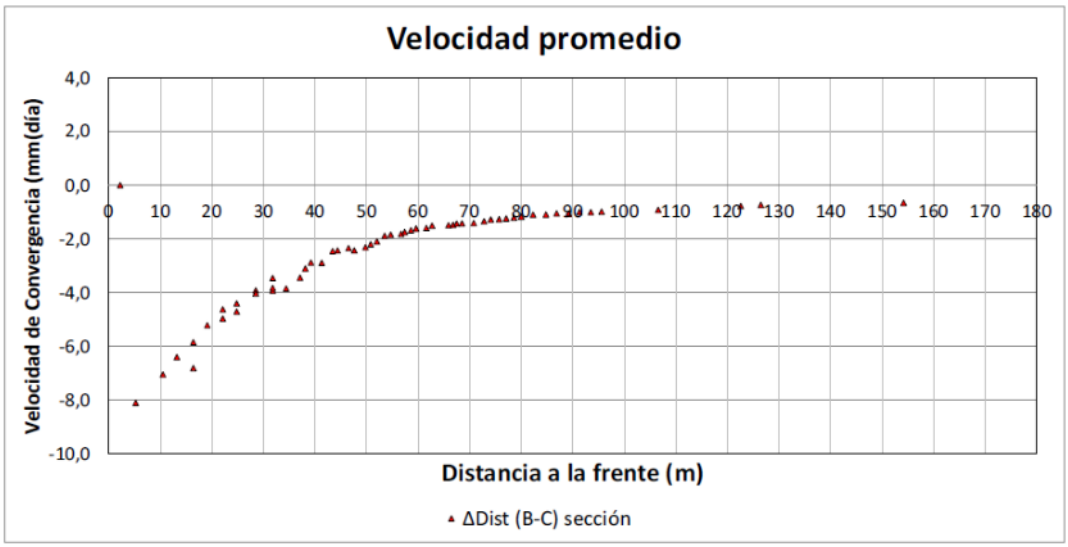
Ejemplo de evolución de convergencias diametral



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Figura 16

Ejemplo de evolución velocidades de convergencia respecto de la distancia al frente del túnel



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.4.4 *Límites de alerta y de intervención*

Como resultado del análisis de deformaciones realizado para cada clase de roca, se definen las deformaciones "límite de alerta" y "límite de intervención", calculados como un porcentaje de la deformación máximo visible, tanto vertical como horizontal, de acuerdo al siguiente criterio:

- Límite de alerta = 80% de la deformación visible
- Límite de intervención = 120% de la deformación visible

Donde, la deformación visible se define como:

$$\boldsymbol{Def\ visible = Def\ total\ (x\ equlibrio) - Def\ en\ el\ frente\ (x = 0)}$$

Los valores estimados de los límites de alerta y de intervención para evaluar la estabilidad de macizo rocoso en el túnel Salveani Capillune, se muestran resumidas en las Tabla 20.

Tabla 20
Límites Máximos de Alerta y de Intervención

	DEFORMCION VERTICAL EN LA CLAVE		**CONVERGENCIA HORIZONTAL**	
Tipo roca	Límite de alerta (mm)	Límite de intervención (mm)	Límite de alerta (mm)	Límite de intervención (mm)
I	-	-	-	-
II	8	12	25	37
III	8	12	25	37
IV	8	12	25	37
V	10	14	43	65
VI	12	19	50	76

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Para las clases de soporte II y III, se han definido los límites de alerta e intervención de la clase IV, dado que los análisis ejecutados para establecer el diseño detallado del sostenimiento no permiten a priori definir las deformaciones esperadas en el sostenimiento.

Cabe señalar que el comportamiento geomecánico de estas clases de soporte (II y III) está gobernado por la generación de bloques y cuñas de rocas, las cuales deberían ser reforzados (principalmente con la acción de los pernos de anclajes). En la siguiente Tabla 21, se detalla el sistema de alerta de convergencias (tipo semáforo) adaptado a los principios de diseño y monitoreo geotécnicos.

Tabla 21

Sistema de alerta tipo semáforo – túnel Salveani Capillune

COLOR ALERTA	DEFORMACION ACUMULADA	ACCIONES A TOMAR
VERDE	Menor al límite de alerta, declarado en Tabla 20, Para cada clase soporte	Ninguna seguir programa de monitoreo
NARANJA	Entre el límite de alerta e intervención, declarado en Tabla 20, Para cada clase soporte	• Aumento de la vigilancia (incremento en el número de mediciones en un día). • Inspección de la fortificación en el sector en el que las deformaciones han alcanzado el límite. • Aumento de la frecuencia de las medidas a 2 veces diarias y con mayor frecuencia si fuera necesario
ROJO	Mayor al límite de intervención, declarado en Tabla 20, Para cada clase de soporte.	• Aumentar las frecuencias de las medidas. • Instalación de la fortificación completa del frente de excavación y del último tramo excavado. • Definición y aplicación de medidas de refuerzo de la fortificación en la sección afectada y en las secciones en curso de excavación. • Proceder en forma inmediata a un análisis completo de las hipótesis de cálculos, de la memoria de cálculo, de los parámetros geomecánicos registrados, del seguimiento calidad (espesores, ensayos de aptitud), etc. Con el objetivo de revisar y si necesario ajustar la clase de sostenimiento analizada.

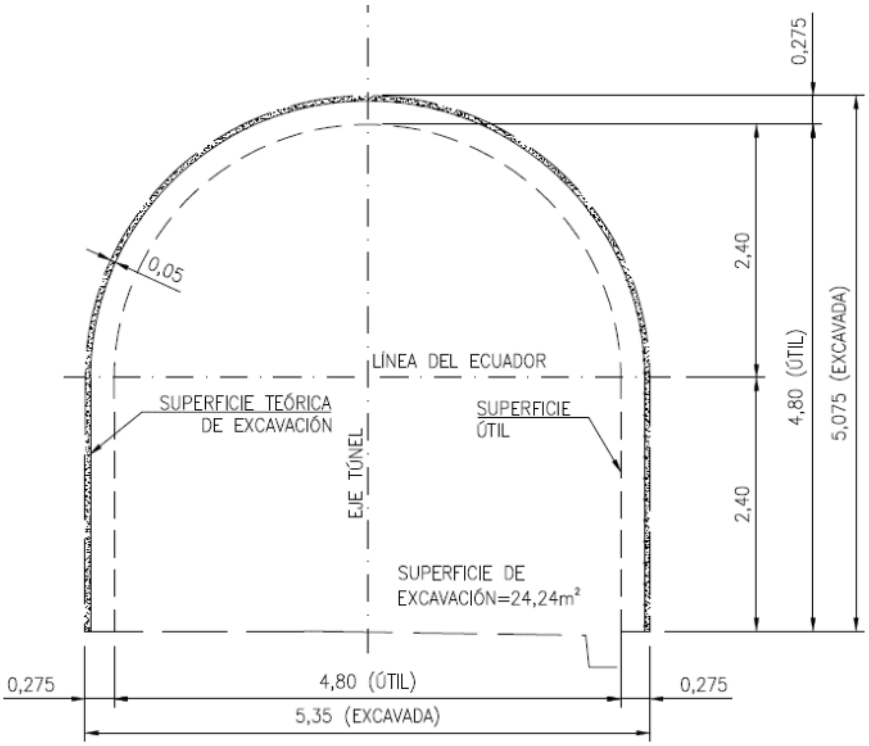
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.5 Sección Transversal del Túnel Salveani – Quellaveco

La sección transversal excavada del túnel se determina según el tipo de roca determinado por el índice de Q de Barton y parámetros geomecánicos y varía en función de la calidad del macizo rocoso, el rango de la calidad de roca para roca clase I: Q > 10, para clase II: 5 < Q 10, para clase III: 1 < Q < 5. La sección que se muestra en la Figura 17, equivale a una superficie para excavación de roca clase I, II, III de 24,24 m² y una sección útil de 4.8m x 4.8m,

Figura 17

Sección transversal para rocas I, II, III túnel Salveani Capillune

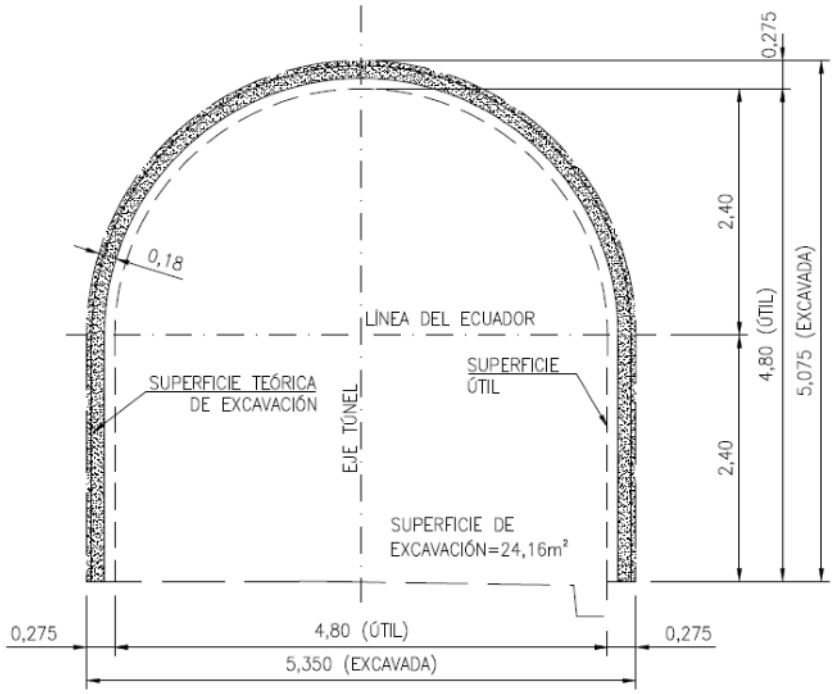


Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

El rango de calidad del macizo rocoso varia para roca clase IV: 0.1 < Q <1, clase V: 0.01 < Q < 0.1, clase VI: Q < 0.01. La sección transversal excavada del túnel se muestra en la Figura 18, equivale a una superficie para excavación de roca clase IV, V, VI de 24,16 m² y una sección útil de 4.8m x 4.8m.

Figura 18

Sección transversal para rocas IV, V, VI túnel Salveani Capillune

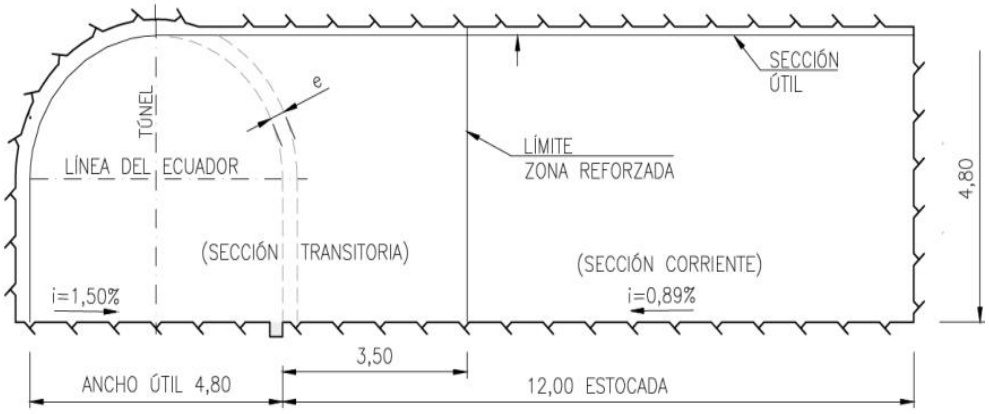


Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

La sección transversal excavada para las 4 estocadas del túnel, se muestra en la Figura 19, equivale a una superficie para excavación de roca clase I, II, III o IV y una sección útil de 4.8m x 4.8m y una longitud de 12m.

Figura 19

Sección longitudinal de estocada túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6 Tipos de sostenimiento Túnel Salveani - Capillune

El objetivo del sostenimiento es de estabilizar la roca recién expuesta y dar condiciones de seguridad a las personas, maquinaria y los trabajos que se ejecutan en este sector final del túnel, ya sea instalación del soporte y fortificación definitiva, actividades de retiro de desmonte del avance, carguío de explosivos o cualquier otra actividad que se desempeñe en la frente en desarrollo.

Se considera como sostenimiento definitivo a los elementos empleados e instalados de forma permanente y no removibles con el fin de estabilizar del macizo rocoso a largo plazo, así mismo es determinado conforme a los criterios y bases del proyecto para dar estabilidad permanente a la obra durante toda la etapa de operación y vida de la mina, para determinar el soporte definitivo se toma en consideración la base de las características, propiedades geotécnicas y calidad geomecánica definido para el macizo rocoso en el tramo de túnel asimismo el sostenimiento se realizara según el avance progresivo de la excavación.

Los elementos de sostenimiento y/o fortificación considerados por el proyecto, para dar seguridad en las excavaciones subterráneas y excavaciones abiertas (portal de entrada y salida), son los indicados en la siguiente lista:

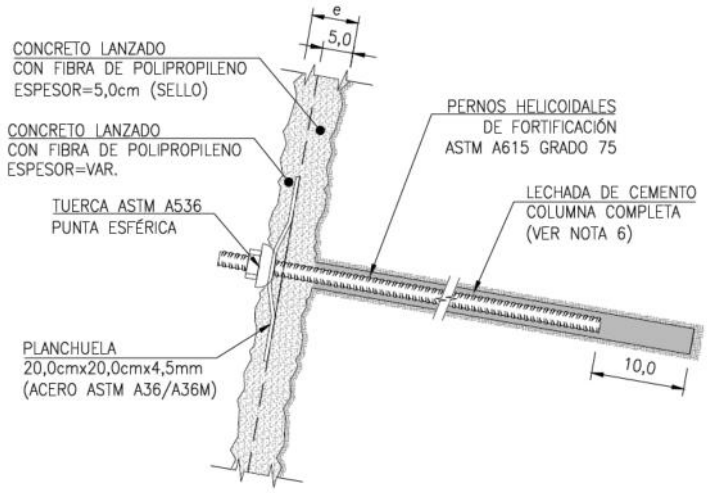
- Pernos cementados con mortero (pasta de cemento) o resina
- Malla de acero tejida
- Malla de acero electrosoldada
- Platinas de acero
- Concreto lanzado con y sin fibra (Shotcrete)
- Marcos de acero reticulados
- Marcos con perfil de acero
- Pernos de fibra
- Pernos paraguas (autoperforantes o micropilotes)
- Perno Anclaje de Combinación.

1.6.1 *Barra de Acero o Pernos Helicoidal*

El perno de fortificación o elemento a cementar consiste en una barra de acero laminada en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso, Grado 75, de diámetro y longitud según se especifique para cada tipo de roca y cumpla con la Norma ASTM A615. Las barras helicoidales que sean cementadas, ya sea con pasta de cemento (grouting) o resina, deberán quedar con un máximo de 15 cm sobresalientes de la superficie de roca, a una distancia de 10 cm del fondo de la perforación, y correctamente centrados, de manera de asegurar una cobertura homogénea de grouting alrededor de la barra tal como se muestra en la Figura 20. Además, deberá quedar provista de una tuerca de fijación de base esférica de fundición nodular de calidad ASTM A536 y una placa de sujeción de calidad ASTM A36, ambos elementos estarán acorde al diámetro de la barra helicoidal. Para que el perno cumpla con la función de refuerzo y soporte, se deben observar las siguientes indicaciones:

- La perforación deberá será perpendicular a la superficie de la excavación.
- Los pernos se instalarán con temperatura ambiente superior a 5 ºC.
- La longitud de perforación y la penetración del perno deberá considerar que la longitud exterior libre del perno debe ser de 15 cm.

Figura 20
Detalles perno helicoidal ASTM A515



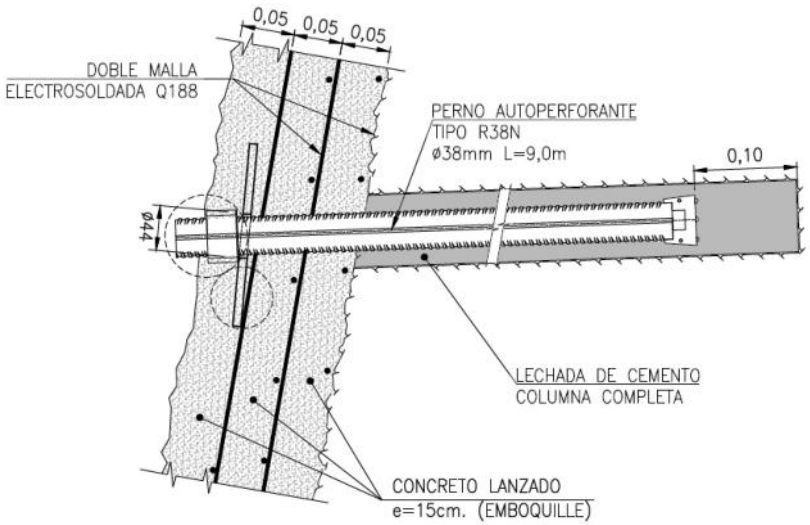
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.2 *Pernos Autoperforantes*

Los pernos autoperforantes inyectados son de aplicación en macizo rocoso alterado o muy meteorizado y en material tipo suelo, vale decir, en situaciones en las que la instalación de pernos lechados cementados normales es dificultosa por colapso de la perforación. Los pernos de inyección autoperforantes (tipo R32N y R38N DSI) se muestra en la Figura 21, se instalan mediante máquina perforadora, siendo el mismo perno la barra de perforación y quedando instalado, una vez completada la longitud deseada, en la roca. La broca queda perdida dentro de la perforación.

La inyección del perno se deberá efectuar directamente a través de la barra hueca del perno, mediante suspensión de lechada de cemento, la que ingresa al espacio anular entre perno y roca o suelo a través de las perforaciones previstas para este efecto en el perno. Se requiere que se efectúe la operación de inyección simultáneamente con la perforación del perno, vale decir, durante la rotación del mismo.

Figura 21
Detalle perno autoperforante tipo R38N



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

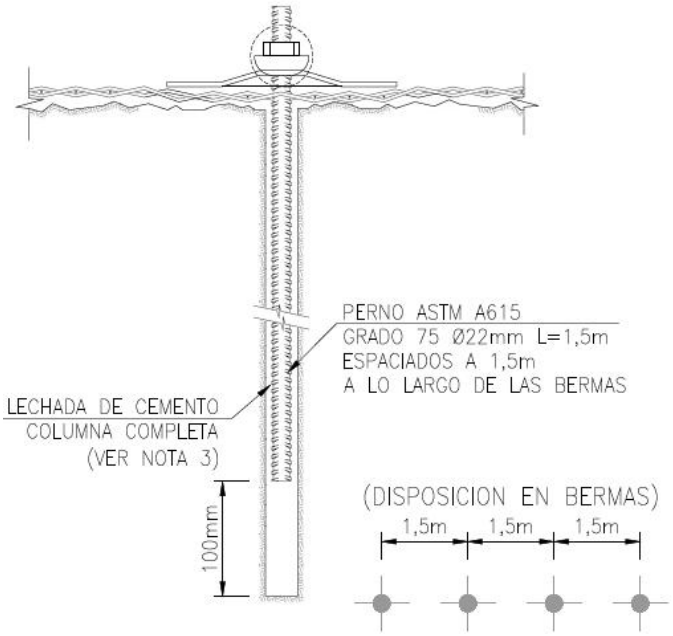
1.6.3 *Barras cimentadas*

El anclaje es continuo en todo el largo de la perforación y consiste en una inyección con mortero de cemento (tipo lechada), puesto en la perforación antes de instalar el perno. En la preparación de las lechadas de cemento, deberá usarse cemento Portland TIPO 1 que cumple con la norma ACI 301 y agua potable. Normalmente la relación agua: cemento deberá estar en un rango de 0,30 a 0,35. La lechada o mortero de cemento a emplear en los anclajes deberá ser de fragüe rápido y de alta resistencia, que sea suficientemente plástico para ser inyectado y suficientemente consistente (tixotrópico) para que no escurra de la perforación, deberá tener una dosificación que le permita asegurar las siguientes resistencias:

- Resistencia a compresión de mortero superior a 300 Kg/cm2 a los 7 días.
- La pasta de cemento para cementar anclajes deberá tener una razón Agua/Cemento A/C ≤ 0,35.

Además, deberá tener una viscosidad que le permita ser inyectada, para lo cual se podrá utilizar un aditivo plastificante y de aditivos expansores. En la Figura 22 se muestra el detalle de una barra de acero.

Figura 22
Detalle Barra cimentada - Perno helicoidal

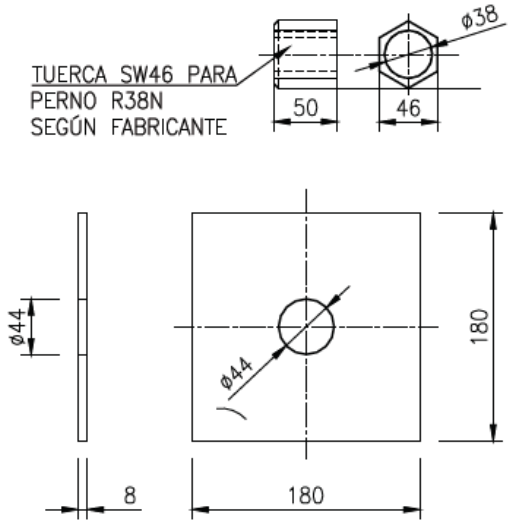


Nota. Área de Ingeniería Proyecto Ouellaveco (2019).

1.6.4 *Placas de sujeción y tuerca*

Placa de sujeción o "planchuela" de acero estructural perforado, según norma ASTM A36/A36M, cuadrada de 200 mm x 200 mm y 4,5±0,45 mm de espesor. La tuerca para las barras helicoidales será fabricada de fundición nodular, base esférica, calidad según ASTM 536, ASTM 194. Para los pernos autoperforantes se debe utilizar una planchuela cuadrada de 180 mm x 180 mm y 8±0,8 mm de espesor en acero estructural según norma ASTM A36/A36M como se muestra en la Figura 23.

Figura 23
Detalle tuerca y placa de sujeción para perno autoperforante R38N



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

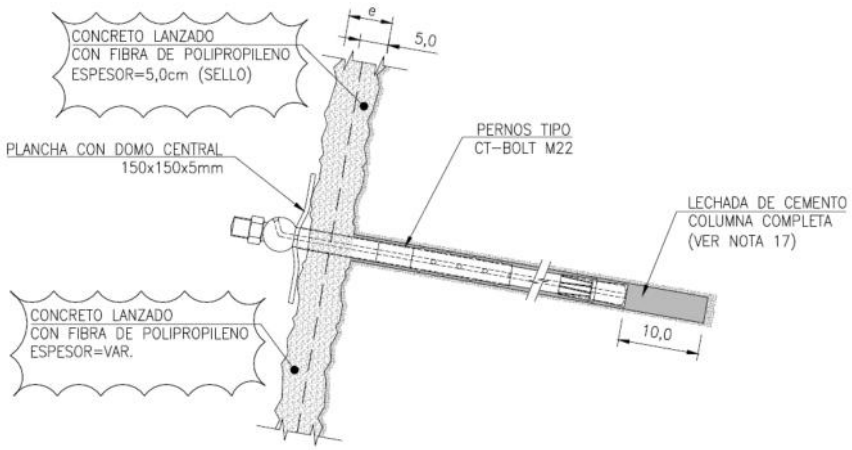
1.6.5 *Perno de anclaje de combinación*

El perno mecánico de combinación, comercialmente como CT-Bolt tal como se observa en la Figura 24, es un perno que combina el anclaje o fijación en punta mediante un elemento de expansión que reacciona con el entorno de la perforación y la inyección con mortero de cemento, tipo lechada en toda la longitud. La instalación de este perno se compone de tres etapas; primero se ejecuta una perforación a un diámetro entre D 44-51mm adicionando en la longitud de la perforación 100mm libre desde la punta del perno, en segunda etapa y de forma mecanizada se instala el perno aplicando un torque mínimo en la tuerca entre 200-300 Nm y en tercera etapa la inyección de lechada según indicaciones del

fabricante, esta última etapa se podrá realizar mediante una campaña de inyecciones, en una distancia desde la frente de excavación no mayor a 15m, o sea no deben haber pernos sin lechada mayor a esta distancia.

Se recomienda utilizar este tipo de anclaje para clase de roca I a III, ya que las clases de roca IV en adelante, podrían no garantizar la capacidad de anclaje en punta por requerir de una roca competente. Se requiere que la resistencia mínima a la tracción de la barra posea una tensión de fluencia 640 [MPa] y tensión de rotura 800 [MPa]. Para asegurar la fijación, el torque mínimo requerido.

Figura 24
Detalle perno tipo CT-BOLT M22



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.6 *Cables de acero*

Los cables son elementos de acero, conformado por siete hebras de acero trenzadas en torno a una central tal como se aprecia en la Figura 25. La aplicación más común para excavaciones subterráneas es para el sostenimiento de grandes luces, como por ejemplo en las intersecciones de túneles, intersección de túnel principal con una estocada vehicular o estocada para almacenamiento temporal de desmonte, etc.

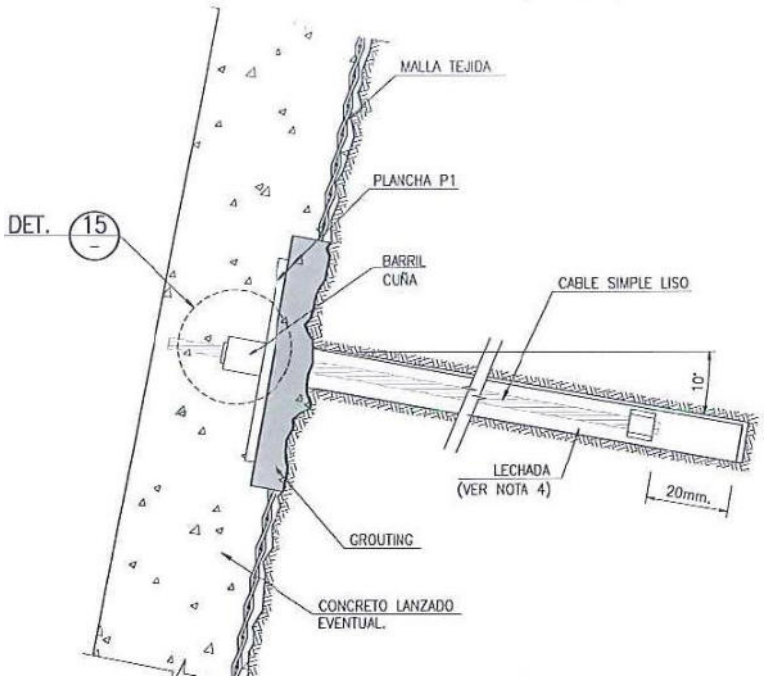
Para el caso de excavaciones superficiales, su aplicación más común es en el caso del sostenimiento de inestabilidades tipo cuñas de roca de gran tamaño.

El tipo de cable a utilizar será según la clase de roca, y este deberá quedar centrado en la perforación y será cementado a columna completa. Las propiedades de resistencia del cable de 0,6” de diámetro, según la norma ASTM A416-94 (calidad de acero 270K) son las siguientes:

- Cable constituido por 7 alambres, exento de lubricantes.
- Diámetro cable: 15,24 mm.
- Peso: 1102 kg/1000 m.
- Mínimo para la tensión de fluencia: 1676 MPa.
- Tensión de ruptura: 1862 MPa.
- Alargamiento de rotura mínimo de 3,5%.

Teniendo en cuenta el diámetro del alambre de 15,24 mm, se tendrá que la fluencia del cable se alcanzará con 23,9 ton, mientras que la rotura se producirá con una carga de 26,6 ton.

Figura 25
Detalle cable simple de acero liso



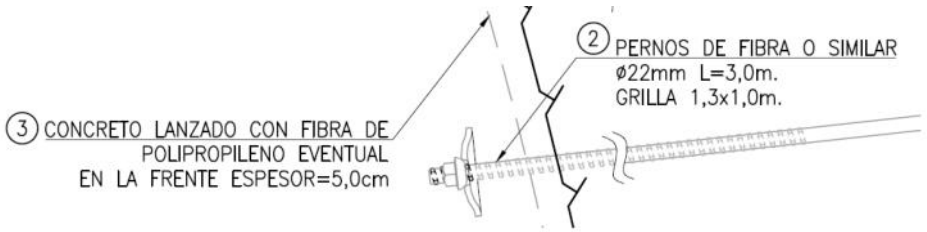
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.7 *Pernos de fibra*

En caso que la frente del túnel sea inestable (para rocas clase V, clase VI o suelo), se prevé la colocación eventual de pernos de fibra de vidrio de 3m de largo y 22 mm (ver Figura 26) de diámetro inmediatamente con posterioridad al avance, antes de la colocación del primer sello de shotcrete en el perímetro del túnel.

La finalidad de los pernos es prevenir el posible colapso de la frente del túnel, ya sea total o parcial, y de esa manera proteger a los trabajadores que se encuentren realizando labores de fortificación. El diámetro de perforación para los pernos de fibra es análogo al de los pernos helicoidales, por lo que se utilizará la misma perforadora en un pattern, de acuerdo a diseño de 1.3m x 1m.

Figura 26
Detalle pernos de fibra



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

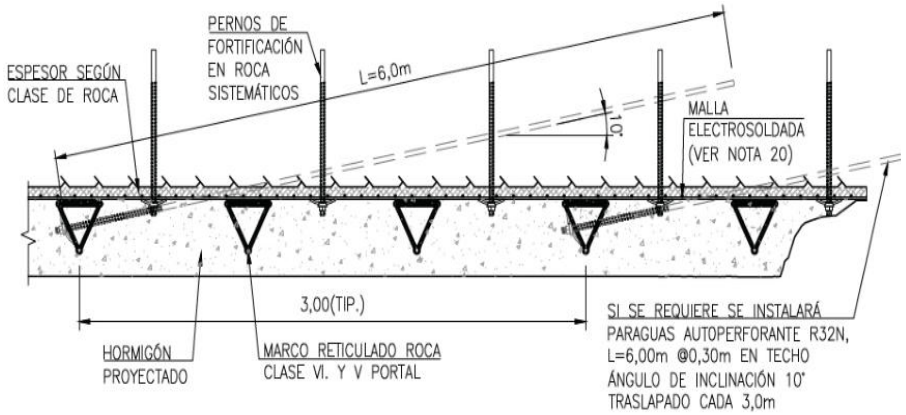
1.6.8 *Pernos paragua (Helicoidales, Autoperforantes, Micropilotes)*

Para las clases de roca de mala y muy mala calidad geotécnica (Clases V y VI) o en la eventualidad que se encuentre suelo en el trazado de los túneles, se contempla la colocación eventual, en caso de requerirse, de pernos paraguas en el techo del túnel, de una longitud mínima de 6m y una separación entre pernos de 0,5m en sentido radial y un traslape mínimo de 3m.

Estos pernos cumplen la función de mitigar el riesgo de caving medio a severo, el que se genera en sectores de rocas de mala calidad geotécnica, con o sin presencia de agua y coberturas relativamente bajas, donde no se produce el efecto de arco en torno al perímetro del túnel.

La colocación de pernos paraguas debe ser sistemática en caso de encontrar suelos no cohesivos, y en aquellos sectores que la supervisión lo determine. También se contempla la colocación de pernos paragua en el emboquille de los túneles (como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 27, especificándose que sean autoperforantes (Tipo R32N para el caso de roca).

Figura 27
Detalle colocación de pernos paraguas



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

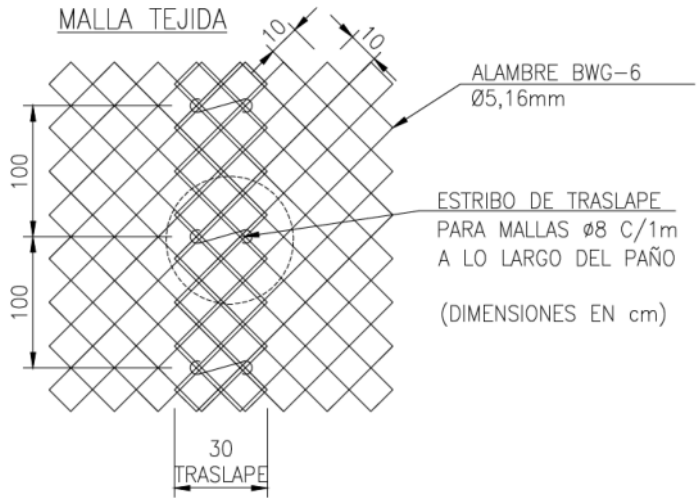
1.6.9 *Malla tejida*

Malla de alambre tejida, de 3,6 kg/m2, con rombos de 10 cm de lado, de alambre BWG 6, con diámetro de 5,16 mm, o equivalente técnico superior, los detalles se aprecian en la Figura 28. Los tramos de malla que se coloquen deberán traslaparse entre sí en todas las uniones en a lo menos tres cuadros, debiendo coincidir con una corrida de anclajes y en su defecto se deberá instalar una corrida de anclajes adicional, siguiendo lo más aproximadamente posible el contorno de la excavación.

Deberán afianzarse a la superficie de la excavación mediante pernos cementados con planchuela y tuerca. Localmente, para permitir un mejor afianzamiento de la malla, se puede considerar el uso adicional de pernos tipo Hilti para afianzar la malla a la roca y adicionalmente cubos de cemento en el contorno de las planchuelas de los pernos para mejorar el recubrimiento.

Periódicamente, durante la etapa de construcción, las mallas deberán ser descargadas de los trozos de material que se hayan acumulado sobre ella y eventualmente podrían ser retiradas si se considera otro sostenimiento.

Figura 28
Detalle malla tejida



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.10 *Malla electrosoldada*

Malla de acero electro-soldada de 6,0 mm de diámetro diseño cuadrado de 150 x 150 mm, con una tensión de fluencia de 50MPa y rotura de 56MPa (AT56-50H). Las mallas se colocarán sobre una primera capa de concreto lanzado para las categorías de soportes más robustas. La malla deberá quedar firme, no deberá vibrar durante la colocación del concreto lanzado; deberá estar en buen estado, limpia y libre de oxidación o lubricantes.

El traslape mínimo entre mallas será de a lo menos de dos cuadros y coincidentes con una corrida de anclajes. Las mallas de refuerzo electro-soldada, deberán estar conformes tanto a los requerimientos de la ASTM 82, ASTM 185 y ACI 318-83.

1.6.11 *Marcos metálicos reticulados*

Los marcos metálicos son marcos reticulares tridimensionales fabricados con acero redondo estriado constituidos por tres barras que forman los elementos principales, dispuestos formando una sección transversal triangular y una geometría adaptada a la forma teórica de la excavación, las uniones entre segmentos de marco están realizadas con perfiles metálicos apernados. Los marcos metálicos son empleados como parte del sostenimiento del túnel, actuando como un sistema de protección inmediato luego de la excavación y subsecuentemente como refuerzo del sostenimiento de hormigón proyectado. Todas las barras de acero del marco reticulado deberán quedar embebidas en concreto lanzado.

Los marcos reticulados están fabricados con barras de acero soldables de calidad A630 - 420H. Las barras principales de los marcos deberán estar conformadas por barras únicas, es decir, no se permitirá el empalme de estas barras a través de uniones soldadas. Las uniones entre barras principales o barras de suple con las diagonales y placas de unión, deberán ser soldadas. Las conexiones soldadas se harán con electrodos de la serie E70, de acuerdo con la norma AWS A5.1. La elección del tipo de electrodo considerará minimizar el aumento de fragilidad en la conexión y en la barra de acero. El control de calidad será por medio de control visual. Se considerará a lo menos ensayar el 2% de los marcos fabricados, Para las juntas entre tramos de marcos se emplearán perfiles de acero estructural ASTM A36. Estos tramos serán conectados en terreno mediante conexiones apernadas utilizando pernos de alta resistencia del tipo A325 con torque controlado.

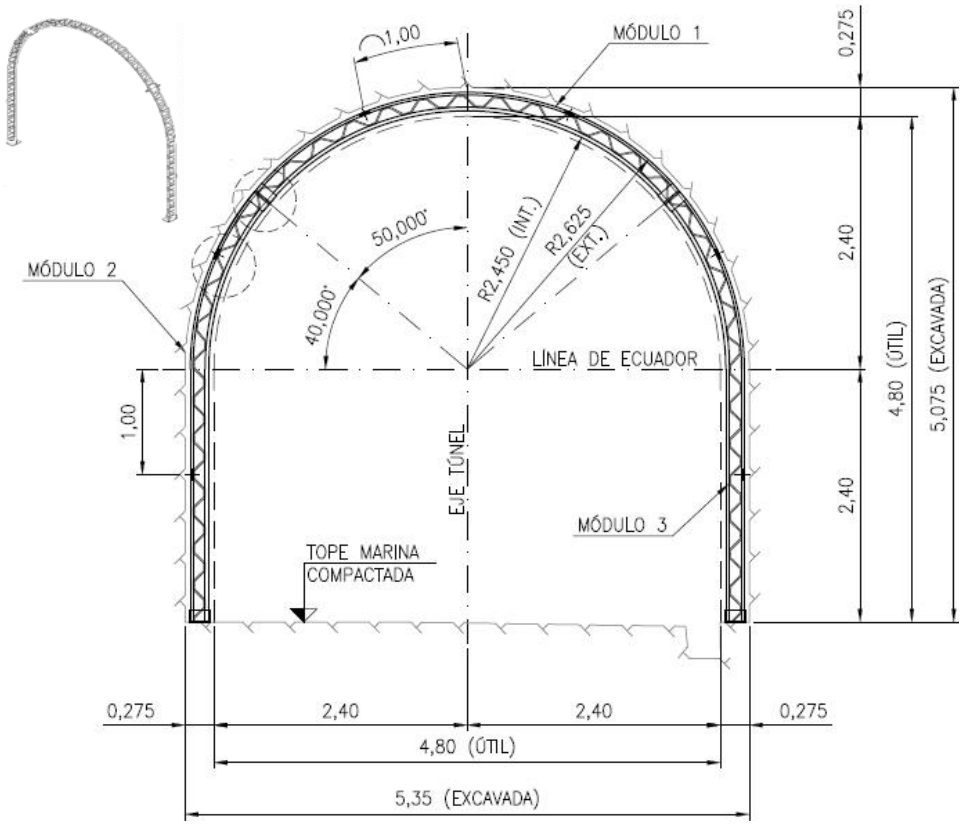
Al momento de ser cubiertos con el hormigón proyectado los marcos metálicos deberán estar libres de óxido suelto, aceite, pintura, restos de hormigón, escamas o costras, grasa o cualquier otra sustancia que pudiera afectar químicamente en forma adversa al acero o al hormigón o reducir la adherencia. Para poder ajustar los marcos metálicos y colocarlos en la alineación y niveles requeridos se empleará placas de apoyo de acero. Se deberán proveer barras espaciadoras para la conexión de un marco al adyacente de modo de asegurarlo en su posición. Los marcos metálicos deberán ser recubiertos completamente con el hormigón proyectado de modo de obtener un sólido contacto entre la roca y el mismo con un recubrimiento mínimo de hormigón proyectado hacia la roca e interior de 5 cm.

Las juntas y uniones de los marcos metálicos deberán ser tales que la eficiencia estática de la sección transversal se mantenga. Al instalar el marco dentro del túnel se debe asegurar que éste quede en un plano vertical y perpendicular al eje del trazado. De presentarse secciones de túnel con problemas de altos esfuerzos inducidos, sectores de material tipo suelos con gran deformación, la estructura de los marcos podría complementarse con perfiles metálicos en el piso del túnel (placa base), uniendo las patas de los marcos.

Los marcos metálicos no deben apartarse radialmente de la geometría de diseño en más de +25 mm. La longitud de un marco completo no debe apartarse de la de diseño en más de +25 mm. Estas tolerancias no levantan el requerimiento de proveer como mínimo un recubrimiento exterior de hormigón de 5 cm, ni tampoco modifica el perfil teórico de excavación que definen la sección. Los detalles del marco reticulado se muestran en la figura 29.

Figura 29

Detalle marco metálico reticulado



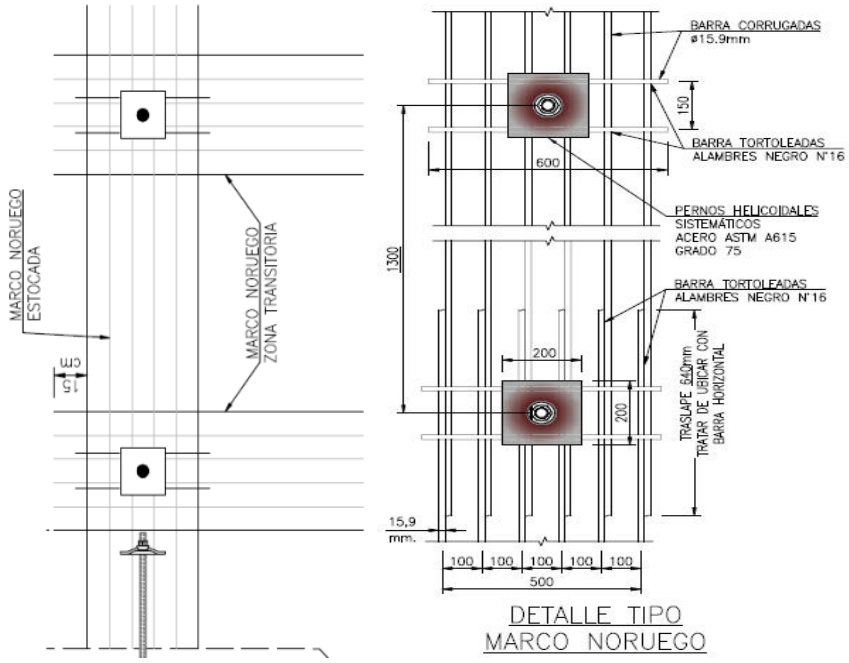
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.12 *Marcos metálicos perfil laminado*

Estos marcos metálicos conformado en perfil laminado, al igual que el reticulado, se utilizarán para el sostenimiento de los túneles, los detalles se muestran en la Figura 30. El marco será tipo DSI o equivalente técnico, cumpliendo con las siguientes características:

- Calidad del acero: Acero ASTM A36
- Resistencia fluencia: fy = 250 MPa.
- Módulo de Young: E = 200.000 MPa
- Altura: h = 140 mm
- Área: A = 43 cm2
- Inercia: Ixx = 1510 cm4

Figura 30
Detalle marco metálico perfil laminado – marco noruego



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.6.13 *Concreto lanzado – Shotcrete*

El concreto lanzado se entiende como el tipo de concreto que es colocado por lanzamiento a alta presión sobre la superficie a cubrir, siendo capaz de auto soportarse sin escurrir ni desprenderse en cualquier posición en que sea aplicado. El empleo de concreto lanzado debe ser aplicado en la frente de avance de la excavación recién abierta como sostenimiento definitivo. En la eventualidad que se instale concreto lanzado en capas, deberá ser debidamente preparada la capa existente, deberá estar lavada con agua a presión y se deberá poner un puente de adherencia en el caso que las capas tengan distintas edades

Cuando el concreto lanzado se utilice con fines de sostenimiento de avance, su aplicación deberá realizarse inmediatamente después de la tronadura (situaciones extremas de estabilidad de la frente), luego de eliminarse sólo los trozos de roca muy sueltos y sin necesidad de ejecutar la limpieza superficial; sin embargo, si esta colocación se realiza después de la ejecución de otras labores en el frente de trabajo, deberá efectuarse la limpieza descrita anteriormente.

La aplicación del concreto lanzado se hará en capas sucesivas, que por lo general serán de 5 a 10 cm de espesor, debiendo esperar un tiempo suficiente que permita el endurecimiento de la capa anteriormente colocada, dependiendo de la probabilidad de deslizamiento o desprendimiento de la mezcla fresca, siempre y cuando cumpla con las propiedades especificadas para el material. Si la colocación se realiza antes del fin del fraguado de la capa anterior, no es necesario tratar la superficie. El espesor máximo de una capa de concreto lanzado no deberá exceder los 15 cm. Cuando se requieran espesores mayores, las capas subsiguientes no deberán ser aplicadas antes de que la capa previa haya desarrollado suficiente resistencia para evitar desprendimientos y para poder soportar el peso de las capas adicionales. Las capas adicionales, deberán ser completadas dentro de un período que no exceda los dos días. Si este plazo se excediera será necesario limpiar la superficie del recubrimiento existente mediante un chorro de aire y agua a presión. La superficie deberá estar húmeda al momento de la proyección del concreto.

Posterior a la preparación de la superficie y durante la proyección del concreto, la boquilla deberá permanecer aproximadamente perpendicular a la superficie de trabajo y a una distancia óptima de aplicación de aproximadamente 1 m a 1,5 m no debiendo excederse esta distancia para el caso de aplicación por vía húmeda. De la boquilla deberá salir un chorro cónico uniforme y continuo. Cuando por algún motivo, el chorro sea intermitente, se deberá desviar la boquilla hasta que la situación se normalice.

Al proyectar en zonas con marcos metálicos, mallas, y cualquier otro tipo de refuerzo metálico, la boquilla se ubicará de tal manera, que el concreto cubra las zonas detrás de ellas y antes que se acumule material sobre ellas, variando el ángulo y distancia de aplicación (los elementos metálicos deberán estar fijados a la superficie del túnel, de modo de evitar su vibración durante la aplicación del concreto lanzado. El cemento deberá cumplir los requerimientos de la última versión de las siguientes Normas:

- ITINTEC 334.001.
- ITINTEC 334.044.
- ASTM C-595 Standard-Specifications for blended hydraulic cements.

Para el caso de aplicación de shotcrete reforzado con fibra sintética, las fibras de refuerzo serán de polipropileno en forma de monofilamentos reticulados y enrollados o deformados en las puntas permitiendo un buen anclaje con el concreto y así evitar la formación de grietas del concreto lanzado. La resistencia a la tracción no debe ser inferior a 5.000 kgf/cm2.

La longitud de la fibra deberá estar en el rango de 2 veces el tamaño del agregado máximo, pero no más largas que el 60% del diámetro de la manguera de proyección. La relación longitud / diámetro no deberá ser menor a 60. Las fibras deben cumplir con las especificaciones presentes en las normas ASTM C1116, ASTM C78, ASTM C1018, ASTM C1550-08 y ASTM C1399-10 referidas al refuerzo de fibra en el concreto lanzado.

El concreto lanzado en sitio deberá tener una resistencia cilíndrica especificada a la compresión de 25 MPa en cilindros normales de 15x30cm a los 28 días de edad, con un 90% de nivel de confianza, de acuerdo con lo establecido en la norma peruana ITINTEC 339.036, 339.033 y 339.034. Además, deberá cumplir con las siguientes resistencias cilíndricas especificadas a edades tempranas mostradas en la Tabla 22

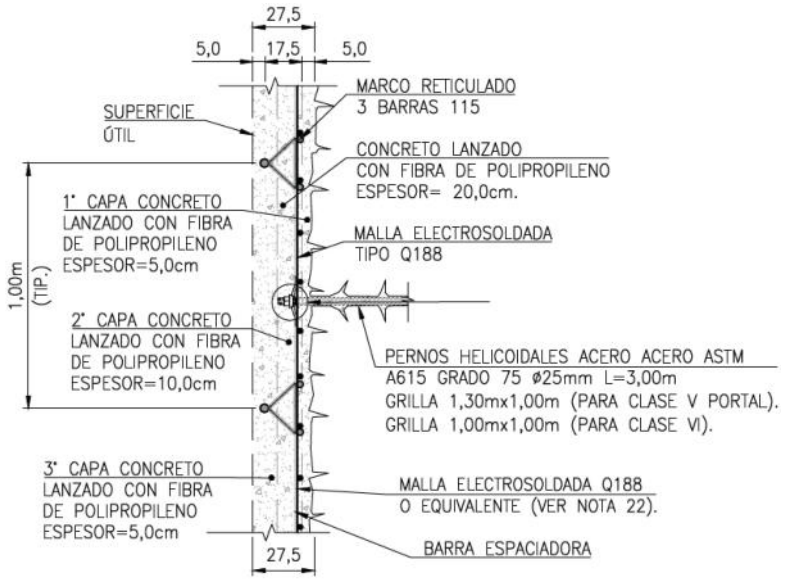
Tabla 22
Resistencia del Concreto durante los primeros 7 días

Edad de Concreto	12 horas	1 día	7 días
Resistencia a la Compresión	7.7	10.8	19.4

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

El concreto lanzado reforzado con fibras de polipropileno deberá tener una resistencia a la flexión residual no menor a 40 kgf/cm2 a los 28 días, según ASTM C 1018. El detalle de aplicación de varias capas de concreto se detalla en la Figura 31.

Figura 31
Detalle de tres capas de concreto lanzado (27cm) para roca clase V



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7 Distribución del sostenimiento

1.7.1 *Sostenimiento portales túnel Salveani Capillune*

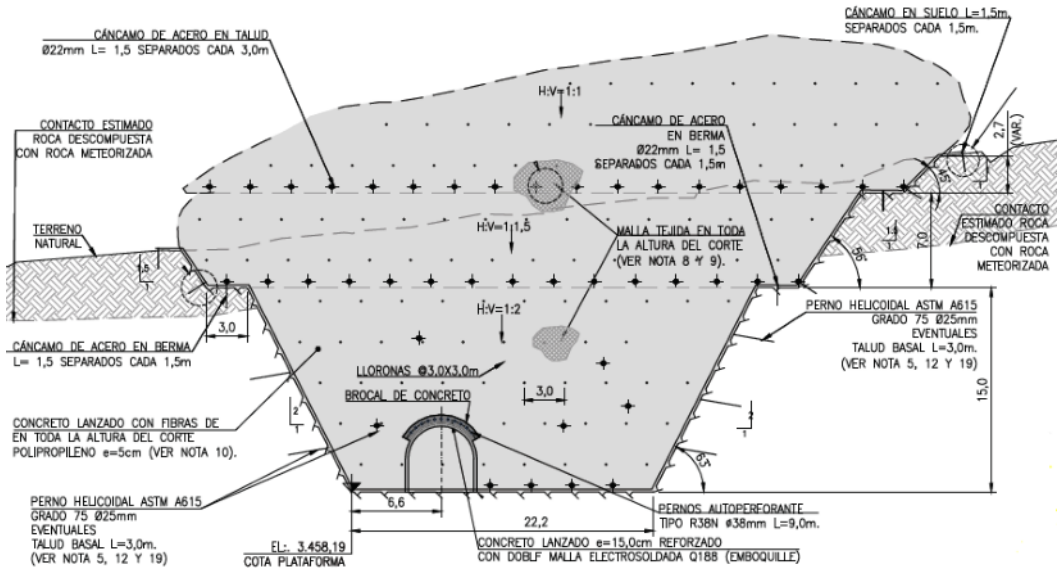
La configuración geométrica diseñada para los taludes sobre el portal de entrada y laterales al portal de entrada considera que los bancos tendrán un ángulo de talud máximo H: V = 1:3,5 (74°), una altura máxima de 12 m y ancho de bermas de 3 m. En cuanto a los taludes sobre el portal de salida y laterales al portal de salida se considera que los bancos deben tener un ángulo de talud máximo H: V = 1:4 (76º) en el banco inferior y H: V = 1:3,5 (74°) en los bancos restantes, una altura máxima de 12 m y ancho de bermas de 3 m.

La fortificación diseñada para asegurar la estabilidad global de los taludes en roca incluye la colocación de malla de alambre tejida, de 3,6 kg/m2, sujeta en las bermas por pernos de 1,5 m de longitud, barras de acero laminadas en caliente, con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso, de acero calidad ASTM A615 Grado 75, diámetro 25 mm, de 3 m de longitud, con espaciamiento de 1,5 x 2,0 m sobre los portales y en taludes laterales. Se incluye además concreto lanzado de espesor hasta 75 mm colocado en capas, sólo en el banco inferior del talud. En cuanto a la fortificación de los taludes en suelo, se considera la colocación de malla de alambre tejida, de 3,6 kg/m2, sujeta en las bermas por pernos de 1,5 m de longitud; también incluye la colocación de pernos autoperforantes tipo DSI R32L de 2 m de longitud, con espaciamiento de 3,0 x 3,0 m y shotcrete de espesor hasta 50 mm colocado en capas.

Durante el proceso de excavación del macizo rocoso, en que se excavarán los taludes de corte tanto en el portal de entrada como de salida, se verificara la calidad de la roca expuesta, con el objetivo de realizar ajustes frente a condiciones geológicas y geotécnicas que tengan un carácter de hallazgo. Estos ajustes se podrán realizar tanto en geometría como en fortificación, de modo que se logre asegurar la estabilidad de los taludes de corte en el largo plazo. En base a los antecedentes geológicos geotécnicos del túnel Salveani Capillune (ver plano geológico, Figura 3), En las figuras 32 y 33 respectivamente se detalla la fortificación de ambos portales del túnel Salveani Capillune.

Figura 32

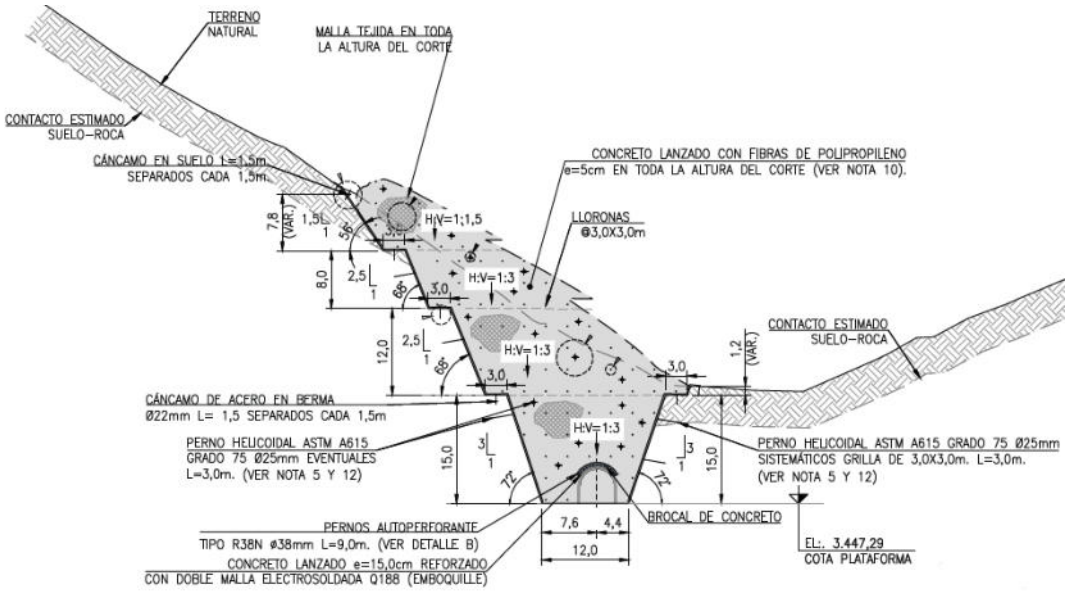
Fortificación portal de entrada túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Figura 33

Fortificación portal de salida túnel Salveani Capillune



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

En el sector de los portales se definió la excavabilidad, dividiendo la excavación en terreno común, roca rippable y roca con explosivos, así mismo muestra el resumen de los elementos de sostenimiento requeridos para ambos portales como se muestra en la Tabla 23 y Tabla 24, para el Portal de Entrada y el Portal de Salida, respectivamente.

Tabla 23

Resumen fortificación portal de entrada túnel Salveani Capillune

Resumen Portal de Entrada		
Excavación masiva de terreno común	m3	16.223
Excavación masiva con Ripper	m3	9.734
Excavación masiva en roca	m3	6.490
Relleno	m3	-
Perno ASTM A615 grado 60 (Cáncamo) / D = 22 mm / L = 1.50 m	Und	135
Perno ASTM A615 grado 60 (Cáncamo en suelo) / D = 22 mm / L = 1.50 m + 0.5m	Und	140
Perno ASTM A615 grado 75 / D = 25 mm / L = 3.00 m	Und	-
Perno ASTM A615 grado 75 (Eventual) / D = 25 mm / L = 4.00 m	Und	45
Pernos Autoperforantes Tipo R32N / D = 32 mm / L = 6.00 m	Und	-
Pernos Autoperforantes Tipo R38N / D = 38 mm / L = 9.00 m	Und	11
Malla Tejida 3.6 Kg/m2 Rombos 10 cm - Alambre BWG 6	m2	4.100
Malla Electrosoldada Q188	m2	8
Concreto lanzado con fibras de polipropileno 10cm	m3	98
Concreto lanzado (Emboquille)	m3	1
Concreto Simple (Dado cáncamo en suelo)	m3	4
Lloronas	Und	220

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 24

Resumen fortificación portal de salida túnel Salveani Capillune

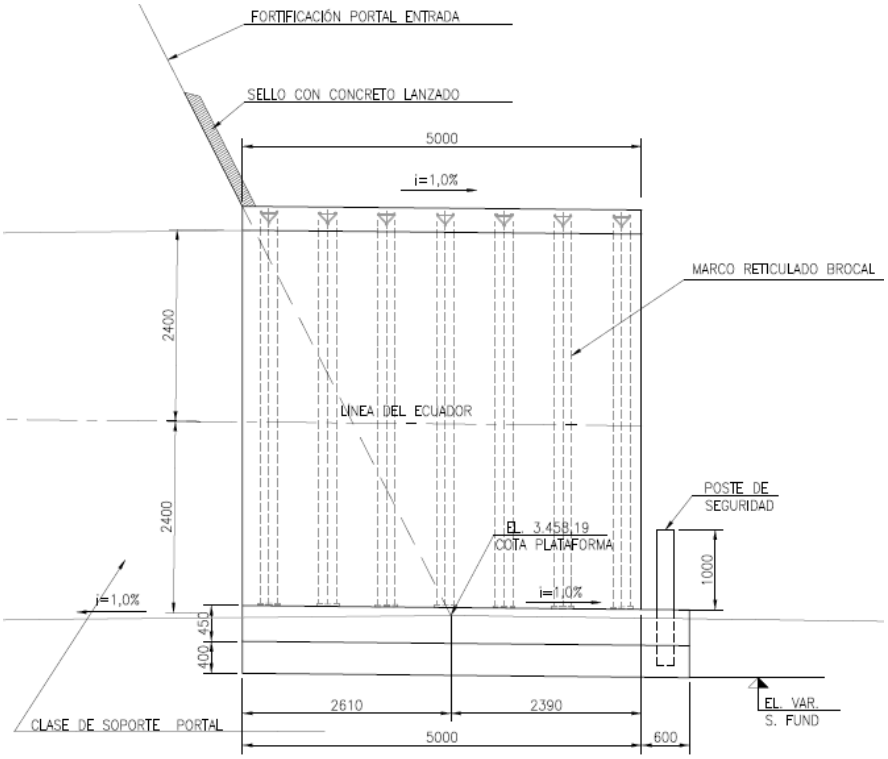
Resumen Portal de Salida		
Excavación masiva de terreno común	m3	7.292
Excavación masiva con Ripper	m3	1.823
Excavación masiva en roca	m3	9.115
Perno ASTM A615 grado 60 (Cáncamo) / D = 22 mm / L = 1.50 m	Und	225
Perno ASTM A615 grado 60 (Cáncamo en suelo) / D = 22 mm / L = 1.50 m + 0.5m	Und	34
Perno ASTM A615 grado 75 / D = 25 mm / L = 3.00 m	Und	57
Perno ASTM A615 grado 75 (Eventual) / D = 25 mm / L = 3.00 m	Und	130
Pernos Autoperforantes Tipo R38N / D = 38 mm / L = 9.00 m	Und	11
Malla Tejida 3.6 Kg/m2 Rombos 10 cm - Alambre BWG 6	m2	3.960
Malla electrosoldada Q188 150x150x6 mm	m2	8
Concreto lanzado con fibras de polipropileno	m3	143
Concreto lanzado (Emboquille)	m3	1
Concreto Simple (Dado cáncamo en suelo)	m3	1
Lloronas	Und	320

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Los detalles y elementos de sostenimiento del brocal en el portal de entrada se detallan en la Figura 34 y Tabla 25

Figura 34

Detalle brocal portal de entrada



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 25

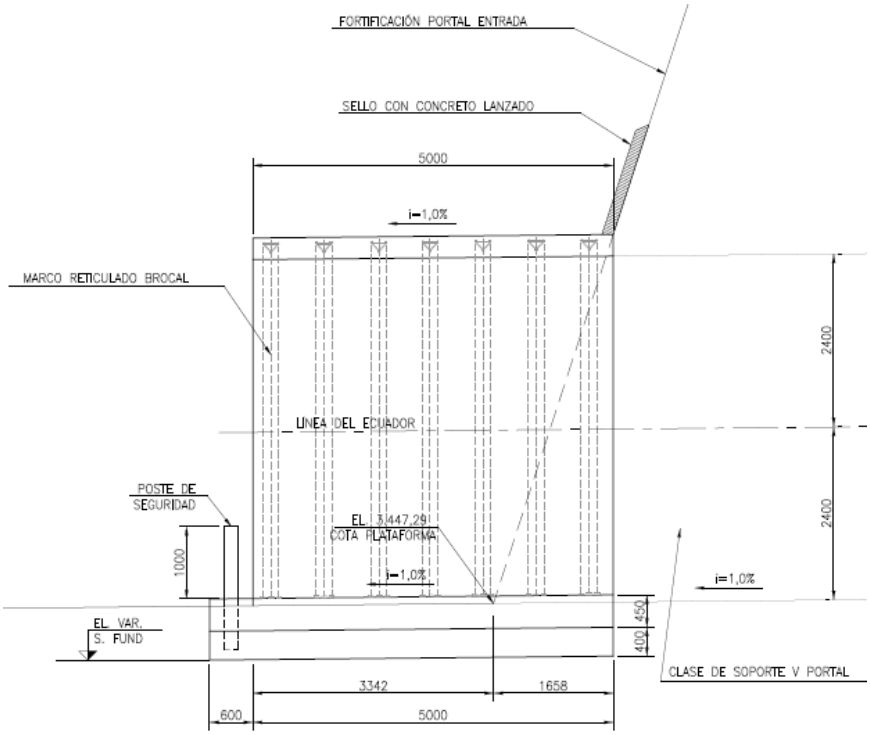
Resumen elementos de fortificación brocal portal de entrada

Resumen Brocal Portal de Entrada		
Concreto f'c = 100 Kg/cm2 para solado	m3	0.7
Concreto f'c = 300 Kg/cm2 para cimentación continua	m3	6.9
Concreto f'c = 250 Kg/cm2 para concreto lanzado	m3	19.5
Malla Soldada Acma Q188	m2	126.8
Poste seguridad D=8"	kg	160
Marco reticulado	kg	1774.1
Pernos de Anclaje	kg	26. 9

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Los detalles y elementos de sostenimiento del brocal en el portal de salida se detallan en la Figura 35 y Tabla 26

Figura 35
Detalle brocal portal de salida



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

Tabla 26
Resumen elementos de fortificación brocal portal de entrada

Resumen Brocal Portal de Salida		
Concreto f'c = 100 Kg/cm2 para solado	m3	0.7
Concreto f'c = 300 Kg/cm2 para cimentación continua	m3	6.9
Concreto f'c = 250 Kg/cm2 para concreto lanzado	m3	19.5
Malla Soldada Acma Q188	m2	126.8
Poste seguridad D=8"	kg	160
Marco reticulado	kg	1774.1
Pernos de Anclaje	kg	26. 9

Nota: Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2 *Sostenimiento túnel Salveani Capillune*

El avance – sostenimiento por clase de roca se muestra en la tabla 27 y en el ANEXO D.

Tabla 27
Avance - Sostenimiento por tipo de roca

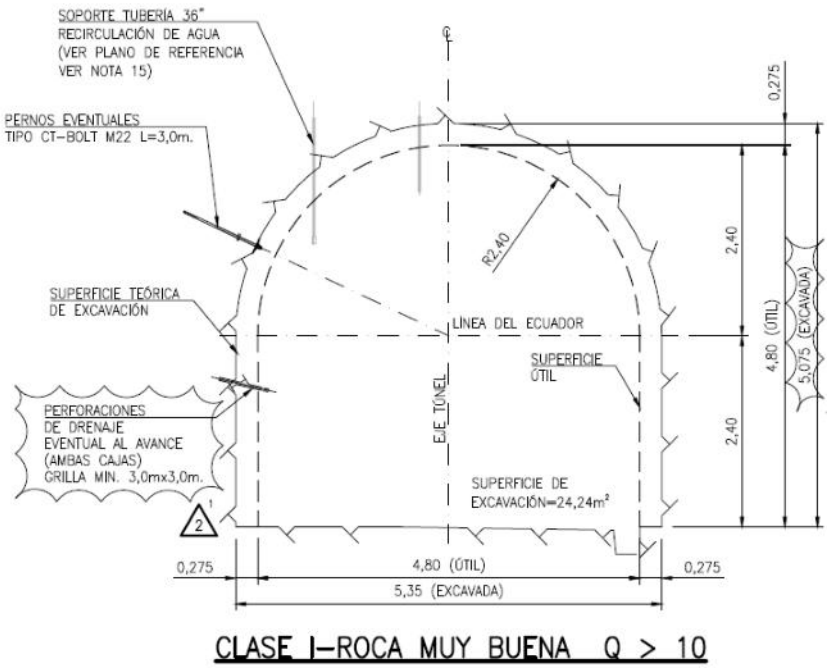
Avance - Sostenimiento por calidad de roca						
Clase de Roca	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Avance diario (m)	6.00	5.7	5.1	4.3	2.3	2.1

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.1 Para roca clase I (Muy Buena Calidad Geomecánica, figura 36)

- Se consideró un 21% del tramo total del túnel como roca clase I, con 1 perno de anclaje mecánico tipo CT-Bolt, eventual, cada 10,0 m de avance.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas, con un espesor de 50 mm.
- Para el piso del túnel, se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase I.

Figura 36
Detalles sostenimiento roca clase I



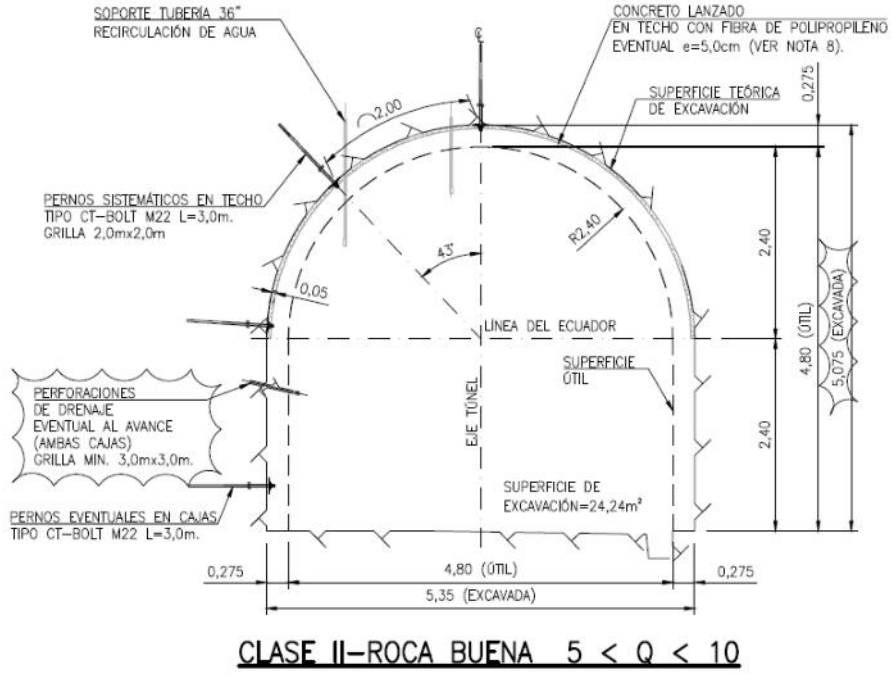
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.2 Para roca clase II (Buena Calidad Geomecánica, figura 37)

- Se consideró un 17% del tramo total del túnel como roca clase II, con 1 perno de anclaje mecánico tipo CT-Bolt, eventual en las cajas, cada 5 m de avance.
- Se consideró una ronda de pernos tipo CT-Bolt sistemáticos en el techo con una grilla de 2,0 x 2,0 m.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y caja, con un espesor de 50 mm.
- Para el piso del túnel se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase II.

Figura 37

Detalles sostenimiento roca clase II



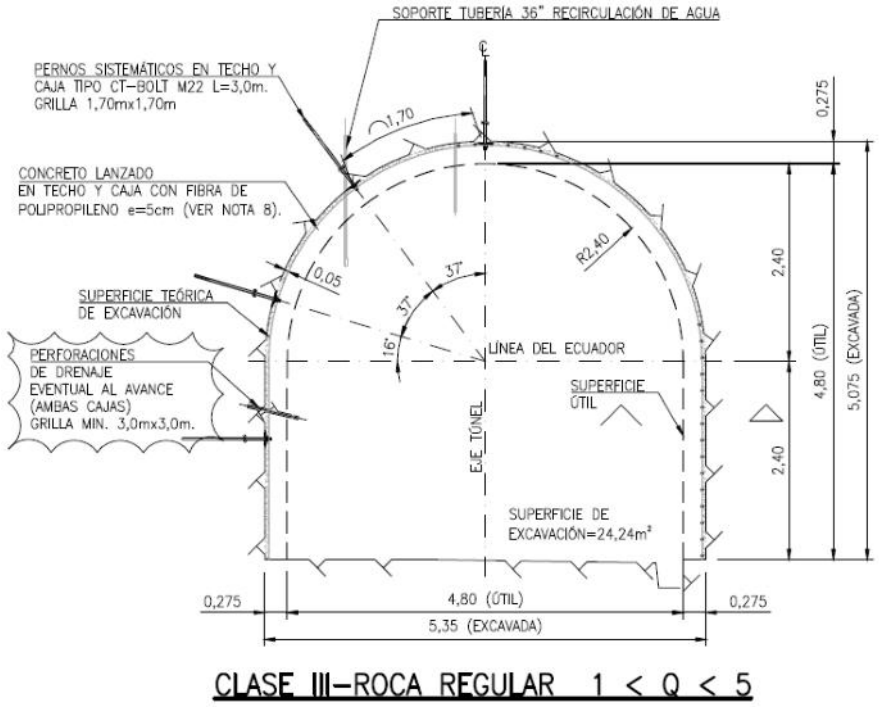
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.3 Para roca clase III (Regular Calidad Geomecánica, figura 38)

- Se consideró un 41% del tramo total del túnel como roca clase III.
- Se consideró una ronda de pernos tipo CT-Bolt, sistemáticos en techo y cajas, con una grilla de 1,7 x 1,7 m.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas, con un espesor de 50 mm.
- Para el piso del túnel se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase III.

Figura 38

Detalles sostenimiento roca clase III

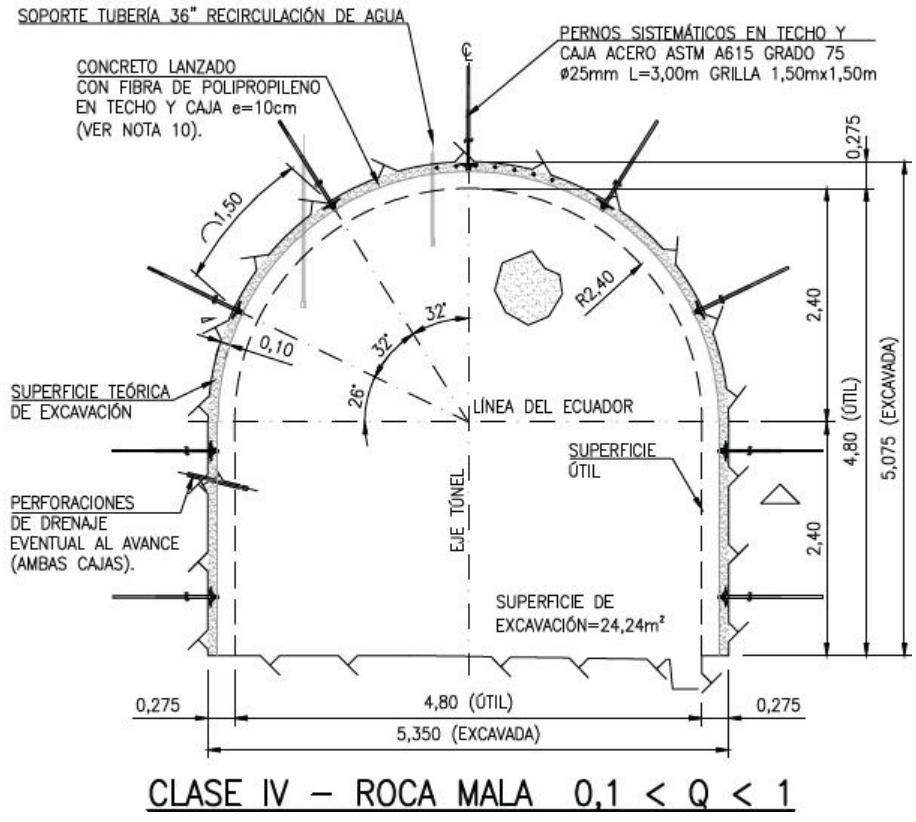


Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.4 Para roca clase IV (Mala Calidad Geomecánica, ver figura 39)

- Se consideró un 19% del tramo total del túnel como roca clase IV.
- Se consideró una ronda de pernos sistemáticos en techo y cajas, con una grilla de 1,5 x 1,5 m.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas, con espesor de 100 mm
- Para el piso del túnel se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase IV.

Figura 39
Detalles sostenimiento roca clase IV



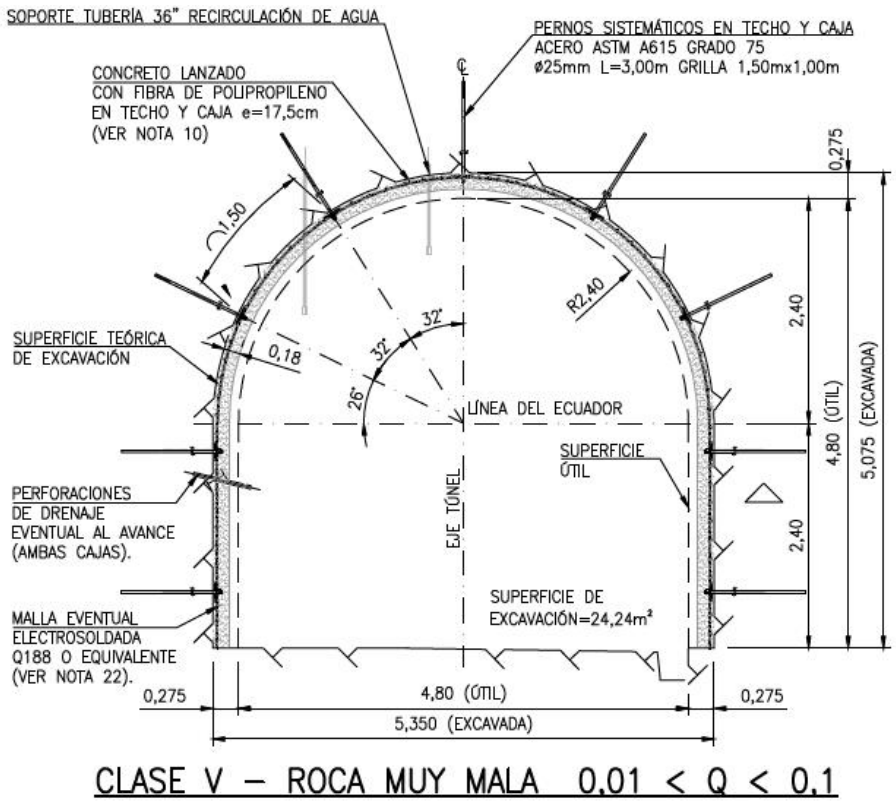
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.5 Para roca clase V (Muy Mala Calidad Geomecánica, figura 40)

- Se consideró un 2% del tramo total del túnel como roca clase V.
- Se consideró una ronda de pernos sistemáticos en techo y cajas, con una grilla de 1,5 x 1,0 m.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas, con espesor de 175 mm.
- Se consideró malla electrosoldada en conjunto con el concreto lanzado en un 10% del tramo correspondiente a esta clase de roca (por tener un carácter eventual).
- Para el piso del túnel se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase V.

Figura 40

Detalles sostenimiento roca clase V



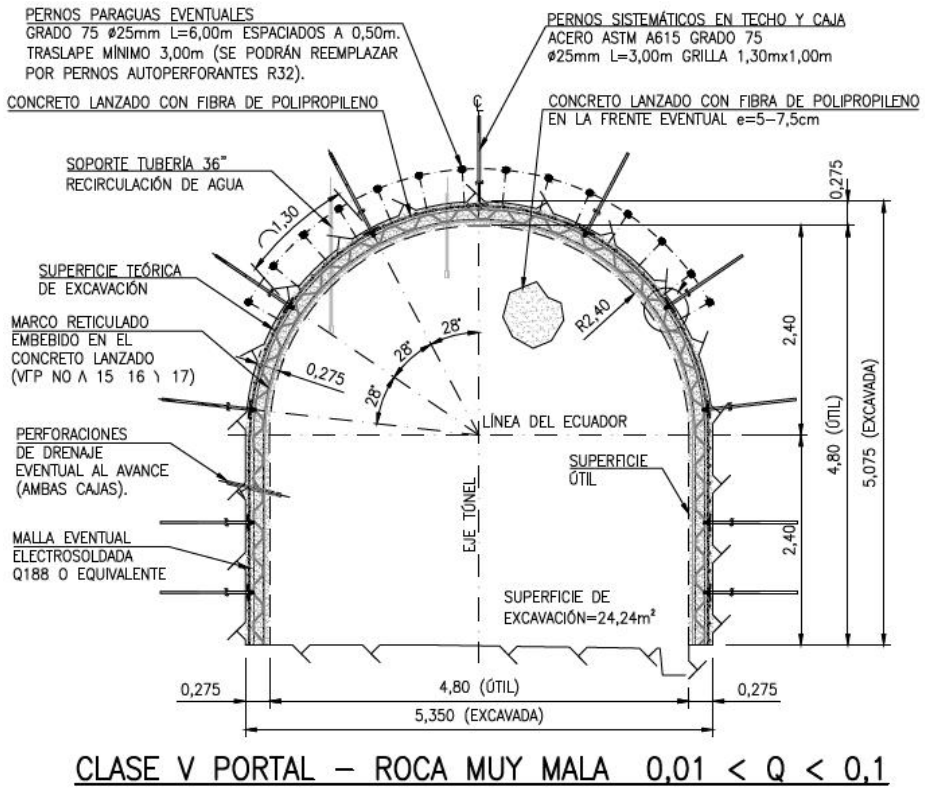
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.6 Para roca clase V Portal (Primeros 10 metros de túnel, ver figura 41)

- Se consideró una ronda de pernos sistemáticos en techo y cajas, con una grilla de 1,3 x 1,0 m.
- Se consideró concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno en techo y cajas con espesor de 275 mm.,
- Los portales incluyen una fortificación inicial de pernos paraguas, ASTM A615 Grado 75, de diámetro 25 mm y 6 m de longitud.
- Marco reticulado de 3 barras, embebido en el concreto lanzado.
- Se consideró malla electrosoldada en conjunto con el concreto lanzado
- Se considera concreto lanzado reforzado con fibra de polipropileno eventual en la frente de 50 mm de espesor, cada 2 m de avance.
- Para el piso del túnel se consideró una plataforma de marina compactada de 0,20 m. en el tramo de roca clase V- Portal.

Figura 41

Detalles sostenimiento roca clase V Portal



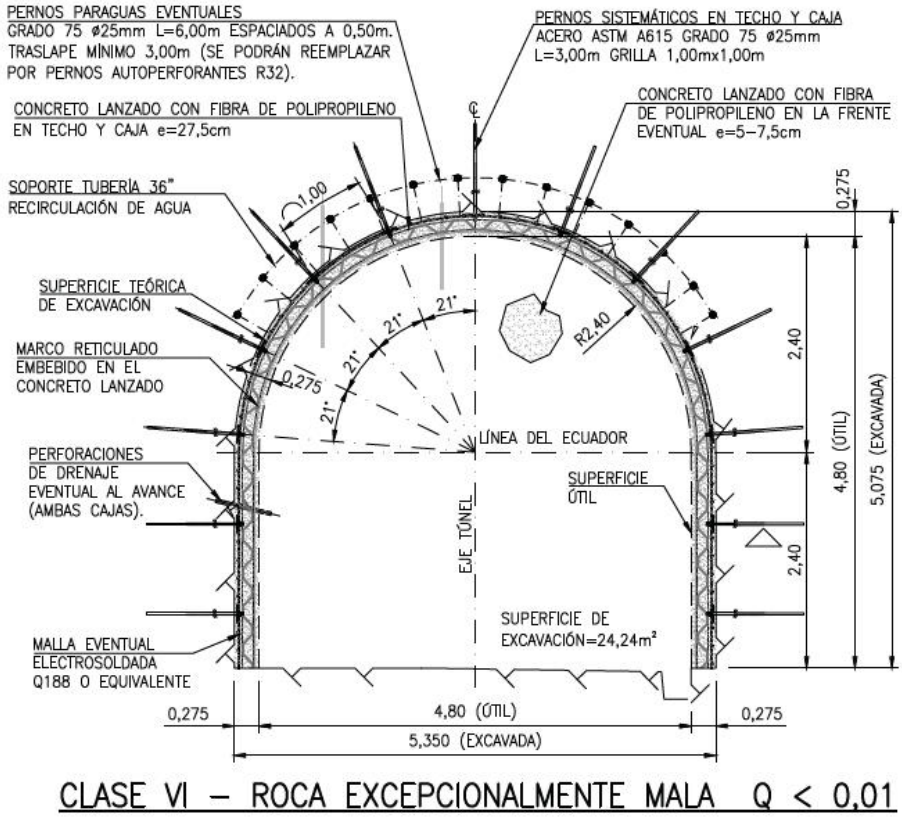
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.2.7 Para Roca Clase Vi (Excepcionalmente Mala, Figura 42)

- No se encontró esta clase de roca en el interior del túnel.
- Se toma las mismas consideraciones que la clase de roca V portal, adicionalmente incluye concreto lanzado con fibra de polipropileno en el frente de avance (eventual espesor de 50mm).

Figura 42

Detalles sostenimiento roca clase VI



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

El resumen de elementos de sostenimiento - Fortificación utilizados para los diferentes tipos de roca asegurando la estabilidad del macizo rocoso a lo largo del túnel Salveani Capillune se detalla en la Tabla 28.

Tabla 28

Resumen Metrados por Clase de Roca

Cubicación Sostenimiento túnel Salveani - Capillune									
Tipo	**Unidad**	**VI**	**V – P.**	**V**	**IV**	**III**	**II**	**I**	**Total**
Excavación Túnel	m3	-	-	528	502	10833	4492	5549	26422
Perno CT-Bolt M-22 / L=3m	Und	-	-	-	-	1663	500	23	2186
Perno ASTM A615 grado 75 / 25 mm / L = 3m	Und	-	181	196	1243	-		-	1620
Pernos Autoperforantes R32N L=6,0 m	Und	-	94		-	-		-	94
Concreto Lanzado C/F polipropileno e=5cm	m3	-		-	-	266	5	-	272
Concreto Lanzado C/F polipropileno e= 10cm	m3	-		-	273	-	-	-	273
Concreto Lanzado C/F polipropileno e= 17,5cm	m3	-		50	-	-	-	-	50
Concreto Lanzado C/F polipropileno e= 27,5cm	m3	-	73	-	-	-	-	-	73
Malla electrosoldada ACMA - Q188 150x150x6 mm	m2	-	26	29	-	-	-	-	55
Marco reticulado	kg	-	5069	-	-	-	-	-	5069
Marina Compactada	m3	-		26	249	536	222	275	1.308

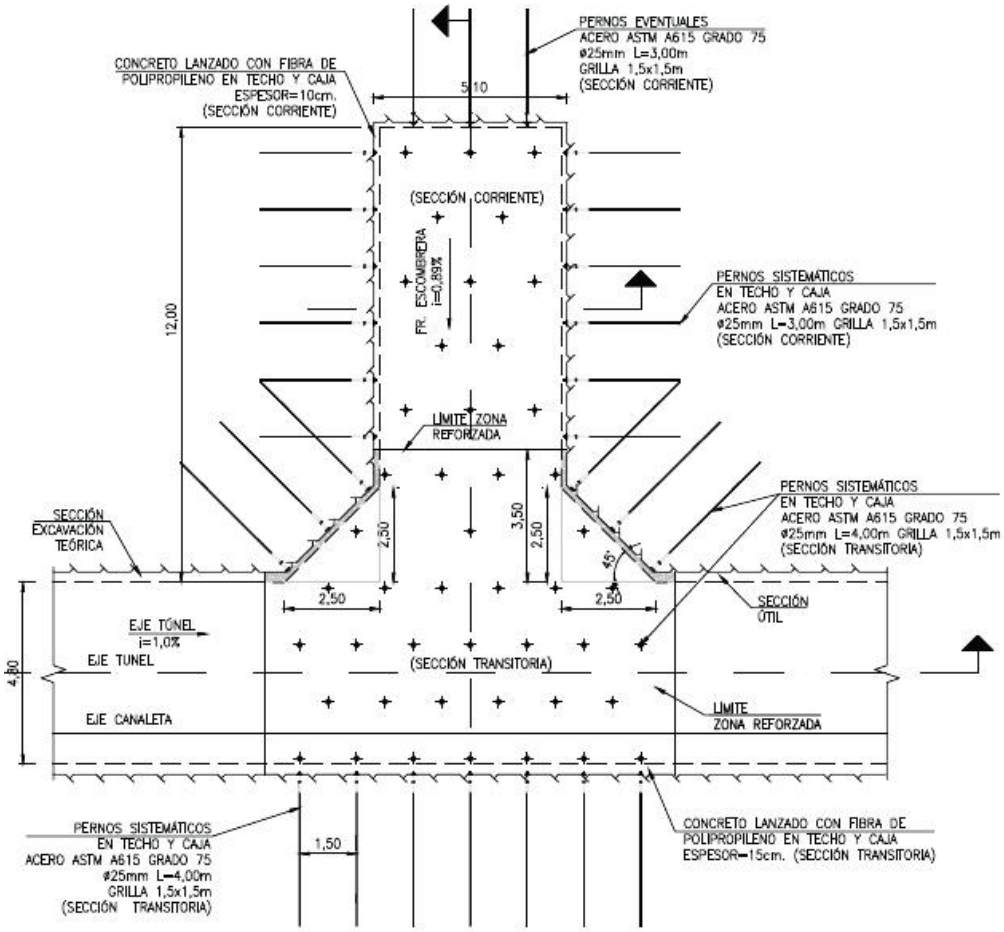
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.7.3 *Sostenimiento Estocadas túnel Salveani Capillune*

El diseño considera la ejecución de estocadas de escombros, espaciadas a intervalos variables entre 220 m de avance. Estas estocadas tendrán la misma sección transversal del túnel y su longitud estimada es de 12 m, medidos desde el hastial.

Los elementos empleados en el sostenimiento de las estocadas del túnel Salveani Capillune, se considerarán según la clase de roca caracterizada del túnel mostrados en la Figura 43.

Figura 43
Detalle Fortificación estacada clase de roca V



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

1.8 Análisis FLAC 3D

Para el análisis de deformaciones y esfuerzos en el medio donde se emplazarán las obras de los túneles de relaves y los túneles de estocadas se desarrollaron modelos numéricos tridimensionales en el software FLAC 3D que permite la inclusión de la geometría 3D de las obras y la inclusión del macizo rocoso con sus parámetros geomecánicos correspondientes para roca clase IV, V y VI.

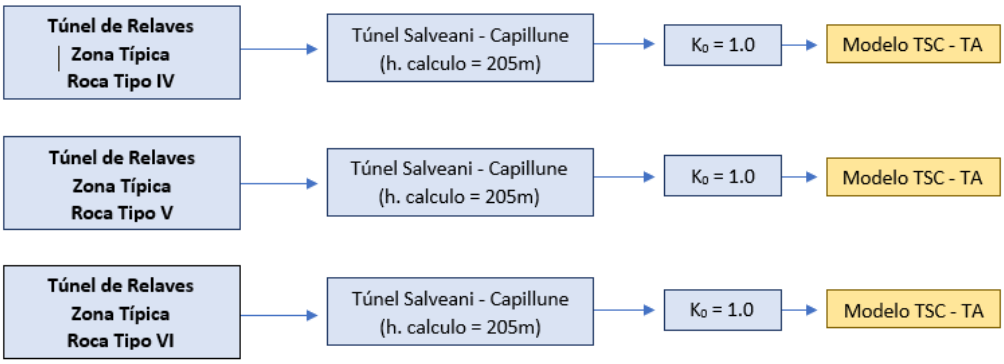
El estudio de las deformaciones y esfuerzos del túnel se realiza considerando modelaciones con modelo constitutivo Hoek-Brown (2002), para efectos de los elementos de fortificación (shotcrete y pernos de anclaje) se considera modelo constitutivo elástico lineal. Las modelaciones numéricas consideran el estado de esfuerzos in-situ de acuerdo a la relación entre esfuerzos horizontal y vertical (Ko=1.0).

1.8.1 *Modelaciones de estudio*

Para el presente análisis se realizan 3 modelaciones diferentes, donde se tiene en cuenta la variación de profundidad, parámetros geomecánicos del macizo y campo tensional in-situ. La Figura 44 presenta un diagrama que permite comprender de modo más directo las modelaciones realizadas para las zonas típicas del túnel Salveani Capillune

Figura 44

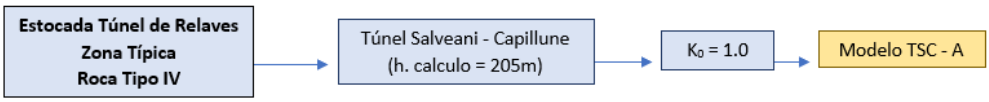
Diagrama de modelaciones numéricas de zona típica realizadas en el estudio



Nota. secuencia de modelamiento de túnel SC para una cobertura de 205m (2022).

La Figura 45 presenta un breve diagrama que permite comprender de modo más directo las modelaciones realizadas en las estocadas de los túneles de relave Salveani Capillune.

Figura 45
Diagrama de modelaciones numéricas de estocadas realizadas en el estudio

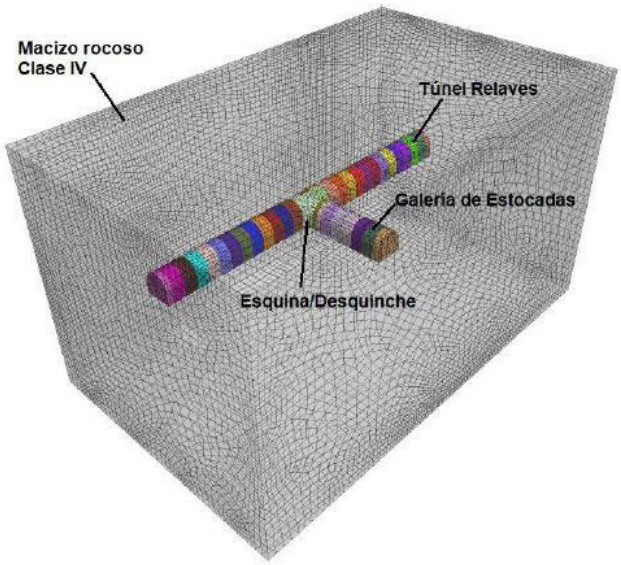


Nota. Secuencia de modelamiento para estocadas en túnel SC, cobertura 205m (2022).

1.8.2 *Descripción de Modelo Numérico.*

El modelo numérico desarrollado se presenta en la Figura 46 en dicha figura es posible evidenciar la forma geométrica estudiada del Túnel Salveani Capillune, de los desquinches y de la galería de estocada. En el caso del análisis de zonas típicas, no se excava ni coloca fortificación en la zona de la galería ni desquinches.

Figura 46
Modelo numérico en el software FLAC 3D

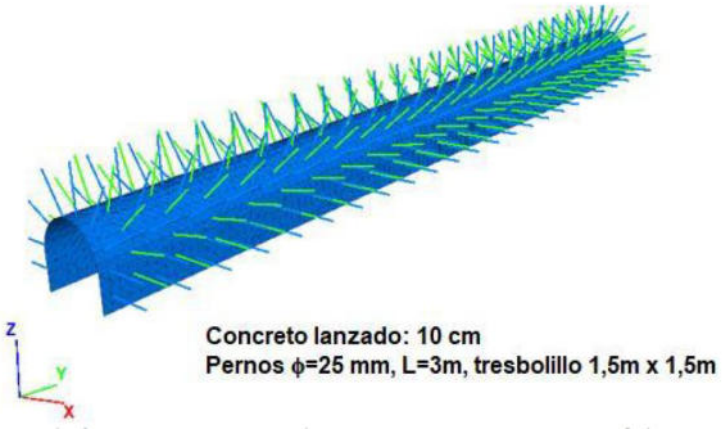


Nota. Sectorización por fases: túnel, estocadas e intersección (2022).

Para efectos entender la infraestructura de los elementos de fortificación que se utilizaron para el diseño de las zonas típicas en los macizos rocosos clase IV, V y VI se presentan las Figura 47, Figura 48 y la Figura 49 respectivamente, en las que se presenta las obras de túnel y los elementos de fortificación (pernos y hormigones) se han dispuesto de acuerdo a lo establecido en el sostenimiento definitivo detallados en la sección 2.6.

Figura 47

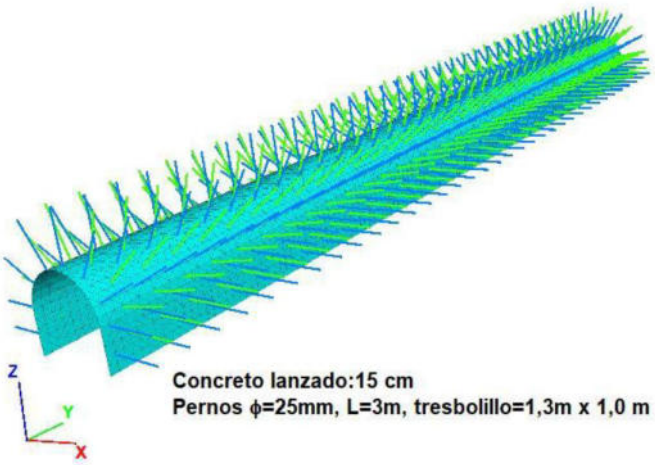
Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo IV



Nota. Sostenimiento mediante ronda de pernos sistemáticos ASTM en caja y techo (2022).

Figura 48

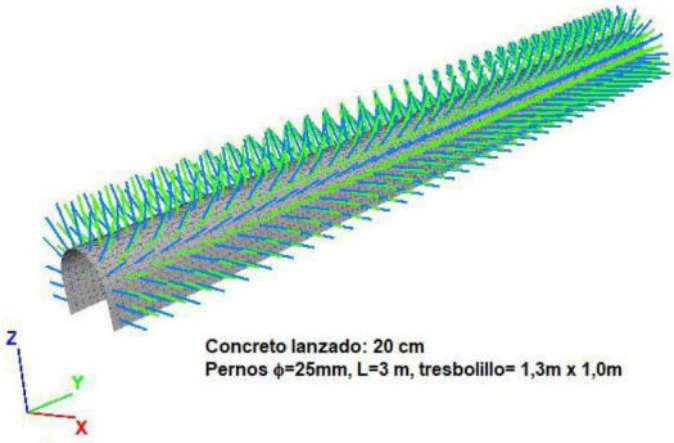
Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo V



Nota. Sostenimiento mediante ronda de pernos sistemáticos ASTM en caja y techo (2022).

Figura 49

Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de túnel Salveani Capillune en macizo rocoso tipo VI

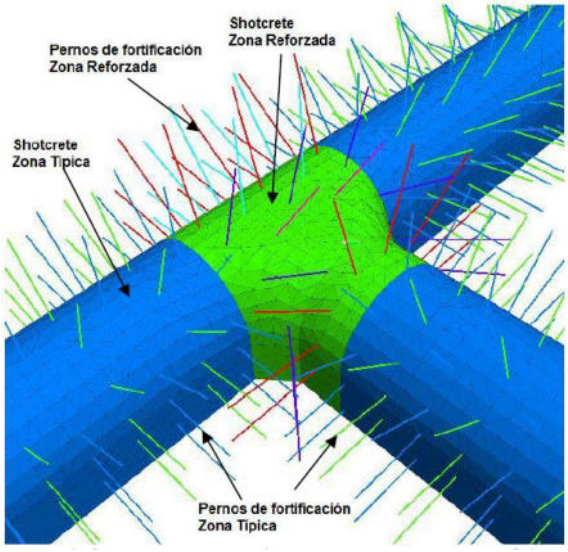


Nota. Sostenimiento mediante ronda de pernos sistemáticos ASTM en caja y techo (2022).

Para efectos entender la infraestructura de cruce y de sus elementos de fortificación se presenta la Figura 50, la que presenta las obras de túnel, galería de estocada, desquinche y los elementos de fortificación (pernos y hormigones) que se han dispuesto de acuerdo a lo establecido en el sostenimiento definitivo detallados en la sección 2.6.

Figura 50

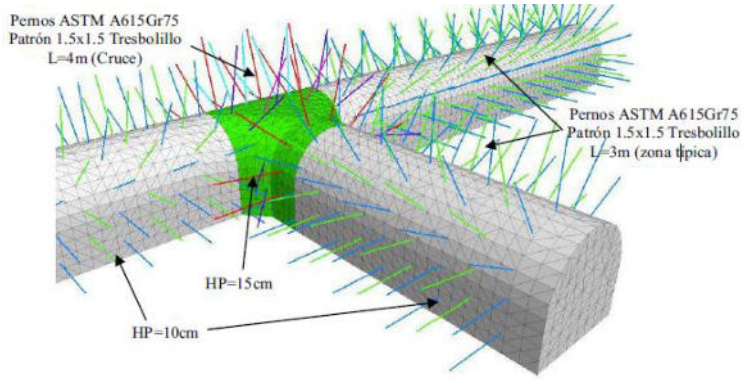
Fortificaciones de infraestructura considerada en el modelo numérico de estocada para el túnel Salveani Capillune en macizo rocoso Clase IV.



Nota. Sostenimiento clave túnel, zona de desquinche y estocada (2022).

Se considera las estocadas asociadas a roca clase IV para el túnel de relaves Salveani Capillune, dependientes de la profundidad y de las características geotécnicas de cada túnel de relave en particular (Salveani Capillune), también es analizado para campos tensionales in-situ asociados a Ko=1.0. La fortificación considerada es similar a los detallados para una clase de roca tipo IV, tal como lo presenta la Figura 51

Figura 51
Patrones de Pernos y hormigones proyectados en estocadas túneles Salveani Capillune en macizo rocoso tipo IV



Nota. Sostenimiento mediante ronda de pernos sistemáticos ASTM en caja y techo (2022).

1.8.3 *Parámetros considerados en el análisis numérico*

Para las modelaciones se considera un modelo constitutivo/criterio de falla Hoek-Brown para el macizo con roca tipo IV, V y VI, y elástico lineal para los elementos de fortificación. La Tabla 29 presenta los parámetros de calidad geotécnica/geomecánica asociados al túnel Salveani - Capillune para roca clase IV, los parámetros de roca clase V en la Tabla 30, y los parámetros de roca clase VI en la Tabla 31.

El modelo considera los siguientes elementos:

- Geometría de túnel y de la estocada.
- Cobertura de roca de 205 m.
- Fortificación instalada en la zona en estudio (según la clase de roca).
- Deformaciones registradas en la bóveda del túnel mediante monitoreo de convergencias (calibración).

Tabla 29

Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca IV.

Parámetro roca IV		Túnel Salveani Capillune
Roca intacta	IRS	R4
	UCS (Mpa)	100
	mi	30
GSI		35
Cobertura, H (m)		205
D (Factor de perturbación)		0
Módulo de deformación, Em (Mpa)		1360. 88
Razón de Poisson, v		0.25
Criterio de falla de Hoek & Brown generalizad0 (2002)	Mb	2.944
	S	0.0007
	a	0.516

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2022).

Tabla 30

Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca V.

Parámetro roca V		Túnel Salveani Capillune
Roca intacta	IRS	R5
	UCS (Mpa)	75
	mi	30
GSI		25
Cobertura, H (m)		205
D (Factor de perturbación)		0
Módulo de deformación, Em (Mpa)		718.27
Razón de Poisson, v		0.25
Criterio de falla de Hoek & Brown generalizad0 (2002)	Mb	2.06
	S	0.0002
	a	0.531

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2022).

Tabla 31

Parámetros de calidad geomecánica - geotécnica roca VI.

Parámetro roca VI		Túnel Salveani - Capillune
Roca intacta	IRS	R6
	UCS (Mpa)	50
	mi	30
GSI		20
Cobertura, H (m)		205
D (Factor de perturbación)		0
Módulo de deformación, Em (Mpa)		548.06
Razón de Poisson, v		0.25
Criterio de falla de Hoek & Brown generalizad0 (2002)	Mb	1.723
	S	0.0001
	a	0.544

Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2022).

1.8.4 *Propiedad de los materiales considerados para el análisis numérico*

En esta sección se presentan los materiales considerados para el diseño de fortificación de los túneles y sus respectivas propiedades mecánicas. En zonas de agua mineralizadas (aguas acidas), los elementos metálicos del sostenimiento serán galvanizados por el proceso de inmersión en caliente y deberán cumplir con las normas ASTM A153 y ASTM A143, incluyendo los ensayos que éstas indiquen.

1.8.4.1 Pernos Helicoidales de acero lechados.- Estos pernos podrán ser usados para apernado radial de los túneles.

- Diámetros considerados: D = 22 mm, 25 mm
- Límite elástico: fy = 520 MPa
- Módulo de Young: E = 200.000 Mpa

1.8.4.2 Pernos Autoperforantes.- Estos pernos podrán ser usados para paraguas longitudinales en el túnel.

- Diámetros considerados: D = 32 mm, 38 mm
- Límite elástico: fy = 650 MPa
- Módulo de Young: E = 200.000 Mpa

1.8.4.3 Pernos de fibra.- Estos pernos se usan para soporte temporal de la frente de los túneles, solo en el caso que exista riesgo de inestabilidad en ella.

- Diámetros considerados: D = 20mm, 25mm
- Resistencia a la tracción: ft = 167 KN (φ 20mm), 262 KN (φ25mm)
- Módulo de Young: E = 35.000 Mpa

1.8.4.4 Marcos reticulados de acero de 3 barras.- Los marcos reticulados, se usan para sostenimiento de los túneles en rocas de muy mala o extremadamente mala calidad, y se usan en combinación con el refuerzo del concreto lanzado.

- Calidad del acero: Acero ASTM A706 Gr60.
- Tipo: 115/130
- Límite elástico: fy = 420 MPa
- Módulo de Young: E = 200.000 MPa
- Diámetro de las barras: 2 D = 25mm + 1 D = 32mm

1.8.4.5 Concreto lanzado con fibra sintética de polipropileno.- El concreto lanzado se utiliza para sostenimiento de túneles en cualquier clase de roca, Dosificación de fibras: que cumplan los requerimientos de absorción de energía siguientes, según ensayo EFNARC: Como revestimiento primario en rocas entre 700 y 1000 Joules dependiendo de la calidad de la roca.

- Resistencia a la compresión: f'c = 25 MPa
- Resistencia a la tracción: ft = 2,1 MPa
- Módulo de deformación: Ec = 15.000 MPa

1.8.4.6 Malla electrosoldada.- La malla electrosoldada se utilizará como refuerzo del concreto lanzado principalmente en rocas de mala calidad geotécnica. Acero calidad según norma ASTM A82

- Límite elástico: fy = 450 MPa
- Diámetro de alambre: D = 4 mm, 6 mm, 8 mm
- Espaciamiento: S = 4" x 4" típico a 6" x 6"

1.8.5 *Secuencia de excavación/Modelación*

El análisis consta de 4 fases principales siendo las indicadas a continuación:

1. Iniciación de esfuerzos in-situ
2. Excavación de Túnel de Relave en avances de 2.5m en clase IV, y en avances de 1.0m en clases V y VI
3. Excavación de Galerías de Estocadas (para modelos de estocada)
4. Excavación de Desquinche (para modelos de estocada)

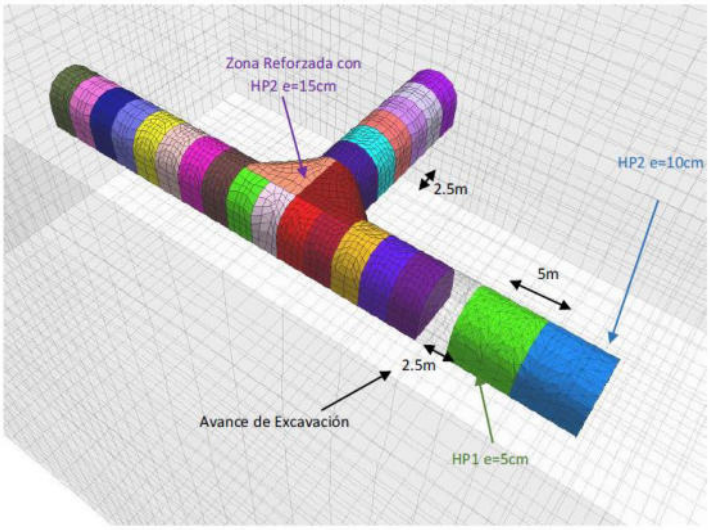
A continuación, se mostrará la secuencia de excavación de la estocada, dado que la excavación en modelos para zona típica considera solamente la fase 1 y 2 de la secuencia mostrada con avances modificados dependiendo del tipo de roca analizada.

La fase 1 corresponde a la inicialización de esfuerzos in-situ. En esta fase se incluyen los esfuerzos iniciales del macizo rocoso de acuerdo a su profundidad de análisis y a su relación de esfuerzos horizontales sobre los verticales (Ko). Una vez asignado el campo tensional in-situ se procede con la determinación de equilibrio del macizo y determinación de las deformaciones geoestáticas.

El inicio de actividades de excavación corresponde a la fase 2, la cual considera excavaciones del túnel relaves en avances de 2.5m, para efectos de la inclusión de las actividades de hormigón proyectado según espesor y modulo elástico de Young se presenta en la Figura 52 y la Figura 53. La Figura 54 presenta los diferentes espesores según la distancia a la frente, del mismo modo la presenta el módulo elástico del hormigón según la distancia a la frente.

Figura 52

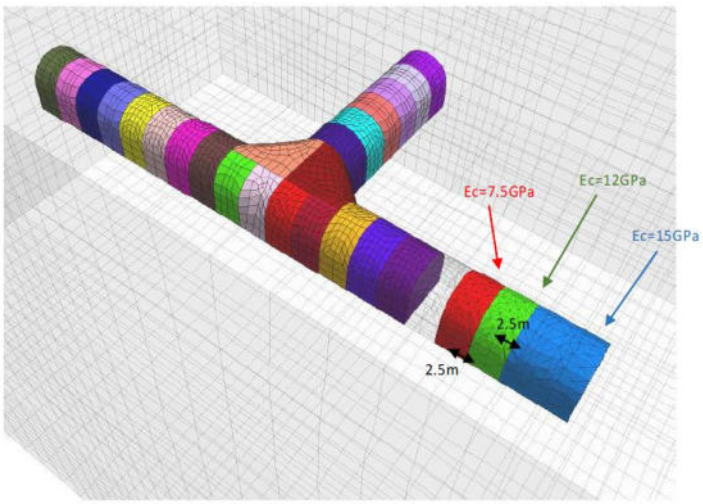
Longitudes de excavación de túnel SC y espesores de hormigón proyectado según distancia a la frente para Clase IV.



Nota. Sectorización del espesor de concreto según el avance (2022).

Figura 53

Longitudes de excavación de túnel SC y modulo elástico de los hormigones proyectado según distancia a la frente para Clase IV

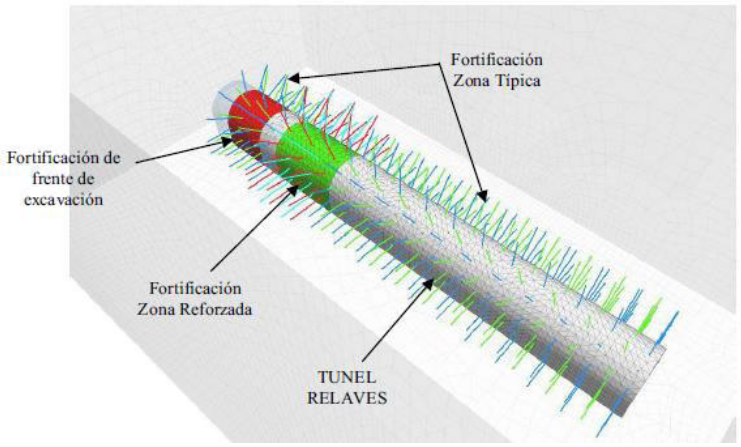


Nota. Sectorización modulo Young del concreto según la distancia del frente (2022).

Conforme se excava el túnel relaves y se desarrollan las labores de hormigonado se procede con las labores de fortificación mediante pernos en roca. La Figura 54 presenta las actividades de fortificación de pernos.

Figura 54

Labores de Fortificación con pernos en Túnel de Relaves para Clase IV

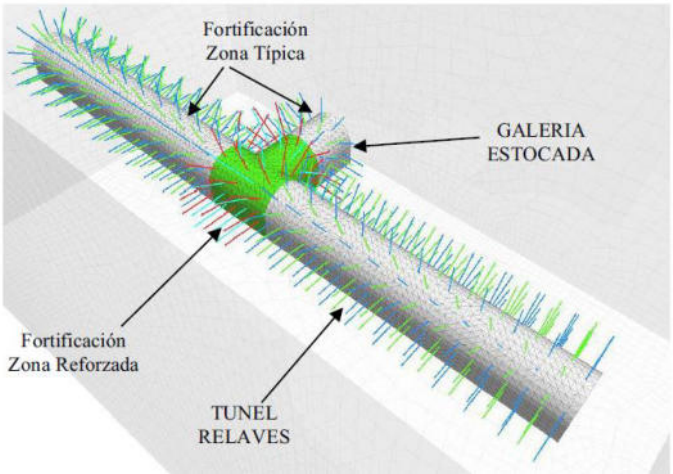


Nota: Sostenimiento en túnel y en frente de avance (2022).

Al final de la fase 2 es posible generar las excavaciones de la fase 3 (asociada a la galería de la estocada), este túnel considera los mismos criterios de excavación que el túnel de relave correspondiente de 2.5m de avance, el patrón de pernos considerado también coincide con el patrón de pernos de la zona típica de túnel de relave. La Figura 55 presenta un avance típico de esta galería de estocada.

Figura 55

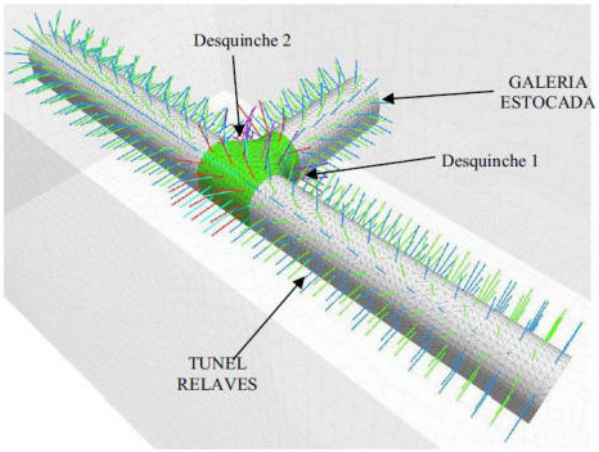
Avance intermedio de galería de estocada para Clase IV (se incluyen labores de excavación, labores de hormigón proyectado y de pernos de fortificación)



Nota. Sostenimiento en túnel, zona de desquinche y estocada (2022).

Posterior a la excavación completa de la galería de estocada se procede con los desquinches del cruce, lo cual se presenta en la Figura 56.

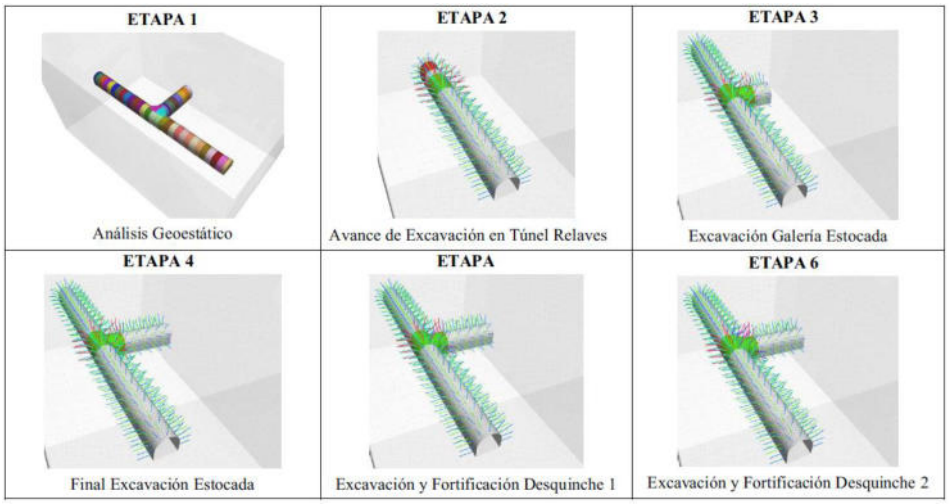
Figura 56
Excavación y fortificación de desquinches del cruce de túnel y galería estocada.



Nota. Zona de intersección entre túnel y estocada (2022).

La Figura 57, presenta de modo simplificado la secuencia de excavación/fortificación de las obras en sus diferentes fases.

Figura 57
Etapas de Modelación consideradas en modelos de estocadas de túneles Salveani Capillune



Nota. Secuencia de modelación que incluye las etapas de análisis de esfuerzos in situ, excavación de túnel, estocada y desquinche (2022).

1.8.6 *Modelación FLAC 3D*

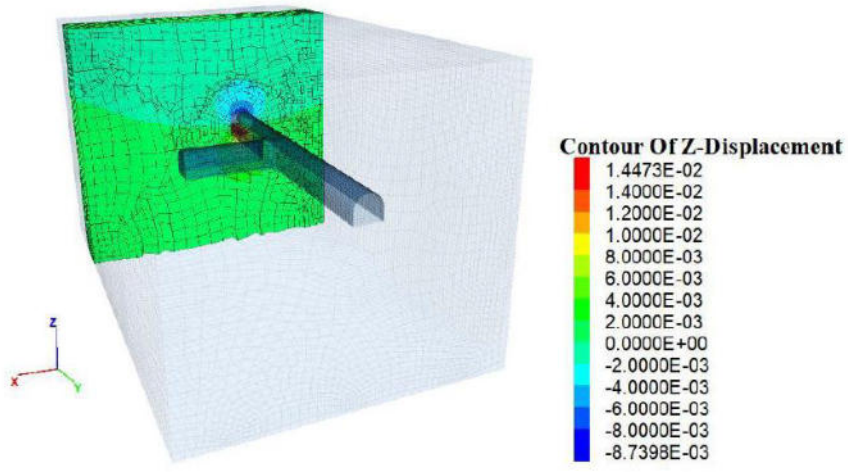
Las modelaciones se agrupan en 2 tipos, los primeros corresponden a las deformaciones esperadas en el macizo y los segundos corresponden a los esfuerzos en el medio y en los elementos de fortificación.

1.8.7 *Deformaciones del medio*

Las deformaciones en el medio se miden principalmente en 4 planos importantes del medio continuo, los 2 primeros planos corresponden a un eje transversal y otro longitudinal del túnel relave, los 2 segundos planos corresponden a un eje transversal y otro longitudinal de la galería de estocada, para efectos gráficos se presentan las deformaciones de la estocada en el túnel Salveani - Capillune (con profundidad de cálculo de 205m y Ko=1.0). La Figura 58 presenta las deformaciones en el plano transversal al túnel de relaves (Plano P1), la Figura 59 presenta las deformaciones en el eje longitudinal del túnel de relaves (Plano P2), la Figura 60 presenta las deformaciones en el eje transversal de la galería de estocada (Plano P3) y la Figura 61 lo hace para el eje longitudinal de la galería de estocada (Plano P4). En todas las figuras se presentan las deformaciones asociadas al último estado de avance del modelo numérico (etapa final), considerando Ko de 1.0 en la profundidad de 205m.

Figura 58

Deformaciones en el eje transversal al túnel relaves Salveani - Capillune (Plano P1 h=205m) (etapa 2 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m)

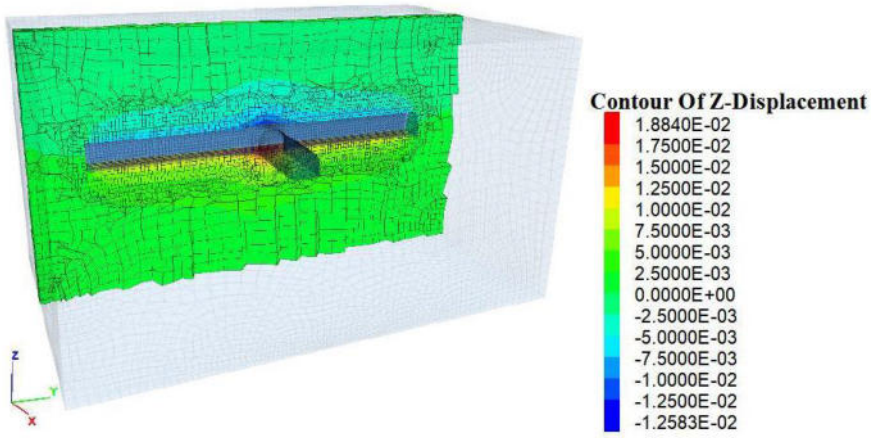


Nota. Análisis de deformaciones en zona de túnel SC (2022).

Para la presentación de gráficos de deformación de clave de túnel relaves en zona típica para roca clase IV, V y VI, se consideran los estados finales de la fase 2. Los gráficos son determinados en el plano P2, tal como presentados en la Figura 59.

Figura 59

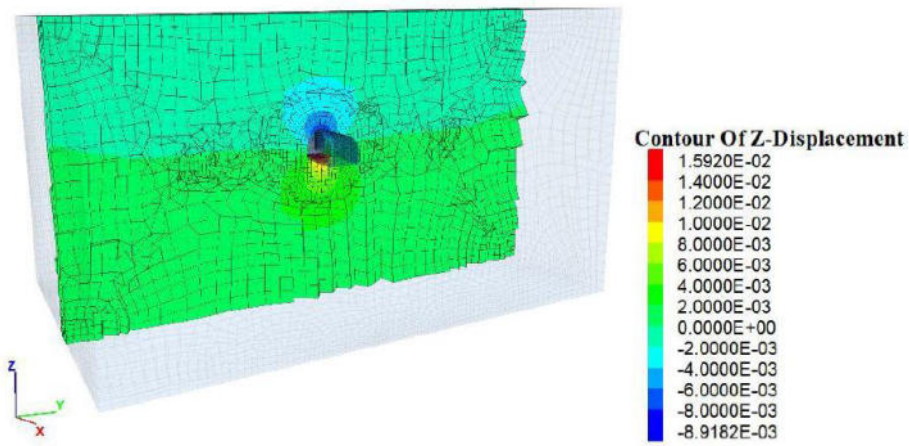
Deformaciones en ele longitudinal al túnel relaves Salveani Capillune (plano P2 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m)



Nota. Análisis de deformaciones en zona de túnel SC (2022).

Figura 60

Deformaciones en el eje transversal a la galería de estocada (Plano P3 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m)

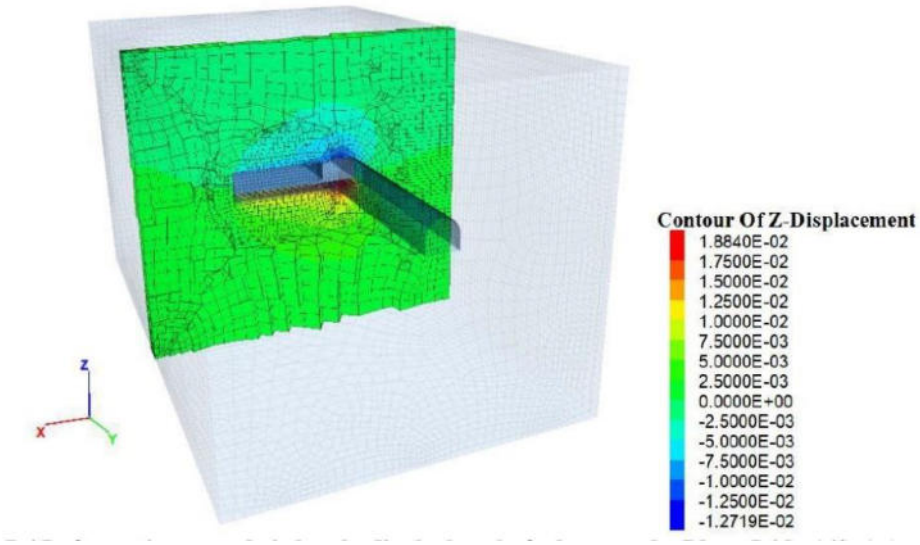


Nota: Análisis de deformaciones en zona de galería estocada

Para la presentación de gráficos de deformación de clave de túnel relaves con estocada, se consideran los estados finales de las fases 2, 3 y 4. Los gráficos son determinados en los planos P2 y P4, como se presenta en la Figura 59 y 61 .

Figura 61

Deformaciones en el eje longitudinal a la galería de estocada (Plano P4 h=205m) (etapa 6 final fase 4) (Ko=1.0) (unidades en m)

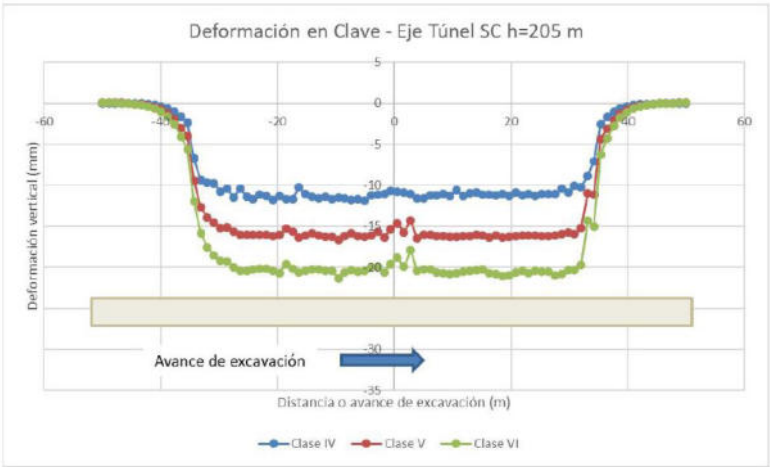


Nota. Análisis de deformaciones en zona de galería estocada (2022).

En la Figura 62 se presentan las deformaciones en la clave para los modelos de zona típica en macizo rocoso Clase IV, V y VI del Túnel de relave Salveani Capillune.

Figura 62

Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P2 h=205m) para estado final de fase 2 (unidades en m y mm).

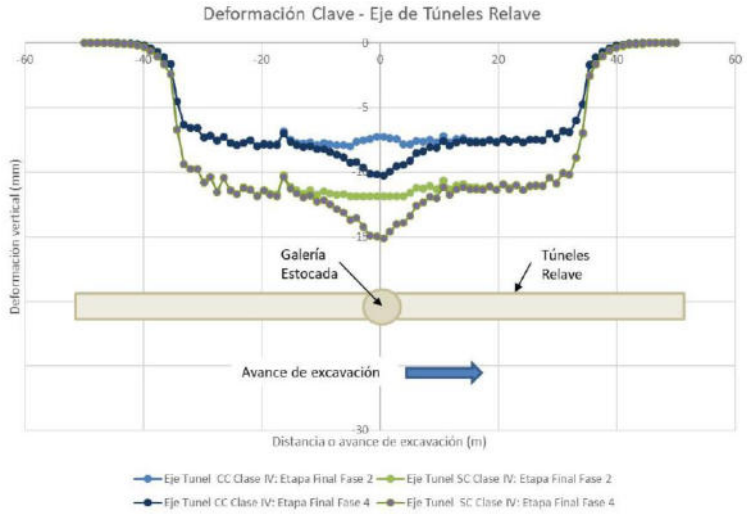


Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2022).

En la Figura 63 y en la Figura 64 se presentan las deformaciones en la clave para los modelos con estocada en macizo rocoso Clase IV del Túnel de Relave Capillune Cortadera y Salveani Capillune en el plano P2.

Figura 63

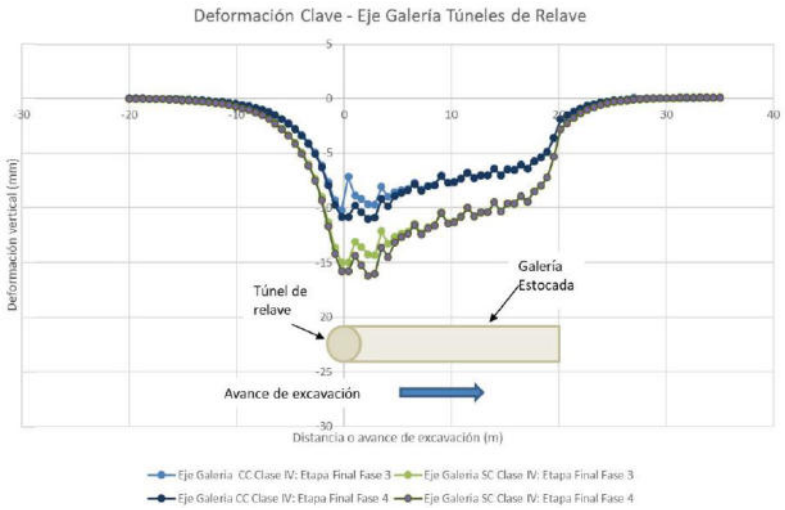
Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P2) para etapas finales Fase 2 y Fase 4 (unidades en m y mm).



Nota. Análisis deformación de clave túnel (intersección túnel y estocada) (2022).

Figura 64

Deformación de clave de túnel relaves Salveani Capillune (Plano P4) para etapas finales Fase 3 y Fase 4 (unidades en m y mm)



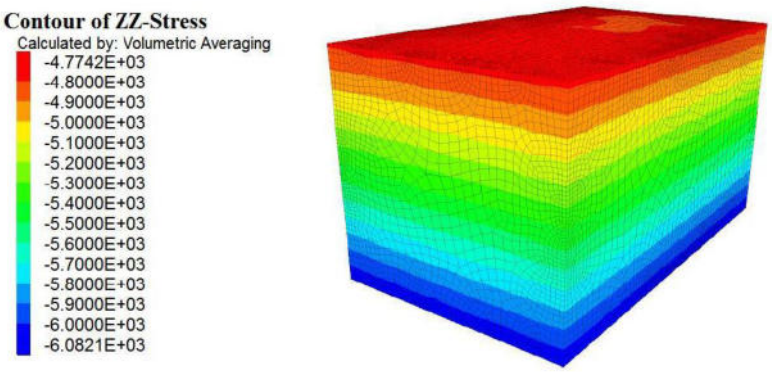
Nota. Análisis deformación de clave túnel (zona de desquinche y estocada) (2022).

1.8.8 *Esfuerzos en el medio*

La Figura 65 presenta los esfuerzos verticales obtenidos en el análisis inicial geoestático, el cual equilibra el campo tensional inicial y permite dar inicio a las secuencias de excavación proyectadas (etapa 1). Para el caso de los esfuerzos horizontales se presenta la Figura 66 y la Figura 67, es importante acotar que se ha modelado considerando una relación de esfuerzos Ko igual a la unidad (Ko=1), que al equilibrar el medio continuo difiere en una magnitud marginal en comparación al valor inicial de entrada del modelo numérico. Los resultados del modelo numérico asociado al túnel de relaves Salveani Capillune (h=205m), con Ko=1.

Figura 65

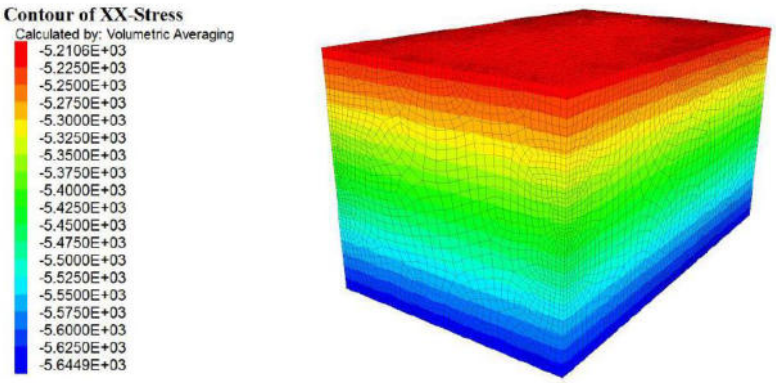
Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos verticales Szz del medio (unidades en kPa).



Nota. Etapa 1, análisis geoestático de esfuerzos in situ (2022).

Figura 66

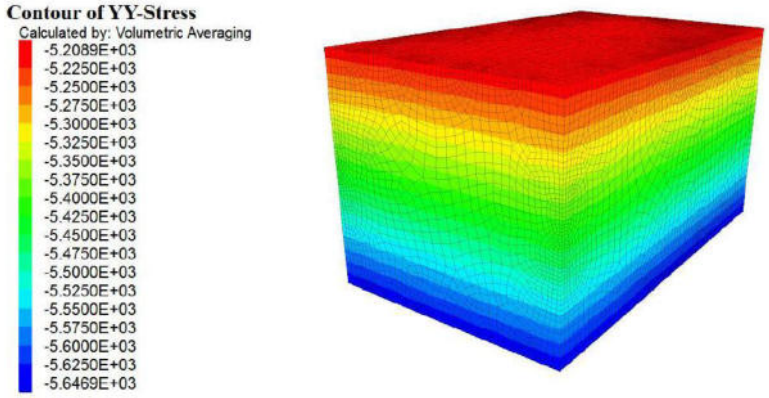
Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos horizontales Sxx del medio (unidades en kPa).



Nota. Etapa 1, análisis geoestático de esfuerzos in situ (2022).

Figura 67

Campo tensional in-situ equilibrado en etapa geoestático túnel SC (etapa 1 h=205m), se presentan los esfuerzos horizontales Syy del medio (unidades en kPa).

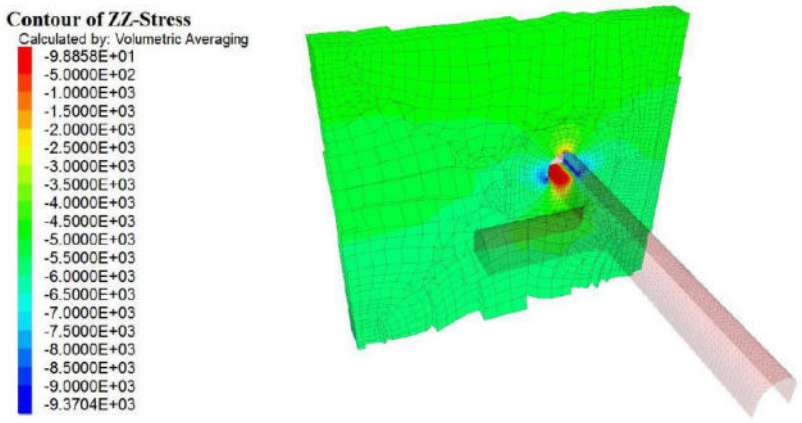


Nota. Etapa 1, análisis geoestático de esfuerzos in situ (2022).

Posterior a la inicialización de esfuerzos es pertinente presentar el comportamiento tensional cercano a las obras del túnel de releves, para esto se presentan los esfuerzos verticales y horizontales en el primer plano de control (Plano P1) para el estado final de excavaciones (etapa 6). La Figura 68 presenta los esfuerzos verticales del medio, la Figura 69 presenta los esfuerzos horizontales transversales al túnel relaves Sxx, para el caso de los esfuerzos verticales y horizontales transversales a la galería de estocada (Plano P4) se presenta la Figura 70 y la Figura 71

Figura 68

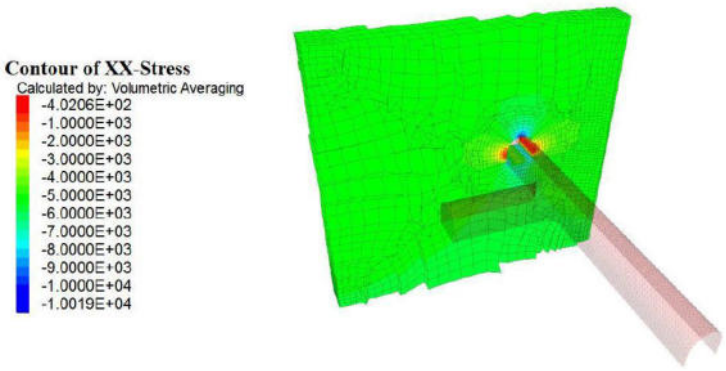
Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves Salveani Capillune (Plano P1 h=210m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa).



Nota. Etapa 6, análisis de esfuerzos de excavación en zona de túnel SC (2022).

Figura 69

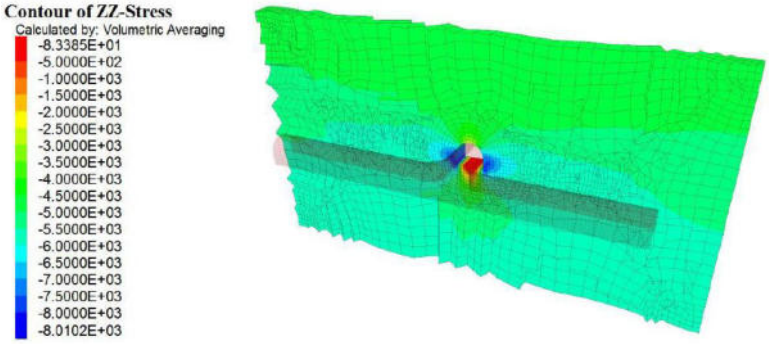
Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves Salveani Capillune (Plano P1 h=210m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa).



Nota. Etapa 6, análisis de esfuerzos de excavación en túnel SC (2022).

Figura 70

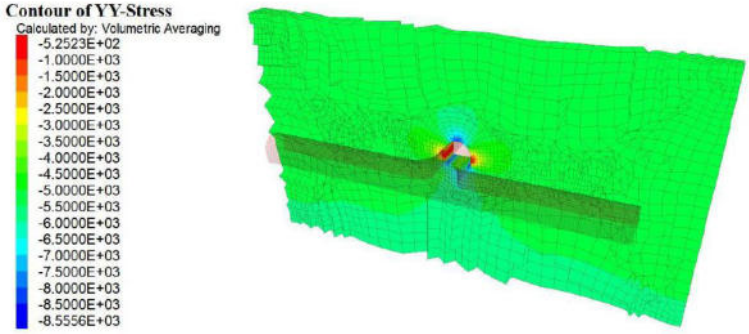
Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación de la galería de estocada (Plano P3 h=210m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa).



Nota. Etapa 6, análisis de esfuerzos de excavación en zona de galería estocada (2022).

Figura 71

Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación de la galería de estocada (Plano P3 h=205m) (etapa 6) Ko=1 (unidades en kPa).

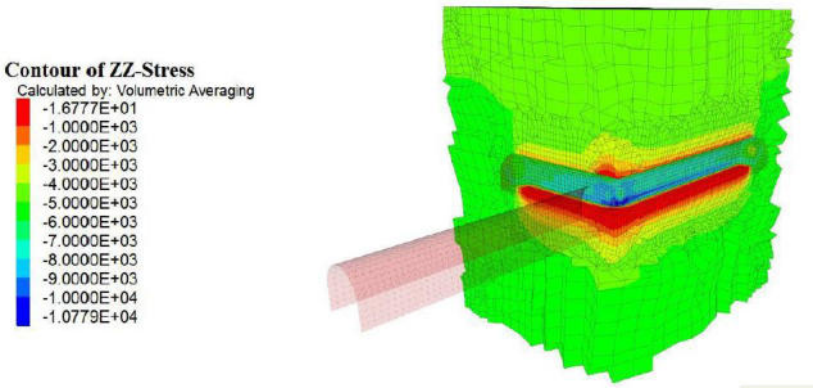


Nota. Etapa 6, análisis de esfuerzos de excavación en galería (2022).

Para el caso de presentación de esfuerzos en un formato 3D se opta por presentar la esquina de la zona de cruce de túneles, en la Figura 72 se presentan los esfuerzos verticales presentes en el medio y en las zonas anexas al contorno de excavación del túnel de relaves Salveani Capillune y su galería de estocada. La Figura 73 presenta los esfuerzos horizontales Sxx, que en este caso corresponden a los esfuerzos horizontales transversales al túnel de relaves, de modo similar la Figura 74 presenta los esfuerzos horizontales Syy que corresponden a los esfuerzos horizontales transversales a la galería de estocada.

Figura 72

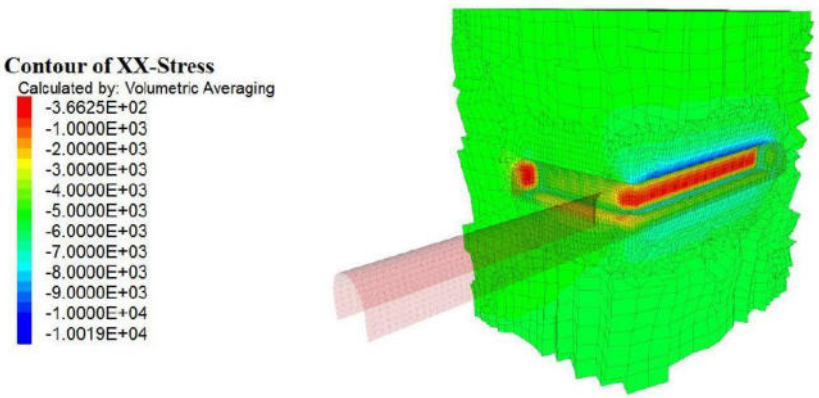
Esfuerzos verticales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves Salveani Capillune y estocada (h=205m) (etapa 4 Ko=1 (unidades en kPa).



Nota. Etapa 4, análisis de esfuerzos de excavación en túnel SC (2022).

Figura 73

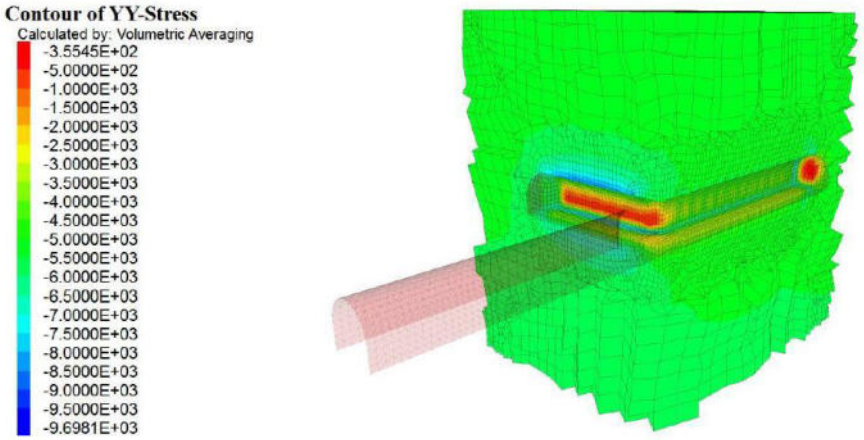
Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves Salveani Capillune y estocada (h=205m) (etapa 4) Ko=1 (unidades en kPa) (esfuerzos transversales a túnel relaves).



Nota. Etapa 4, análisis de esfuerzos de excavación en zona de túnel SC (2022).

Figura 74

Esfuerzos horizontales transversales en el macizo rocoso alrededor de la excavación del túnel relaves Salveani Capillune y estocada (h=205m) (etapa 2) Ko=1 (unidades en kPa) (esfuerzos transversales a galería de estocada).

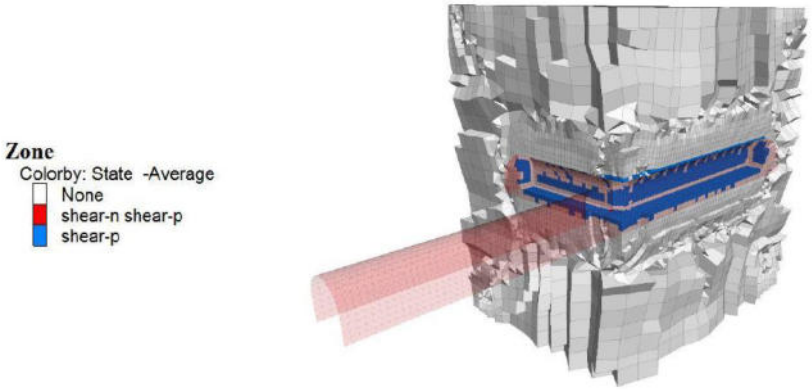


Nota. Etapa 6, análisis de esfuerzos de excavación en intersección túnel SC y estocada (2022).

En el caso de la determinación de las zonas plásticas alrededor de las excavaciones se presenta la Figura 75, la cual presenta las zonas plásticas presentes en las excavaciones desarrolladas en el túnel Salveani - Capillune con campo tensional in-situ asociado a una profundidad de 210m (h=210m) y distribución Ko=1. Tal como presentado en la figura no se esperan plastificaciones de consideración en la clave de los túneles, el índice “shear-p” indica Shear-Past, lo cual significa que en alguna etapa anterior a la última etapa (etapa 3), hubo alguna plastificación, sin embargo, en etapas posteriores el nivel tensional de la zona bajó y se mantuvo menor al criterio de falla.

Figura 75

Zonas de Plastificación para estocada excavada en túnel Salveani Capillune (h=205m) (Ko=1) (etapa 6).



Nota. Caracterización de plastificación en zona de túnel SC (2022).

CAPÍTULO III
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivos General

- Establecer las características y/o criterios para el análisis de fortificación y/o sostenimientos necesarios en la excavación del túnel Salveani Capillune del sistema de relaves en el proyecto Quellaveco.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Asegurar la estabilidad del túnel a largo plazo
- Garantizar a largo plazo la integridad física de la excavación.
- Proporcionar una alerta en caso de amenaza a la seguridad.
- Controlar el comportamiento geomecánico de la excavación y la comprensión del mecanismo involucrado, analizando la estabilidad de los sistemas de soportes.

3.2 Antecedentes

3.2.1 Antecedentes internacionales

(Castresana Gonzales, 2016), en su tesis de maestría: "Aplicación de métodos de análisis retrospectivos (Back Analiys) para estimar el estado de esfuerzo de un túnel del Oriente Antioqueño", en sus conclusiones indica que los esfuerzos del macizo rocoso están en equilibro cuando el terreno no sufre alteraciones, más bien cuando se inicia el proceso de excavación del túnel estos esfuerzos se redistribuyen generando zonas críticas de mayores esfuerzos en los hastiales, para llevar un control de estos esfuerzos y evitar deformaciones dentro de

túnel indica el registro de estaciones de convergencia, así mismo determino el módulo de deformación del macizo recoso mediante los métodos de clasificación geomecánica RMR, Q de Barton y RQD.

(Castresana Gonzales, 2016), en su tesis: "Análisis comparativo de metodología de sostenimiento de túneles", trata sobre el estudio de los túneles pajares (galería folleto) y Guadarrama, España. Indica que sobre las evaluaciones de caracterización del macizo rocoso y determinación del tipo de roca y sostenimiento según métodos empíricos como: RMR de Bieniawski 1989), Q de Barton (1974 - 1989), Romana (2001), ICE de celada (2011). Asimismo, hace un análisis y comparación de los métodos de sostenimiento empíricos con modelamiento de método numéricos empleando el método de elementos finitos a través de las herramientas FLAC 3D y Phase 2D, determinando si el sostenimiento empírico es adecuado o deficiente, la importancia de la comparación ayuda a corregir y modificar el diseño de fortificación, así mismo tomó en consideración la experiencia como reajuste para el sostenimiento, llegando a la conclusión que el sostenimiento para este proyecto según los criterios empíricos de Bieniawski y Romana se ajustan más a los comparados con los métodos numéricos.

(González Fuentes, 2016), en su tesis "Análisis del comportamiento de túneles excavados en roca ante cargas sísmicas mediante modelamiento numérico" detalla que para el análisis y modelamiento numérico de túneles mediante el software FLAC 3D se empleó parámetros como GSI, factor de perturbación D, Modulo de elasticidad, criterio de rotura de Hoek & Brown, registros sísmicos para análisis de deformaciones y esfuerzos axiales y longitudinales en las estructuras de soporte, así mismo considera la profundidad de emplazamiento del túnel (cobertura), concluyendo que el efecto dinámico afecta más a rocas de mala calidad y en menor medida a rocas de buena calidad y por último el efecto dinámico en las estructuras de sostenimiento disminuye mientras se encuentre mayor profundidad.

(Forero Buitrago, 2016), en su tesis de maestría "Método analítico para el análisis, revisión y diseño del sistema de sostenimiento de tú neles circulares construidos en suelos sometidos a procesos de consolidación" menciona que para el presente estudio se aplicó un método analítico y clasifica el tipo de sostenimiento en primario: los esfuerzos geo – estáticos son obtenidos a partir de la descompresión

de y descarga del túnel, mientras que el sostenimiento secundario toma los resultado del monitoreo a través de las celdas de presión, con el fin de comparar si los resultados el método analítico corresponde al de los obtenidos por el método de elementos finitos.

(Torres López, 2013), en su tesis "Excavación y sostenimiento primario en interior del túnel el sinaloense" indica sobre la importancia de tener establecido los parámetros geológicos – geotécnicos y geomecánicos entre ellos destacan el RMR de Bieniawski, Q de Barton, Romana, así mismo la realización de estudios a lo largo del túnel como: Sondeos de extracción de núcleos ya que la determinación del tipo de roca nos indicara el avance de la excavación y el tipo de sostenimiento para su estabilidad.

3.2.2 Antecedentes nacional

(Cruz Ordoñes, 2019), en su informe "Estudio comparativo entre requerimiento de soporte y fortificacion de tuneles definido según metodos empirios de clasificcion geomecanica y analisis numericos" abarca sobre el estudio del sostenimiento mediate metodos empiricos como el RMR y el modelamiento mediante elementos finitos con la herramienta Phasse 2D, propone algunas pautas para mejorar el sostenimineto y reducir las diferencias que existe entre el diseño en gabinete y el instalado en campo.

(Rios Bartolo, 2019), en su tesis "Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros los Ángeles", indica que los derrumbes dentro de un túnel se producen por un deficiente estudio geomecánico, el principal problema de la inestabilidad del macizo rocoso viene del tipo de material, por eso es importante la caracterización del macizo rocoso a través de la clasificación geomecánica. El resultado de 13 estaciones geomecánicas y la clasificación según Bieniawski indicaron la presencia de roca tipo II y III, así mismo se aplicó el criterio de Q de Barton para determinar el sostenimiento., para roca tipo II regular se recomienda el uso de bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5 x 2.5, para roca tipo III Mala se recomienda el uso de bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + shotcrete de espesor 50mm.

(Samané Tuni, 2019), en su tesis “Análisis metodológico de sostenimiento y proceso de excavación por método perforación y voladura y tuneladora túnel trasandino de olmos con estallido de roca” menciona la importancia de las estaciones de convergencias para llevar a cabo una adecuada evaluación de posibles estallidos de estallido de roca, y determinar el diseño del sostenimiento durante la construcción del túnel mediante las operaciones de perforación y voladura además indica el uso del Q de Barton para la determinación del sostenimiento de la siguiente manera: roca Tipo I con Q>5, no requiere sostenimiento, roca tipo II con 1<Q<5, pernos de anclaje c/s relleno, roca tipo III 0.1<Q>1, shotcrete de 40 a 90 mm de espesor más pernos sistemáticos cada 2.5m, roca tipo IV con Q< 0.1, pernos de anclaje más costillas reforzadas con shotcrete.

(Huamani Choquepalla, 2018), en su informe Profesional “Estudio Geológico Geotécnico de la central hidroeléctrica cerro del águila, provincia de Tayacaja, región de Huancavelica” está enfocado en la en los estudios a nivel de factibilidad cuyo objetivo es la realización de investigación geológica, geomecánica, geotecnia para determinar la viabilidad del proyecto en mención en el presente informe, los criterios geomecánicos empleados para la caracterización del macizo rocoso son: RMi de Palmstron, el RMR de Bieniawski, Q de Barton, y el GSI de Hoek, Marino.

3.2.3 Antecedentes Local

(Coaguila Apaza, 2021), en su tesis “Optimización del avance del túnel corre mediate la aplicación de voladura controlada para reducir la sobreexcavación en el proyecto minero Quellaveco 2020” toma como evaluación geomecánica para determinar clase de roca el índice de Q de Barton y su equivalente en la escala de RMR para optimizar los parámetros de perforación y voladura logrando reducir la sobreexcavación, así mismo detalla la utilización de marcos de perfil laminado (marcos noruegos) para la reducción de costos de sostenimiento producto de sobre excavaciones generadas por voladura en el túnel.

CAPÍTULO IV
DISCUSIÓN Y APORTES

En función de los resultados obtenidos a partir de la modelación numérica a través del programa de diferencias finitas FLAC 3D que considera un medio continuo, se verifica el diseño de la zona típica en roca Tipo IV, V y VI, así como las estocadas de escombrera y operacionales en roca tipo IV para el túnel de relaves Salveani Capillune bajo condiciones de esfuerzos in-situ de acuerdo con la relación de esfuerzo Ko=1.0 son estables.

De los resultados, se valida las fortificaciones definidas para la roca clase IV, V, VI y se estima que se pueden realizar estocadas en roca clase IV para mayores profundidades determinadas en el túnel Salveani Capillune. Así mismo no presenta plastificación alrededor de la excavación en un campo tensional in-situ a una profundidad de 210m ya que el sostenimiento definido logra controlar y estabilizar. Una vez finalizada la construcción, en una condición normal, se espera que el túnel ya fortificado esté en equilibrio, no debiendo observarse desplazamientos, incrementos en la carga de los pernos o en los esfuerzos sobre el sostenimiento.

En base a los análisis efectuados mediante la herramienta FLAC 3D, para evaluar las medidas de estabilización bajo las condiciones de sostenimiento definidas para la clase de roca IV, V, VI, mediante la determinación de parámetros geomecánicos (Anexo A), geotécnicos (Anexo B), cobertura (205m), geometría del túnel y estocadas se tuvo como resultado de la modelación numérica que dichas deformaciones se concentrar en la clave del túnel pero no ocasiona ninguna tipo de inestabilidad ya que el sostenimiento definido logra controlar de forma correcta los esfuerzos ejercidos sobre el techo y cajas del túnel

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizar un análisis del comportamiento del macizo rocoso mediante la recopilación y calculo utilizando expresiones empíricas y teóricas aprobados y utilizados por el área de ingeniería del proyecto para determinar el soporte definitivo, la caracterización y determinación de la clase de roca debe estar bien definida ya que es el principal parámetro para la determinación de la fortificación definitivas del túnel, se realizó la comparación del soporte designado y utilizado en la excavación del túnel con el análisis numérico a través de las deformaciones y esfuerzos presentes en el túnel y estocadas.

En base a los análisis efectuados mediante la herramienta FLAC 3D, para evaluar las medidas de estabilización bajo las condiciones de sostenimiento definidas para la clase de roca IV, V, VI, mediante la determinación de parámetros geomecánicos (Anexo A), geotécnicos (Anexo B), cobertura (205m), geometría del túnel y estocadas se tuvo como resultado de la modelación numérica que dichas deformaciones se concentrar en la clave del túnel pero no ocasiona ninguna tipo de inestabilidad ya que el sostenimiento definido logra controlar de forma correcta los esfuerzos ejercidos sobre el techo y cajas del túnel

Se recomienda incluir secciones de monitoreo geotécnico permanente para los túneles de relaves, el cual debe ser complementado con visitas e inspecciones periódicas. Las ubicaciones de las estaciones son referenciales y deben ser definidas durante la construcción

BIBLIOGRAFIA

Anglo American (2018), Proyecto Quellaveco, Moquegua, *Ubicación del Proyeto Minero*, obtenido de https://peru.angloamerican.com/es-es

Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the design of Tunnel Support. Philadelphia

Castresana Gonzales, L. (2016). Análisis comparativo de metodología de sostenimiento. *Trabajo de fin de master*. Repositorio Universidad de Oviedo, Oviedo, España: http://hdl.handle.net/10651/38203.

Coaguila Apaza, J. (2021). Optimización del avance del túnel correa mediante la aplicación de voladura controlada para reducir la sobreexcavación en el proyecto minero Quellaveco - 2020. *Tesis*. Repositorio institucional Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua:

http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/291.

Forero Buitrago, D. (2016). Método analítico para el análisis, revisión y diseño del sistema de sostenimiento de túneles circulares construidos en suelos sometidos a procesos de consolidación. *Tesis de maestria*. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información Universidad Autonoma de Mexico, Ciudad de Mexico, Mexico: https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000753000.

Global Mapping (2018), Proyecto Quellaveco, Moquegua, *Informacion de la Empresa*, obtenido de https://globalmapping.biz/

González Fuentes, S. (2016). Análisis del comportamiento de túneles excavados en roca ante cargas sísmicas mediante modelamiento numérico. *Tesis*. Repositorio Academico de la Universidad de Chile, Santiago, Chile: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/141112.

Hoek, E. (2000). Practical Rock Engineering. Toronto, Canada

Huamani Choquepalla, S. (2018). Estudio geológico geotécnico de la central hidroeléctrica Cerro del Aguila, Provincia de Tayacaja, Región de Huancavelica .*Tesis*. Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa:

http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7049.

Rios Bartolo, R. (2019). Evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”. *Tesis*. Repositorio Institucional Universidad Nacional Federico Villarreal:

http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2763.

Samané Tuni, P. (2019). Analisis metodologico de sostenimiento y proceso de excavacion por metodo perforación y voladura y tuneladora túnel trasandino de olmos con estallidos de roca. *Tesis de maestria*. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica: http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3194.

Soto Vilca, A. (2017). Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea. *Tesis*. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Altiplano, Puno: http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2996.

Torres López, M. (2013). Excavación y sostenimiento primario en interior del túnel "El Sinaloense". *Tesis*. Repositorio de la facultad de Ingenieria Universidad Autonoma de Mexico, Ciudad de Mexico, Mexico: http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5608.

Velásquez Ortiz, A. (2021). Aplicación de métodos de análisis retrospectivos (Back Analiys) para estimar el estado de esfuerzo de un túnel del Oriente Antioqueño *Tesis de maestria*. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81066

ANEXOS

ANEXO A: *Evaluación Geomecánica Túnel Salveani Capillune*

- ***Portal de entrada***

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+002.61	1.09	60	24	0.5	8	1	2.5	**0.063**	V-Portal
0+003.70	2	60	24	0.5	8	1	2.5	**0.063**	V-Portal
0+005.70	2.1	60	24	0.5	8	1	2.5	**0.063**	V-Portal
0+007.80	1.8	60	24	0.5	8	1	2.5	**0.063**	V-Portal
0+009.60	2	60	24	0.5	6	1	2.5	**0.083**	V-Portal
0+011.60	1.01	60	24	0.5	6	1	2.5	**0.083**	V-Portal
0+012.61	0.79	60	12	0.5	6	1	2.5	**0.167**	IV
0+013.40	2.9	50	15	1	4	1	2.5	**0.333**	IV
0+016.30	2.8	50	15	1	5	1	2.5	**0.267**	IV
0+019.10	2.5	50	15	1	4	1	2.5	**0.333**	IV
0+021.60	3.9	50	15	1	4	1	2.5	**0.333**	IV
0+025.50	3	55	15	1	4	1	2.5	**0.367**	IV
0+028.50	2.8	50	15	1	4	1	2.5	**0.333**	IV
0+031.30	3.5	55	15	1	4	1	2.5	**0.367**	IV
0+034.80	2.8	60	15	1	4	1	2.5	**0.400**	IV
0+037.60	3.1	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
0+040.70	2.9	60	12	1	4	1	2.5	**0.500**	IV
0+043.60	3	65	12	1.5	4	1	2.5	**0.813**	IV
0+046.60	2.8	70	12	1.5	4	1	2.5	**0.875**	IV
0+049.40	3	70	12	1.5	4	1	2.5	**0.875**	IV
0+052.40	2.8	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
0+055.20	3.5	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
0+058.70	3.2	60	12	1	6	1	2.5	**0.333**	IV
0+061.90	3.1	65	12	1.5	4	1	2.5	**0.813**	IV
0+065.00	3	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
0+068.00	3	75	12	1.5	2	1	2.5	**1.875**	III
0+071.00	3.6	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+074.60	3.4	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+078.00	3.4	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+081.40	2.9	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+084.30	3.8	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+088.10	3.1	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+091.20	3.2	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+094.40	3	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+097.40	3.9	70	12	1.5	2	1	2.5	**1.750**	III
0+101.30	3.9	70	12	1.5	2	1	2.5	**1.750**	III
0+105.20	3.3	60	12	1	4	1	2.5	**0.500**	IV
0+108.50	2.7	60	12	1	4	1	2.5	**0.500**	IV
0+111.20	2.8	70	12	1	3	1	2.5	**0.778**	IV
0+114.00	2.8	70	12	1	3	1	2.5	**0.778**	IV
0+116.80	3.2	65	12	1	3	1	2.5	**0.722**	IV
0+120.00	3.7	60	12	1	3	1	2.5	**0.667**	IV
0+123.70	2.9	50	12	1	4	1	2.5	**0.417**	IV
0+126.60	3.3	50	12	1	4	1	2.5	**0.417**	IV
0+129.90	3.5	70	12	1	3	1	2.5	**0.778**	IV
0+133.40	2	60	12	1	3	1	2.5	**0.667**	IV
0+135.40	3.1	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+138.50	3	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+141.50	3.3	85	12	1.5	2	1	2.5	**2.125**	III
0+144.80	3.1	75	12	1.5	2	1	2.5	**1.875**	III
0+147.90	3	85	12	1.5	2	1	2.5	**2.125**	III
0+150.90	3.8	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+154.70	3.1	70	12	1.5	2	1	2.5	**1.750**	III
0+157.80	3.4	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+161.20	3.2	85	12	1.5	2	1	2.5	**2.125**	III
0+164.40	3.3	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+167.70	3.5	90	9	2	1	1	2.5	**8.000**	II
0+171.20	3.3	85	12	1.5	1	1	2.5	**4.250**	III
0+174.50	2.8	90	9	1.5	1	1	2.5	**6.000**	II
0+177.30	3.6	90	9	1.5	1	1	2.5	**6.000**	II
0+180.90	3.1	85	12	2	2	1	2.5	**2.833**	III
0+184.00	2.8	75	12	1.5	2	1	2.5	**1.875**	III
0+186.80	2.8	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+189.60	3.1	75	12	1	3	1	2.5	**0.833**	IV
0+192.70	2.5	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
0+195.20	3.3	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+198.50	2.8	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+201.30	3.1	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+204.40	2.9	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+207.30	2.6	90	9	1.5	2	1	2.5	**3.000**	III

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+209.90	2.6	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+212.50	3.2	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+215.70	3.3	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+219.00	2.8	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+221.80	3.5	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+225.30	3	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+228.30	3.2	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+231.50	4.2	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+235.70	3.1	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+238.80	3.5	75	6	1.5	2	1	2.5	**3.750**	III
0+242.30	3.3	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+245.60	3.1	85	12	1.5	2	1	2.5	**2.125**	III
0+248.70	3.6	90	9	1.5	1	1	2.5	**6.000**	II
0+252.30	3.2	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+255.50	3.6	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+259.10	3.8	85	12	1.5	1	1	2.5	**4.250**	III
0+262.90	3.7	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+266.60	2.9	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+269.50	2.7	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+272.20	3.7	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+275.90	2.8	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+278.70	3.6	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+282.30	3.6	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+285.90	3.5	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+289.40	2	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+291.40	3.2	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+294.60	3.9	80	6	2	2	1	2.5	**5.333**	II
0+298.50	4	80	6	2	2	1	2.5	**5.333**	II
0+302.50	3.9	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+306.40	3.5	60	9	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+309.90	3.6	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+313.50	3.6	70	9	2	3	1	2.5	**2.074**	III
0+317.10	3.2	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+320.30	3.7	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+324.00	3.6	75	12	1.5	2	1	2.5	**1.875**	III
0+327.60	3.1	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+330.70	3.6	80	6	1.5	2	1	2.5	**4.000**	III

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+334.30	3.4	80	6	1.5	2	1	2.5	**4.000**	III
0+337.70	3.6	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+341.30	3.6	70	12	1.5	2	1	2.5	**1.750**	III
0+344.90	4.2	60	9	1	3	1	2.5	**0.889**	IV
0+349.10	2.5	60	9	1	3	1	2.5	**0.889**	IV
0+351.60	2.9	80	6	1.5	1	1	2.5	**8.000**	II
0+354.50	2.7	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+357.20	4.2	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+361.40	3.4	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+364.80	3	85	6	1.5	2	1	2.5	**4.250**	III
0+367.80	3.2	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+371.00	3.1	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+374.10	3.2	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+377.30	2.9	80	6	1	8	1	2.5	**0.667**	IV
0+380.20	2.8	80	9	1.5	6	1	2.5	**0.889**	IV
0+383.00	2.8	60	9	1	8	1	2.5	**0.333**	IV
0+385.80	2.9	60	9	1	6	1	2.5	**0.444**	IV
0+388.70	3	80	6	1	4	1	2.5	**1.333**	III
0+391.70	2.9	85	6	1	1	1	2.5	**5.667**	II
0+394.60	2.2	90	6	1	1	1	2.5	**6.000**	II
0+396.80	3.1	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+399.90	3.1	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+403.00	3.5	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+406.50	3	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+409.50	3.3	90	6	1.5	1	1	2.5	**9.000**	II
0+412.80	3	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+415.80	2.6	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+418.40	3.1	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+421.50	3.2	95	6	1.5	1	1	2.5	**9.500**	II
0+424.70	2.6	95	6	1.5	0.75	1	2.5	**12.667**	I
0+427.30	2.6	90	6	1.5	0.75	1	2.5	**12.000**	I
0+429.90	4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+433.90	2.9	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+436.80	3.4	90	4	1.5	2	1	1	**16.875**	I
0+440.20	3.2	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+443.40	3.6	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I
0+447.00	3.5	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+450.50	3.4	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I
0+453.90	3.8	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+457.70	3.5	80	9	1.5	0.75	1	1	**17.778**	I
0+461.20	3.6	80	9	1.5	0.75	1	1	**17.778**	I
0+464.80	3.8	80	9	1.5	0.75	1	1	**17.778**	I
0+468.60	3.8	80	9	1.5	1	1	1	**13.333**	I
0+472.40	3.6	75	9	1.5	2	1	1	**6.250**	II
0+476.00	3	80	9	1.5	2	1	1	**6.667**	II
0+479.00	3.4	85	9	1.5	2	1	1	**7.083**	II
0+482.40	3.7	75	9	1.5	2	1	1	**6.250**	II
0+486.10	2.9	75	9	1.5	2	1	1	**6.250**	II
0+489.00	3.5	80	9	1.5	2	1	1	**6.667**	II
0+492.50	3.4	85	9	1.5	2	1	1	**7.083**	II
0+495.90	3	75	9	1.5	2	1	1	**6.250**	II
0+498.90	3.7	90	9	1.5	2	1	1	**7.500**	II
0+502.60	3.4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+506.00	3.1	95	6	1.5	1	1	1	**23.750**	I
0+509.10	3.6	95	4	1.5	1	1	1	**35.625**	I
0+512.70	3.5	95	6	3	1	1	1	**47.500**	I
0+516.20	3.5	90	6	3	1	1	1	**45.000**	I
0+519.70	3.5	90	6	3	1	1	1	**45.000**	I
0+523.20	3.7	95	6	3	1	1	1	**47.500**	I
0+526.90	2.1	80	6	1.5	1	1	1	**20.000**	I
0+529.00	3.3	85	9	2	1	1	1	**18.889**	I
0+532.30	3.7	85	9	2	1	1	1	**18.889**	I
0+536.00	3.5	85	9	1.5	1	1	1	**14.167**	I
0+539.50	3.8	80	9	1.5	1	1	1	**13.333**	I
0+543.30	3.3	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+546.60	4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+550.60	3.7	85	12	1.5	2	1	1	**5.313**	II
0+554.30	3.1	85	9	1.5	2	1	1	**7.083**	II
0+557.40	2.9	85	9	1.5	2	1	1	**7.083**	II
0+560.30	3.1	80	9	2	2	1	1	**8.889**	II
0+563.40	2.8	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+566.20	3.6	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+569.80	3	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+572.80	3.2	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+576.00	3.5	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I
0+579.50	3.5	90	6	1.5	1	1	1	**22.500**	I
0+583.00	3.4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+586.40	3.5	85	6	1.5	1	1	1	**21.250**	I
0+589.90	3.3	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+593.20	4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+597.20	3.5	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+600.70	3.7	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+604.40	3	85	6	1.5	1	1	1	**21.250**	I
0+607.40	4	90	3	1.5	2	1	1	**22.500**	I
0+611.40	3.9	80	6	1.5	1	1	1	**20.000**	I
0+615.30	3.7	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+619.00	3.5	85	6	1.5	1	1	1	**21.250**	I
0+622.50	3.4	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+625.90	3.1	75	6	1.5	1	1	1	**18.750**	I
0+629.00	3.7	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+632.70	3.3	75	6	1.5	1	1	1	**18.750**	I
0+636.00	3.6	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+639.60	3.5	90	6	2	2	1	1	**15.000**	I
0+643.10	3.6	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+646.70	3.1	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+649.80	3.5	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+653.30	3.6	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+656.90	3.5	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+660.40	4	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I
0+664.40	3	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+667.40	4	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+671.40	3.6	80	6	2	2	1	1	**13.333**	I
0+675.00	3	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+678.00	3.4	75	6	2	2	1	1	**12.500**	I
0+681.40	3.4	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+684.80	4	85	6	2	2	1	1	**14.167**	I
0+688.80	3.4	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+692.20	3.2	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+695.40	3.9	85	6	1.5	3	1	1	**7.083**	II
0+699.30	3	70	6	1.5	3	1	1	**5.833**	II
0+702.30	3.8	75	6	1.5	3	1	1	**6.250**	II

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de rocas
0+706.10	3.2	80	6	1.5	3	1	1	**6.667**	II
0+709.30	3	70	6	1.5	3	1	1	**5.833**	II
0+712.30	3.9	75	6	1.5	3	1	1	**6.250**	II
0+716.20	3.4	70	6	1.5	3	1	1	**5.833**	II
0+719.60	3.5	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+723.10	3.5	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+726.60	3.4	80	6	1.5	3	1	1	**6.667**	II
0+730.00	3.4	75	6	1.5	3	1	1	**6.250**	II
0+733.40	3	75	6	1.5	2	1	1	**9.375**	II
0+736.40	3.9	85	9	1.5	2	1	1	**7.083**	II
0+740.30	2.5	90	6	1.5	2	1	1	**11.250**	I
0+742.80	3.1	80	6	1.5	3	1	1	**6.667**	II
0+745.90	4	70	9	1.5	3	1	1	**3.889**	III
0+749.90	3.2	75	9	1.5	3	1	1	**4.167**	III
0+753.10	3.6	70	9	1.5	3	1	1	**3.889**	III
0+756.70	3.8	70	9	1.5	3	1	1	**3.889**	III
0+760.50	2.5	60	12	1	6	1	1	**0.833**	IV
0+763.00	3.8	45	12	0.5	8	1	2.5	**0.094**	V
0+766.80	2.1	45	12	0.5	8	1	2.5	**0.094**	V
0+768.90	2.5	45	12	0.5	13	1	2.5	**0.058**	V
0+771.40	1.9	45	12	0.5	13	1	2.5	**0.058**	V
0+773.30	2.1	55	12	1.5	3	1	2.5	**0.917**	IV
0+775.40	2.8	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+778.20	3	80	12	1.5	3	1	1	**3.333**	III
0+781.20	3.3	78	12	1.5	2	1	1	**4.875**	III
0+784.50	3.2	70	6	1.5	2	1	1	**8.750**	II
0+787.70	3	75	6	1.5	3	1	1	**6.250**	II
0+790.70	2.8	75	9	1.5	3	1	1	**4.167**	III
0+793.50	3.7	60	9	1	4	1	1	**1.667**	III
0+797.20	2.7	60	12	1	6	1	1	**0.833**	IV
0+799.90	3	70	12	1.5	4	1	1	**2.188**	III
0+802.90	3	65	12	1.5	2	1	1	**4.063**	III
0+805.90	3.2	70	9	1.5	2	1	1	**5.833**	II
0+809.10									

- ***Portal de salida***

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de Roca
1+088.34	1.8	55	30	0.5	4	1	2.5	**0.092**	V-Portal
1+086.54	2.3	55	30	0.5	4	1	2.5	**0.092**	V-Portal
1+084.24	2.6	55	30	0.5	4	1	2.5	**0.092**	V-Portal
1+081.64	2.7	55	30	0.5	4	1	2.5	**0.092**	V-Portal
1+078.94	2.04	75	30	1	3	1	2.5	**0.333**	V-Portal
1+076.90	2.4	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+074.50	2.7	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+071.80	2.9	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+068.90	3.3	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+065.60	3	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+062.60	2.3	60	12	1.5	4	1	2.5	**0.750**	IV
1+060.30	2.8	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
1+057.50	0	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
1+057.50	2.7	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
1+054.80	2.8	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
1+052.00	3.3	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
1+048.70	3.4	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
1+045.30	2.3	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
1+043.00	3.5	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
1+039.50	3.6	80	12	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
1+035.90	2.5	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+033.40	2.3	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+031.10	3	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+028.10	3.6	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+024.50	3.6	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+020.90	2.5	70	9	1	3	1	2.5	**1.037**	III
1+018.40	3.2	70	9	1.5	3	1	2.5	**1.556**	III
1+015.20	2.9	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+012.30	3.6	75	9	1.5	3	1	2.5	**1.667**	III
1+008.70	3.2	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
1+005.50	3.2	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
1+002.30	3	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+999.30	3.3	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+996.00	3.1	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+992.90	3	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de Roca
0+989.90	3.2	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+986.70	3	70	12	1.5	3	1	2.5	**1.167**	III
0+983.70	3.1	60	12	1	4	1	2.5	**0.500**	IV
0+980.60	2.8	55	12	1	4	1	2.5	**0.458**	IV
0+977.80	3	65	12	1	3	1	2.5	**0.722**	IV
0+974.80	3	70	12	1	3	1	2.5	**0.778**	IV
0+971.80	2.5	70	12	1	2	1	2.5	**1.167**	III
0+969.30	3.6	75	12	1	2	1	2.5	**1.250**	III
0+965.70	2.9	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+962.80	3	80	6	2	2	1	2.5	**5.333**	II
0+959.80	2.7	75	6	2	2	1	2.5	**5.000**	II
0+957.10	3	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+954.10	3.5	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+950.60	3.1	80	12	1.5	2	1	2.5	**2.000**	III
0+947.50	2.9	75	12	1.5	3	1	2.5	**1.250**	III
0+944.60	3.1	80	9	1.5	1	1	2.5	**5.333**	II
0+941.50	3	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+938.50	3.1	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+935.40	3	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+932.40	3.2	80	9	1.5	2	1	2.5	**2.667**	III
0+929.20	2.7	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+926.50	2.5	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+924.00	2.5	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+921.50	2.8	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+918.70	2.6	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+916.10	3.1	85	9	1.5	2	1	2.5	**2.833**	III
0+913.00	2.8	85	9	1.5	1	1	2.5	**5.667**	II
0+910.20	3.4	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+906.80	3	60	9	1.5	3	1	2.5	**1.333**	III
0+903.80	3	70	9	1.5	2	1	2.5	**2.333**	III
0+900.80	2.9	80	6	1.5	2	1	2.5	**4.000**	III
0+897.90	2.9	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+895.00	2.4	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+892.60	2.8	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+889.80	3	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+886.80	3	75	9	1.5	2	1	2.5	**2.500**	III
0+883.80	2.9	80	6	1.5	2	1	2.5	**4.000**	III

Progresiva	Avance (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Tipo de Roca
0+880.90	2.4	75	6	1.5	1	1	2.5	**7.500**	II
0+878.50	2.9	80	6	1.5	1	1	2.5	**8.000**	II
0+875.60	3	85	6	1.5	1	1	2.5	**8.500**	II
0+872.60	3.5	75	6	1	2	1	1	**6.250**	II
0+869.10	3	65	9	1	2	1	1	**3.611**	III
0+866.10	2.9	75	9	1	2	1	1	**4.167**	III
0+863.20	2.8	70	12	1	2	1	1	**2.917**	III
0+860.40	3.1	70	12	1	2	1	1	**2.917**	III
0+857.30	3.2	80	6	1	3	1	1	**4.444**	III
0+854.10	2.5	80	6	1	2	1	1	**6.667**	II
0+851.60	3	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+848.60	2.6	75	6	1.5	2	1	1	**9.375**	II
0+846.00	3	70	6	1.5	2	1	1	**8.750**	II
0+843.00	2.7	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II
0+840.30	3.2	75	6	1	1	1	1	**12.500**	I
0+837.10	3.1	80	6	1.5	1	1	1	**20.000**	I
0+834.00	3	80	6	1.5	1	1	1	**20.000**	I
0+831.00	3	75	6	1.5	2	1	1	**9.375**	II
0+828.00	3.1	55	6	0.5	6	1	1	**0.764**	IV
0+824.90	2.9	65	6	0.5	6	1	1	**0.903**	IV
0+822.00	3	75	6	1	3	1	1	**4.167**	III
0+819.00	3.5	75	6	1.5	2	1	1	**9.375**	II
0+815.50	3.2	85	6	1.5	2	1	1	**10.625**	I
0+812.30	3.2	80	6	1.5	2	1	1	**10.000**	II

Nota. Área de Ingeniería del proyecto Quellaveco (2021).

ANEXO B: ***Evaluación Geotécnica Túnel Salveani Capillune***

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 000.00	-	-	-	-	-	Brocal
0 + 002.61	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Brocal
0 + 003.70	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 005.70	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 007.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 009.60	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 011.60	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 012.61	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 013.40	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 016.30	seco	F3	W2	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 019.10	seco	F3	W2	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 021.60	seco	F3	W2	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 025.50	seco	F3 - F4	W2	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 028.50	seco	F3 - F4	W2	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 031.30	seco	F3 - F4	W2	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 034.80	seco	F3 - F4	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 037.60	seco	F3 - F4	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 040.70	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 043.60	seco	F3 - F4	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 046.60	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 049.40	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 052.40	seco	F3 - F4	W3 - W4	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 055.20	seco	F3 - F4	W3 - W4	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 058.70	seco	F2 - F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 061.90	seco	F3	W2 - W3	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 065.00	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 068.00	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 071.00	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 074.60	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 078.00	seco	F2	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 081.40	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 084.30	seco	F3	W2	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 088.10	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 091.20	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 094.40	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 097.40	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 101.30	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 105.20	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 108.50	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 111.20	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 114.00	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 116.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 120.00	seco	F2 - F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 123.70	seco	F3 - F4	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 126.60	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 129.90	seco	F3 - F4	W2	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 133.40	seco	F3 - F4	W2	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 135.40	seco	F3 - F4	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 138.50	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 141.50	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 144.80	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 147.90	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 150.90	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 154.70	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 157.80	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 161.20	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 164.40	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 167.70	seco	F2	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 171.20	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 174.50	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 177.30	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 180.90	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 184.00	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 186.80	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 189.60	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 192.70	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 195.20	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 198.50	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 201.30	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 204.40	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 207.30	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 209.90	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 212.50	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 215.70	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 219.00	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 221.80	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 225.30	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 228.30	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 231.50	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 235.70	seco	F2 - F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 238.80	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 242.30	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 245.60	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 248.70	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 252.30	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 255.50	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 259.10	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 262.90	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 265.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 269.50	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 272.20	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 275.90	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 278.70	seco	F3 - F4	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 282.30	seco	F3 - F4	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 285.90	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 289.40	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 291.40	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 294.60	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 298.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 302.50	seco	F2	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 306.40	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 309.90	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 313.50	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 317.10	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 320.20	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 324.00	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 327.60	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 330.70	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 334.30	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 337.70	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 341.30	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 344.90	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 349.10	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 351.60	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 354.50	seco	F2	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 357.20	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 361.40	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 364.80	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 367.80	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 371.00	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 374.10	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 377.30	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 380.20	seco	F3	W2 - W3	R3 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 383.00	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 385.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 388.70	seco	F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 391.70	seco	F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 394.60	seco	F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 396.80	seco	F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 399.90	seco	F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 403.00	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 406.50	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 409.50	seco	F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 412.80	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 415.80	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 418.40	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 421.50	seco	F2	W1	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 424.70	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 427.30	seco	F1 - F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 429.90	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 433.90	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 436.80	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 440.23	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 443.40	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 447.00	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 450.50	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 453.90	seco	F2	W1	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 457.70	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 461.20	seco	F2 - F3	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 464.80	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 468.60	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 472.40	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 476.00	seco	F2	W3	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 479.00	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 482.40	seco	F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 486.10	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 489.00	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 492.50	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 495.90	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 498.90	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 502.60	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 506.00	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 509.00	seco	F1 - F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 512.70	seco	F1 - F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 516.20	seco	F1 - F2	W1	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 519.70	seco	F1 - F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 523.20	seco	F1 - F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 526.90	seco	F1 - F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 529.00	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 532.30	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 536.00	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 539.00	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 543.30	seco	F1 - F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 546.60	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 550.60	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 554.30	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 557.40	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 560.30	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 563.40	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 566.20	seco	F1 - F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 569.80	seco	F1 - F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 572.80	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 576.00	seco	F1 - F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 579.50	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 583.00	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 586.40	seco	F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 589.90	seco	F2	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 593.20	seco	F2	W1 - W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 597.20	seco	F2	W1 - W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 600.20	seco	F2	W1 - W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 604.20	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 607.40	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 611.40	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 615.80	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 619.00	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 622.46	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 625.90	seco	F2 - F3	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 629.00	seco	F2 - F3	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 632.70	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 636.00	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 639.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 643.10	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 646.70	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 649.80	seco	F1 - F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 653.30	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 656.90	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 660.40	seco	F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 664.40	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 667.40	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 671.40	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 675.00	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 678.00	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 681.40	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 684.80	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 688.00	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 692.20	seco	F2	W3	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 695.40	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 699.30	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 702.00	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 706.10	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 709.30	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 712.30	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 716.20	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 719.60	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 723.10	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 726.60	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 730.00	seco	F2	W3	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 733.40	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 736.40	seco	F2 - F3	W1 - W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 740.30	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 742.80	seco	F2	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 745.90	seco	F2	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 749.90	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 753.10	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 75.70	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 760.50	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 763.00	seco	F3 - F4	W3 - W4	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 766.80	seco	F3 - F4	W3	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 768.90	seco	F3 - F4	W3	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 771.40	seco	F3 - F4	W4	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 773.20	seco	F3 - F4	W4	R2 - R3	Granodiorita	Túnel
0 + 775.40	seco	F3	W3 - W4	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 778.20	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 781.20	seco	F2 - F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 784.50	seco	F2 - F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 787.70	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 790.70	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 793.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 797.20	seco	F2 - F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 799.90	seco	F3 - F4	W3 - W4	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 802.90	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
0 + 805.90	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 807.10	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 809.10	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 812.30	seco	F2	W1 - W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 815.50	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 819.00	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel

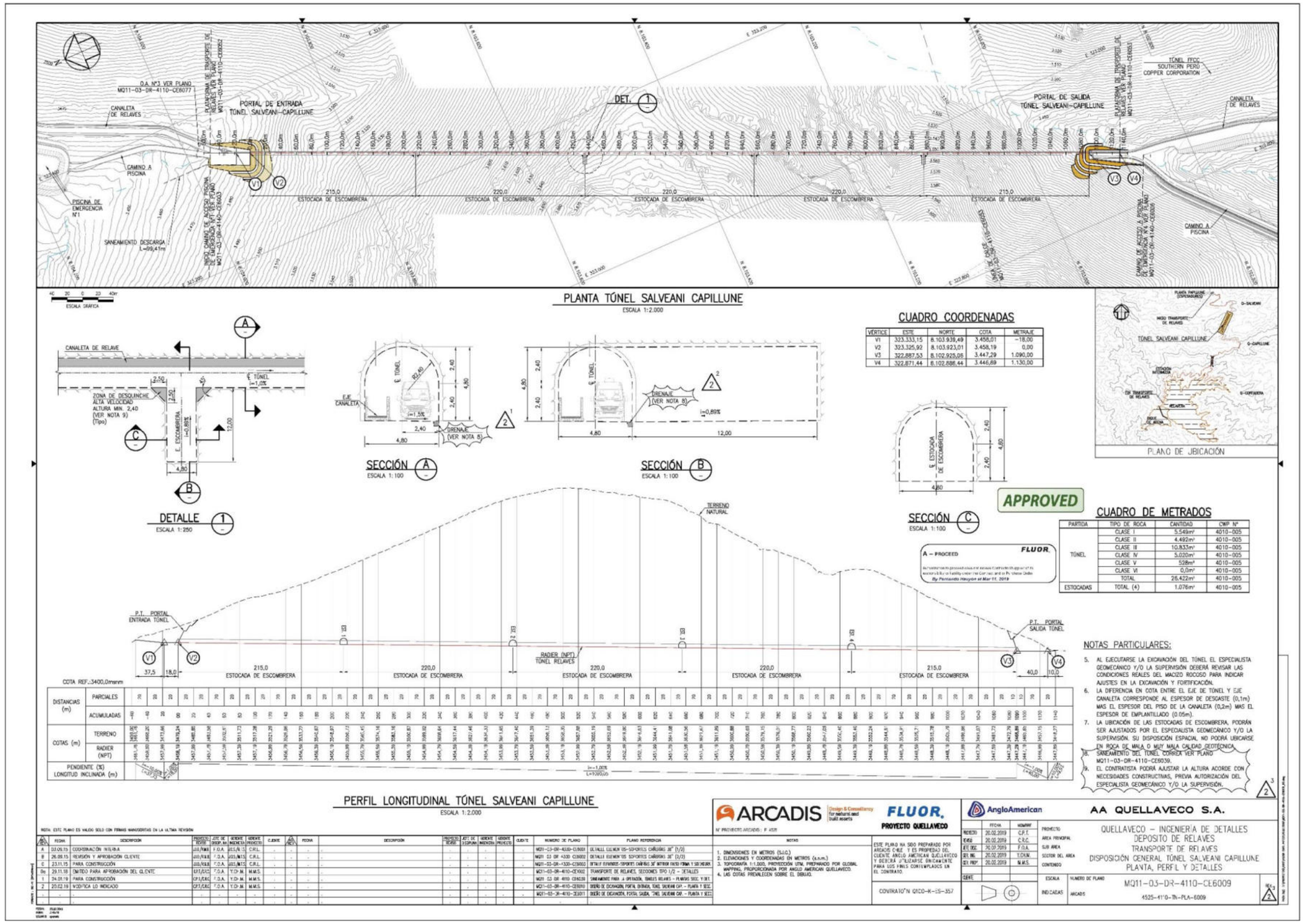
Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 822.00	seco	F2	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 824.90	seco	F2	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 828.00	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 831.00	seco	F2	W1 - W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 834.00	seco	F1 - F2	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 837.10	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 840.30	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 843.00	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 846.00	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 848.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 851.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 854.10	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 857.30	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 860.40	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 863.20	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 866.10	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 869.10	seco	F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 872.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 875.60	seco	F2 - F3	W2	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 878.50	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 880.90	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 883.80	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 886.80	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 889.80	seco	F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 892.60	seco	F2	W3	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 895.00	seco	F2 - F3	W2	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 897.90	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 900.80	seco	F2 - F3	W3	R5	Granodiorita	Túnel
0 + 903.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 906.80	seco	F3	W3 - W4	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 910.20	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 913.00	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 916.10	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 918.70	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 921.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 924.00	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 926.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
0 + 929.20	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 932.40	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 935.40	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 938.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 941.60	seco	F2 - F3	W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 944.60	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 947.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 950.60	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 954.10	seco	F3	W1 - W2	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 957.10	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 959.80	seco	F2 - F3	W2 - W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
0 + 962.80	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 965.70	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 969.30	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 971.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 974.80	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 977.80	seco	F3 - F4	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
0 + 980.60	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 983.70	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 986.70	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 989.90	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 992.90	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 996.00	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
0 + 999.30	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 002.30	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 005.50	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 008.70	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
1 + 012.30	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
1 + 015.20	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
1 + 018.40	seco	F3	W3	R3	Granodiorita	Túnel
1 + 020.90	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 024.50	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 028.10	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 031.10	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 033.40	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 035.90	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 039.50	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel

Progresiva	Agua Sub.	Grado de Fracturación	Grado de Alteración	Grado de resistencia	Litología	Notas
1 + 043.00	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 045.30	seco	F3	W2 - W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 048.70	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 052.00	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 054.80	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 057.50	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 060.30	seco	F3	W2 - W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 062.60	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
1 + 065.60	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
1 + 068.90	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
1 + 071.80	seco	F3	W3	R4 - R5	Granodiorita	Túnel
1 + 074.50	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 076.90	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 078.94	seco	F3	W3	R4	Granodiorita	Túnel
1 + 081.64	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 084.24	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Túnel
1 + 086.34	seco	F3	W3	R3 - R4	Granodiorita	Brocal
1 + 088.34	-	-	-	-	Granodiorita	Brocal

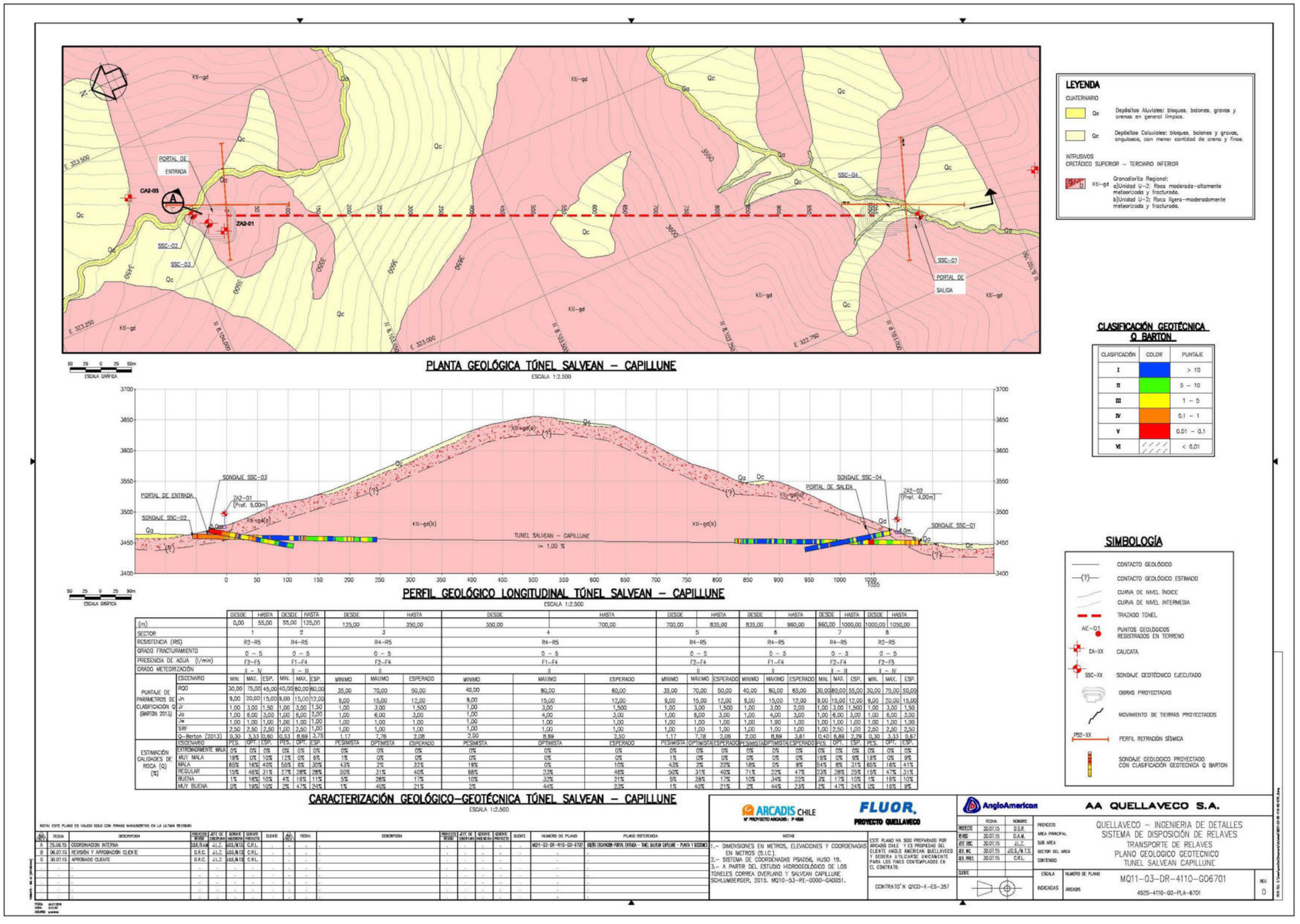
Nota. Elaboración propia (2022).

ANEXO C: ***Vista planta y perfil longitudinal túnel Salveani Capillune***



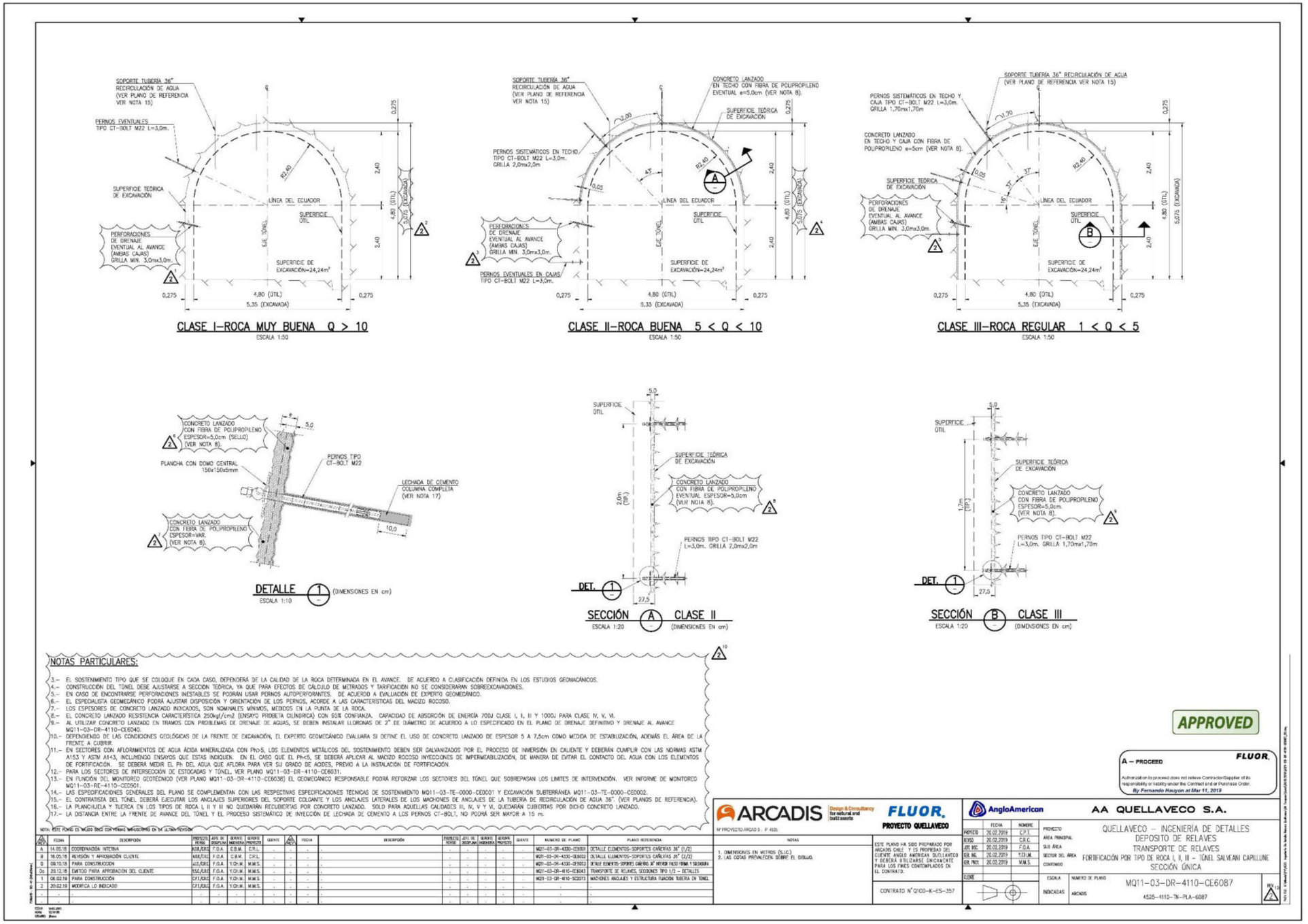
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2015).

Vista planta y perfil geológico túnel Salveani Capillune



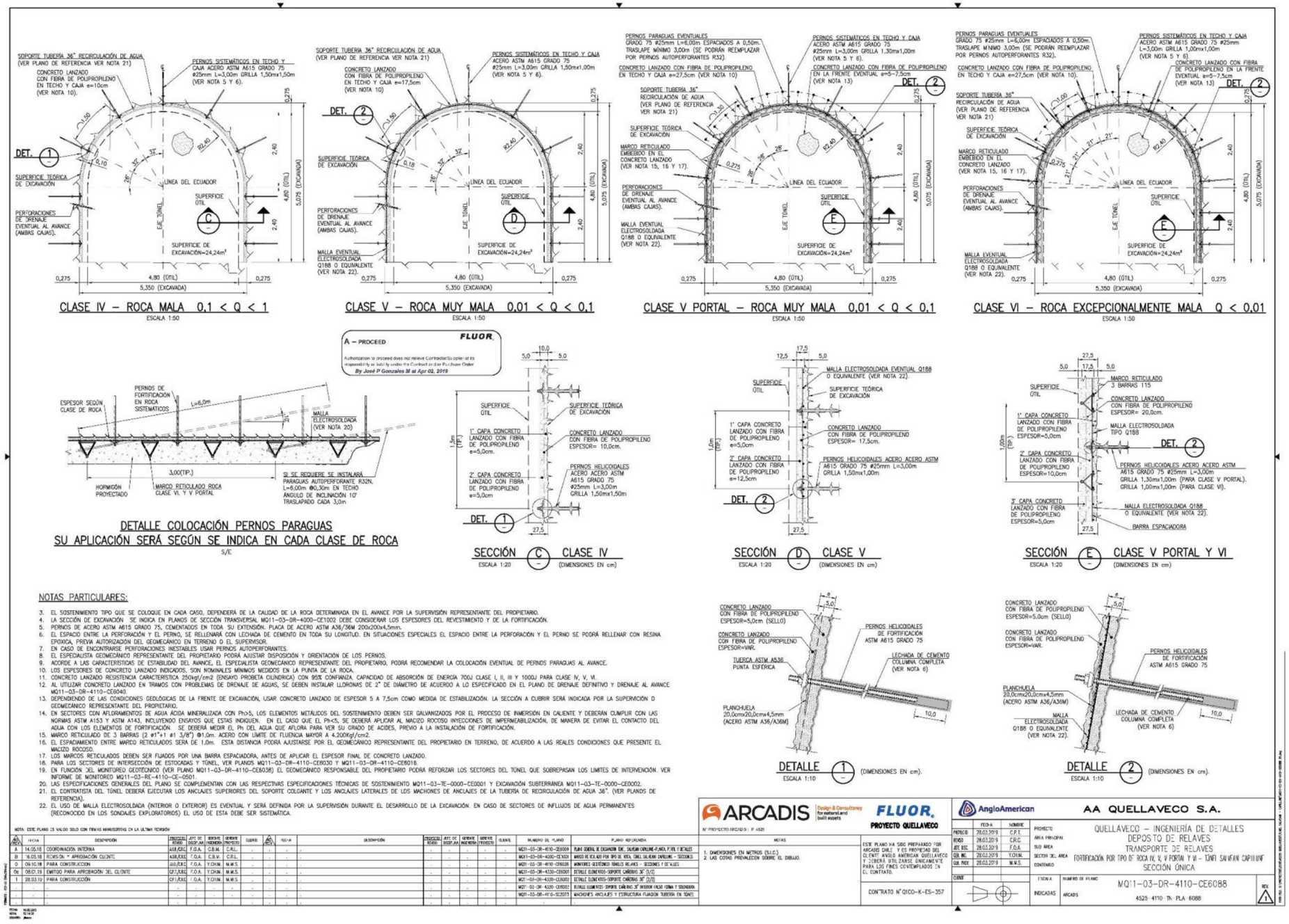
Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2015).

ANEXO D: ***Sostenimiento por clase de roca – Para roca I, II, III***



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

- ***Para roca IV, V, VI***



Nota. Área de Ingeniería Proyecto Quellaveco (2019).

ANEXO E: *Panel Fotográfico*

Fotografía 1

Inicio de excavación túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2019).

Fotografía 2

Verificación de verticalidad y alineamiento de marcos reticulados



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2019)

Fotografía 3

Evaluación geomecánica in situ en el frente de avance túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2019).

Fotografía 4

Frente de avance túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2019).

Fotografía 5

Levantamiento topográfico brocal en portal de entrada túnel SC



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 6

Delimitación de la sección y eje en el frente de avance



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 7

Vista Interior túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 8

Intersección túnel - estocada



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 9

Frente de avance luego de limpieza y fortificación túnel SC



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 10

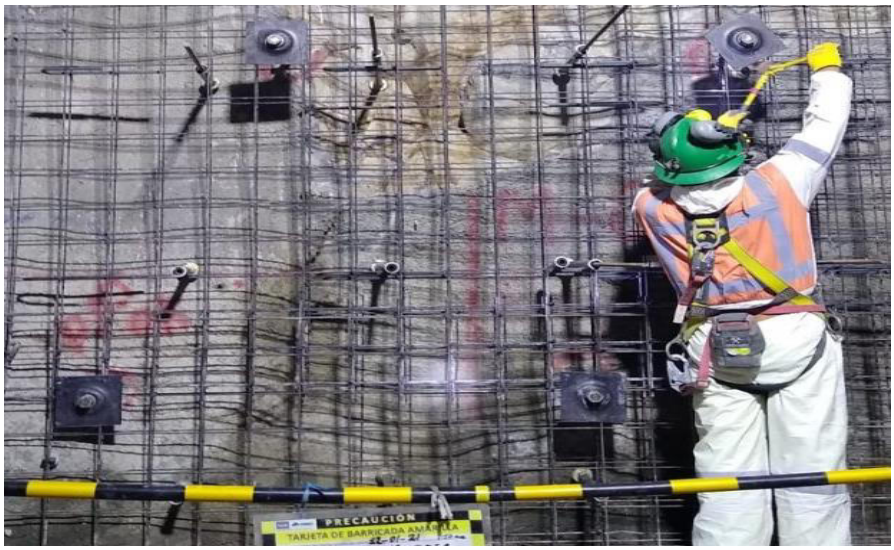
Equipo de transporte de shotcrete para su lanzado



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 11

Instalación de malla electrosoldada y pernos sistemáticos ASTM grado 75



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 12

Vista barras de acero cimentadas



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 13

Vista marcos reticulados de tres cuerpos



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 14

Verificación de eje y sección del túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2019).

Fotografía 15

Pernos helicoidales revestidos con shotcrete instalados en techo



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2020).

Fotografía 16

Portal de salida túnel Salveani Capillune



Nota. Recopilado área 4000 Global Mapping (2021).

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Isaac Aldair Viza Huiza
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 77675324
Correo electrónico	: viza1628@gmail.com
Teléfono/Celular	: 942862424

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado ( )
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía (X)
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis ( )
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico **(X)**

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : "ANÁLISIS DEL SOSTENIMIENTO DEFINITIVO PARA ROCAS CLASE IV, V, VI, EN EL TÚNEL DE RELAVES SALVEANI CAPILLUNE, PROYECTO QUELLAVECO"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra) : 2.07.05
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Marcos Luis Quispe Pérez
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00481742
c) ORCID : 0000-0002-8661-3806

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 7765324
NOMBRES Y APELLIDOS : Isaac Aldair Viza Huiza

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 77675324

NOMBRES Y APELLIDOS : Isaac Aldair Ulza Huiza

FECHA : 2022

