

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL
HIDRÁULICO MEDIANTE MÁQUINA TUNELADORA TIPO ESCUDO
SIMPLE Y MÉTODO CONVENCIONAL CASO MAJES SIGUAS”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
IVÁN JOSÉ PAZOS ALVARADO**

**ASESOR
Dr. Ing. JUAN GUILLERMO RÍOS SEGURA**

LIMA - PERÚ

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Pazos Alvarado, Iván José

ipazosa25@gmail.com

981884905

DEDICATORIA

Para mi madre Mary y mi padre
Gustavo, por todo su apoyo y cariño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas las personas, muchos excompañeros de trabajo, que me apoyaron brindándome un poco de su tiempo para compartirme sus conocimientos técnicos sobre las metodologías expuestas en la presente tesis. De igual manera a las personas que siempre me han apoyado e impulsado a terminar el presente trabajo de investigación.

De igual manera mi agradecimiento al Dr. Juan Ríos por sus consejos durante el desarrollo de la tesis, así como las observaciones que me permitieron culminar la presente investigación.

Finalmente, quiero agradecer infinitamente a mis padres por inculcarme el valor del estudio y los valores morales, así como siempre darme su amor incondicional.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	6
LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. GENERALIDADES	14
1.2. PROBLEMÁTICA	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	17
2.1. CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN ROCA	17
2.1.1. Definiciones de túneles	17
2.1.2. Geología de túneles	19
2.1.3. Método de construcción convencional.....	28
2.1.4. Método de construcción con tuneladoras	31
2.2. RECURSOS ESPECIALES PARA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE	34
2.2.1. Instalaciones auxiliares y equipos para la TBM.....	34
2.2.2. Materiales especiales.....	38
2.2.3. Personal especializado requerido	45
2.3. PLANEAMIENTO DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	46
2.4. PLANEAMIENTO DEL TIEMPO	48
2.4.1. Estructura de Desglose de Trabajo (EDT/WBS).....	48

2.4.2.	Procesos de Planeamiento del Tiempo (Cronograma)	49
2.4.3.	Técnicas de Programación de Obra	50
2.5.	PLANEAMIENTO DEL COSTO	54
2.5.1.	Procesos de Planeamiento del Costo.....	54
CAPÍTULO III. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....		56
3.1.	HISTORIA DEL PROYECTO MAJES SIGUAS.....	56
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MAJES SIGUAS ETAPA II	58
3.2.1.	Alcance del Proyecto	58
3.2.2.	Ubicación Geográfica.....	59
3.2.3.	Datos Generales del Proyecto.....	60
3.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES PUCARÁ Y TRASANDINO	61
3.3.1.	Trazado y Sección Tipo.....	61
3.3.2.	Aspectos geológico-geotécnicos de los túneles	63
3.3.3.	Descripción de la TBM Herrenknecht S-1023 de escudo simple	65
CAPÍTULO IV. PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOS TÚNELES		69
4.1.	OBRAS PROVISIONALES EN PLATAFORMA DE INSTALACIONES AUXILIARES.....	69
4.1.1.	Explicación de la plataforma de instalaciones auxiliares	69
4.1.2.	Montaje de equipamientos e instalaciones auxiliares	71
4.2.	AFRONTONAMIENTOS.....	76
4.2.1.	Excavación y refuerzo de taludes.....	76
4.2.2.	Construcción de paraguas y visera de protección	78
4.2.3.	Excavación y sostenimiento del pre-túnel	79
4.3.	PRODUCCIÓN DE DOVELAS	80
4.3.1.	Descripción de la fábrica de dovelas.....	80
4.3.2.	Características del anillo de dovelas	82
4.3.3.	Proceso constructivo de las dovelas	85
4.4.	MONTAJE DE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE.....	91

4.4.1.	Construcción de cimentaciones para montaje	91
4.4.2.	Montaje del escudo	93
4.4.3.	Montaje del back up	96
4.5.	EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE	98
4.5.1.	Avance inicial y montaje de estructura de reacción	99
4.5.2.	Inicio de excavación y final del montaje de instalaciones	103
4.5.3.	Ciclo de trabajo de la TBM	104
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO DEL TIEMPO Y COSTO DE LA CONSTRUCCION DE LOS TÚNELES		114
5.1.	ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE	114
5.1.1.	Planeamiento del Tiempo por TBM Tipo Escudo Simple	114
5.1.2.	Planeamiento del Costo por TBM Tipo Escudo Simple	124
5.2.	ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO MEDIANTE METODOLOGÍA CONVENCIONAL	126
5.2.1.	Planeamiento del Tiempo por metodología convencional.....	128
5.2.2.	Planeamiento del Costo por metodología convencional	139
5.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO	141
5.3.1.	Análisis comparativo del proceso constructivo	141
5.3.2.	Análisis comparativo del plazo de los túneles	143
5.3.3.	Análisis comparativo del costo de los túneles	144
5.3.4.	Análisis de sensibilidad al tipo de material	144
CONCLUSIONES		148
RECOMENDACIONES		151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		153
ANEXOS		156

RESUMEN

La construcción de túneles tiene un alto grado de complejidad debido a la incertidumbre de la calidad del material a excavar y los factores geológicos desfavorables que se pueden presentar durante la construcción. Si bien existen estudios preliminares antes de la ejecución de un proyecto tunelero, a veces estos se complican debido a la cobertura del túnel, haciendo que la predicción de la calidad del material pierda precisión. Esto ocasiona que, durante la construcción, se pueda encontrar material con calidad menor a la prevista y se requiera mejorar el sostenimiento, lo cual reduce los rendimientos de excavación e incrementa los costos de ejecución. Frente a esta problemática, surge como alternativa el método de construcción mediante máquina tuneladora, o TBM, tipo escudo simple.

El presente trabajo de tesis realiza un análisis comparativo de dos métodos constructivos que son el método con TBM tipo escudo simple y el método convencional para la construcción de túneles. Para esto se elaboró y analizó el planeamiento de tiempo y de costo de cada método, tomando como caso constructivo los túneles hidráulicos Pucará y Trasandino del proyecto de irrigación Majes Sigvas II. Estos túneles cuentan, según los estudios previos, con roca de calidad media y buena, excepto en zona de fallas. También se describe el proceso constructivo del método con TBM tipo escudo simple, desde las obras preliminares hasta la operación de la TBM para la construcción del túnel.

Finalmente, con el presente estudio se concluye que para los túneles estudiados el método de construcción por TBM tipo escudo simple presenta más beneficios respecto al método convencional, obteniéndose como resultados mejores rendimientos de excavación que permiten reducir el plazo de excavación en 9 meses (28%); sin embargo, en base a los precios del proyecto Majes Sigvas II, el costo presupuestado resulta mayor en casi 6 millones de dólares (4%). Además, en base al análisis de sensibilidad realizado, el método con TBM tipo escudo simple tiene un menor incremento de costo y plazo para el caso de escenarios desfavorables donde la cantidad de roca mala es mayor a la prevista.

Palabras clave: *análisis comparativo, túneles, TBM tipo escudo simple, método convencional, proceso constructivo*

ABSTRACT

The construction of tunnels has a high degree of complexity due to the uncertainties of the types of material to be excavated and the unfavorable geological factors that may occur during construction. Although there are preliminary studies before the execution of a tunneling project, sometimes these are complicated due to the coverage of the tunnel, making predictions of the quality of the material lose accuracy. This causes that during construction, material with lower quality than expected can be found and due to this it is necessary to improve the support elements, which reduces the excavation production ratio and increases construction costs. Faced with this problem, the construction method using a Single Shield TBM (Tunnel Boring Machine) emerges as an alternative.

This thesis work carries out a comparative analysis of two constructive methods that are the Single Shield TBM method and the conventional method for the construction of tunnels. For this, the planning of time and cost for each method was elaborated and analyzed, taking as a constructive case the Pucará and Trasandino hydraulic tunnels belonging to the Majes Siguas II irrigation project. These tunnels have, according to its preliminary studies, a fair and good quality of rock, except in the fault zones. It also describes the tunnel construction process with Single Shield TBM, from the preliminary works to the operation of the TBM for the construction of the tunnel.

Finally, with this study it is concluded that in the case of the tunnels studied, the construction by Single Shield TBM method has more benefits compared to the conventional method, obtaining as results better excavation production ratios that reduces the excavation time in 9 months (28%), however, based on the Majes Siguas II project prices, the resulting budget is higher in almost 6 million dollars (4%). Also, based on the elaborated sensitivity analysis, the single shield TBM method has a lower cost and time increase in the case of unfavorable scenarios where the quantity of poor quality excavation material gets higher than expected.

Key words: *comparative analysis, tunnels, Single Shield TBM, conventional method, construction process*

PRÓLOGO

La realidad de nuestro país que contiene una franja costera árida, en su mayor parte, exige para fines de irrigación o incremento del caudal de los ríos que bajan de la cordillera andina occidental hacia la costa, el desarrollo de diversos proyectos de infraestructura hidráulica de trasvase de aguas excedentes de las cuencas que descargan hacia el océano Atlántico mediante obras de tunelería.

En el presente trabajo el autor de la tesis de grado centra su atención en los métodos de excavación de túneles de manera convencional con perforadoras tipo Jumbo y con el empleo de tuneladoras TBM tipo escudo simple, considerando, en el proceso de excavación, la variabilidad de la clasificación del tipo de rocas en relación a los definidos en los estudios para el expediente técnico que puede ocasionar la necesidad de modificar el tipo de la estructura del sostenimiento. Estos cambios podrían generar, en particular, menores o mayores rendimientos del proceso de excavación y, en consecuencia, variar sus tiempos y costos de ejecución.

El autor se plantea como objetivo principal analizar comparativamente el proceso constructivo de excavación de túneles hidráulicos mediante los dos métodos señalados en el párrafo precedente, así como el análisis respectivo del planeamiento de tiempos y costos y definir las ventajas y desventajas de los mismos. Toma como caso de estudio, los túneles hidráulicos Pucará y Trasandino correspondientes al proyecto Majes Sigvas, Etapa 2. También define el cronograma y el presupuesto de construcción de dichos túneles, por ambos métodos.

Finalmente aporta sus respectivas conclusiones y recomendaciones de investigación.

Dr. Ing. Juan Ríos Segura

Asesor de tesis.

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 2.1	Valores para clasificación geomecánica RMR de Bieniawski	20
Tabla 2.2	Valores para cálculo de índice RME	23
Tabla 2.3	Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos	47
Tabla 3.1	Etapas y componentes del Proyecto Especial Majes Siguas	59
Tabla 3.2	Características Técnicas del Túnel de Trasvase	62
Tabla 3.3	Características básicas de la sección tipo	63
Tabla 3.4	RMRs de túnel Pucará	64
Tabla 3.5	RMRs del túnel Trasandino	64
Tabla 3.6	Esfuerzos inducidos sobre la excavación	65
Tabla 3.7	Descripción de los remolques del back up de la TBM	68
Tabla 4.1	Tipos de dovelas según su refuerzo	84
Tabla 4.2	Parámetros de diseño de concreto con fibras metálicas	86
Tabla 4.3	Dosificación para 1 m ³ de concreto para dovelas	86
Tabla 4.4	Propiedades de principales piezas del escudo	96
Tabla 4.5	Dosificación para 1 m ³ de mortero bicomponente	104
Tabla 4.6	Cálculo del peso del escombro extraído	108
Tabla 5.1	Evolución de tiempos no contributorios de cinco obras ejecutadas con la misma TBM tipo escudo de presión de tierras de 9.3 m de diámetro	116
Tabla 5.2	Cálculo de rendimientos para TBM tipo escudo simple de 5.8 m diámetro	117
Tabla 5.3	Resumen de rendimientos según calidad de roca para TBM tipo escudo simple de 5.8 m de diámetro	119
Tabla 5.4	Estimación de plazo de construcción de túnel Pucará para método por TBM tipo escudo simple de 5.8 m de diámetro	119
Tabla 5.5	Estimación de plazo de construcción de túnel Trasandino para método por TBM tipo escudo simple de 5.8 de diámetro	120
Tabla 5.6	Lista de actividades y duraciones para método por TBM tipo escudo simple	122
Tabla 5.7	Resumen de cantidades para estimación de costos	124
Tabla 5.8	Resumen de presupuesto por categorías de método por TBM tipo escudo simple con fecha diciembre 2015	125

Tabla 5.9	Tiempos de ciclos y rendimientos diarios de excavación y sostenimientos de túneles Pucará y Trasandino para método convencional	132
Tabla 5.10	Rendimiento ponderado excavación en Túnel Pucará para método convencional	133
Tabla 5.11	Rendimiento ponderado excavación en Túnel Trasandino para método convencional	133
Tabla 5.12	Lista de actividades y duraciones para método convencional	136
Tabla 5.13	Resumen de presupuesto de método convencional con fecha diciembre 2015	140
Tabla 5.14	Criterios de comparación del proceso constructivo	142
Tabla 5.15	Cuadro comparativo de plazo de cada método constructivo	143
Tabla 5.16	Cuadro comparativo de costo de cada método constructivo	144
Tabla 5.17	Incremento de costo y plazo en escenario desfavorable para método con TBM tipo escudo simple	145
Tabla 5.18	Incremento de costo y plazo en escenario desfavorable para método convencional	146

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Ejemplos de secciones de túneles	17
Figura 2.2 Afrontamiento de túnel con talud reforzado	18
Figura 2.3 Velocidad de avance para tres túneles construidos con tuneladora en función de QTBM	22
Figura 2.4 Correlación entre velocidad media de avance (m/día) y RME para tuneladoras tipo Doble-Escudo	24
Figura 2.5 Influencia de la estructura geológica en la estabilidad del túnel	25
Figura 2.6 Intersección de discontinuidades singulares con la sección de túnel e intersección de una falla geológica con el perfil de un túnel	25
Figura 2.7 Flujo de agua proveniente de una falla geológica interceptada con túnel	26
Figura 2.8 Grandes deformaciones (squeezing) de lutitas y sales con rotura de pernos	27
Figura 2.9 Sistemas de auscultación de un túnel	28
Figura 2.10 Perforación y carga de la voladura mediante jumbo	29
Figura 2.11 Cerchas formadas por perfiles de acero	30
Figura 2.12 Paraguas pesado de micropilotes	30
Figura 2.13 "Topo" o TBM abierta, principales elementos	32
Figura 2.14 TBM tipo escudo simple, principales elementos	33
Figura 2.15 TBM Tipo doble escudo, principales elementos	34
Figura 2.16 Planta de prefabricado de dovelas y acopio de anillos	35
Figura 2.17 Locomotora tipo eléctrica	37
Figura 2.18 Pinzas para manipulación de dovelas	38
Figura 2.19 Vista isométrica de anillos y dovelas	38
Figura 2.20 Vista en planta de tres formas de anillos descritas	39
Figura 2.21 Vista en planta de anillos cónicos dispuestos en un tramo recto y en tramos curvos	40
Figura 2.22 Anillo de dovelas rectangulares y trapezoidales	40
Figura 2.23 Anillo de dovelas con forma de paralelogramo y trapezoidales	41
Figura 2.24 Anillo de dovelas trapezoidales	41

Figura 2.25	Espacio anular o “trasdos” para relleno de mortero	42
Figura 2.26	Ejemplo de junta entre dos dovelas	43
Figura 2.27	Esquema de distribución de packers en dovela	44
Figura 2.28	Ejemplo de EDT de proyecto de un puente	49
Figura 2.29	Ejemplo diagrama de Gantt en software MS Project	50
Figura 2.30	Esquema de diagrama ADM	51
Figura 2.31	Esquema de diagrama PDM	52
Figura 2.32	Distribución de tiempo que supone el PERT para una actividad	53
Figura 3.1	Esquema general del Proyecto Majes Siguas Etapa I	57
Figura 3.2	Esquema general y ubicación del proyecto Majes Siguas Etapa II	60
Figura 3.3	Trazado en planta túnel Pucará	61
Figura 3.4	Trazado en planta túnel Trasandino	62
Figura 3.5	Sección tipo para los túneles de Pucará y Trasandino	62
Figura 3.6	Vista frontal de Cabeza de Corte	66
Figura 3.7	Accionamiento de cabeza de corte	66
Figura 4.1	Vista en planta de la plataforma Chalhuanca y mota para protección ribereña	70
Figura 4.2	Colocación de bolonería de gaviones de mota	71
Figura 4.3	Planta de las instalaciones de la plataforma Chalhuanca	72
Figura 4.4	Instalaciones de planta de bicomponente	73
Figura 4.5	Vista en planta de Planta Generadora	74
Figura 4.6	Tanques de almacenamiento de agua	75
Figura 4.7	Vista en planta de Planta Depuradora	76
Figura 4.8	Eliminación de material de voladura de afrontamiento con equipos mecánicos	77
Figura 4.9	Colocación de segunda capa de shotcrete	77
Figura 4.10	Estructura habilitada de visera y viga de atado	78
Figura 4.11	Visera de protección y viga de atado con micropilotes finalizada	79
Figura 4.12	Sección y perfil de Pre-túnel	80
Figura 4.13	Layout de planta de fabricación de dovelas	81
Figura 4.14	Planta de concreto para dovelas	81

Figura 4.15	Vista isométrica de dovela A, de forma trapezoidal, y de dovela D, de forma de paralelogramo	83
Figura 4.16	Colocación de insertos para pernos y limpieza de moldes	85
Figura 4.17	Colocación de concreto en molde de dovela	86
Figura 4.18	Acabado manual de cara exterior de dovela	87
Figura 4.19	Proceso de curado con vapor y lonas térmicas	87
Figura 4.20	Proceso de desencofrado con pinza hidráulica	88
Figura 4.21	Transporte de 3 dovelas sobre carro trolley	88
Figura 4.22	Pegado manual y prensado mediante cuadro de pegado	89
Figura 4.23	Esquema de acopio de dovelas	89
Figura 4.24	Vista en planta de zona de acopio de dovelas y grúas pórtico	90
Figura 4.25	Zona de acopio de dovelas y grúas pórtico	90
Figura 4.26	Acero de refuerzo habilitado y colocado de cuna de apoyo para TBM	91
Figura 4.27	Cuna de apoyo de TBM y pedestales de estructura de reacción	92
Figura 4.28	Cuna del back up, conformada por pares de dovelas estándar, rieles para tren de producción y rieles para remolques	92
Figura 4.29	Escudo de cola posicionado para soldadura	93
Figura 4.30	Soldadura de cabeza de corte	94
Figura 4.31	Desarrollo del montaje de escudos de la TBM	95
Figura 4.32	Izado y posicionamiento de remolque	97
Figura 4.33	Montaje finalizado de la TBM hasta el remolque 13	98
Figura 4.34	Detalle perfil arco metálico para empuje inicial	99
Figura 4.35	Arco metálico y apoyos metálicos para colocación de dovelas	100
Figura 4.36	Vista de perfil de la estructura de reacción	101
Figura 4.37	Vista isométrica de estructura de reacción	101
Figura 4.38	Estructura de reacción, anillo cero con puntales metálicos y relleno de bicomponente colocado	102
Figura 4.39	Vista interior de dovelas de anillo cero sujetadas por escuadras metálicas y por placas en conjunto con anillo uno	102
Figura 4.40	Montaje de enrollador de banda como parte de la estructura de cinta exterior	103

Figura 4.41	Vista de perfil de la estructura de cinta	103
Figura 4.42	Actividades del ciclo de trabajo de la TBM	104
Figura 4.43	Vista de perfil del tren de producción	106
Figura 4.44	Distribución de toberas para inyección de mortero bicomponente	109
Figura 4.45	Sección tipo del anillo de dovelas	111
Figura 4.46	Esquema del paralelismo entre escudo y anillo	112
Figura 4.47	Esquema de separación en cola	112
Figura 5.1	EDT de túneles Trasandino y Pucará mediante uso de TBM Tipo Escudo Simple	115
Figura 5.2	Correlación entre calidad de roca y rendimiento diario para TBMs tipo escudo simple	118
Figura 5.3	Correlación entre calidad de roca y rendimiento diario para TBM tipo escudo simple de 5.8 m de diámetro	118
Figura 5.4	Cronograma de método por TBM tipo escudo simple	123
Figura 5.5	Sección tipo baúl con medidas homologadas asumida para método convencional	128
Figura 5.6	Esquema de frentes de construcción mediante método convencional	129
Figura 5.7	EDT de túneles Trasandino y Pucará mediante método convencional	130
Figura 5.8	Estimación de plazo de excavación y sostenimiento por frente del túnel Pucará	134
Figura 5.9	Estimación de plazo de excavación y sostenimiento por frente del túnel Trasandino	134
Figura 5.10	Cronograma de método convencional	138
Figura 5.11	Costos directos totales según escenarios desfavorables	146
Figura 5.12	Variaciones de costo directo según escenarios desfavorables	147
Figura 5.13	Plazos de excavación según escenarios desfavorables	147
Figura 5.14	Variaciones de plazo según escenarios desfavorables	147

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

TBM	Siglas en inglés de <i>Tunnel Boring Machine</i>
Q	Índice de calidad geomecánica de Barton
QTBM	Índice de excavabilidad para tuneladoras de Barton
RMR	Siglas en inglés de <i>Rock Mass Rating</i> ,
RME	Siglas en inglés de <i>Rock Mass Excavability</i>
DRI	Siglas en inglés de <i>Drilling rate index</i>
NATM	Siglas en inglés de New Austrian Tunneling Method
SBS	Siglas en inglés de Styrene-Butadiene-Styrene que significa elastómero termoplástico sintético
PMBOK	Siglas en inglés de <i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	Siglas en inglés de <i>Project Management Institute</i> , que significa
EDT	Estructura de Desglose del Trabajo
WBS	Siglas en inglés de <i>Work Breakdown Structure</i>
CPM	Siglas en inglés de <i>Critical Path Method</i> que significa Método del camino crítico
ADM	Siglas en inglés de <i>Arrow Diagramming Method</i> que significa Método del diagrama de flechas
PDM	Siglas en inglés de <i>Precedence Diagramming Method</i> que significa Método del diagrama de precedencias
PERT	Siglas en inglés de <i>Program Evaluation and Review Technique</i> , que significa Técnica de revisión de evaluación del proyecto
APP	Asociación Pública-Privada
PK	Punto Kilométrico
AASHTO	Siglas en inglés de <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	Siglas en inglés de <i>American Society of Testing Materials</i>
NTP	Norma Técnica Peruana
ISRM	Siglas en inglés de <i>International Society for Rock Mechanics</i>

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Dentro de los grandes proyectos de irrigación existen las obras de infraestructura hidráulica. Una de estas obras son los túneles hidráulicos de trasvase que transportan el agua excedente de una cuenca abundante hacia una cuenca más seca. Para la construcción de estos túneles se aplica una determinada metodología de construcción. Actualmente se puede dividir la construcción de túneles en dos metodologías las cuales son el método convencional y el método con tuneladora.

El presente trabajo de tesis realiza un análisis comparativo de dos métodos constructivos que son el método con TBM tipo escudo simple y el método convencional para la construcción de túneles. El caso de aplicación de este estudio son los túneles de trasvase Pucará y Trasandino, que pertenecen al proyecto especial Majes Siguan, Etapa 2.

La TBM tipo escudo simple se caracteriza por la instalación de dovelas, las cuales son segmentos de concreto reforzado que forman anillos instalados en las paredes de la excavación cumpliendo la función de sostenimiento y revestimiento del túnel.

En el primer capítulo se presenta la introducción del trabajo, así como la problemática y objetivos de la investigación.

En segundo capítulo hace referencia al fundamento teórico, en el que se detallan conceptos sobre construcción de túneles, incluyendo clasificación geomecánica del macizo rocoso, condiciones geológicas, métodos de construcción y los recursos de obra empleados; además, se presentan conceptos de planeamiento en la construcción, específicamente del tiempo y costo.

El tercer capítulo presenta las generalidades del proyecto en estudio como historia y características. Además, se describen datos de los túneles en estudio como las condiciones geológico-geotécnicas, longitudes, sección final y dimensiones.

El cuarto capítulo describe los procesos constructivos de los túneles mediante una TBM tipo escudo simple, desde las obras provisionales, el montaje de la TBM con sus instalaciones auxiliares y la operación de la TBM para la construcción del túnel.

En el quinto capítulo se desarrolla el planeamiento de tiempo y de costo de la construcción de los túneles mediante TBM tipo escudo simple y mediante el método convencional. Además, se presenta un análisis comparativo del planeamiento de ambos métodos.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente tesis de pregrado, con la seguridad de aportar a la bibliografía de métodos constructivos novedosos en el Perú.

1.2. PROBLEMÁTICA

Las obras de túneles de gran longitud requieren un plazo de ejecución considerable debido a su alto grado de incertidumbre. En el caso de atravesar grandes macizos rocosos, los estudios técnicos del proyecto se complican debido a la cobertura del túnel impidiendo el muestreo del material a excavar. Esto lleva a determinar la calidad del material mediante métodos indirectos los cuales tienen menor precisión.

Al haber menos precisión durante los estudios previos, ocasiona que durante la excavación gran parte de la roca presente una calidad menor a la prevista. Si la construcción del túnel se realiza mediante el método convencional (Perforación & voladura), la roca de menor calidad traerá una serie de problemas.

Algunos de estos problemas son la necesidad de mayores sostenimientos no previstos los cuales representan mayores costos. Además, al encontrarnos con roca de baja calidad los rendimientos de excavación bajan considerablemente. También existe un peligro de derrumbes lo cual puede generar daños a los trabajadores y equipos ocasionándose paralizaciones de obra. Estos eventos generan retrasos y sobrecostos en la ejecución de la obra.

Estos problemas buscarán ser mitigados con el uso de una TBM tipo escudo simple, la cual tiene mayores rendimientos, brinda mayor seguridad de obra y permite disminuir sobre costos.

Finalmente, en su tesis de maestría Giraldo (2010) hace mención de 5 proyectos de túneles hidráulicos en los que se usó máquinas tuneladoras en el Perú, donde en cuatro se utilizaron TBM tipo abiertas y en el otro se utilizó tuberías de concreto. El proyecto más conocido es el trasvase de Olmos (Lambayeque, 2007 – 2011), de 19 km de longitud y donde se usó una TBM abierta debido a que el macizo rocoso predominante era de calidad buena. En el caso de tuneladoras escudadas solo existen dos casos en el Perú, que además son actuales, y son los túneles del Metro de Lima, Línea 2 (Lima), parcialmente construidos bajo suelos saturados, y los túneles de trasvase de Majes Siguas, Etapa 2 (Arequipa), construidos en roca de calidad media. Por esta razón este trabajo buscará enriquecer la bibliografía peruana respecto a la construcción de túneles mediante el método presentado.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal de la presente tesis es analizar el planeamiento de tiempo y costo, así como del proceso constructivo, de un túnel hidráulico mediante una TBM tipo escudo simple, y así definir los beneficios de dicha metodología en comparación con el método convencional de construcción.

1.3.2. Objetivos Específicos

El primer objetivo específico es proponer un proceso constructivo novedoso aplicado a la construcción de túneles hidráulicos de longitud considerable mediante TBM Tipo Escudo Simple.

El segundo objetivo específico es analizar las ventajas y desventajas de los métodos de excavación mediante TBM tipo escudo simple y el método convencional.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN ROCA

Los métodos constructivos de túneles en roca pueden dividirse en tres etapas las cuales son excavación, sostenimiento y revestimiento. Este último dependerá de los requerimientos del proyecto. Para escoger el tipo de método constructivo se debe conocer parámetros como el trazo, geología, hidrogeología, geomecánica, geotecnia, tipo de terreno, calidad o competencia de la roca, los problemas geotécnicos, tamaño de la sección, longitud de la obra, nivel de seguridad deseado, efectos ambientales, plazos de obra, entre otros.

En los subcapítulos siguientes se detallan las definiciones más importantes para la construcción de túneles, algunos de los conceptos geológicos a tomar en cuenta y la teoría general respectiva de los dos métodos existentes para la construcción de túneles, motivo de esta investigación, el método convencional y el método mecanizado.

2.1.1. Definiciones de túneles

Durante los proyectos de construcción de túneles existen diversos términos y definiciones que deben ser de conocimiento por el constructor. Algunos de estos términos son los siguientes:

- **Sección del túnel:** es la forma que adquiere la sección final perpendicular al eje del túnel luego de la construcción. Algunos tipos de sección son de herraje, baúl, circular, rectangular, entre otros (Ver Figura 2.1).

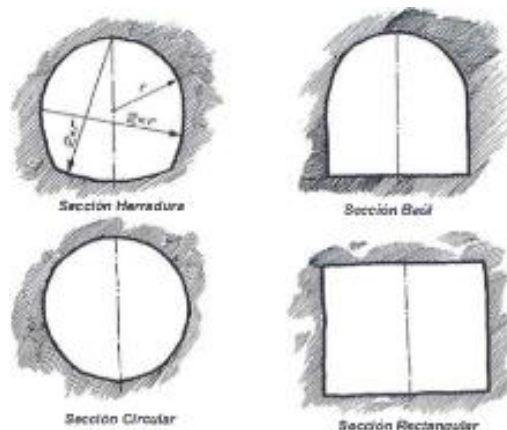


Figura 2.1: Ejemplos de secciones de túneles (Fuente: Pino, 2015)

- **Excavación:** es el proceso de fragmentación y extracción del terreno, superficial o subterráneo, para diversos objetivos como la construcción de obras, extracción de minerales, fabricación de agregados, entre otros.
- **Pase de excavación:** se llama así a la longitud de avance luego de la excavación subterránea de un túnel, de tal forma que el frente sea estable por un cierto tiempo durante el cual pueda colocarse el sostenimiento.
- **Sostenimiento:** se refiere a los elementos estructurales de sujeción del terreno, aplicados inmediatamente después de la excavación del túnel, con el fin de asegurar su estabilidad durante la construcción y después de ella, así como garantizar las condiciones de seguridad.
- **Revestimiento:** consiste en una capa adicional al sostenimiento, de concreto o shotcrete reforzado, con el fin de proporcionar resistencia a largo plazo al túnel y dar un acabado regular, mejorando su funcionalidad (condiciones aerodinámicas, impermeabilidad, luminosidad, albergar instalaciones y/o propiciar la estética a la obra).
- **Auscultación:** es el proceso mediante el cual se comprueba, durante y posteriormente a la excavación, que el conjunto terreno-sostenimiento se comporta de forma debida. Por ello la auscultación resulta imprescindible, tanto para la comprobación como por seguridad.
- **Afrontamiento:** también conocido como portal, emboquille o bocamina, se refiere a los trabajos de excavación y refuerzo estructural de la entrada y salida de los túneles (Ver Figura 2.2).



Figura 2.2: Afrontamiento de túnel con talud reforzado (Fuente: riscmiami.com)

- **Pre-túnel:** es una obra preliminar propia del método de excavación en roca mediante tuneladora. Se refiere la excavación y sostenimiento, mediante método convencional, de los primeros metros del túnel donde se encuentra roca de mala calidad.

2.1.2. Geología de túneles

La influencia geológica y geotécnica en el proceso constructivo de los túneles es fundamental, ya que tanto la excavación como los sostenimientos están directamente relacionados con la calidad geomecánica del terreno. Algunos de los conceptos geológicos más importantes para la construcción de túneles en roca se presentan a continuación:

1. **Clasificación geomecánica del macizo rocoso:** según indica Pino (2015), existen diversos sistemas de clasificación, dentro de los cuales se puede mencionar las clasificaciones de Terzaghi (1946), RQD (por sus siglas en inglés, *Rock Quality Designation*) de Deere (1967), RMR (por sus siglas en inglés, *Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1973, 1989) y Q (Índice de Calidad Tunelera) de Barton et al (1974). Algunas de las clasificaciones más utilizadas para túneles se presentan a continuación:

- a) **Clasificación de Bieniawski:** se mide con el indicador RMR. Fue desarrollada en el año 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de seis parámetros del terreno que son los siguientes:
 - i) La resistencia uniaxial de la matriz rocosa
 - ii) El grado de fracturación en parámetros del RQD
 - iii) El espaciado de las discontinuidades
 - iv) Las condiciones de las discontinuidades
 - v) Condiciones hidrogeológicas
 - vi) La orientación de las discontinuidades con respecto a la estructura de excavación

El RMR se obtiene como la suma de las puntuaciones correspondientes a los valores de los seis parámetros mencionados.

Estas puntuaciones se detallan en la Tabla 2.1. Su valor puede oscilar entre 0 y 100. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

- Clase I: RMR > 80, Roca muy buena
- Clase II: 80 > RMR > 60, Roca buena
- Clase III: 60 > RMR > 40, Roca media
- Clase IV: 40 > RMR > 20, Roca mala
- Clase V: RMR < 20, Roca muy mala

Tabla 2.1: Valores para clasificación geomecánica RMR de Bieniawski
(Fuente: Bieniawski, 1989)

Ensayo carga puntual		>10 (15)	10-4 (12)	4-2 (7)	2-1 (4)			
Compresión simple (MPa)		>250 (15)	250-100 (12)	100-50 (7)	50-25 (4)	25-5 (2)	5-1 (1)	<1 (0)
RQD		90%-100% (20)	75%-90% (17)	50%-75% (13)	25%-50% (6)	<25% (3)		
Separación entre diaclasas	Separación entre diaclasas	>2 m (20)	0,6-2m (17)	0,2-0,6m (10)	0,06-0,2m (8)	<0,06m (5)		
Estado de las discontinuidades	Long. discontinuidad	<1m (6)	1-3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)		
	Abertura	Nada (6)	<0,1mm (5)	0,1-1,0mm (3)	1-5mm (1)	>5mm (0)		
	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Ligeramente rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)		
	Relleno	Ninguno (6)	Relleno duro <5mm (4)	Relleno duro >5mm (2)	Relleno blando <5mm (2)	Relleno blando >5 mm (0)		
	Alteración	Inalterada (6)	Ligeramente alterada (5)	Moderadamente alterada (3)	Muy alterada (1)	Descompuesta (0)		
Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo (15)	<10 l/min (10)	10-25 l/min (7)	25-125 l/min (4)	>125 l/min (0)		
	Presión agua/tensión principal mayor	0 (15)	0-0,1 (10)	0,1-0,2 (7)	0,2-0,5 (4)	>0,5 (0)		
	Estado general	Seco (15)	Ligeramente húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua fluyendo (0)		
Corrección orientación discontinuidades	Dirección y buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación	Puntuación	(81-100)	(61-80)	(41-60)	(21-40)	(<20)		
	Clase	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V		
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		

b) Clasificación Q: desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974; la cual permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles mediante pernos, cerchas y shotcrete. Se calcula mediante 6 parámetros geotécnicos según la siguiente expresión:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) * \left(\frac{J_r}{J_a} \right) * \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

Los tres términos de la expresión del índice Q de Barton representan el tamaño de los bloques (RQD/J_n), la resistencia al corte entre los bloques (J_r/J_a) y la influencia del estado tensional (J_w/SRF).

Además, cada parámetro indica lo siguiente:

RQD: índice que mide calidad del macizo en base al fracturamiento de los testigos de sondeo

J_n: índice de diaclasado según grado de fracturación del macizo rocoso.

J_r: índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

J_a: índice de alteración de las discontinuidades.

J_w: Factor de reducción por la presencia de agua.

SRF: que significa *Stress Reduction Factor* por sus siglas en inglés, que evalúa el estado tensional del macizo rocoso.

El índice Q varía entre 0,001 y 1000 clasificándose el macizo rocoso como:

- 0,001 y 0,01: Roca excepcionalmente mala
- 0,01 y 0,1: Roca extremadamente mala
- 0,1 y 1: Roca muy mala
- 1 y 4: Roca mala
- 4 y 10: Roca media
- 10 y 40: Roca buena
- 40 y 100: Roca muy buena
- 100 y 400: Roca extremadamente buena
- 400 y 1.000: Roca excepcionalmente buena

c) **Índice Q_{TBM}** : fue presentado por Barton (2000), siendo una variante a su sistema Q ya existente. Este mide la excavabilidad del túnel para predecir rendimientos de tuneladoras. Este índice se define de la siguiente manera:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) * \left(\frac{J_r}{J_a}\right) * \left(\frac{J_w}{SRF}\right) * \frac{\sigma_{MASS}}{F} * \frac{20}{CLI} * \frac{q}{20}$$

Donde:

CLI: índice de duración de los cortadores

F: fuerza media aplicada por cortador

q: contenido en cuarzo (%) del terreno

σ_{MASS} : resistencia del macizo rocoso

El índice QTBM ha sido criticado por diversos autores por no presentar resultados satisfactorios. En su artículo "TBM performance estimation using rock mass classification", Sapigni et al (2002), concluye que existe una mala correlación que dificulta predecir correctamente el rendimiento de tuneladoras. En la Figura 2.3 se observa las correlaciones presentadas.

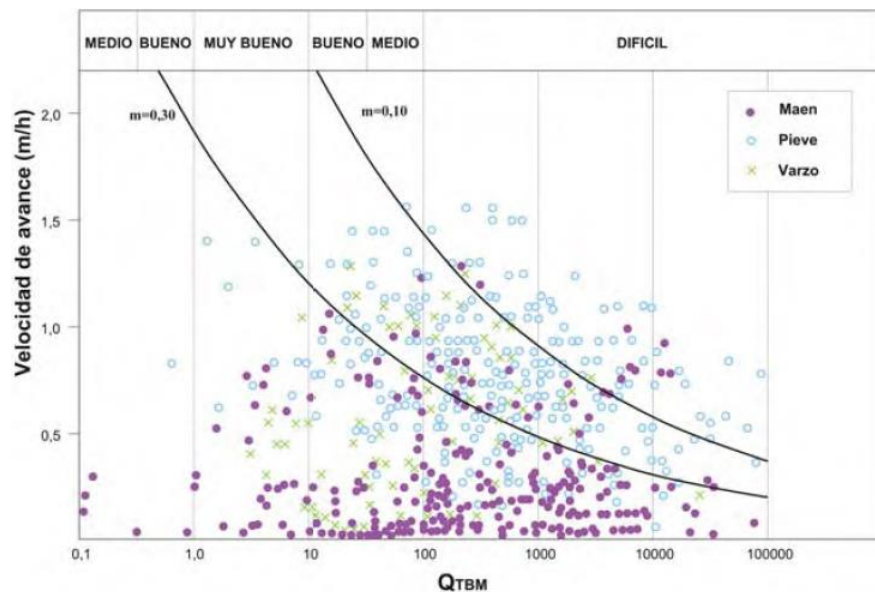


Figura 2.3: Velocidad de avance para tres túneles construidos con tuneladora en función de QTBM (Fuente: Sapigni et al., 2002)

d) Índice RME: es el índice de excavabilidad de roca (por sus siglas en inglés *Rock Mass Excavability*). Fue presentado por Bieniawski et al, en 2006, siendo orientado al método de construcción por tuneladoras y cuya función es clasificar los macizos rocosos y predecir su excavabilidad con el fin de facilitar la elección del método constructivo por tuneladora o método convencional y para predecir rendimientos de tuneladoras. De forma similar al índice RMR, para el cálculo del índice RME se requieren parámetros para puntuar la roca, los cuales se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Valores para cálculo de índice RME
(Fuente: Bieniawski et al., 2006)

Resistencia a Compresión uniaxial de la roca intacta [0 – 15 puntos]										
σ_{ci} (MPa)	< 5		5-30		30-90		90-180		> 180	
Puntuación	0 (*1)		10		15		5		0	
Perforabilidad [0 – 15 puntos]										
DRI	> 80		80-65		65-50		50-40		< 40	
Puntuación	15		10		7		3		0	
Discontinuidades en el frente de excavación [0 – 40 puntos]										
Homogeneidad			No. de juntas por metro					Orientación con respecto al eje del túnel		
Homogéneo		Mixto	0-4	4-8	8-15	15-30	>30	Perpendicular	Oblicua	Paralela
Puntuación	10	0	5	10	20	15	0	10	5	0
Tiempo de autoestabilidad [0 – 25 puntos]										
horas	< 5		5-24		24-96		96-192		> 192	
Puntuación	0		2		10		15		25	
Afluencia de agua [0 – 5 puntos]										
litros/seg.	> 100		70-100		30-70		10-30		< 10	
Puntuación	0		1		2		4 (**0)		5	

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

En su artículo “Rock Mass Excavability (RME) indicator: New way to selecting the optimum tunnel construction method”, Bieniawski et al (2006) presenta correlaciones entre RME y velocidad media de avance, las cuales se muestran en la Figura 2.4.

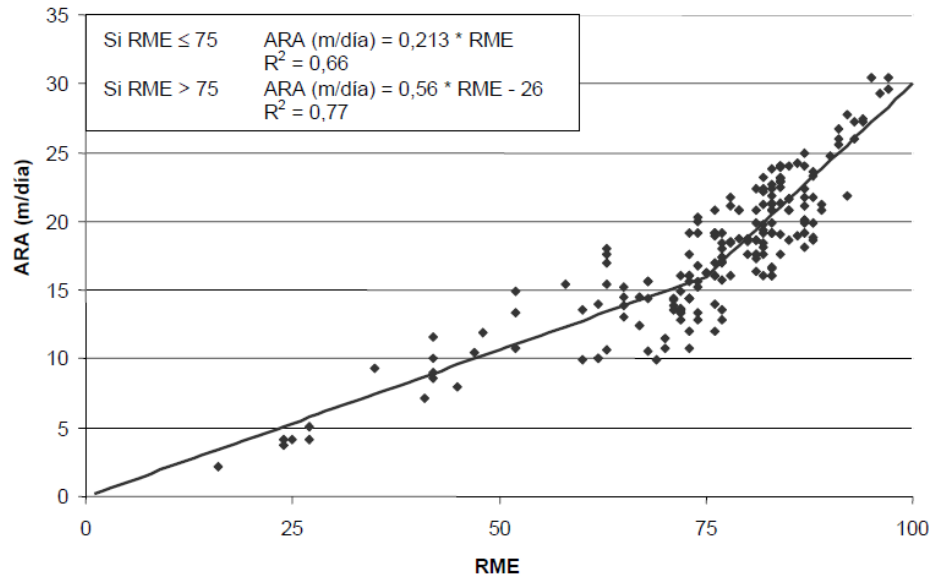


Figura 2.4: Correlación entre velocidad media de avance (m/día) y RME para tuneladoras tipo Doble-Escudo (Fuente: Bieniawski et al., 2006)

- 2. Factores geológicos importantes:** previamente a la construcción de un túnel el terreno se encuentra en equilibrio, sin embargo, durante la construcción se altera al macizo rocoso y se pueden darse una serie de condiciones que pueden ser desfavorables para la construcción.

Estas condiciones dependen directamente de los factores geológicos del proyecto, los cuales son los siguientes

- a) Estructura geológica:** se refiere a las disposiciones y orientaciones de la estructura del macizo rocoso. Es uno de los factores más influyentes en la estabilidad de una excavación subterránea. En el caso de rocas conformadas por pliegues y estratos este factor es más crítico, ya que la condición más desfavorable es cuando las orientaciones de estas estructuras son paralelas a la dirección del eje de túnel, tal y como se muestra en la Figura 2.5.

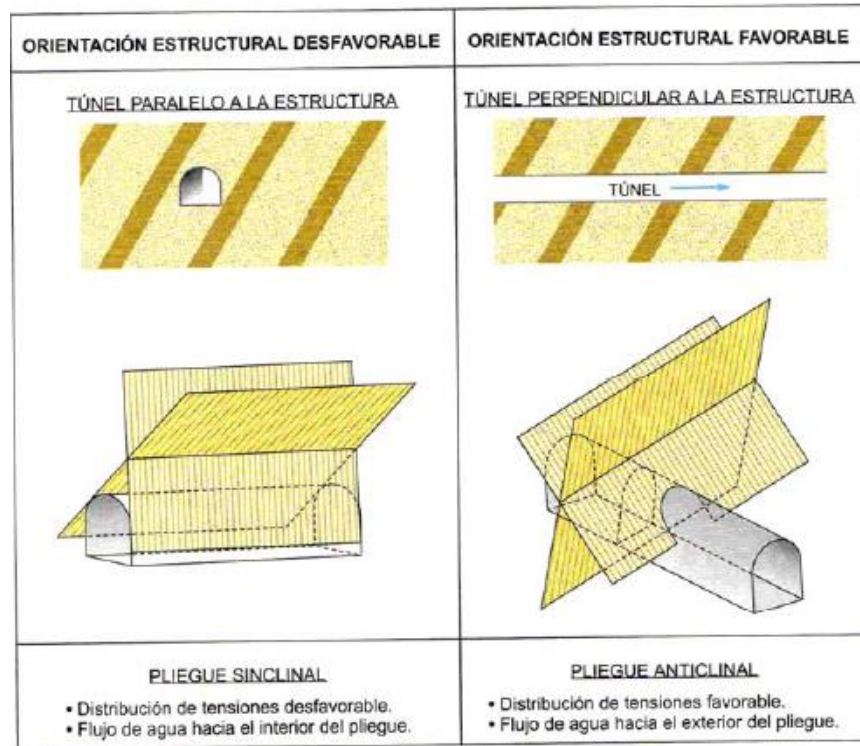


Figura 2.5: Influencia de la estructura geológica en la estabilidad del túnel
 (Fuente: González de Vallejo, 2002)

b) Discontinuidades: hace referencia a todos los planos de separación en el macizo rocoso. Se pueden clasificar en discontinuidades del tipo sistemáticas, que son las más comunes encontrándose las diaclasas, planos de estratificación y de esquistosidad; así como del tipo singular, siendo estas las más importantes respecto a la estabilidad y siendo el caso más representativo el de las fallas geológicas (Ver Figura 2.6). Las fallas están sometidas a roturas y deformaciones por largos periodos de tiempo geológico, lo que causa que su resistencia sea muy baja y sean vías propicias para la circulación de agua.

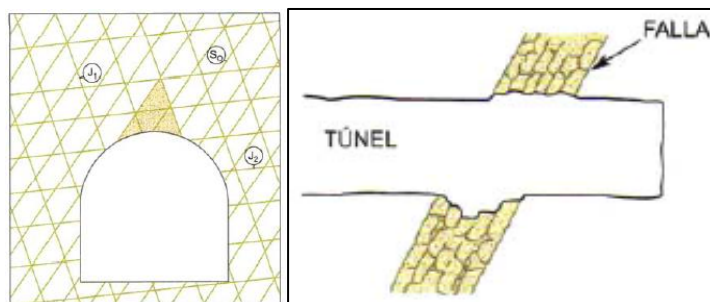


Figura 2.6: Intersección de discontinuidades singulares con la sección de túnel e intersección de una falla geológica con el perfil de un túnel
 (Fuente: González de Vallejo, 2002)

c) Resistencia de la matriz rocosa: es importante evaluar la resistencia de la roca a excavar ya que influye mucho en el método de excavación, así como en definir la estabilidad de esta. La estabilidad dependerá de la relación de la resistencia de la roca con las tensiones debido a la profundidad de excavación. Si la resistencia es mucho mayor a la tensión, se puede considerar una excavación estable. Conforme la resistencia disminuya existirán problemas de deformaciones de la sección excavada, así como de inestabilidad.

d) Condiciones hidrogeológicas: como es sabido existen aguas subterráneas, y cuando el trazado del túnel se intercepta con un flujo de agua, el túnel se comporta como un gran dren por donde fluye esta. Dicha situación es muy desfavorable para la construcción y puede causar los siguientes problemas:

- Disminución de la resistencia del frente, afectando el rendimiento de la excavación
- Aumento de presiones sobre el sostenimiento y revestimiento
- Expansión o reblandecimiento de materiales arcillosos
- Formación de cavidades en materiales salinos

Las filtraciones en los macizos rocosos provienen principalmente de fallas geológicas (Ver Figura 2.7), zonas alteradas, contactos litológicos entre rocas de permeabilidad muy diferente y de cavidades cársticas.

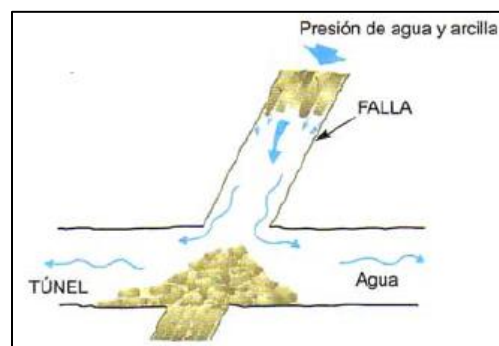


Figura 2.7: Flujo de agua proveniente de una falla geológica interceptada con túnel
(Fuente: González de Vallejo, 2002)

e) Estado tensional: las tensiones actuantes sobre obras subterráneas son de dos tipos: naturales, consecuencia de los procesos tectónicos y

gravitacionales; y del tipo inducidas, que se ocasionan por la redistribución de tensiones producto de la excavación. Las tensiones muy altas constituyen un riesgo importante de fenómenos como colapsos, explosión de roca (rock bursting) o deformaciones importantes (rock squeezing) (Ver Figura 2.8).



Figura 2.8: Grandes deformaciones (squeezing) de lutitas y sales con rotura de pernos (Fuente: González de Vallejo, 2002)

3. Controles geológico-geotécnicos: la construcción de túneles son obras de un alto grado de incertidumbre debido a las dificultades de investigación y reconocimiento del terreno antes y durante la excavación. Debido a esto es importante realizar un control permanente durante la construcción.

Algunos de estos controles son los siguientes:

- Analizar la litología y estructura del material extraído en los frentes de avance y compararlos con las condiciones o clasificaciones geomecánicas previstas en el expediente técnico.
- Llevar un control de las fallas, zonas de fractura y discontinuidades singulares encontradas y compararlo con lo previsto.
- Controlar los problemas de estabilidad como desprendimientos y caídas de roca; así como deformaciones importantes de la sección que afecten al sostenimiento. Para ello se usa los sistemas de auscultación (Ver Figura 2.9) que permiten evaluar los movimientos y

desplazamientos de las estructuras construidas. Los equipos más utilizados son las células de presión y los extensómetros de cuerda vibrante.

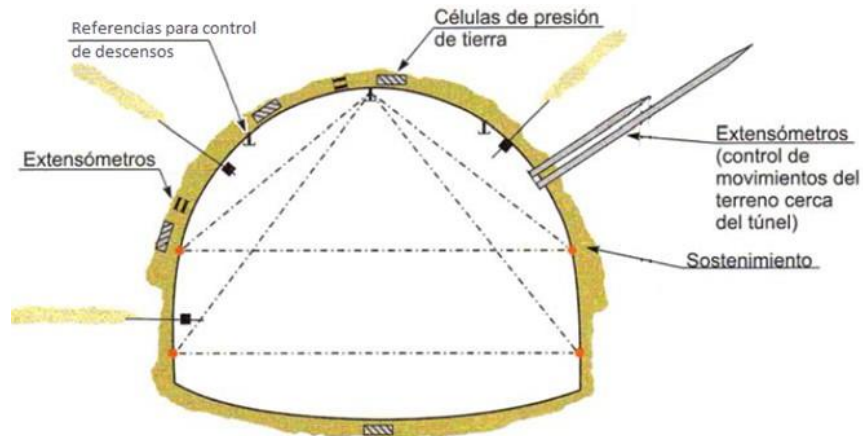


Figura 2.9: Sistemas de auscultación de un túnel

(Fuente: González de Vallejo, 2002)

- Controlar las grandes filtraciones de agua para tomar medidas como inyecciones de lechada de cemento.

2.1.3. Método de construcción convencional

Actualmente la construcción de túneles por el método convencional se rige en su mayoría por la filosofía del nuevo método austriaco o NATM (por sus siglas en inglés *New Austrian Tunneling Method*) que se viene desarrollando desde 1962. Dicha filosofía, que se materializa en una metodología de construcción, se basa en aprovechar la capacidad autoportante del terreno y que éste colabore en la resistencia del conjunto, resultando sistemas de sostenimiento lo más económicos posibles y consiguiendo estructuras estables (Oteo, 1998).

Bajo este precepto, al momento de realizar el diseño del sostenimiento, y por ende el cómo se ejecutará la construcción, este dependerá de la calidad geomecánica del material a lo largo de la traza del túnel. De acuerdo a los estudios preliminares del proyecto se divide el túnel por tramos de similar comportamiento geomecánico asignándole a estos tramos un determinado sostenimiento, así como una longitud de pase de excavación segura. A esto se llama la definición de las secciones tipo de sostenimiento.

Para la excavación, cuando el material es roca de calidad media a buena es necesario la excavación por perforación y voladura que consiste en perforar orificios en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y detonarlos. La perforación se realiza mediante equipos llamados “jumbos” (Ver Figura 2.10).

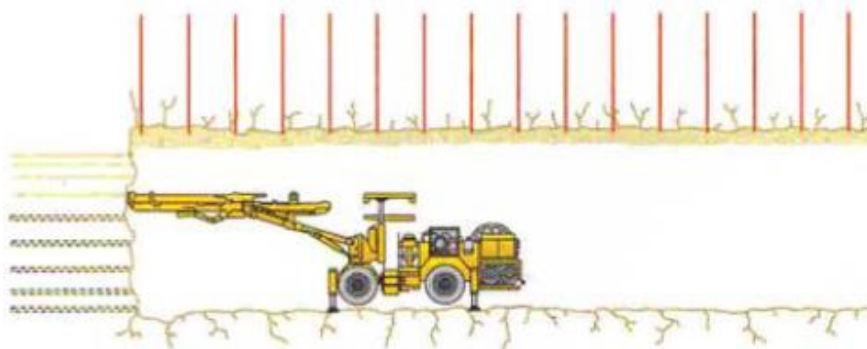


Figura 2.10: Perforación de taladros mediante jumbo
(Fuente: González de Vallejo, 2002)

En cambio, si la roca es de baja calidad no resulta práctico ni seguro el uso de explosivos, lo que lleva a realizar una excavación mecanizada, comúnmente mediante retroexcavadora a la que además se le añade un martillo hidráulico. En otros casos cuando la cantidad de material lo amerita, también se puede hacer uso de máquinas rozadoras.

Para el sostenimiento, como se comentó anteriormente, este dependerá de la sección tipo establecida en el diseño inicial. Los principales tipos de sostenimientos empleados en túneles son los siguientes:

- a) **Shotcrete:** llamado también gunita o concreto lanzado, tiene dos finalidades principales que son sellar la superficie de la roca, cerrando las juntas, y evitar la descompresión y alteración de la roca. La capa de concreto proyectado trabaja resistiendo las cargas que le transmite la roca al deformarse, evitando también la caída de pequeñas cuñas o bloques de roca. También se utiliza como elemento resistente para lo cual se refuerza con fibras de acero.
- b) **Pernos de anclaje o Bulones:** consisten en barras de acero de 20 a 40 mm de diámetro y longitudes variables, normalmente entre 3 y 6 m. Admiten cargas del orden de 10 a 25 T. Los pernos ejercen dos efectos sobre la excavación: “cosen” las discontinuidades del macizo rocoso impidiendo los

deslizamientos y caídas de cuñas o bloques; y aportan al terreno un efecto de confinamiento.

- c) Cerchas:** son perfiles de acero laminados de arco que ejercen una función resistente cuando trabajan en contacto con el terreno, por tanto, se han de colocar en contacto con el mismo a lo largo de toda su longitud y firmemente apoyadas en el suelo (Ver Figura 2.11).



Figura 2.11: Cerchas formadas por perfiles de acero
(Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- d) Paraguas:** son tratamientos especiales que se usan al pasar zonas de roca muy fracturada o alterada, con riesgo de desprendimiento al efectuar el avance. Consisten en pernos o micropilotes (Ver Figura 2.12) instalados de forma ligeramente inclinada hacia el frente de avance y alrededor de la sección.

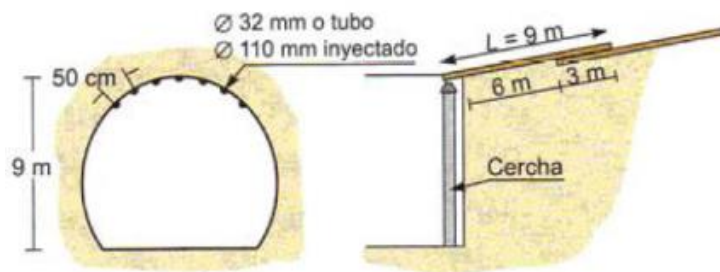


Figura 2.12: Paraguas pesado de micropilotes (sección y perfil)
(Fuente: González de Vallejo, 2002)

Luego de la excavación y sostenimiento del túnel se realiza la colocación del revestimiento. Este contribuye a la estabilidad a largo plazo del túnel, mejora su estética, alberga servicios y conducciones; y disminuye la fricción del aire o el agua. Para el método convencional, el revestimiento es ejecutado con concreto de

alta resistencia mediante carros encofrados o mediante la colocación de shotcrete de alta resistencia.

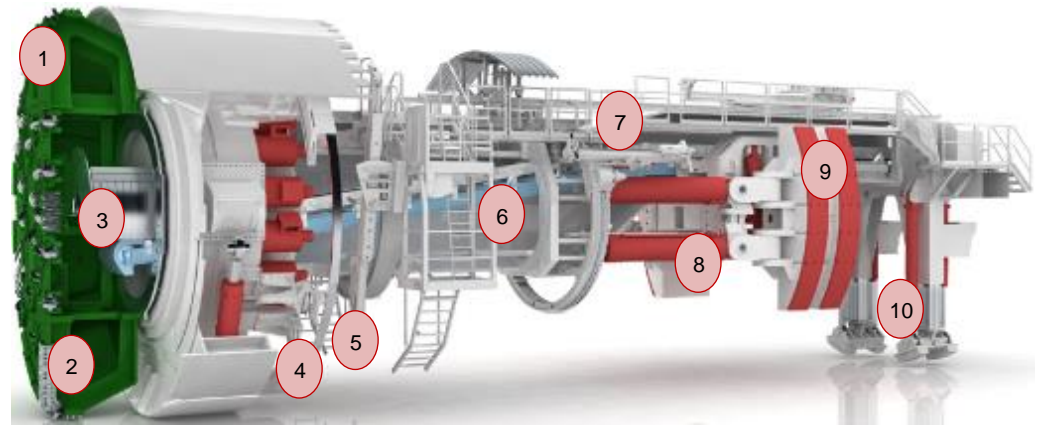
2.1.4. Método de construcción con tuneladoras

Las tuneladoras o TBM (por sus siglas en inglés *Tunnel Boring Machine*), son máquinas capaces de excavar un túnel a sección completa y de forma circular. La excavación se realiza mediante una cabeza giratoria equipada con discos de corte y accionada por motores hidráulicos, alimentados por motores eléctricos. El empuje necesario para avanzar se consigue mediante un sistema de gatos hidráulicos que se apoyan, según el tipo de tuneladora, en zapatas móviles o en el sostenimiento ya colocado. Luego la roca fragmentada se extrae mediante fajas transportadoras. Además, la máquina también colabora en la colocación de sostenimiento y en la puesta en obra del revestimiento definitivo, según el tipo de tuneladora.

Los diferentes tipos de tuneladora que pueden emplearse en la excavación de macizos rocosos han evolucionado de acuerdo a las investigaciones de los fabricantes, clasificándose según el modo de empuje de la máquina y el tipo de protección que se emplee pudiendo plantearse máquinas abiertas (topos) o cerradas (escudos). Según esto, de acuerdo al fabricante Herrenknecht, se distinguen tres grandes grupos para tuneladoras de roca:

1. **Tuneladoras abiertas o "topos"**: se utilizan para excavar material de calidad media y alta con escasa demanda de sostenimiento inicial. El mecanismo de avance consiste en un sistema formado por gatos hidráulicos que ejercen presión sobre la cabeza de corte y sobre zapatas o "grippers" que a su vez presionan sobre el contorno ya excavado y "anclan" la máquina para permitir la reacción necesaria.

Este tipo de TBM utiliza sostenimiento convencional, y para ello cuenta con equipos como robot de shotcrete, perforadora de pernos, erector de malla, erector de cerchas y perforadora para micropilotes. En la Figura 2.13 se presentan los principales elementos de la TBM:



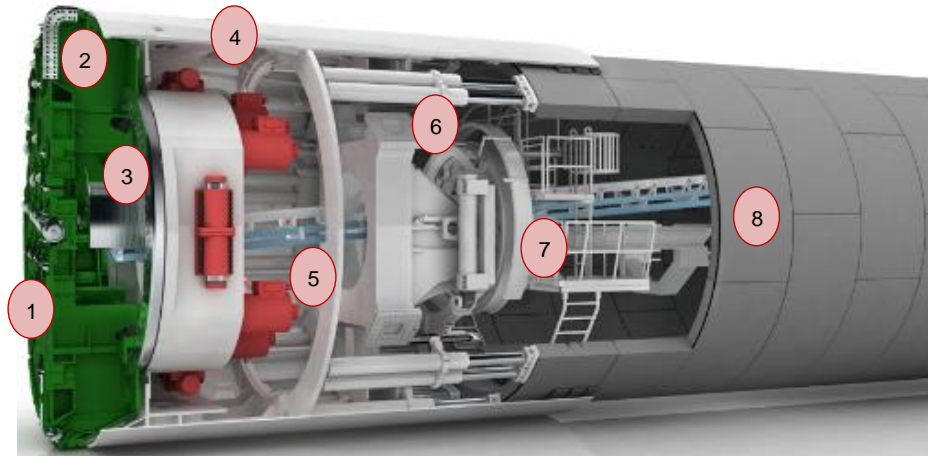
1) Cabeza de corte 2) Cangilones 3) Canaleta 4) Erector de cerchas 5) Perforadora de pernos 6) Cinta transportadora 7) Perforadora de paraguas 8) Gatos hidráulicos 9) Zapatas o "grippers" 10) Soportes

Figura 2.13: "Topo" o TBM abierta, principales elementos (Fuente: herrenknecht.com)

2. Escudo simple: se utilizan para la excavación de roca dura y fracturada en los que la cuantía de sostenimiento se prevé importante o variable. Este tipo de TBM realiza la instalación de anillos prefabricados de concreto reforzado, formados por dovelas, los que cumplen la función de sostenimiento y revestimiento. Recibe el nombre de escudo debido a que la zona comprendida entre la cabeza de corte y la zona de colocación de las dovelas se encuentra resguardada por un escudo de acero.

Para el avance los cilindros hidráulicos ejercen presión sobre el último anillo de dovelas colocado. Una vez finaliza la excavación de un pase, se retiran los cilindros de empuje y se realiza el montaje del siguiente anillo mediante un erector de dovelas. Posteriormente se vuelven a apoyar los cilindros sobre el último anillo, repitiéndose el ciclo de excavación.

En la Figura 2.14 se presentan los elementos descritos de la TBM:



1) Cabeza de corte 2) Cangilones 3) Canaleta 4) Escudo 5) Cinta transportadora 6) Gatos hidráulicos 7) Erector de dovelas 8) Anillos de dovelas

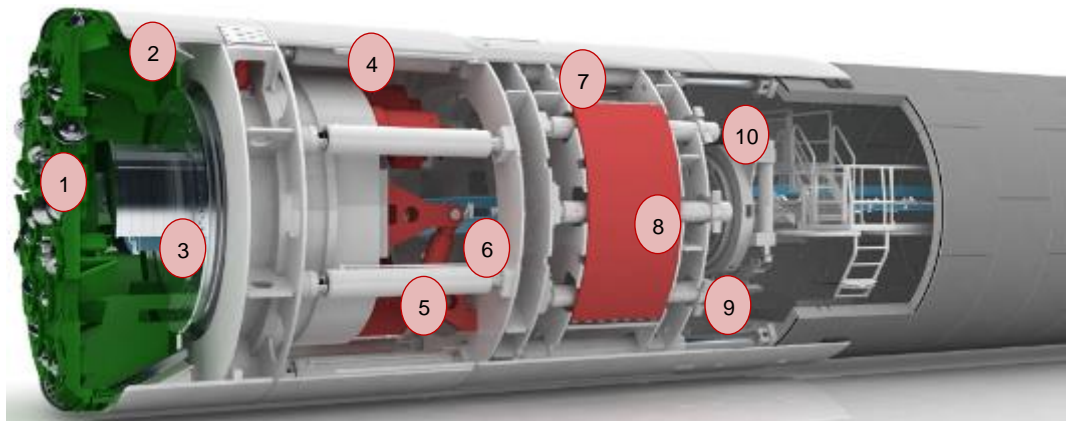
Figura 2.14: TBM tipo escudo simple, principales elementos (Fuente: herrenknecht.com)

- 3. Doble escudo:** se trata de una tipología que puede considerarse como una síntesis de las tuneladoras abiertas y las tuneladoras. En terrenos de buena calidad el avance se realiza apoyándose en el terreno mediante los empujadores laterales o “grippers”, mientras que en terrenos de peor calidad el avance se lleva a cabo empleando los cilindros de empuje que apoyan en las dovelas al igual una TBM tipo escudo simple. Del mismo modo, el sostenimiento dependerá de la calidad del material excavado.

A diferencia del escudo simple, estas máquinas disponen de un escudo telescópico articulado en dos piezas:

- Escudo delantero: En esta parte del escudo se localiza el rodamiento principal, la corona de accionamiento y el sistema de empuje principal con gatos.
- Escudo trasero (“gripper shield”): Puede proyectarse hacia delante dentro de una carcasa sujeta al escudo delantero, produciendo una acción telescópica que proporciona un sostenimiento continuo del terreno. En esta zona se sitúa en primer lugar el sistema de empuje lateral, que se utiliza cuando el terreno presenta condiciones geotécnicas favorables, y en segundo lugar el sistema de empuje con gatos sobre dovelas para terrenos de peor calidad, así como el erector de dovelas.

En la Figura 2.15 se presentan los principales elementos de dicha TBM:



- 1) Cabeza de corte 2) Escudo delantero 3) Canaleta 4) Escudo telescópico 5) Cilindros hidráulicos principales 6) Cinta transportadora 7) Escudo trasero 8) Zapatas o "grippers" 9) Cilindros hidráulicos auxiliares 10) Erector de dovelas

Figura 2.15: TBM Tipo doble escudo, principales elementos (Fuente: herrenknecht.com)

2.2. RECURSOS ESPECIALES PARA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE

2.2.1. Instalaciones auxiliares y equipos para la TBM

Para la construcción del túnel mediante el uso de la TBM tipo escudo simple será necesario implementar una serie de instalaciones auxiliares. Estas ocupan un espacio considerable y suelen emplazarse en la boca de entrada del túnel, lugar donde se hará el montaje de esta.

A continuación, se describen las instalaciones y equipos más importantes para el funcionamiento de la TBM tipo escudo simple:

1. **Sistema de evacuación de escombros:** son las instalaciones que permiten evacuar con rapidez grandes cantidades de material fragmentado de la excavación hacia el exterior del túnel para su posterior eliminación. Los sistemas más comunes son el uso de tolvas sobre rieles o el de cintas transportadoras de escombros.

2. **Planta de mortero de relleno en trasdós de dovelas:** es la instalación que permitirá la producción continua de mortero de relleno que será inyectado en el espacio entre el diámetro excavado y el diámetro exterior del anillo de dovelas. A este espacio se le denomina “trasdós” (también “espacio anular” o “gap”).

3. **Fábrica de dovelas:** los anillos de sostenimiento se componen de un número determinado de dovelas prefabricadas, para lo cual es necesario contar con una central de prefabricado de estas y acopios suficientes, tanto en fábrica como a pie de boca, para disponer de un stock compatible con el ritmo de excavación (Ver Figura 2.16). La situación de este patio de dovelas y acopios hace que por lo general se requieran espacios mucho más amplios que en el caso de excavación con medios convencionales.



Figura 2.16: Planta de prefabricado de dovelas y acopio de anillos
(Fuente: wagner.com.au)

Según la producción que desee obtenerse, pueden recurrirse a sistemas de moldes fijos en los que se lleva a cabo todo el proceso de prefabricado, o sistemas tipo “carrusel” en el que los moldes de las dovelas se desplazan por distintas estaciones de armado, vaciado y curado.

4. **Planta de generación de energía eléctrica:** son las instalaciones que se encargan de generar energía para la alimentación eléctrica de la TBM, los distintos equipos y las instalaciones auxiliares que lo requieran, durante la construcción. Dichas instalaciones están compuestas, generalmente, por los siguientes elementos necesarios para su funcionamiento:

- a) **Grupos electrógenos:** se encargan de generar la energía eléctrica haciendo uso de combustibles fósiles convencionales. El tipo y la cantidad de grupos dependerán de la potencia que soliciten todos los equipos, instalaciones, luminarias, entre otros.
 - b) **Centros de transformadores:** son equipos que incrementan o disminuyen la diferencia de potencial eléctrico disponible por los generadores. En el caso de las tuneladoras, se requiere un aproximado de 20KV de tensión para lo cual se utiliza transformadores elevadores.
 - c) **Módulo de control:** donde se realiza funciones como arrancar/para el motor, proteger mecánica y eléctricamente el grupo y el reparto de las potencias requeridas (KW) hacia los puntos de suministro.
5. **Taller de mantenimiento:** para el mantenimiento mecánico de todos los equipos y herramientas utilizados para el funcionamiento de la TBM. El taller debe tener una conexión con el frente de excavación mediante vías de tren, para el transporte de los equipos que necesiten alguna reparación.
6. **Sistema de ventilación externo:** se encarga de alimentar de aire fresco al frente de excavación mediante ventiladores instalados en el exterior del túnel. La ventilación principal llega al frente de excavación mediante una manga o tubería de ventilación. Para la elección de los ventiladores es necesario medir el caudal de aire necesario en el frente y las pérdidas en la manga para llegar a dicho frente. De acuerdo con estos parámetros se podrá escoger la potencia eléctrica de los ventiladores y cuántos instalar.
7. **Almacenamiento y tratamiento de agua:** se requiere agua para los siguientes servicios:
- Refrigeración de la tuneladora
 - Humectación del material excavado, en TBM
 - Limpieza de tuberías de bicomponente.
 - Inyección de agua en cabeza de corte o cámara de escombros.
 - Fabricación de bicomponente
 - Humectación tierras procedentes de la excavación

Para el manejo del agua se debe contar con dos instalaciones principales que se detallan continuación:

- a) **Tanques de almacenamiento de agua:** son reservorios donde se almacena el agua requerida para los servicios mencionados anteriormente. La capacidad requerida dependerá de los caudales solicitados por cada servicio.
 - b) **Depuradora de aguas residuales:** instalaciones que reciben el agua residual o contaminada que retorna del túnel, luego de haber sido utilizada. El agua recibirá un tratamiento luego del cual deberá cumplir con los valores de calidad exigidos por ley para poder ser vertidas al cauce público. El agua que llega a la depuradora puede tener partes de aceites y grasas industriales, restos de bicomponente (cemento, bentonita y aditivos) procedentes del lavado de tuberías en TBM o planta de fabricación bicomponente (situada en el exterior), partículas de tierra, etc.
8. **Back-up:** conjunto de equipos e instalaciones auxiliares ubicadas en la parte posterior del mecanismo principal de la TBM. Los equipos que conforman el back up varían de acuerdo al fabricante y características especiales de la tuneladora pero en su mayoría se basan en sistemas para transporte de escombros, alimentación de dovelas, inyección de mortero, y demás requerimiento para la operación in-situ de la tuneladora.
9. **Locomotoras:** son vehículos que se movilizan sobre vías férreas a lo largo del túnel y que cuentan con motor cuya función es dar tracción a los vagones que llevan trabajadores, carga general de materiales y carga de dovelas (Ver Figura 2.17).



Figura 2.17: Locomotora tipo eléctrica (Fuente: Schoema.de)

10. Equipos para manipulación de dovelas: requeridos tanto en la fábrica de dovelas como en el lugar de acopio. El pórtico se complementa con sistemas de placa de vacío o con pinzas mecánicas (Ver Figura 2.18).



Figura 2.18: Pinzas para manipulación de dovelas
(Fuente: acimex.net)

2.2.2. Materiales especiales

1. Dovelas: son los segmentos de concreto reforzado que conforman los anillos de sostenimiento y revestimiento. Estos se ensamblan e instalan en las paredes de la excavación del túnel (Ver Figura 2.19).

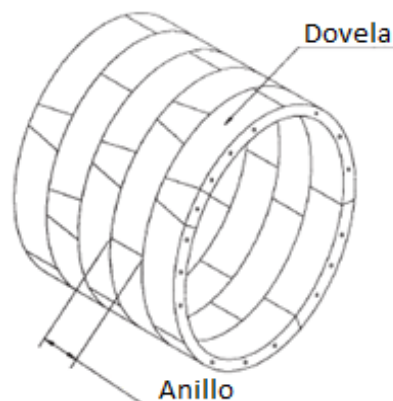
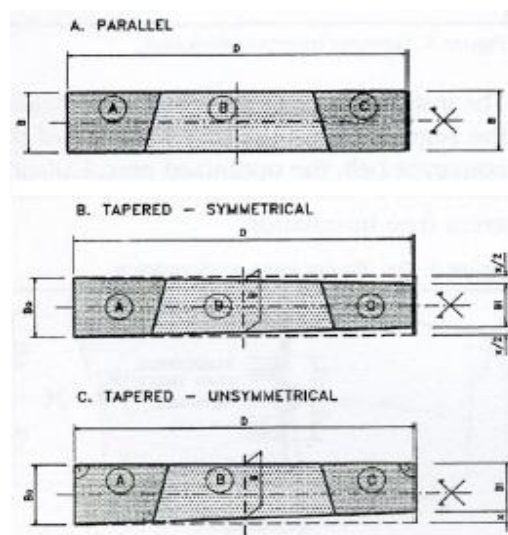


Figura 2.19: Vista isométrica de anillos y dovelas (Fuente: AFTES, 1997)

Según las recomendaciones publicadas por la AFTES (1997), los anillos se pueden clasificar desde dos puntos de vista: en función de la manera de trazar las curvas y en función de la geometría de las dovelas.

a) **Tipos de anillo en función de la manera de trazar curvas:** se distinguen dos tipos de anillos en función de la posibilidad de colocación de sus caras transversales:

- **Anillo convencional:** conformada por tres formas de anillo (Ver Figura 2.20). En caso de tramos rectos se requiere de anillos de dos caras rectas (caras paralelas) y al momento de realizar una curva, se requerirá de anillos cónicos asimétricos (cara recta-cara inclinada) y simétricos (dos caras inclinadas).



A) Caras paralelas B) Simétrico C) Asimétrico

Figura 2.20: Vista en planta de tres formas de anillos descritas

(Fuente: AFTES, 1997)

- **Anillo cónico universal:** en este tipo de disposición solo se requiere una forma de anillo, que es del tipo cónica (simétricos), y que se caracteriza por colocarse en sentido opuesta en tramos rectos (donde la parte cónica se compensa) y en el mismo sentido para tramos curvos (Ver Figura 2.21). De esta forma es posible adaptarse a variaciones de trazado en planta y alzado, siendo muy útil cuando los trazados presentan curvas de distinto radio a lo largo de su desarrollo, o cuando existen cambios en el perfil longitudinal del trazado.

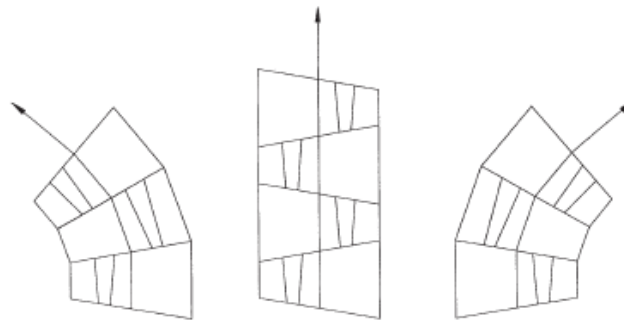


Figura 2.21: Vista en planta de anillos cónicos dispuestos en un tramo recto y en tramos curvos (Fuente: AFTES, 1997)

b) Tipos de anillo en función de la geometría de sus dovelas: Pueden distinguirse tres tipos de anillos en función de la disposición geométrica de las dovelas que conforman el anillo:

- **Anillos de dovelas con forma rectangular y trapezoidal:** Dentro del anillo de dovelas, pueden definirse las siguientes piezas:
 - 1) Una dovela llave (“key segment”), de forma trapezoidal.
 - 2) Dos dovelas de ajuste o de contra-llave (“counter segment”), de forma trapezoidal recta, colocadas a ambos lados de la llave.
 - 3) Un número suficiente de piezas estándar denominadas “dovelas tipo” (“standard segment”) de forma rectangular en planta que completan el desarrollo del anillo.

En la Figura 2.22 se visualiza el desarrollo del anillo.

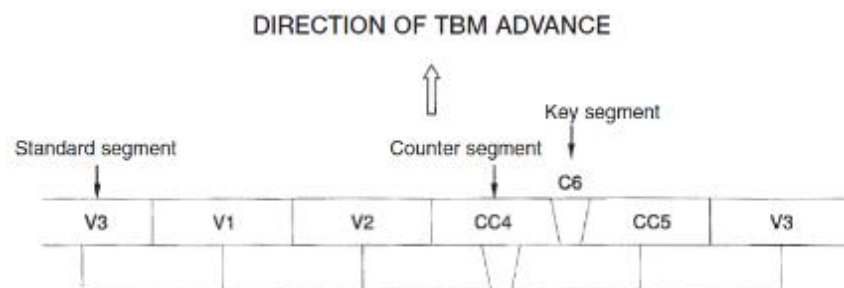


Figura 2.22: Anillo de dovelas rectangulares y trapezoidales (Fuente: AFTES, 1997)

- **Anillos de dovelas con forma de paralelogramo y trapezoidal:** Se distinguen las siguientes piezas:
 - 1) Una dovela llave (“key”). De forma trapezoidal.

- 2) Una dovela llave invertida (“reverse key”). De forma trapezoidal.
- 3) Un número suficiente de piezas estándar denominadas “dovelas tipo” (“standard segment”) con forma de paralelogramo que completan el desarrollo del anillo.

En la Figura 2.23 se visualiza el desarrollo del anillo.

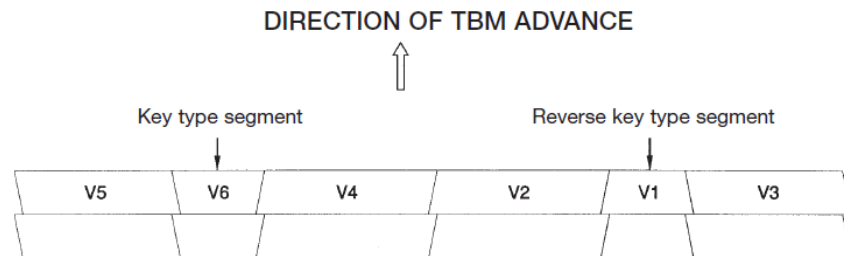


Figura 2.23: Anillo de dovelas con forma de paralelogramo y trapecoidales
(Fuente: AFTES, 1997)

- **Anillos de dovelas con forma trapezoidal:** La principal característica de este tipo de anillo es permitir simultanear la excavación del túnel con la colocación de dovelas. En este caso el anillo se divide en un número par de dovelas trapecoidales. Mientras la mitad de las dovelas colocadas de un anillo soportan el empuje de los gatos, durante un ciclo de avance, se procede a la introducción, en el hueco dejado entre dos piezas ya colocadas, de la otra mitad de dovelas que funcionan a modo de piezas llave (Ver Figura 2.24).

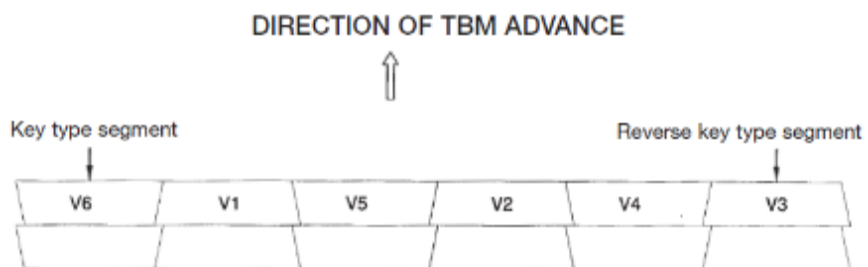


Figura 2.24: Anillo de dovelas trapecoidales (Fuente: AFTES, 1997)

2. **Mortero para relleno de “trasdos”:** contribuye al sostenimiento del túnel junto con las dovelas con el cual se debe rellenar en el “trasdos” (Ver Figura 2.25) a medida que se produce el avance de la excavación.

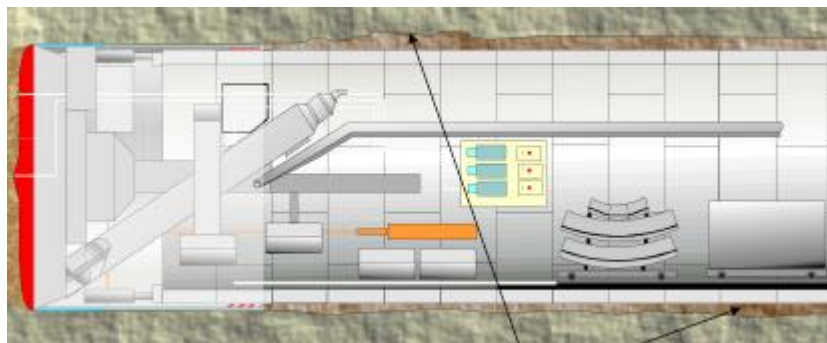


Figura 2.25: Espacio anular o "trasdós" para relleno de mortero (Fuente basf.com)

El relleno del trasdós es de gran importancia para:

- Dar continuidad entre el terreno y el anillo de dovelas,
- Prevenir esfuerzos o flotación de anillo al salir el escudo
- Transmitir cargas del macizo rocoso rápidamente
- Reducir asentamientos, especialmente en roca fracturada
- Prevenir el movimiento de las dovelas en el anillo y la posible rotura de las juntas de estas
- Eliminar o reducir el ingreso de agua en el túnel

Según la EFNARC (2005), los morteros de relleno para TBM se pueden dividir en tres grupos:

a) Un solo componente: todas las partes (cemento, adiciones, áridos, agua y aditivos) se amasan juntos. Posteriormente se bombea el mortero en el espacio anular.

b) Dos o más componentes: es un mortero resultado de la mezcla de dos o más componentes. El mortero más común es el bicomponente formado por dos componentes que son los siguientes:

- **Componente A:** es la parte conglomerante del mortero con una consistencia fluida. Este componente lleva comúnmente bentonita y se elabora en una fábrica en el exterior del túnel, luego es llevado al punto de inyección mediante bombas y tuberías.
- **Componente B:** consiste en un aditivo líquido colocado justo antes del punto de inyección del mortero de relleno. Las propiedades que brinda este componente son el control total de la consistencia del mortero inyectado y/o resistencias iniciales rápidas.

c) **Gravilla de inyección:** consiste en un mortero formado en su mayoría por gravilla. Se usa únicamente en terrenos muy estables. Se coloca en el trasdós impulsado por aire a presión y posteriormente se inyecta una lechada de cemento para consolidar la gravilla.

3. **Accesorios de dovelas:** son los elementos que forman parte de la instalación de la dovela, los cuales se describen a continuación:

a) **Juntas:** en un anillo de revestimiento se llaman juntas a los bordes de las dovelas que hacen contacto con otras dovelas (ver Figura 2.26). Para túneles hidráulicos dichas juntas requieren de impermeabilización para evitar fugas, mediante empaquetaduras hidroexpansivos o compresivas. Las juntas que se encuentran entre dovelas del mismo anillo se llaman radiales o longitudinales, mientras que las que están entre anillos continuos se llaman circunferenciales.

Se distinguen dos tipos de juntas:

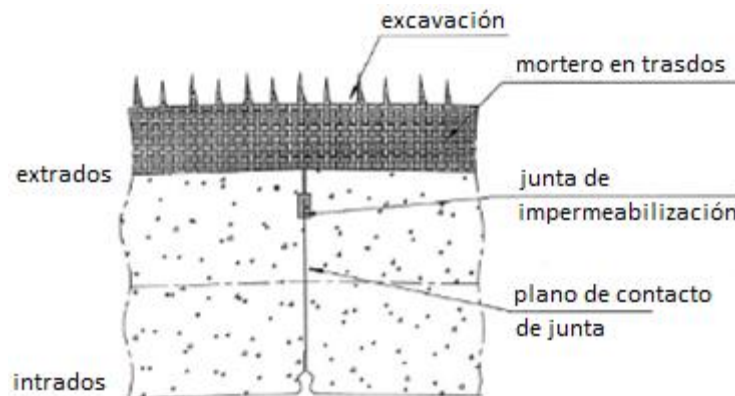


Figura 2.26: Ejemplo de junta entre dos dovelas (Fuente: AFTES, 1997)

b) **Sistemas de fijación (tornillos, tirafondos y conectores):** los sistemas de ensamblaje o de fijación entre dovelas se colocan en las juntas radiales y en las transversales con el propósito de:

- Permitir una mayor precisión en el montaje del anillo, procurando que no existan desniveles entre dovelas.
- Asegurar, durante la fase de montaje del anillo, la estabilidad de todas las dovelas ya colocadas de ese anillo, aun cuando no se esté ejerciendo presión con los cilindros de empuje de la TBM.

- Mantener comprimidas juntas de estanqueidad que requieran de compresión, a corto y a largo plazo, para limitar las filtraciones de agua durante la construcción y explotación del túnel.
- c) **Barras de guiado:** se sitúan en las juntas radiales y ayudan a la colocación precisa de unas dovelas con otras dentro de un mismo anillo evitando que se descentren. Su diámetro suele plantearse respecto al espesor con una relación en el entorno de 10.
- d) **Packers:** son placas amortiguadoras que distribuyen las cargas de empuje ejercidas por los cilindros hidráulicos, protegiendo a la dovela. Están compuestos por bitumen elástomerizado aditivado con gomas de SBS y refuerzos de poliéster o fibra de vidrio (Ver Figura 2.27).

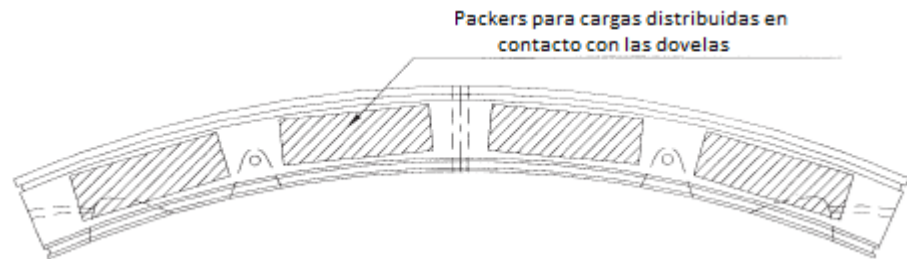


Figura 2.27: Esquema de distribución de packers en dovela
(Fuente: AFTES, 1997)

4. **Tuberías para la TBM:** son un conjunto de tuberías que permiten el transporte de agua, aire, mortero, ventilación entre otros. Adquieren gran importancia ya que dichas tuberías parten desde la boca de entrada del túnel, es decir desde las instalaciones auxiliares, hasta la cabeza de corte de la TBM. Esto significa que dichas tuberías deben extenderse junto con el avance de la TBM. A continuación, se describe los servicios requeridos:
- a) **Tuberías de agua y mortero:** se emplean tubos de acero caracterizados por ser aptos para operaciones que involucran doblado, rebordeado y cualquier otra formación en frío y tienen las siguientes características:
- Altamente resistentes al impacto
 - No presentan notables variaciones en sus propiedades mecánicas, por cambios de temperatura

- Ideales para tendidos largos de tubería
- Tienen vida útil prolongada y bajo nivel de reposición

b) Tubería de ventilación: se emplean tuberías de impulsión de soplantes para la ventilación de los túneles durante su construcción. Estas tuberías son de un material de tejido de calada impregnada de PVC, las cuales se van uniendo mediante cremalleras y se apoyan sobre un soporte que va anclado a las dovelas. La resistencia de la tubería será en cualquier punto de su longitud mayor a la presión transmitida por el ventilador en ese punto.

2.2.3. Personal especializado requerido

El personal requerido para la operación de las tuneladoras y sus instalaciones debe ser de alta especialización y experiencia. Esto es de gran importancia para operar y guiar la máquina en dirección correcta y obtener los rendimientos esperados. Una mala maniobra de la TBM, puede tener consecuencias desastrosas tanto para la propia máquina como el personal que labora cerca de ella, debido a sus dimensiones y la gran energía involucrada para su funcionamiento.

Tanto para la operación, como para el resto de las actividades, se requiere de personal calificado, siendo algunos de los cargos requeridos los siguientes:

- Jefe de frente
- Operador de equipos (TBM, locomotoras, erector de dovelas, grúas pórtico, inyección de mortero, planta bicomponente, depuradora, etc.)
- Electricistas
- Mecánicos
- Soldadores
- Oficiales
- Ayudantes

Además, los trabajadores se distribuirán en distintos frentes de operación, los cuales se pueden dividir del modo siguiente:

- Frente de Tuneladora
- Frente de Mantenimiento de cinta y vías
- Frente de Instalaciones auxiliares y playa de vías
- Frente de Taller de mantenimiento

2.3. PLANEAMIENTO DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Según la Guía del PMBOK (PMI, 2017), el planeamiento o planificación es el conjunto de procesos que “establecen el alcance total del proyecto, definen los objetivos y desarrollan la línea de acción (estrategia) requerida para cumplir los dichos objetivos”. La planificación es uno de los cinco grupos de procesos de la dirección de proyectos definidos por el PMI, siendo los otros grupos los de procesos de inicio, de ejecución, de control y de cierre del proyecto.

Otra manera de categorizar los procesos es mediante áreas de conocimiento, las cuales, según el PMI, son “áreas identificadas de la dirección de proyectos definidas por sus requisitos de conocimientos”, es decir, son categorías que agrupan los procesos de un proyecto de acuerdo a conocimientos especializados. El PMI (2017) presenta 10 áreas de conocimiento, además menciona que las necesidades de un proyecto específico pueden requerir una o más áreas de conocimiento adicionales, por ejemplo, en la construcción se requiere un área de gestión de la seguridad y salud. Esto significa que para el rubro construcción se puede agrupar un proyecto en las áreas de conocimiento que la empresa constructora considere más importantes o convenientes. En la tabla 2.7 se muestra la correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos según la guía del PMBOK.

Es probable que se requiera una revisión de la planificación a medida que se recopilan o se comprenden más características o información del proyecto. Esto significa que todos los proyectos, especialmente los de construcción, tienen incertidumbres y que el plan inicial no siempre se cumplirá, por lo cual se requerirá de actualizaciones de los planeamientos iniciales. Según lo explicado, podría dividirse el planeamiento en dos tipos: el que se realiza al inicio también conocido como Línea Base o Plan Maestro; y el que se realiza durante la ejecución también llamado actualización del planeamiento.

Tabla 2.2: Correspondencia entre Grupos de Procesos y Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos (Fuente: PMI, 2017)

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos				
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	4.1 Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2 Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	4.3 Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto 4.4 Gestionar el Conocimiento del Proyecto	4.5 Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.6 Realizar el Control Integrado de Cambios	4.7 Cerrar el Proyecto o Fase
5. Gestión del Alcance del Proyecto		5.1 Planificar la Gestión del Alcance 5.2 Recopilar Requisitos 5.3 Definir el Alcance 5.4 Crear la EDT/WBS		5.5 Validar el Alcance 5.6 Controlar el Alcance	
6. Gestión del Cronograma del Proyecto		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma 6.2 Definir las Actividades 6.3 Secuenciar las Actividades 6.4 Estimar la Duración de las Actividades 6.5 Desarrollar el Cronograma		6.6 Controlar el Cronograma	
7. Gestión de los Costos del Proyecto		7.1 Planificar la Gestión de los Costos 7.2 Estimar los Costos 7.3 Determinar el Presupuesto		7.4 Controlar los Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad	8.2 Gestionar la Calidad	8.3 Controlar la Calidad	
9. Gestión de los Recursos del Proyecto		9.1 Planificar la Gestión de Recursos 9.2 Estimar los Recursos de las Actividades	9.3 Adquirir Recursos 9.4 Desarrollar el Equipo 9.5 Dirigir al Equipo	9.6 Controlar los Recursos	
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		10.1 Planificar la Gestión de las Comunicaciones	10.2 Gestionar las Comunicaciones	10.3 Monitorear las Comunicaciones	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos	11.6 Implementar la Respuesta a los Riesgos	11.7 Monitorear los Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones	12.2 Efectuar las Adquisiciones	12.3 Controlar las Adquisiciones	
13. Gestión de los Interesados del Proyecto	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar el Involucramiento de los Interesados	13.3 Gestionar la Participación de los Interesados	13.4 Monitorear el Involucramiento de los Interesados	

Para los objetivos del presente trabajo de investigación se presenta la teoría correspondiente al planeamiento de tiempo, cuyo objetivo es elaborar el cronograma de obra o línea base de tiempo, y al planeamiento del costo, cuyo objetivo es elaborar el presupuesto de obra o línea base de costo.

2.4. PLANEAMIENTO DEL TIEMPO

La gestión del tiempo o del cronograma, según el PMBOK (PMI, 2017), "incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto en el plazo requerido". Los procesos de esta área de conocimiento pertenecen a los grupos de procesos de planificación y al de control del proyecto.

Comúnmente las empresas constructoras cuentan con un área de planeamiento, la cual se enfoca en el planeamiento del cronograma. Su función es establecer la línea base del cronograma, realizar el seguimiento y las actualizaciones del mismo de acuerdo a los eventos que ocurran y según lo coordinado con el gerente de obra y/o ingenieros de producción. Adicional a ello, se requiere planificar y controlar otras áreas como el alcance y el uso de recursos. Por ello, será necesario definir el alcance para lo cual se usa la herramienta de la EDT (Estructura de Desglose de Trabajo). Luego, se procede a elaborar el cronograma para lo cual existen diversas técnicas de programación las cuales se detallan en los subcapítulos siguientes.

2.4.1. Estructura de Desglose de Trabajo (EDT/WBS)

La EDT es la descomposición jerárquica del alcance total del trabajo a ser realizado por el equipo del proyecto para cumplir con los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos (Ver Figura 2.28). Crear la EDT es el proceso de subdividir los entregables del proyecto y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y fáciles de manejar. El beneficio clave de este proceso es que proporciona un marco de referencia de todo lo que se debe entregar.

Para crear la EDT es necesario contar con el juicio experto o conocimiento especializado de personas con experiencia en proyectos similares. El nivel más bajo de los componentes de la EDT se denominan paquetes de trabajo. El total del trabajo correspondiente a los niveles inferiores debe corresponder al acumulado para los niveles superiores, de modo que no se omita nada y que no se efectúe trabajo extra. Esto se denomina la regla del 100%.

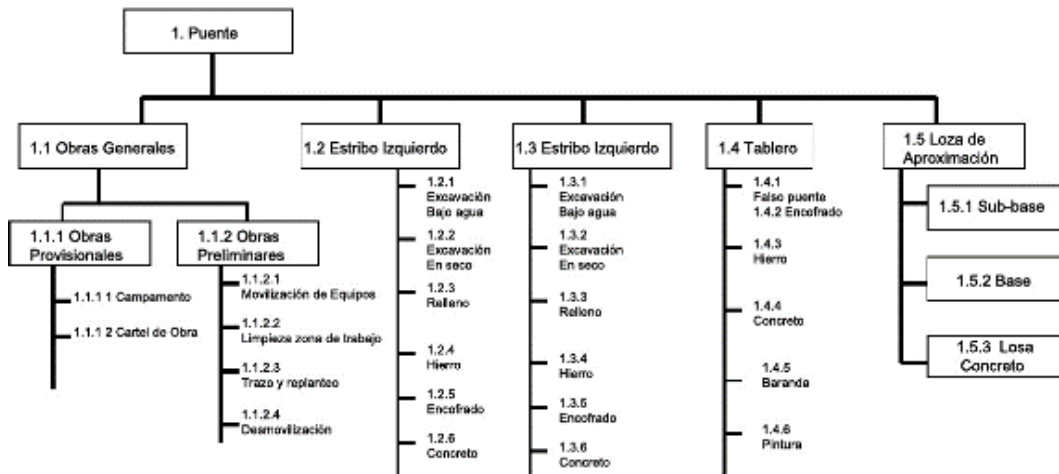


Figura 2.28: Ejemplo de EDT de proyecto de un puente (Fuente: bogeconsultores.com)

Lo más importante de la EDT es que los paquetes de trabajo se utilizan para agrupar las actividades y que en base a estos se realizará el planeamiento y control de diferentes áreas de conocimiento, como por ejemplo el tiempo, el costo, la calidad, los recursos entre otros.

2.4.2. Procesos de Planeamiento del Tiempo (Cronograma)

Según el PMBOK (PMI, 2017), se requiere cuatro procesos para la planificación del tiempo o cronograma. Dichos procesos son los siguientes:

1. **Definir las Actividades:** Es el proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para elaborar los entregables del proyecto. Para definir las actividades se debe analizar los paquetes de trabajo definidos en el EDT del proyecto y establecer los esfuerzos necesarios para completar dichos entregables.
2. **Secuenciar las Actividades:** Es el proceso de identificar y documentar las relaciones entre las actividades del proyecto. El beneficio clave de este proceso es la definición de la secuencia lógica de trabajo para obtener la máxima eficiencia teniendo en cuenta todas las restricciones del proyecto.
3. **Estimar la Duración de las Actividades:** Es el proceso de realizar una estimación de la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados. El beneficio clave de este proceso es que establece la cantidad de tiempo necesario para finalizar cada una de las actividades.

4. **Desarrollar el Cronograma:** Es el proceso de analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones del cronograma para crear el modelo de programación para la ejecución, el monitoreo y el control del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que genera un modelo de programación con fechas planificadas para completar las actividades del proyecto.

2.4.3. Técnicas de Programación de Obra

Para llevar a cabo planificación del tiempo mediante los procesos listados anteriormente, será necesario emplear diversas técnicas para la programación de obras. Según Oberlender (1993), “puede entenderse como programación a la elaboración de una red o diagrama en la que se esquematizan todas las actividades en las que se divide el proyecto, especificando el tipo de relación entre una y otra, así como su duración. Con esta programación se tiene un tiempo estimado de terminación del proyecto”. Las técnicas y herramientas más usadas en la programación de una obra son las siguientes:

1. **Diagrama de barras:** También conocido como diagrama de Gantt, presentan la información del cronograma donde las actividades se enumeran en el eje vertical, las fechas se muestran en el eje horizontal y las duraciones de las actividades se muestran como barras horizontales colocadas según las fechas de inicio y finalización (Ver Figura 2.29). El diagrama de Gantt es una herramienta utilizada prácticamente en todo tipo de proyectos ya que es de fácil entendimiento.

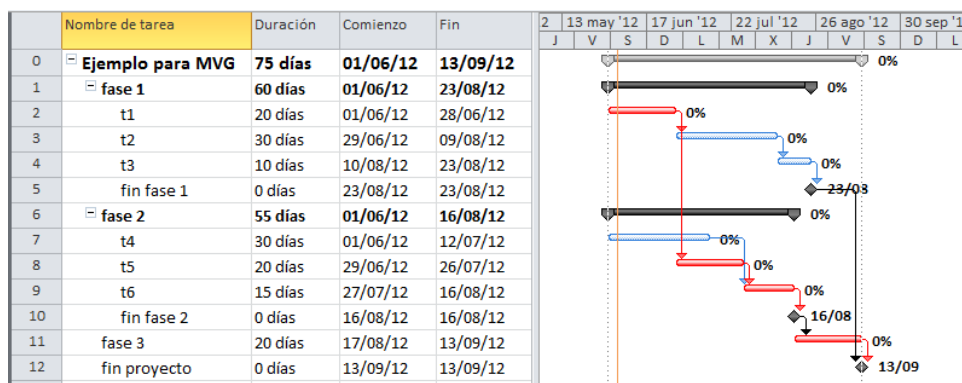


Figura 2.29: Ejemplo diagrama de Gantt en software MS Project (Fuente: proyecteus.com)

2. Método de la Ruta Crítica (CPM): técnica que permite estimar la duración mínima del proyecto mediante un diagrama de red. La ruta crítica es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto, lo cual determina la menor duración posible del mismo. Para elaborar el diagrama de red y secuenciar las actividades existen dos métodos los cuales se detallan a continuación:

a) Método de Diagramación con Flechas (ADM): consiste en elaborar un diagrama de red en el cual las actividades y sus duraciones se representan mediante flechas y la dependencia entre una actividad y otra se representa mediante nodos (Ver Figura 2.30). El ADM solo permite actividades consecutivas es decir dependencia “fin-inicio”. Además, para actividades en paralelo requiere el uso de actividades ficticias conocidas como “dummies” que generalmente se representan como líneas punteadas.

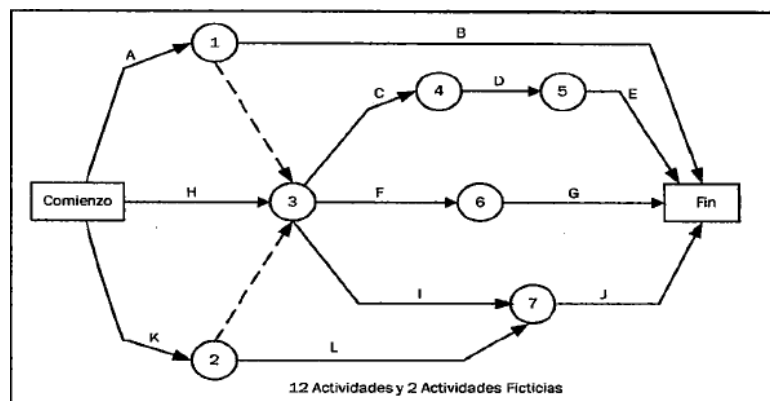


Figura 2.30: Esquema de diagrama ADM (Fuente: Apolinario, 2009)

b) Método de Diagramación por Precedencias (PDM): consiste en un diagrama de red el cual se caracteriza en que las actividades y sus datos se representan en los nodos y en las flechas se indican las relaciones de precedencia (Ver Figura 2.31). Esta técnica incluye cuatro tipos de relaciones de precedencia: “fin-inicio”, “fin-fin”, “inicio-inicio”, “inicio-fin”. Este método no requiere el uso de Dummies y es más práctico en comparación al método ADM.

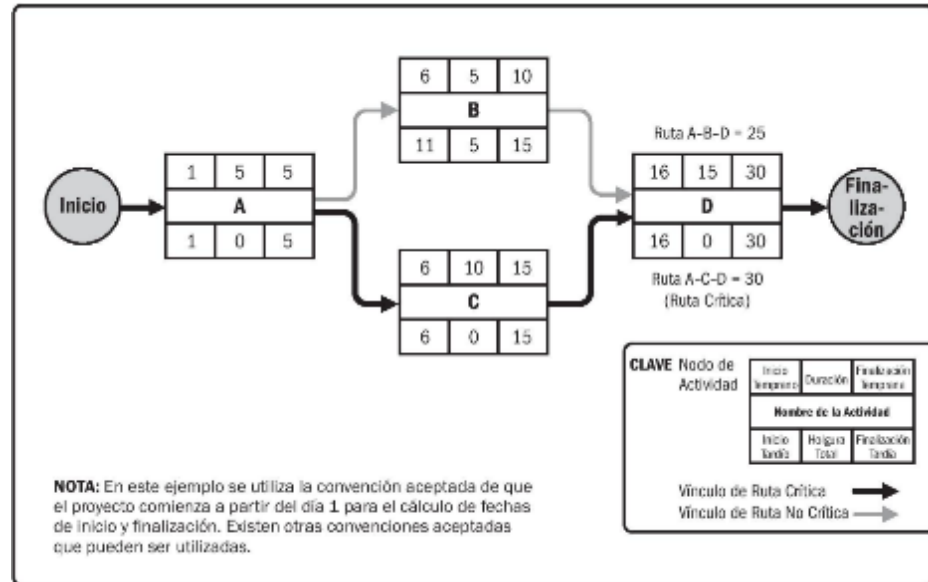


Figura 2.31: Esquema de diagrama PDM (Fuente: PMI, 2017)

3. Técnicas para estimación de duraciones: la estimación de las duraciones de las actividades dependerá mucho de la experiencia y conocimiento especializado del equipo de proyecto. También dependerá de la cantidad de información de proyectos similares pasados con los que se cuente. Algunas técnicas para estimar duraciones son las siguientes:

a) Estimación Análoga: técnica para estimar la duración de una actividad que utiliza datos históricos de una actividad de un proyecto similar. La estimación análoga utiliza parámetros de un proyecto anterior similar, tales como duración, presupuesto, tamaño, peso y complejidad, como base para estimar los mismos parámetros o medidas para un proyecto futuro. Se emplea a menudo para estimar la duración de un proyecto cuando se dispone de escasa información de detalle sobre el mismo. La estimación análoga es más fiable cuando las actividades anteriores son lo más similares posible y cuando los miembros del equipo del proyecto responsables de efectuar las estimaciones poseen la experiencia necesaria.

b) Estimación Paramétrica: técnica que utiliza un algoritmo para calcular la duración en base a datos históricos y parámetros del proyecto. Para el cálculo de duraciones se multiplica la cantidad de trabajo a realizar por el ratio de producción. Los ratios deben obtenerse de información

de proyectos pasados o de la experiencia de los miembros del equipo de proyecto.

- c) **Estimación mediante PERT:** llamada “Técnica de Revisión de Evaluación del Proyecto” por sus siglas en inglés. PERT es una técnica que, al igual que al método CPM, utiliza un diagrama de red, siendo la diferencia la estimación de las duraciones de las actividades. Mientras que el CPM se caracteriza por ser determinístico, es decir, considera que la duración de las actividades está bien definida y es conocida, el PERT es probabilística, en donde la duración de cada actividad es una variable que depende de tres posibles duraciones que son la optimista, la normal y la pesimista (Ver Figura 2.32).

Estas duraciones probables, en base a los registros de proyectos similares realizados, de los que se tienen distintos tiempos de duración dependiendo de si las circunstancias fueron favorables o no.

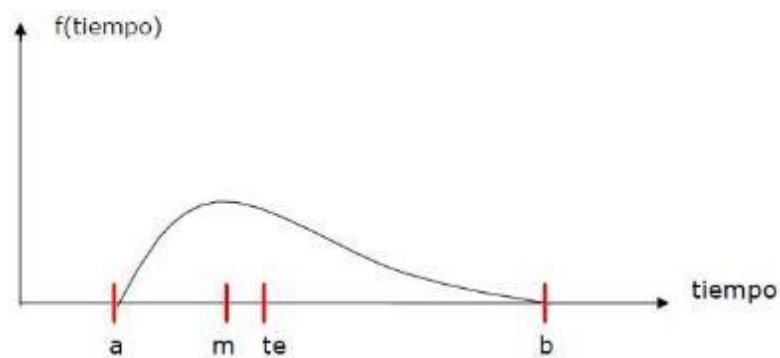


Figura 2.32: Distribución de tiempo que supone el PERT para una actividad
(Fuente: investigaciondeoperaciones.net)

Donde las duraciones son optimistas (a), normal (m) y pesimista (b). Luego, el tiempo esperado (te) y la varianza asociada a cada actividad se obtienen a través de las siguientes fórmulas:

$$te = \frac{a + 4m + b}{6} \quad \sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{36}$$

2.5. PLANEAMIENTO DEL COSTO

Según el PMBOK (PMI, 2017), “la gestión de los costos de un proyecto incluye los procesos involucrados en planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado”.

El costo total de un proyecto de construcción se compone de dos tipos que son:

1. **Costo Directo:** es el valor de los recursos directamente consumidos en la realización del trabajo como son los materiales, mano de obra, maquinaria y servicios de subcontratistas. Estructuralmente, este costo directo es el resultado de la multiplicación de los metrados por los costos unitarios.
2. **Costo Indirecto:** corresponde a los gastos de dirección técnico-administrativa de la obra, como son el personal empleado, gastos administrativos, financieros, seguros, entre otros. Los costos indirectos usualmente son consumidos de forma directamente proporcional al tiempo de ejecución del proyecto.

2.5.1. Procesos de Planeamiento del Costo

Dentro del grupo de procesos de planificación del PMBOK, la planificación de costos requiere de los siguientes dos procesos:

1. **Estimar los costos:** es el proceso de desarrollar una aproximación del costo de los recursos necesarios para completar el trabajo del proyecto. Esto incluye tanto los costos directos como indirectos. El beneficio clave de este proceso es que determina los recursos monetarios requeridos para el proyecto. Debe contemplarse todas las actividades que conforman el alcance del proyecto por lo que será importante la revisión de la EDT.

Algunas técnicas y herramientas para la estimación de costos son:

- a) **Estimación análoga:** al igual que en la estimación de duraciones, esta técnica utiliza valores de proyectos similares.
 - b) **Estimación paramétrica:** al igual que en la estimación de duraciones, se utilizan datos históricos junto con otras variables. El mejor ejemplo en el rubro construcción es recrear los rendimientos de producción de otros proyectos que hayan tenido similares condiciones y que por tanto sus costos también serán similares y aplicables.
 - c) **Análisis de alternativas:** consiste en evaluar las opciones para ejecutar ciertas actividades del proyecto. Un ejemplo muy claro en el rubro construcción son las cotizaciones de proveedores o propuestas de subcontratistas para realizar entregables del proyecto, en lugar de producirlo con recursos propios (siempre que esta opción sea más beneficiosa).
 - d) **Análisis de reserva:** al momento de hacer las estimaciones evaluar y tener identificados los riesgos en el alcance del proyecto. Si se realiza la estimación de una actividad riesgosa, el encargado debe tomar esto en cuenta para decidir si incluir provisiones para las contingencias del riesgo dentro del costo de dicha actividad o recurso.
 - e) **Costo de la calidad:** evaluar el impacto en el costo de la inversión adicional de conformidad, frente al costo de la no conformidad. Es decir, mientras el costo estimado asegure la calidad del entregable, no se tendrá que incidir en sobrecostos por doble trabajos.
2. **Determinar el presupuesto:** es el proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada. Para obtener dicho presupuesto es necesario contar con el alcance definido (EDT) y las estimaciones de costos, cronograma de proyecto, registro de riesgos, entre otros.

CAPÍTULO III. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

El Proyecto Especial Majes Sigvas es un megaproyecto, ubicado en la región de Arequipa, que deriva los recursos hídricos de los ríos Colca y Apurímac, con el objetivo de irrigar 60 mil hectáreas en las pampas de Majes y Sigvas, contribuir al desarrollo agroindustrial y a la generación de energía eléctrica.

3.1. HISTORIA DEL PROYECTO MAJES SIGVAS

La historia del proyecto Majes Sigvas comienza en 1920, año en que el gobierno peruano contrata al ingeniero estadounidense Charles W. Sutton, a quien se le encarga realizar estudios y un inventario de los recursos de tierras y aguas disponibles para la irrigación en el Perú. Después de diversos estudios y proponer varios proyectos, en 1946, Sutton presenta la propuesta de un proyecto que utilice las aguas del río Colca para irrigar las pampas de Majes y las pampas de Sigvas.

Años después se contrató a la empresa italiana Eletroconsult, quienes presentan, en 1966, los estudios de factibilidad y contratación financiera de todo el proyecto. Además, por cuestiones de financiamiento económico, se divide el proyecto en dos etapas. Electroconsult también se encargó de elaborar los estudios definitivos de la primera etapa del proyecto.

La construcción del proyecto Majes Sigvas Etapa I se inicia el 3 de octubre de 1971, y es concebido como un proyecto integral de desarrollo regional. Esta primera etapa tendría como objetivo irrigar 22 mil ha de las pampas de Majes. Para ello se construyó la represa de Condorama, la cual tiene una capacidad de embalse de 285 MMC. Las aguas descargadas de dicha presa recorren 70 km a lo largo del río Colca hasta llegar a la bocatoma de Tuti, la cual capta y trasvasa un caudal de 34 m³/s, desde el río Colca hacia el valle del río Sigvas mediante una serie de túneles y canales, los cuales tienen longitudes aproximadas de 88 km y 13 km respectivamente.

Las aguas son conducidas hasta la bocatoma de Pitay, donde se derivan las aguas hacia las pampas de Majes a través de un sistema que comprende 10 km de túneles y 5 km de canales, con un caudal de 20 m³/s hasta llegar a un desarenador

terminal. A partir de este componente inician las obras de distribución e infraestructura de riego, las cuales actualmente irrigan 15 mil ha de las pampas de Majes. La primera etapa del proyecto Majes demandó un aproximado de 14 años de construcción, habiendo finalizado en el año 1985. En la Figura 3.1 se aprecia un esquema con la distribución de las obras de la Etapa I del proyecto Majes Sigüas.



Figura 3.1: Esquema general del Proyecto Majes Sigüas Etapa I
(Fuente: regionarequipa.gob.pe)

La construcción de la segunda etapa del proyecto Majes Sigüas ha pasado por muchas dificultades, sin embargo, actualmente ya se encuentra en ejecución. El proyecto es declarado viable en junio del 2010, el cual se decidió sería financiado mediante asociación pública-privada (APP), es decir por el Estado y por una empresa privada, a la cual se le daría en concesión el recurso hídrico durante 20 años.

Es así como el 9 de diciembre de 2010 se firma el contrato entre el Estado y la sociedad "Concesionaria Angostura Sigüas", conformada por las empresas Cobra, de España, y Cosapi, de Perú. El mismo día se firma la primera adenda la cual paraliza el proyecto debido a una demanda que tenía el Estado por parte de la

región del Cusco, principalmente del distrito vecino de Espinar. La demanda argumentaba que la derivación de aguas del río Apurímac al Colca, perjudicaría los proyectos agrícolas de Espinar. Se exigió un nuevo Estudio de Impacto Ambiental realizado por un ente independiente. El estudio se realizó y tras casi tres años de litigio se archivó la demanda en noviembre de 2013.

Debido a todo el proceso legal se encareció el presupuesto del proyecto, lo cual llevo a una revisión de precios y a negociaciones que se dilataron hasta abril de 2015, fecha en que se firma el Texto Único Ordenado que establece las nuevas condiciones de la concesión y reactiva el proyecto. A pesar de ello, surgieron nuevos problemas esta vez por la demora en la entrega de terrenos por parte del Estado. La concesionaria inició parte de las obras preliminares a pesar de las restricciones, las cuales fueron levantadas en su totalidad en setiembre de 2016, fecha del reinicio definitivo de las obras.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MAJES SIGUAS ETAPA II

El presente trabajo de investigación se centra en la construcción de los túneles de trasvase de las cuencas del Apurímac al Colca, sin embargo, es necesario describir el alcance del megaproyecto al que estas construcciones pertenecen, el cual es el proyecto Majes Siguas Segunda Etapa.

3.2.1. Alcance del Proyecto

Majes Siguas Etapa II es la continuación del Proyecto Especial Majes Siguas, el cual en su segunda etapa tiene el propósito principal de construir la infraestructura para la irrigación de 38,500 ha nuevas en las pampas de Siguas.

Además, el excedente de agua permitirá irrigar 7,000 ha de las pampas de Majes, actualmente sin utilizar, así como suministrar agua para la generación de energía mediante plantas hidroeléctricas. En la Tabla 3.1 se describe todos los componentes que conforman el Proyecto Especial Majes Siguas en sus dos etapas. Para el presente trabajo de tesis solo se estudia la construcción de los túneles Pucará y Trasandino, pertenecientes a la derivación Angostura-Colca.

Tabla 3.1: Componentes del Proyecto Especial Majes Sigwas (Fuente: ProInversión.gob.pe)

Etapa I	Etapa II
Obras existentes administradas por el Estado: <ul style="list-style-type: none"> - Represa de Condoroma (285 hm³) - Bocatoma de Tuti (capacidad de descarga 34 m³/s) - Aducción Colca-Sigwas (88 km túneles, 13 km de canales y caudal de 34 m³/s) - Bocatoma de Pitay - Derivación Sigwas hacia Pampa de Majes (15 km y caudal de 20 m³/s) - Red de distribución e infraestructura del riego para 22 mil ha (actualmente solo se utilizan 15 mil ha) - Carretera y servicios 	Obras nuevas por concesión de irrigación: <ul style="list-style-type: none"> - Presa de Angostura (1,140 hm³) - Derivación Angostura-Colca a través de los Túneles Pucará-Trasandino (16 km y capacidad 30 m³/s) - Derivación del río Sigwas hacia pampas de Sigwas - Red de distribución e infraestructura de riego para habilitar y desarrollar 38,5 mil ha de tierras nuevas en las pampas de Sigwas
	Administración por concesión de irrigación: <ul style="list-style-type: none"> - Subasta de 38, 500 ha en Sigwas y 7, 000 ha en Majes - Estructuración de un plan integral de desarrollo
	Obras nuevas por concesión de hidroeléctricas: <ul style="list-style-type: none"> - Construcción y concesión de un proyecto de servicio de energía eléctrica a través de, por los menos, 2 plantas hidroeléctricas (450 Mw)

3.2.2. Ubicación Geográfica

Debido a la distribución espacial de las obras de infraestructura del proyecto, este se divide en dos fases. La Fase 1 corresponde a las obras mayores de infraestructura hidráulica conformada por la presa Angostura, la derivación Angostura-Colca y las obras menores asociadas a ellas. Estas obras se ubican en los distritos de Caylloma y Tisco, en la parte alta de la provincia de Caylloma, en la región de Arequipa, aproximadamente a la cota 4,210 msnm, en las faldas de la Cordillera Occidental de los Andes, a unos 230 km de la ciudad de Arequipa.

Por otra parte, la Fase 2 corresponde a las obras de derivación Luclla-Sigwas y a la infraestructura de riego en la zona regable de las pampas de Sigwas. Dichas obras se ubican en los distritos de San Juan de Sigwas, Santa Isabel de Sigwas y Santa Rita de Sigwas, en la provincia de Arequipa, dentro de la región de Arequipa. La zona de irrigación se encuentra a una cota aproximada de 1,400 msnm, a unos 87 km de la ciudad de Arequipa, en el PK 931 de la Panamericana sur. En la Figura 3.2 se aprecia la ubicación geográfica de las dos fases del proyecto.

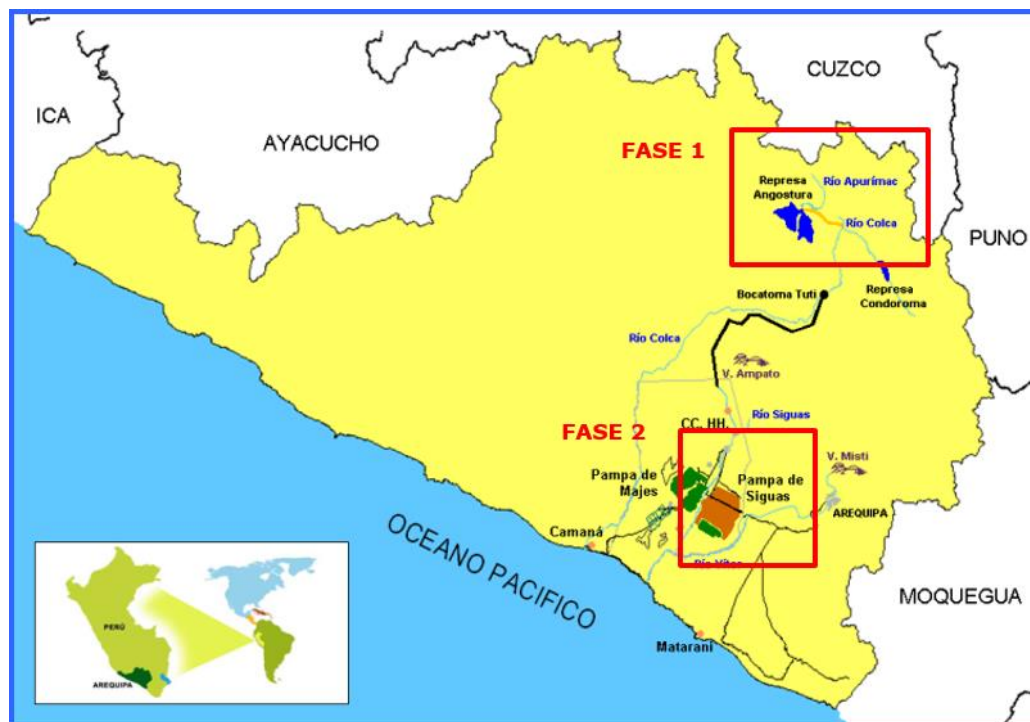


Figura 3.2: Esquema general y ubicación del proyecto Majes Sigwas Etapa II

(Fuente: Expediente Técnico Final)

3.2.3. Datos Generales del Proyecto

Nombre del contrato:	Construcción, operación y mantenimiento de las obras mayores de afianzamiento hídrico y de infraestructura para irrigación de las pampas de Sigwas
Propietario del proyecto:	Estado Peruano representado por el Gobierno Regional de Arequipa (GRA)
Ejecutor del proyecto:	Concesionaria Angostura Sigwas S.A. (CAS), conformado por la sociedad entre las empresas “Cobra Instalaciones y Servicios S.A.” y “Cosapi S.A.”
Empresa supervisora:	Supervisor Especializado Majes Sigwas II, conformado por la sociedad entre las empresas “Nippon Koei Co Ltd” y “Nippon Koei Latin America - Caribbean Co Ltd”
Monto referencial de inversión:	US\$ 550'401,572 incluido IGV
Plazo de construcción:	04 años
Plazo de concesión:	20 años (incluye el plazo de construcción)

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES PUCARÁ Y TRASANDINO

Los túneles Pucará y Trasandino son dos obras que pertenecen a la derivación Angostura-Colca del proyecto Majes Sigvas II. Esta se inicia en la bocatoma ubicada aguas arriba de la presa, en el estribo derecho sobre el cerro Huaypune y desemboca en el río Chalhuanca, el cual es afluente del Colca. Las características técnicas de dichos túneles se describen a continuación.

3.3.1. Trazado y Sección Tipo

La derivación, o trasvase, inicia en el túnel Pucará, a una cota 4178.00 msnm (cota de solera) con una alineación recta con una orientación de 114° respecto al norte hasta la progresiva 5+016, donde se inicia una curva a izquierdas de radio 6000 m hasta la progresiva 6+020, donde se recupera una alineación recta. El portal de salida se ubica en la progresiva 6+330 a la cota 4,174.71 msnm, presentando el trazado en alzado una pendiente descendente constante de 0.052% (Ver Figura 3.3). A la salida del túnel Pucará, el agua cruzará por un canal de concreto de 196 m de longitud, el cual se construirá sobre un terraplén sobre el río Andamayo.

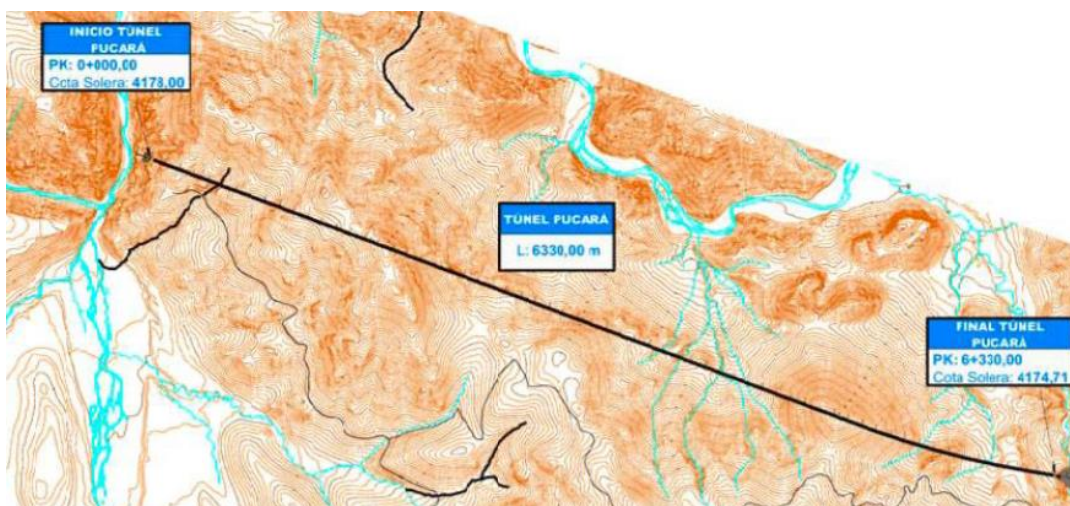


Figura 3.3: Trazado en planta túnel Pucará (Fuente: Expediente Técnico Final)

Tras el cruce del río Andamayo, en la progresiva 6+526, se inicia el túnel Transandino a la cota 4,174.61 msnm continuando con la misma pendiente uniforme. En planta el trazado presenta una curva de radios 6000 m hasta alcanzar la progresiva 7+560, manteniendo desde ese punto una alineación recta hasta la boca de salida, situada en el PK 16+020 a la cota 4169.67 msnm (Ver Figura 3.4).



Figura 3.4: Trazado en planta túnel Trasandino (Fuente: Expediente Técnico Final)

En el Anexo A se puede revisar mayor detalle de la ubicación en planta de los túneles. En la Tabla 3.2 se resume las características de los túneles:

Tabla 3.2: Características Técnicas del Túnel de Trasvase
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

Túnel	P.K. Inicio	P.K. Final	Longitud (m)	Cota Toma (msnm)	Cota Salida (msnm)	Pendiente	Sobrecarga máxima (m)
Pucará	0+000	6+330	6,330	4,178.00	4,174.71	0.052%	310
Trasandino	6+526	16+020	9,494	4,174.61	4,169.67	0.052%	225

La sección tipo será necesariamente circular debido al método constructivo mediante tuneladora. La sección tipo del túnel se presenta en la Figura 3.5.

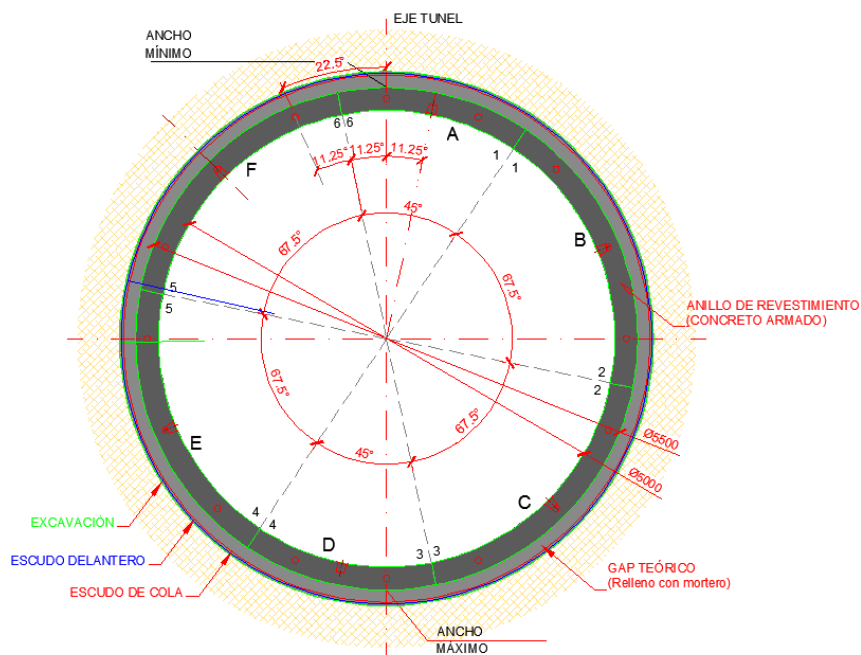


Figura 3.5: Sección tipo para los túneles de Pucará y Trasandino
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

Las principales dimensiones se resumen la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Características básicas de la sección tipo (Fuente: Expediente Técnico Final)

Concepto	Dimensiones (m)
Diámetro interior de anillo	5.000
Espesor de anillo	0.235
Diámetro exterior de anillo	5.470
Diámetro de excavación	5.820
Diámetro de escudo delantero	5.760

3.3.2. Aspectos geológico-geotécnicos de los túneles

A nivel geológico en el trazado predominan dos litologías previstas, las cuales son las lavas andesíticas, andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas de la formación Ichocollo; y las tobas soldadas cristalolíticas de la formación Sencca. A continuación, se describe el análisis de los principales parámetros geológicos para la construcción de los túneles obtenidos del expediente técnico del proyecto. El detalle de los datos geológico-geotécnicos se aprecia en el Anexo A.

- 1. Resistencia a la compresión simple:** se estimó de acuerdo a sondeos realizados en ambos túneles, de forma directa mediante ensayos de compresión simple o compresión con bandas extensométricas; y de forma indirecta mediante ensayos de carga puntal (PLT) y de rebote (esclerómetro). Se presenta a continuación los datos disponibles de las litologías previstas:
 - Lavas andesíticas, andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas de la formación Ichocollo: Presenta resistencias a la compresión simple comprendidas entre 15 y 173 MPa. Según la clasificación ISRM se determina en R4 (50-100 MPa), de resistencia alta. Este tipo de roca se ubica en la mayoría del túnel Pucará y en una parte del túnel Trasandino.
 - Tobas soldadas cristalolíticas de la formación Sencca: presenta resistencias a la compresión simple comprendidas ente 5 y 67 MPa. Según la clasificación ISRM se determina en R3 (25-50 MPa), de resistencia media. Este tipo de roca se ubica en la parte final del túnel Pucará y en parte del túnel Trasandino.

2. Fracturación de los macizos a excavar: según sondeos y estimaciones realizadas se presenta un resumen de los valores de RMR disponibles para la roca a excavar:

- Pucará: Media a Buena, excepto zonas de falla (Ver Tabla 3.4).

Tabla 3.4: RMRs de túnel Pucará (Fuente: Expediente Técnico Final)

Rangos de RMR	Porcentaje en túnel Pucará
>70	11.4%
61-70	18.1%
51-60	29.3%
41-50	26.2%
31-40	15.0%
<31	0.0%

- Transandino: Buena, excepto en zonas de falla (Ver Tabla 3.5).

Tabla 3.5: RMRs del túnel Trasandino (Fuente: Expediente Técnico Final)

Rangos de RMR	Porcentaje en túnel Trasandino
>70	19.4%
61-70	25.9%
51-60	20.1%
41-50	26.3%
31-40	8.3%
<31	0.0%

3. Presencia de fallas: según el expediente técnico, se realizaron sondeos en la traza, cercanos a la traza y ensayos de tomografía eléctrica, lográndose identificar, y en algunos casos solo interpretar, una cantidad determinada de fallas. Estas se reparten en 17 fallas para el túnel Pucará y 27 fallas en el túnel Trasandino. La excavación en estas zonas es previsible que supongan un empeoramiento de las condiciones de excavación bien por la propia calidad del material, o por la aparición de caudales de agua mayores que en una situación normal, debido a su previsible mayor permeabilidad.

4. **Presencia de agua:** según expediente técnico, los niveles de agua, por sí solos, no suponen un problema grave siempre que el macizo presente una permeabilidad baja. Sin embargo, dicha situación se ve modificada en el caso de las fallas, donde se considera que el aumento de fracturación sin alteración de la roca matriz puede dar lugar a un aumento de permeabilidad que provoque afluencia de agua.

5. **Esfuerzos inducidos sobre la excavación:** de acuerdo a los tipos de litologías, las alturas de montera, los RMR y resistencias a compresión simple; en el expediente técnico se presenta tres grupos representativos para los que se calculó los esfuerzos inducidos sobre la excavación. Estos valores se presentan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Esfuerzos inducidos sobre la excavación (Fuente: Expediente Técnico Final)

Litología	Montera	RMR	RCSi (MPa)	Cargas de túnel en servicio				Cargas en sismo			
				Nmin (kN/m)	Nmax (kN/m)	Mmax (kN·m/m)	Vmax (kN/m)	Nmin (kN/m)	Nmax (kN/m)	Mmax (kN·m/m)	Vmax (kN/m)
Andesitas y traquian-desitas	Hasta 260 m	>30	> 15 MPa	308	518	3.16	10.16	270	1320	10	8.5
Tobas	Hasta 160 m	>30	> 5 MPa								
Andesitas y traquian-desitas	260 m a 310 m	>30	> 15 MPa	3108	3766	28	56	2050	2710	20	50
Andesitas y traquian-desitas	Hasta 260 m	>30	> 15 MPa	966	1624	28	28	650	1720	20	30

3.3.3. Descripción de la TBM Herrenknecht S-1023 de escudo simple

La TBM Herrenknecht S-1023 de escudo simple, cuenta con un diámetro de perforación de 5.82 m y longitud de 12.98 m a lo largo de su escudo, conectado a un sistema de respaldo y operación conocido como “Back up” o tren de apoyo. El back up está compuesto por 18 remolques en donde se instalaron los diferentes equipos necesarios para el funcionamiento de la máquina, sumando junto al escudo una longitud total de 234 m aproximadamente.

En la parte delantera de la TBM se ubica la rueda o cabeza de corte equipada con herramientas de corte que efectúan la excavación gracias a la acción simultánea del giro y el empuje de la misma contra el terreno. La cabeza de corte está dotada de 26 discos cortadores simples y 4 discos cortadores dobles, además de contar con cuñas anti-desgaste que protegen los cortadores en su proceso de corte y de 8 rastreles en su periferia que recogen el material excavado (Ver Figura 3.6).



Figura 3.6: Vista frontal de Cabeza de Corte (Fuente: Expediente Técnico Final)

Seguidamente se encuentra el escudo de la TBM, la cual dará alojamiento a distintos equipos, así como al último anillo a instalar. Dicho escudo está compuesto por tres piezas las cuales son el escudo delantero, el escudo intermedio y el escudo de cola. En el escudo delantero se encuentra el accionamiento principal conformada por 9 motores eléctricos refrigerados por agua, de 350 KW cada uno (Ver Figura 3.7). Los motores hacen girar 9 piñones que a su vez hacen girar la corona principal proporcionando la rotación a la cabeza de corte de hasta 9 rpm.

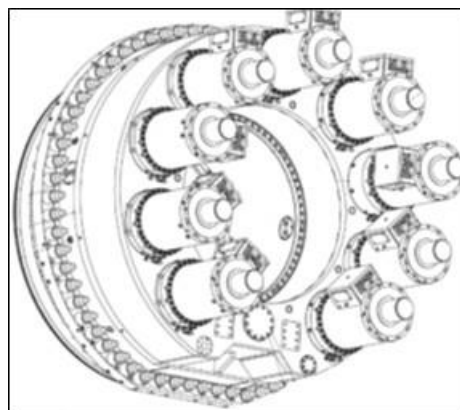


Figura 3.7: Accionamiento de cabeza de corte (Fuente: Expediente Técnico Final)

El escudo intermedio, que va conectado al delantero, lleva en su interior 32 cilindros de empuje hidráulico (16 pares), los cuales se encargan del movimiento longitudinal de la TBM. Además de los cilindros de avance, existen 10 cilindros de articulación que, con movimientos por sectores, permiten desarrollar curvas con radios de un mínimo de 400 m. En este escudo también se cuenta con tubos para el paraguas (en caso se requiera), orificios para la inyección de bentonita y se encuentra instalada una cruz portante sobre la cual se cuenta con una estructura metálica atornillada donde se desliza el erector de colocación de dovelas.

El escudo de cola cuenta con 10 líneas de inyección de bi-componente, dispuestas en 5 pares, siendo 5 líneas principales y 5 de reserva, las cuales se usan para rellenar el trasdós. También existe una sexta línea, no perteneciente al escudo, que puede realizar la inyección en el interior del túnel desde el back-up. Además, el escudo de cola lleva montada 2 filas de cepillos separados entre sí y con 10 líneas de inyección de grasa, montadas en el escudo, que se encargan de evitar el retorno de la inyección de bi-componente hacia la parte delantera del escudo.

Finalmente, la TBM cuenta con el sistema de respaldo llamado back up, donde se aloja el sistema de extracción de escombros, mediante cintas transportadoras, y las mesas/alimentador de dovelas con capacidad de dos anillos completos. A su vez, el back up está conformado por 18 remolques y un puente de conexión, entre los remolques 1 y 2. Todos los remolques se desplazan sobre los carriles de la vía secundaria, la cual es su vía exclusiva.

Cada uno de los remolques está destinado a una instalación o equipo específico de la tuneladora, la cual se detalla en la Tabla 3.6.

Tabla 3.7: Descripción de los remolques del back up de la TBM (Fuente: Expediente Técnico Final)

UBICACIÓN	DESCRIPCION
Remolque 01	Cabina de piloto/control. Equipos para captación de polvo y ventiladores.
Puente de conexión	Entre Remolque 01 y 02. Equipo generación de espuma, destinada a la inyección en el frente de corte.
Remolque 02	Libre para instalación de vías para tren de servicio como avance del Back up.
Remolque 03	Estaciones de bomba de grasa. Bombas y depósitos para transporte del componente B (sistema bi-componente) para mortero.
Remolque 04	Sistema de alimentación hidráulica y tanque de almacenamiento para los accionamientos de los equipos
Remolque 05	Gabinete de control principal MCC01. Transformador de tensión 01, de 20kV/460V.
Remolque 06	Gabinete de control principal MCC02. Transformador de tensión 02 de 20KV/690V.
Remolque 07	Gabinete de control principal MCC03. Transformador de tensión 03 20kV/690V.
Remolque 08	Gabinetes de sistema bicomponente, celdas de media tensión y sistema de respaldo.
Remolque 09	Tanques de almacenamiento para generación de espuma y sistema de aire comprimido
Remolque 10	Equipos de agua industrial. Unidad de refrigeración/filtrado de agua. Equipo del sistema bentonita para lubricación de camisas del escudo.
Remolque 11	Bombas y tanque de almacenamiento del sistema del componente A (mortero, sistema bi-componente)
Remolque 12	Container para servicios del personal que realiza trabajos dentro de túnel
Remolque 13	Containers para talleres mecánico/eléctrico
Remolque 14	Cámara de refugio para seguridad del personal. Enrollador de manguera para el suministro del componente B.
Remolque 15	03 enrolladores de mangueras para: línea de ingreso de agua refrigerada (65 m ³ /hr), línea de retorno de agua refrigerada y línea de alimentación de componente A. 01 enrollador de cable para línea de alimentación eléctrica (20Kv).
Remolque 16	Ventilador del sistema de ventilación secundaria que dota de aire para recirculación dentro del túnel.
Remolque 17	Sistema para extensión de cinta transportadora, para su ampliación de acuerdo al avance en la tuneladora.
Remolque 18	Prolongación de tubería de ventilación primaria. Generador de emergencia para el sistema de reposición de energía en la tuneladora 200kVA.

CAPÍTULO IV. PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOS TÚNELES

El proyecto está conformado por dos túneles hidráulicos, los cuales son el túnel Trasandino de 9,494 m y el túnel Pucará de 6,330 m que se conectan por un canal de 196 m, con lo cual conforman un trasvase de 16,020 m. La sección final de los túneles es circular y de 5 m de diámetro. El proceso de ejecución de los túneles inicia en la progresiva final, es decir, en la salida del túnel Trasandino, a orillas del río Chalhuanca, donde la TBM inicia la excavación y sostenimiento hasta llegar a la progresiva cero, en la entrada del túnel Pucará, donde se ubica la bocatoma de la presa Angostura. A continuación, se describe los procesos constructivos realizados para la construcción de los túneles.

4.1. OBRAS PROVISIONALES EN PLATAFORMA DE INSTALACIONES AUXILIARES

En el presente subcapítulo se describen las obras provisionales a realizar en la plataforma de instalaciones auxiliares, llamada plataforma Chalhuanca por ubicarse a orillas del río del mismo nombre. Aquí se albergan las instalaciones industriales requeridas para la construcción de los túneles Trasandino y Pucará.

4.1.1. Explanación de la plataforma de instalaciones auxiliares

La plataforma de instalaciones se ubica entre el portal de salida del túnel Trasandino y las orillas del río Chalhuanca. En la orilla se construye una mota artificial que es un dique de tierra que cumple función de defensa ribereña y de acceso vehicular a la plataforma. La plataforma tiene unas dimensiones aproximadas de 500 m de largo por 100-120 m de ancho. Los contornos de la plataforma se pueden apreciar en la Figura 4.1. La construcción de la explanación se inicia con el desbroce y limpieza. Luego, se procede con la excavación en la ladera Oeste hasta conseguir el ancho requerido, dejando una pendiente longitudinal similar a la del río (0.8%-1.0%).

La superficie se terminará con un relleno estructural con material procedente de la excavación de la ladera Oeste. Dicho relleno será de características uniformes, deberá cumplir la granulometría del tipo A-1 o A-2-4 o A-2-5 (según la clasificación

AASHTO) y se colocará en capas de espesor uniforme para que luego, con los equipos disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido, que es 98% del Proctor Modificado.

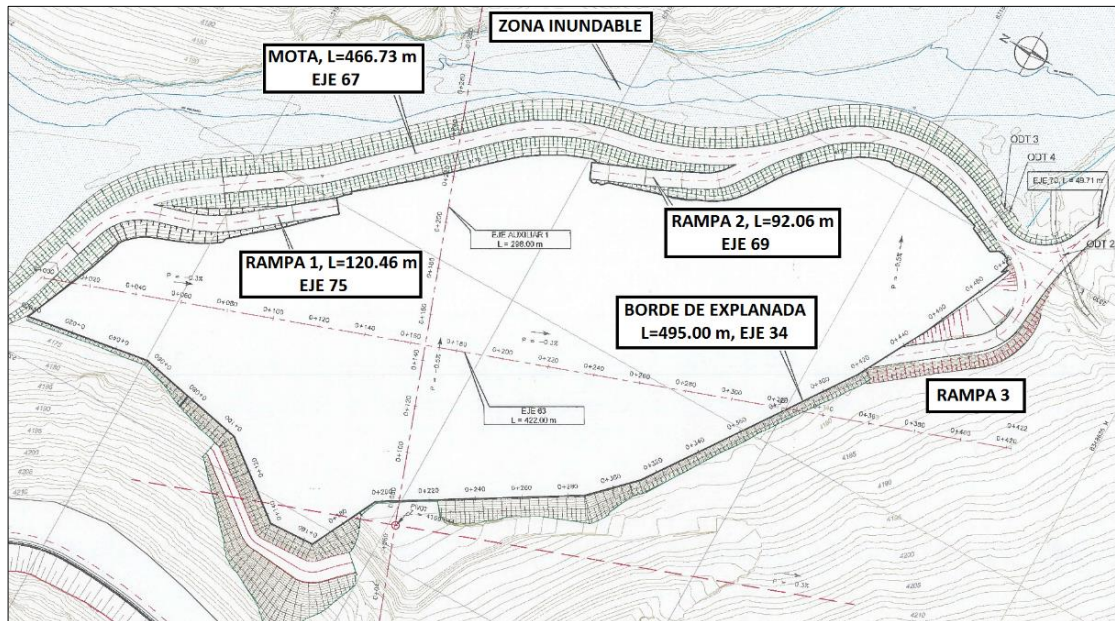


Figura 4.1: Vista en planta de la plataforma Chalhuanca y mota para protección ribereña
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

Además de la explanación se debe construir una mota para el encauzamiento del río en avenidas, la cual separa y protege la plataforma del río Chalhuanca. Dicha mota consiste en un terraplén de altura promedio de 6 m, con una plataforma superior de 7 m de ancho y taludes de 3H/2V. Dicha mota permite la circulación de vehículos para ingresar a la plataforma. El trazado en planta de la mota es paralelo al cauce del río Chalhuanca para formar un desvío lo más uniforme posible con variaciones suaves de ancho. La rasante de la coronación se calculó en función de la cota de agua en avenida de 500 años, y con un resguardo igual o superior a 1 m.

Para la construcción de la mota se realizó un relleno de terraplén con material rocoso procedente de la excavación de la plataforma Chalhuanca. En el margen izquierdo de la mota, se construyó una defensa ribereña basada en una capa de geotextil, una lámina de geomembrana de HDPE, una segunda capa de geotextil y una capa de gaviones. En la figura 4.2 se observa parte de la ejecución de la defensa ribereña de la mota.



Figura 4.2: Colocación de bolonería de gaviones de mota (Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.1.2. Montaje de equipamientos e instalaciones auxiliares

La TBM tipo escudo simple requiere de diversos equipamientos e instalaciones auxiliares para su funcionamiento durante la construcción de los túneles. Tanto los equipamientos como las instalaciones son metálicas en su mayoría, por lo cual requerirán de una cimentación de concreto armado, como de losas de cimentación y zapatas.

En la Figura 4.3 se observa una vista en planta de la plataforma Chalhuanca con todas las instalaciones auxiliares para la TBM.

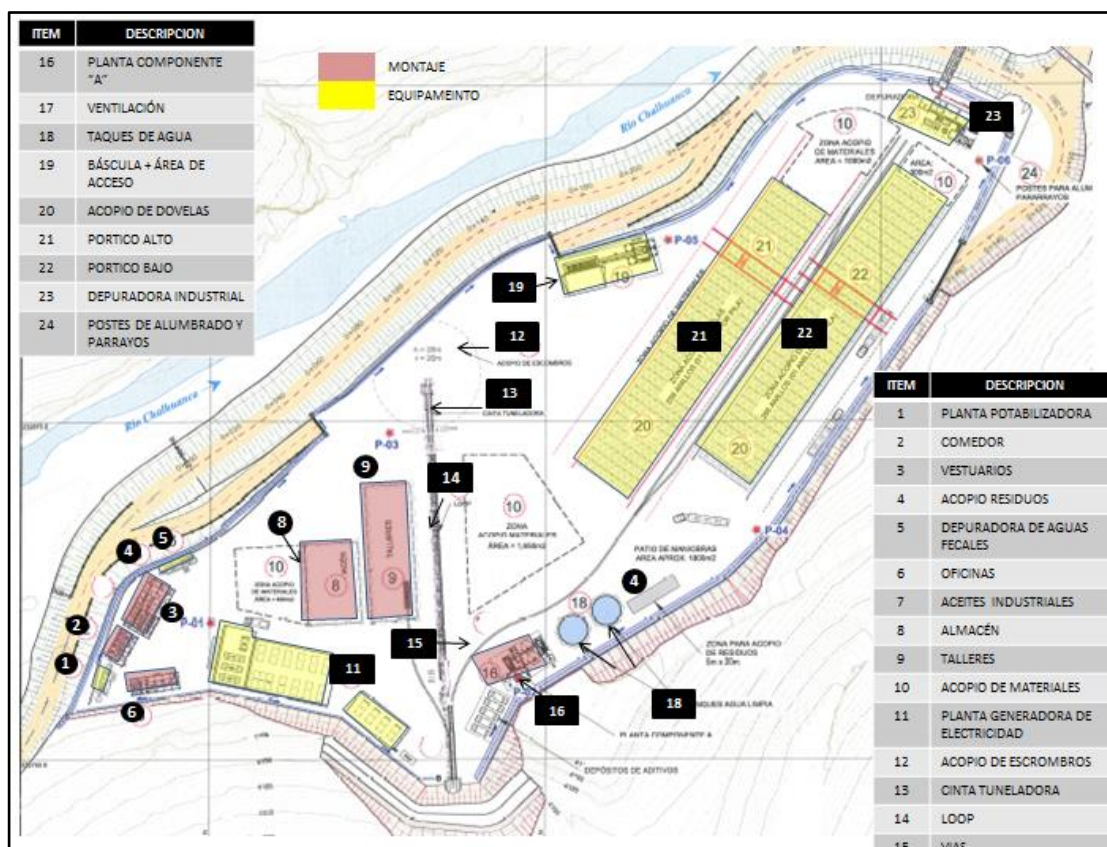


Figura 4.3: Planta de las instalaciones de la plataforma Chaluwanka
(Fuente: Expediente Técnico Final)

A continuación, se describe las características de las instalaciones auxiliares más importantes:

1. Planta de Bicomponente: Son las instalaciones donde se realiza la fabricación del componente A, cementante del bicomponente, y además se alojan las bombas de impulsión para los componentes A y B. Las instalaciones están conformadas por 6 silos y 3 containers (Ver Figura 4.4), cuyo montaje se realizó sobre una losa de cimentación y perfiles metálicos. A continuación, se describe los principales componentes de la planta de Bicomponente:

- 3 silos para cemento: de 100 T, diámetro de 4 m y alto de 10 m.
- 1 silo para bentonita seca: de 100 T, diámetro de 4 m y alto de 10m.
- 2 silos para bentonita pre-hidratada: de 150 m³, 4.5 m diámetro y 12.5 m de alto.

- 1 container con un mezclador de componente A, de 2.2 m³ y capacidad de procesamiento de 30 m³/h; y un agitador para almacenamiento de 4 m³ del componente A.
- 1 container con un mezclador de lodo bentónico de 2.2 m³ y capacidad de procesamiento de 30 m³/h; y bombas de impulsión.
- 1 container para alojamiento de bombas de caudal nominal 600 l/min y 2 bar de presión.

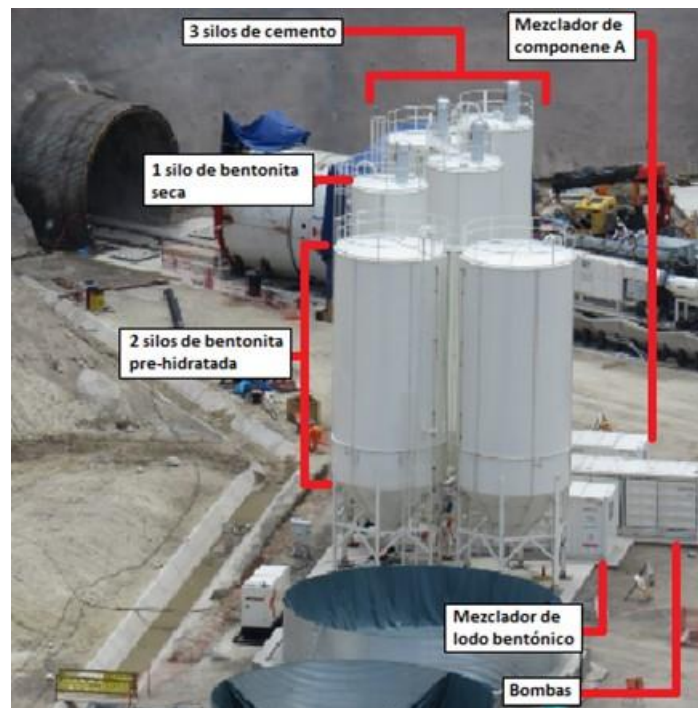


Figura 4.4: Instalaciones de planta de bicomponente
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

- 2. Planta generadora de energía eléctrica:** La planta está compuesta por nueve generadores de 1270 kVA, salida a 400 V, frecuencia 60 Hz, con motor diésel. Se cuenta con cuatro subestaciones que son alimentadas por los 9 generadores y varían el voltaje de acuerdo a las necesidades de las instalaciones y equipos del proyecto. Las tensiones que se transforman son de 0.4/20 kV (para la TBM), de 20/4.16 kV (para el alumbrado y servicios dentro del túnel) y de 20/0.46 kV (para instalaciones en plataforma). Además, los generadores se alimentan de 4 tanques de combustible siendo 3 de 10,000 gal y uno de 6,000 gal. Las instalaciones descritas se presentan en la Figura 4.5.

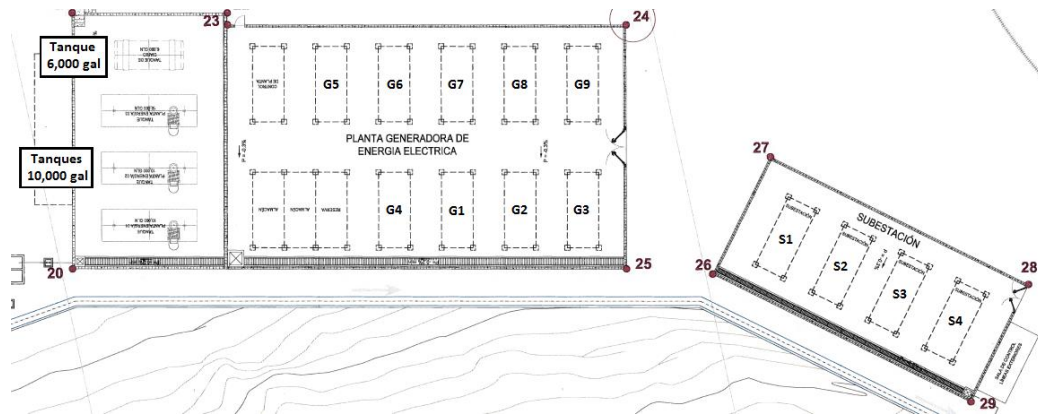


Figura 4.5 Vista en planta de Planta Generadora (Fuente: Expediente Técnico Final)

La energía generada se distribuye mediante una red eléctrica conformada por 12 líneas eléctricas para diferentes funciones dentro de la plataforma Chalhuanca como son: energía para la TBM, alumbrado de la plataforma, ventiladores, motor de cinta transportadora, pórticos de dovelas, bombas de impulsión de componente A y tanques de almacenamiento, planta depuradora, taller, almacén, plantas potabilizadoras de agua, planta de aguas residuales, oficinas, alumbrado del túnel, entre otros. La energía se conduce mediante cables que se resguardan dentro de tuberías de HDPE de 6" de diámetro. Estas se instalan en zanjas las cuales pueden llevar desde 2 hasta 14 tuberías dependiendo de la necesidad de cables de las líneas.

3. **Ventilador exterior:** Es la instalación que genera un caudal de aire mínimo de $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$, por tal razón se cuenta con dos ventiladores de $25.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y 160 kW cada uno, que tienen un alcance de 9.7 km . Los ventiladores estarán situados en el exterior a una distancia mínima de 15 m desde la entrada del túnel. El diámetro nominal de los ventiladores es $1,400 \text{ mm}$ y el de la tubería de impulsión $1,900 \text{ mm}$ por lo cual se requiere un cono metálico de adaptación entre los dos.

4. **Almacenamiento y tratamiento de agua:** El agua se capta del río Chalhuanca a la altura del inicio de la mota. El agua de río se conduce mediante drenes hacia dos pozos de concreto armado donde se instala dos bombas que impulsan el agua a un caudal de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ y enviándola a dos tanques de reserva (Ver Figura 4.6) con las siguientes características:

- Construido en chapa de acero galvanizada y ondulada
- Circular con diámetro aproximado de 10.7 m y altura 2.3 m
- Capacidad 200 m³
- Funda de PVC para todo el depósito fondo y paredes



Figura 4.6: Tanques de almacenamiento de agua (Fuente: Registro fotográfico de obra)

El consumo de la TBM es de 57m³/h; sin embargo, al ser la mayor parte para refrigeración se recupera un 80% aproximadamente, siendo el consumo real de 11.4 m³/h. Otros consumos son 4.8 m³/h para planta bicomponente, 2 m³/h para humectación de tierras y 1 m³/h para varios. Por tanto, el consumo total es de 19.2 m³/h y siendo la capacidad total de 400 m³, la reserva tendrá una duración de 20.8 horas.

Parte del agua sobrante de actividades como humectación del material excavado, limpieza de tuberías de bicomponente e inyección de agua en la cabeza de corte o cámara de escombros; se acumula en la parte inferior del túnel ya construido y fluye por gravedad al exterior donde continua su recorrido por cunetas hasta llegar a la planta depuradora.

La planta depuradora consiste en un circuito para tratamiento de fangos y aguas mediante procesos de coagulación, floculación y decantación. El agua tratada se enviará a los tanques de almacenamiento para su reutilización y en caso de excedente se verterá al cauce público. La planta cuenta con una balsa rectangular de concreto armado de dimensiones aproximadas de 14 x 5 x 3.5 m donde se almacenan los fangos. Además

de ello se cuentan con equipos que permitirán separar el agua decantada de los sólidos a eliminar. Algunos de estos equipos son: espesador de fangos, escurridor, filtro prensa, contenedores de aditivos, entre otros; los cuales se montarán sobre una losa de concreto armado (Ver Figura 4.7).

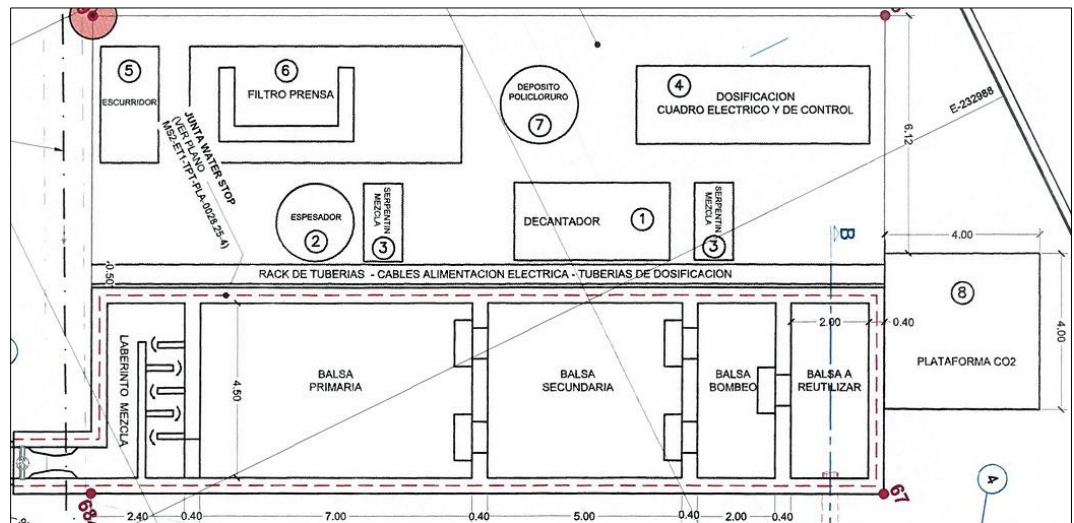


Figura 4.7: Vista en planta de Planta Depuradora
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

4.2. AFRONTONAMIENTOS

Los túneles Pucará y Trasandino cuentan con un afrontonamiento de entrada y salida cada uno, lo que da un total de cuatro, los cuales fueron diseñados de acuerdo a la morfología del terreno y a las características del material donde se ubican los portales. A continuación, se describe brevemente los trabajos realizados en cada uno de los portales.

4.2.1. Excavación y refuerzo de taludes

La excavación de talud del afrontonamiento tiene como objetivo perfilar el terreno natural a un talud de diseño, con sus respectivas bermas y cunetas de coronación, para su posterior reforzamiento. Para ello el procedimiento consiste en un rebaje por banquetas, el cual puede realizarse mediante arranque mecánico, con equipos como excavadoras o tractores cuando el terreno es suelo o roca suelta (Ver Figura 4.8); o mediante uso de explosivos cuando el terreno es roca fija. Las banquetas tienen una altura aproximada de 5 m luego de cada cual deberá realizarse el refuerzo del talud o berma respectiva.

Para el refuerzo de taludes el tipo de refuerzo a utilizar dependerá de la clasificación geomecánica que se le asigne al talud, para lo cual habrá materiales de refuerzo y el uso de ellos dependerá de la calidad del macizo rocoso. Algunos de estos materiales son los pernos de acero de refuerzo, concreto lanzado y mallas electrosoldadas (Ver Figura 4.9).



Figura 4.8: Eliminación de material de voladura de afrontamiento con equipos mecánicos
(Fuente: Registro fotográfico de obra)



Figura 4.9: Colocación de segunda capa de shotcrete
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.2.2. Construcción de paraguas y visera de protección

Con el objetivo de estabilizar el frente de excavación en los tramos con baja cobertura, como son los inicios de excavación y salidas de los portales, será necesario ejecutar paraguas conformados por micropilotes de acero, los cuales brindan protección al vano de excavación, manteniendo el contorno de la misma.

Los micropilotes son tubos de acero N-80 con diámetro externo de 88.9 mm, interno de 72.9 mm y longitud de 12 m. En total se instalaron 15 tubos en cada portal, con separación de 50 cm entre ejes. El proceso de instalación consiste en realizar perforaciones de 121 mm de diámetro, luego limpiar el taladro cuidadosamente con agua a presión, eliminándose a continuación el agua mediante aire comprimido. Inmediatamente después, se introduce el tubo hasta el fondo y se procede a la inyección, la cual se realiza con mortero o lechada de cemento a través del tubo.

A continuación del paraguas se deberá construir el falso túnel o visera de protección de 5.38 m de largo desde la entrada del túnel, que resguardará mejor a los trabajadores y equipos de posibles caídas de material de los taludes. La visera es construida a partir de la habilitación de cerchas metálicas, combinadas con chapas Bernold (Ver Figura 4.10). Finalmente, sobre la estructura habilitada en conjunto con los micropilotes se proyecta shotcrete para su reforzamiento final (Ver Figura 4.11).



Figura 4.10: Estructura habilitada de visera y viga de atado (Fuente: Registro fotográfico de obra)



Figura 4.11: Visera de protección y viga de atado con micropilotes finalizada
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.2.3. Excavación y sostenimiento del pre-túnel

Adicionalmente a los refuerzos mencionados, en todos los portales la zona ocupada por la tuneladora se debe construir, mediante métodos convencionales, un pre-túnel de una longitud máxima de 10 a 15 m. El objetivo es tener una excavación sostenida por donde se desplazará la TBM fácilmente, sobre una cuna de concreto armado. Esto se debe a que al iniciar o finalizar una excavación subterránea el terreno es débil, por lo cual el pre-túnel facilita el ingreso y el inicio del trabajo de la TBM.

La ejecución de los pre-túneles es igual a una excavación de túnel mediante método convencional, es decir mediante equipos mecánicos, como martillo hidráulico y cargador frontal, en caso de roca suelta o mediante perforación y voladura en el caso de roca fija. De acuerdo a los planos el pre-túnel solo llevará el shotcrete de sellado y dos sostenimientos definitivos que son las cerchas de perfil W4x13 de acero de 275 MPa y una segunda capa de shotcrete de 25 MPa y de 17 cm de espesor. Se debe recordar que los micropilotes ya instalados en el inicio del túnel brindarán mayor estabilidad a la bóveda del pre-túnel.

La construcción del pre-túnel finaliza con la ejecución de la cuna de apoyo de la TBM, la cual es una cimentación de concreto armado que se construye a lo largo de todo el pre-túnel y por donde se deslizará la TBM (Ver figura 4.12).

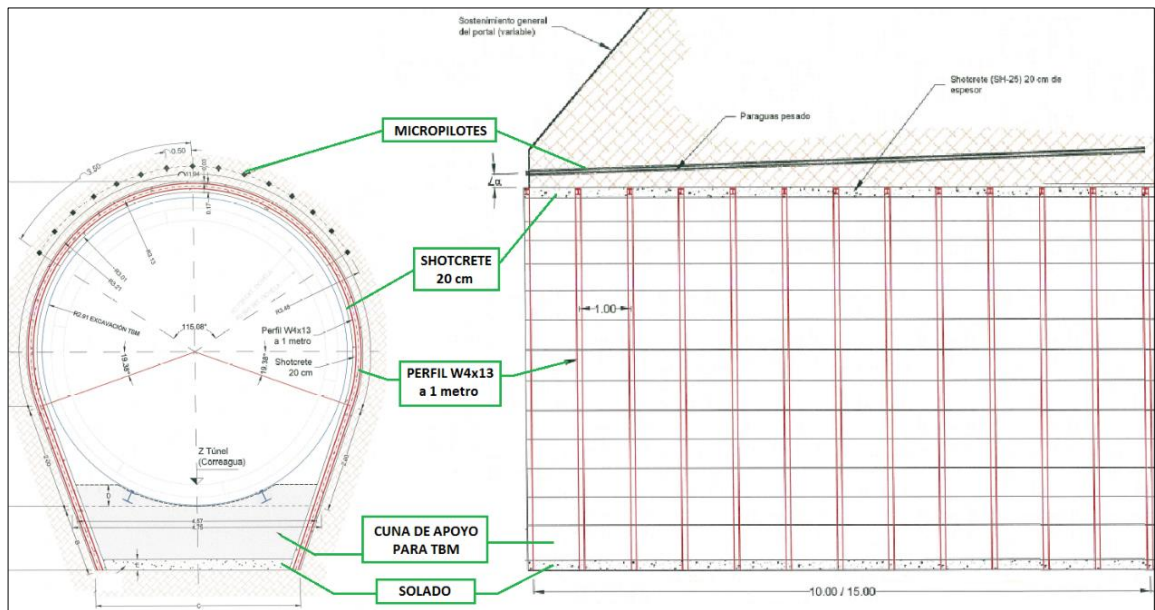


Figura 4.12: Sección y perfil de Pre-túnel (Fuente: Expediente Técnico Final)

4.3. PRODUCCIÓN DE DOVELAS

El sostenimiento y revestimiento de los túneles Trasandino y Pucará se ejecuta con dovelas de concreto reforzado con fibras metálicas. Para el suministro de las dovelas se encargó a un contratista las tareas de montaje de la planta, fabricación y transporte a obra de las dovelas.

4.3.1. Descripción de la fábrica de dovelas

Se diseñó una nave de prefabricados en el distrito de Yura, con dimensiones de 148 m de largo y 14 m de ancho, donde se ubicó todo el equipamiento para la producción de las dovelas (Ver Figura 4.13).

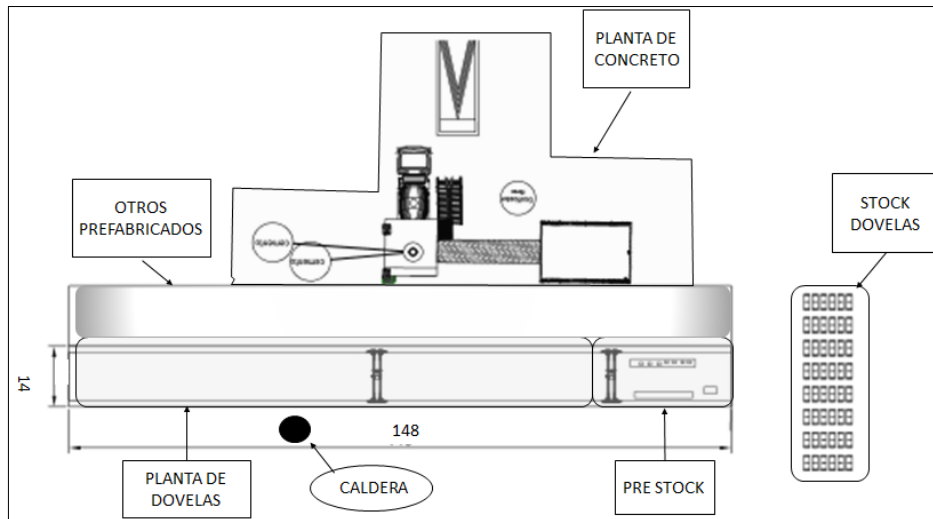


Figura 4.13: Layout de planta de fabricación de dovelas (Fuente: Layout de obra)

La planta de dovelas cuenta con el siguiente equipamiento:

- **Planta de concreto:** Ubicada al lado de la nave de prefabricados, es una planta tipo Simen con amasadora planetaria de 1.7 m^3 y un rendimiento real de $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Además, la planta cuenta con dos silos de cemento, depósitos de aditivos, cuatro tolvas de agregados y una dosificadora de fibras metálicas (Ver Figura 4.14).



Figura 4.14: Planta de concreto para dovelas
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

- **Moldes de encofrado:** Están fabricados con lámina soldada a máquina y elementos de encofrado mecanizados con alta precisión. Además, cuenta con un sistema integrado de aire comprimido, para realizar el proceso de vibrado durante los vaciados. De acuerdo al requerimiento de producción (12 anillos/turno) se ha implementado de 12 set de moldes de anillos, siendo un total de 72 moldes de dovelas.
- **Pinza hidráulica:** Se utiliza para desencofrado y volteado de 180°, cuenta con sistema hidráulico y está fijada a una grúa pórtico existente en la nave.
- **Puente Grúa:** Se cuenta con dos puentes grúa de 10 T, luz de 13.5m, izaje 7m, con variador de frecuencia en todos los movimientos.
- **Caldero de generación de vapor:** Con capacidad para producir 3,000 kg de vapor /hora. Dispone de una conexión a todos los moldes para el curado de dovelas.
- **Compresores de aire:** Se cuenta con 3 compresores con un rendimiento de 5m³/min.
- **Cuadro de pegado de juntas:** Consiste en una estructura metálica, mini pórtico y mecanismo de elevación para el pegado de las juntas de las dovelas.

4.3.2. Características del anillo de dovelas

Las principales características del anillo de revestimiento son las siguientes:

- El anillo está constituido por 6 dovelas (1 dovela de llave, 1 dovela de llave invertida y 4 dovelas estándar).
- El anillo es del tipo universal, es decir, de caras oblicuas que, girando la posición del anillo, permite adaptarse a rectas y curvas sin cambiar el diseño.
- La geometría de las dovelas está conformada por cuatro dovelas estándar en forma de paralelogramo y dos dovelas tipo llave de formas trapezoidales. Las dovelas estándar serán identificadas con las letras B, C, D y E, mientras que las dovelas tipo llave por las letras A y K (Ver Figura 4.15).

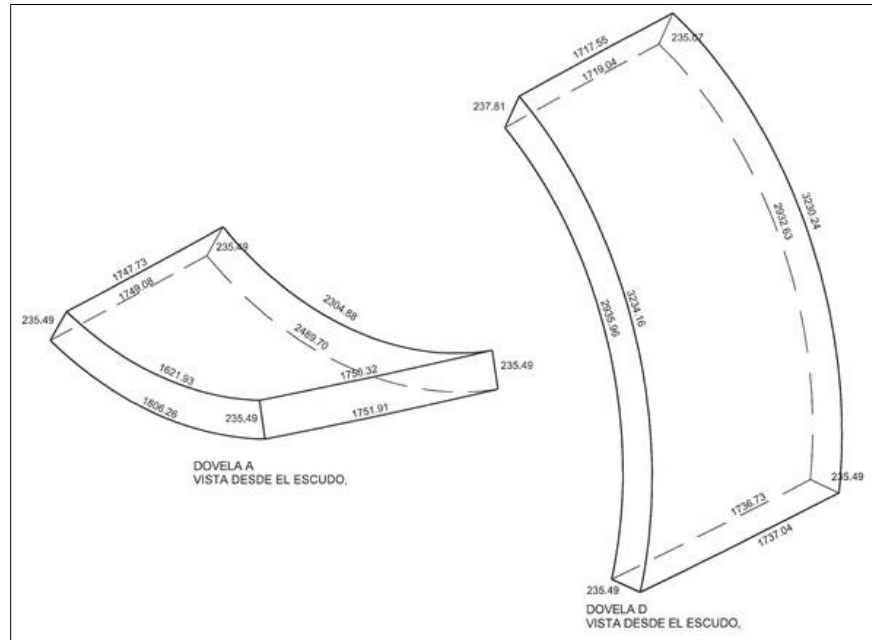


Figura 4.15: Vista isométrica de dovela A, de forma trapezoidal, y de dovela D, de forma de paralelogramo (Fuente: Expediente Técnico Final)

- La longitud media del anillo, y por tanto la longitud de avance de excavación, es de 1.70 m.
- El espesor del anillo es de 235 mm. Además, el diámetro interior es de 5.00 m y el exterior de 5.47 m.
- El radio de giro mínimo del túnel en planta y alzado es 250 m.
- Las juntas radiales entre dos dovelas de un mismo anillo van equipadas con pernos de sujeción y barra de guiado.
- Las juntas circunferenciales entre dos anillos consecutivos van equipadas con conectores del tipo bicono.

Para el diseño del refuerzo de las dovelas se consideraron tanto las cargas de túnel en servicio como las cargas en sismo. Además, se tomó en cuenta el empuje máximo de los cilindros hidráulicos de la tuneladora, el cual, en casos excepcionales, puede llegar hasta 47,000 kN demandando mayor refuerzo. De acuerdo a estos esfuerzos, el expediente técnico cuenta con tres tipos de refuerzo para las dovelas, los cuales se describen en la Tabla 4.1

Tabla 4.1: Tipos de dovelas según su refuerzo
(Fuente: Expediente Técnico Final)

Tipo	ARMADURA	Litología	Montera	RMR	RCSi (MPa)	Empuje max. Tuneladora (kN)	Cargas de túnel en servicio				Cargas en sismo			
							Nmin (kN/m)	Nmax (kN/m)	Mmax (kN·m/m)	Vmax (kN/m)	Nmin (kN/m)	Nmax (kN/m)	Mmax (kN·m/m)	Vmax (kN/m)
Tipo 1	Sólo fibra metálica	Andesitas y traquian-desitas	Hasta 260 m	>30	> 15 MPa	24700	308	518	3.16	10.16	270	1320	10	8.5
		Tobas	Hasta 160 m	>30	> 5 MPa									
Tipo 2	Fibra metálica y armaduras de refuerzo en juntas (circunferencial y radial)	Andesitas y traquian-desitas	260 m a 310 m	>30	> 15 MPa	47000	3108	3766	28	56	2050	2710	20	50
Tipo3	Fibra metálica y armaduras de refuerzo en juntas (circunferencial)	Andesitas y traquian-desitas	Hasta 260 m	>30	> 15 MPa	47000	966	1624	28	28	650	1720	20	30

4.3.3. Proceso constructivo de las dovelas

El proceso de ejecución inicia con la limpieza de los moldes y verificando que no presente irregularidades ni abolladuras. Luego se procede a la preparación para lo cual se aplica el desmoldante mediante pistolas de aire y también se coloca los insertos de inyección y de fijación de pernos (Ver Figura 4.16).



Figura 4.16: Colocación de insertos para pernos y limpieza de moldes
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

El proyecto contempla además la fabricación de dovelas con acero de refuerzo, como son las de tipo 2, tipo 3 y las instrumentadas para auscultación. Debido a esto se tendrá una cuadrilla de habilitado de acero y se colocará la armadura previamente al vaciado de concreto, verificando la disposición de las barras, los diámetros, estado del acero y los separadores necesarios para los recubrimientos, todo según los planos.

Junto con la preparación de los moldes debe hacerse la preparación del concreto, el cual llevará fibras metálicas como parte de su dosificación, las cuales se añaden a la cinta de los agregados antes de su ingreso a la mezcladora donde termina el proceso de homogeneización de la mezcla. Las fibras serán de 60mm de longitud, 0.75mm de diámetro, y un peso de 0.43 g/und. Estas brindarán alta resistencia a la fatiga, resistencia al impacto, ductilidad mejorada y control de grietas óptimo para una mayor duración, permitiendo crear estructuras duraderas y herméticas.

Se requiere un concreto de resistencia de 40 MPa (400kg/cm²) a los 28 días. Además, se usará un aditivo Neoplast 6100HP que incrementa el tiempo de trabajabilidad y actúa como reductor de agua sin retardo. Los parámetros para el diseño del concreto se presentan en la Tabla 4.2. Además, la dosificación para 1 m³ de concreto se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.2: Parámetros de diseño de concreto con fibras metálicas
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Relación agua /cemento	0.38
Relación de finos	0.50
Porcentaje de aire atrapado (%)	1.5 - 2.5
Porcentaje de Aditivo (%)	0.75
Porcentaje de fibra (%)	7.059
Asentimiento (pulgadas)	8 - 10

Tabla 4.3: Dosificación para 1 m³ de concreto para dovelas
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

MATERIALES	PESOS (KG)
Cemento IP (Según ASTM C 595)	425
Agua (Según NTP 339.088:2006 y ASTM C 1602/1602M)	162
Arena gruesa (Según NTP 400.037 y ASTM C 33)	865
Piedra Huso 67 TM ¾" (Según NTP 400.037 y ASTM C 33)	919
Neoplast 6100 HP (Según NTP 334.088 y ASTM C-494, Tipo F)	3.19
Fibra Dramix 4D (Según ASTM A820)	30

El concreto se vacía directamente del mixer a los moldes (Ver Figura 4.17), luego de lo cual se procederá al vibrado de la mezcla mediante equipos vibradores de aire comprimido, sistema instalado en el propio molde. En este momento también se deberán tomar las probetas para el control de calidad. Los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto se efectuarán a las 5 horas, 7 días y 28 días de edad.



Figura 4.17: Colocación de concreto en molde de dovela (Fuente: Registro fotográfico de obra)

El acabado final se hace manualmente con frotacho en el trasdós (cara exterior), este se realiza cuando la mezcla alcanza la consistencia necesaria que permita dar el acabado (Ver Figura 4.18).



Figura 4.18: Acabado manual de cara exterior de dovela (Fuente: Registro fotográfico de obra)

Finalizado el acabado manual, se procede al curado del concreto el cual se realiza mediante el cubrimiento de las piezas con lonas térmicas y la aplicación de vapor a temperatura entre 45° y 60° y que es producido por una caldera de vapor térmico (Ver Figura 4.19).

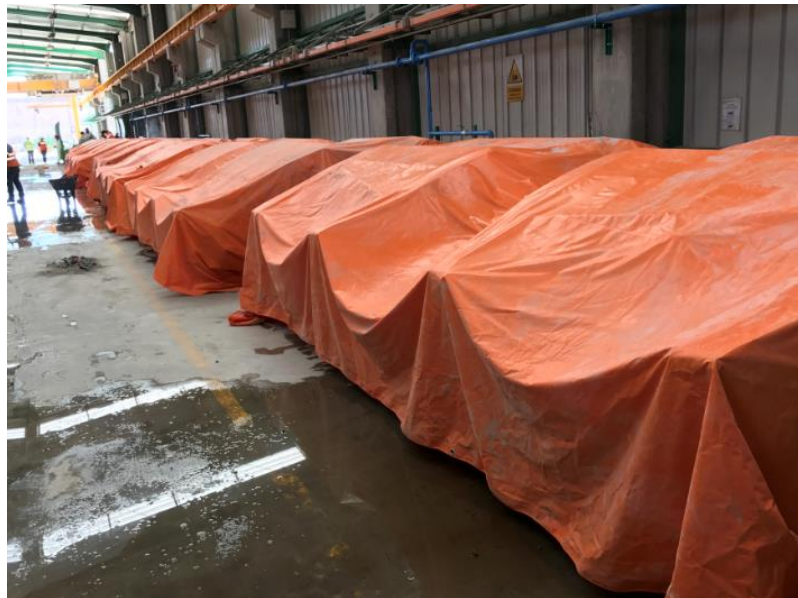


Figura 4.19: Proceso de curado con vapor y lonas térmicas (Fuente: Registro fotográfico de obra)

El desencofrado se realiza aproximadamente luego de 5 horas, comprobando que la resistencia a la compresión simple de las probetas supere los 10 MPa (resistencia apropiada para ser manipuladas). Se procede al desencofrado y volteado de 180° de la dovela mediante la pinza hidráulica anexada al puente grúa

1 (Ver Figura 4.20), el cual deposita la dovela en el carro trolley, donde se apilan hasta 3 dovelas y se transportan hacia la zona de pre-stock (Ver Figura 4.21).



Figura 4.20: Proceso de desencofrado con pinza hidráulica (Fuente: Registro fotográfico de obra)



Figura 4.21: Transporte de 3 dovelas sobre carro trolley (Fuente: Registro fotográfico de obra)

En la zona de pre-stock, las dovelas se descargan del carro trolley con ayuda del puente grúa 2. Luego las dovelas pasan por una inspección visual en donde se evalúan las fisuras del elemento, siendo motivo de rechazo las que se encuentren fuera de los rangos permitidos. Las fisuras paralelas al eje, mayores a 0.2mm o perpendiculares al eje del túnel, mayores a 0.1mm serán rechazadas. Las dovelas que estén dentro del rango permitido podrán ser reparadas mediante aplicación de resina y mortero de reparación.

Luego de la aprobación del concreto de la dovela, se procede al pegado de las juntas para lo cual primero se unen la junta y dovela con pegamento manualmente y luego se lleva la dovela hacia el cuadro de pegado de juntas donde se somete a prensado (Ver Figura 4.22). En esta etapa también se etiquetan las dovelas.



Figura 4.22: Pegado manual y prensado mediante cuadro de pegado
 (Fuente: Registro fotográfico de obra)

Una vez pegadas las juntas, las dovelas se llevarán a la zona de stock de la fábrica, donde se apilarán por 28 días, hasta que adquieran la resistencia de 40 MPa. Las dovelas en el stock, tanto en la planta de fabricación, como en la obra, irán apoyadas sobre tacos de madera. En la Figura 4.23 se observa la disposición del acopio de las dovelas de un anillo.

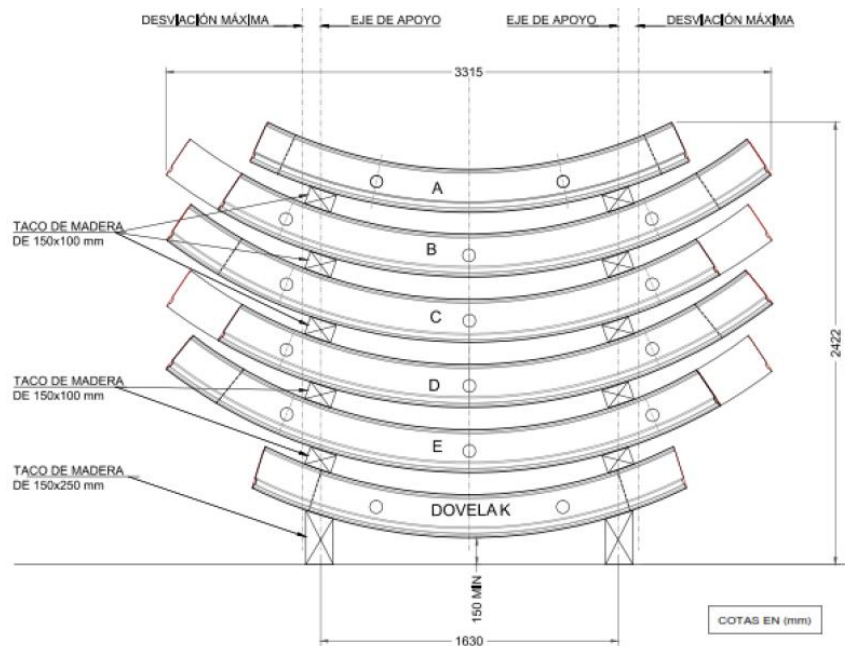


Figura 4.23: Esquema de acopio de dovelas
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

Una vez que los anillos de dovela estén preparados, se transportarán a obra mediante camiones de plataforma, llevando dos anillos arriostrados y protegidos con neopreno para evitar desperfectos durante el traslado.

En la plataforma Chalhuanca se tiene acondicionado dos zonas de acopio donde se apilarán las dovelas dispuestas en 8x32 filas de pilas de un anillo, lo que da 256 anillos por zona de acopio y un total de 512 anillos de stock máximo para la tuneladora. Además, cuando las dovelas sean requeridas para su uso dentro del túnel, estas serán cargadas en grupos de tres dovelas por una de las pinzas hidráulicas anexadas a una de las dos grúas pórtico de 12.5 T, montadas en cada zona de acopio, se descargarán en los vagones portadovelas, y se transportarán sobre rieles de tren hacia el frente de excavación. En las Figuras 4.24 y 2.45 se observa las zonas de acopio, las dos grúas pórtico y las dos líneas de vagones.

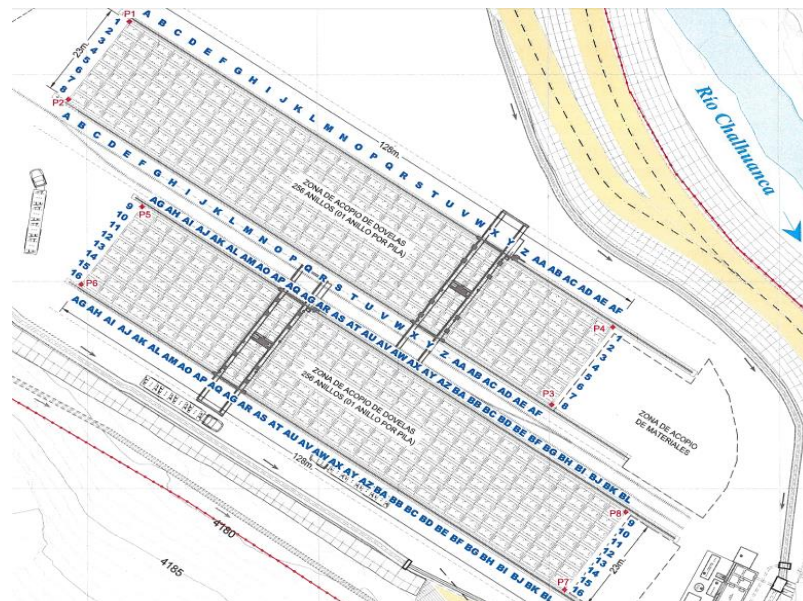


Figura 4.24: Vista en planta de zona de acopio de dovelas y grúas pórtico
 (Fuente: Expediente Técnico Final)



Figura 4.25: Zona de acopio de dovelas y grúas pórtico
 (Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.4. MONTAJE DE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE

El montaje de la TBM Herrenknecht S-1023 de escudo simple y de su back-up, se realizó en la plataforma Chalhuanca, afuera del portal de salida del túnel Trasandino. A continuación, se describe los trabajos realizados.

4.4.1. Construcción de cimentaciones para montaje

Para el desarrollo del montaje e inicio de operación de la TBM, se construyó dos cimentaciones exteriores al túnel las cuales son la cuna de apoyo para el montaje del escudo de la TBM de 21 m de longitud; y una cuna de apoyo para el back-up con una longitud aproximada de 175 m posteriores a la cuna del escudo para el montaje de los remolques.

La cuna del escudo está formada por una estructura de concreto armado con capacidad para soportar el peso del escudo; contando con dos zonas con aberturas llamadas arquetas que permiten el espacio suficiente para poder realizar tareas de montaje específicas como son la unión de escudo delantero con intermedio, y de escudo intermedio con escudo de cola. El proceso constructivo de la cuna de apoyo del escudo es el correspondiente al de una losa de cimentación (Ver Figuras 4.26 y 4.27).



Figura 4.26: Acero de refuerzo habilitado y colocado de cuna de apoyo para TBM

(Fuente: Registro fotográfico de obra)



Figura 4.27: Cuna de apoyo de TBM y pedestales de estructura de reacción
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

La cuna de apoyo de los remolques del back up está formada por una losa de concreto armado, que a su vez contará con dovelas instaladas a lo largo de todo su recorrido, que siendo empernadas formarán la sección inferior de un anillo, de tal forma que servirán como base para la instalación de los rieles para el transporte de los remolques del Back Up (Ver Figura 4.28).



Figura 4.28: Cuna del back up, conformada por pares de dovelas estándar, rieles para tren de producción y rieles para remolques (Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.4.2. Montaje del escudo

Consiste en el ensamblaje del escudo y la cabeza de corte, para su operación en la construcción de los túneles Pucará y Trasandino. Las actividades comprendidas para el montaje de las estructuras y equipos de la tuneladora son las siguientes:

1. **Pre armado y soldeo del escudo de cola:** Dicho escudo está dividido en dos segmentos los cuales son elevados mediante una grúa hidráulica telescópica de 300 T, y posicionados sobre unos apoyos metálicos de perfil tubular, los cuales estarán nivelados de forma horizontal y vertical (Ver Figura 4.29). Luego de posicionarse se da comienzo a los trabajos de soldadura del escudo de cola.



Figura 4.29: Escudo de cola posicionado para soldadura
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

2. **Pre armado y soldeo de cabeza de corte:** Debido a temas de transporte, la cabeza de corte arribará a obra seccionada en 2 partes. Dichas partes se posicionan sobre apoyos metálicos nivelados y luego se procede a su unión mediante soldadura (Ver Figura 4.30).



Figura 4.30: Soldadura de cabeza de corte (Fuente: Registro fotográfico de obra)

3. Montaje de escudo delantero e intermedio: mediante el uso de dos grúas de 300 y 90 T; se realizaron izajes y maniobras para posicionar las partes que conforman los escudos en cuestión. Luego de posicionarse se aseguran mediante el uso de tornillería. Estos escudos están conformados por los siguientes componentes, ensamblados según el siguiente orden:

- Escudo delantero inferior
- Accionamiento principal (sin motores)
- Anillo de escombros
- Escudo intermedio inferior
- Escudo delantero superior
- 9 motores del accionamiento principal
- Escudo articulación inferior
- Escudo intermedio superior
- Escudo de articulación superior

4. Ripado o junta de los escudos: Para la junta de escudos (intermedio con delantero) se instala un mecanismo de tiro longitudinal que consta de tres unidades de cilindros huecos que se conectan con barras tipo dywidag. Se activa los cilindros hidráulicos y se va aproximando el escudo central hacia delante hasta que parte de la articulación quede dentro del escudo delantero en su posición final.

5. **Montaje de la cabeza de corte:** Se realiza el volteo de la pieza mediante orejetas de izado utilizando la grúa principal y apoyándose sobre tacos de madera colocados sobre el suelo. Una vez en posición vertical se aproxima hacia la brida del accionamiento hasta poder insertar algunos pernos de montaje para fijar la posición correcta. Una vez insertados uniformemente el 70% de los pernos y apretados provisionalmente se puede desenganchar la grúa y luego concluir con la fijación.

6. **Montaje del erector de dovelas:** Primero se ensambla la viga de soporte del erector aproximándola al sector posterior del escudo intermedio y atornillando ambas piezas. Luego, se realiza el izado del erector y se aproxima hacia la viga portante. Una vez que las ruedas estén dentro de la pista de rodadura se ensamblan los cilindros de traslación.

7. **Montaje de la cola del escudo:** Se realiza el izado y volteo del escudo mediante las grúas. Una vez en posición horizontal se aproxima hacia el escudo medio por detrás y presentada la pieza y enfrentadas las bridas de la cola y del escudo intermedio se procede a soldar el conjunto.

En la Figura 4.31 se puede observar la secuencia de montaje descrita anteriormente.



Figura 4.31: Desarrollo del montaje de escudos de la TBM (Fuente: Registro fotográfico de obra)

En la Tabla 4.4 se observa las propiedades físicas de las principales piezas del escudo descritas.

Tabla 4.4: Propiedades de principales piezas del escudo (Fuente: Expediente Técnico Final)

Descripción de pieza	Cantidad	Long. (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (T)
Cabeza de corte parte 1	1	5820	5000	2025	64
Cabeza de corte parte 2	1	3750	2100	1600	10
Escudo frontal inferior	1	5770	3645	3300	30
Escudo frontal superior	1	5770	3645	2985	33
Accionamiento sin motores	1	5520	4210	2950	107
Articulación inferior	1	5745	1600	3000	18
Articulación superior	1	5745	1600	3050	18
Escudo intermedio inferior	1	5745	4650	3000	62
Escudo intermedio superior	1	5745	4650	3510	73
Escudo de cola parte 1	1	5800	3900	3400	17
Escudo de cola parte 2	1	5670	3900	2600	14
Erector soporte de marcha	1	7000	2300	2650	14
Erector	1	4050	3500	2600	15

4.4.3. Montaje del back up

La longitud de la plataforma donde se realiza el montaje del back-up es menor en comparación con la longitud total del equipo, por tanto, primero se realizó el montaje de los 13 primeros remolques; posteriormente y conforme la tuneladora avanzó mediante la perforación del terreno, se generó el espacio necesario para que se vayan completando la totalidad de los remolques culminando con el montaje completo del back up. Las actividades comprendidas para el montaje de las estructuras y equipos del back up son las siguientes:

- 1. Montaje de remolques del 1 al 13:** Los remolques fueron recepcionados por conjuntos de 2 y 3 componentes por remolque, además de equipos adicionales por remolque que se acoplaron durante el montaje. De los componentes en el interior de los remolques, la mayoría se encuentran preinstalados en sus secciones o partes, lo que simplifica el montaje.

El montaje de los remolques se realiza fuera de la cuna del back-up, sobre apoyos perfiles metálicos. Se inicia con el izaje y posicionado de los componentes de los remolques que comúnmente son la parte lateral izquierda, la parte lateral derecha y la parte central. Dado que los

componentes de los remolques son estables, se pueden posicionar cada uno de forma independiente durante su montaje. Una vez posicionados se realizará la instalación de tornillería y apriete al par nominal. Luego se instalará los componentes adicionales del remolque. Finalmente se realiza el izado del remolque y se posiciona sobre los rieles de la cuna de apoyo (Ver Figura 4.32). El proceso de montaje de los remolques es repetitivo y similar en el resto del back-up.

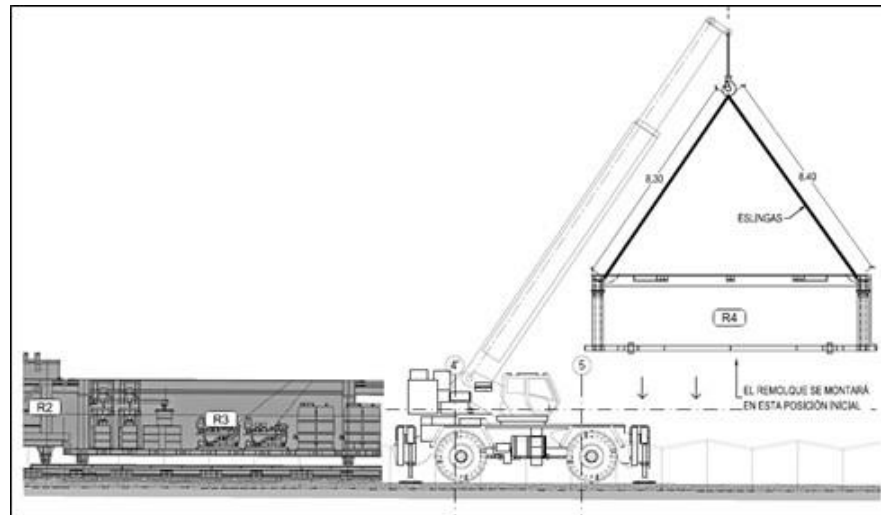


Figura 4.32: Izado y posicionamiento de remolque (Fuente: Expediente Técnico Final)

2. **Montaje de la mesa/ alimentador de dovelas:** Consiste en una plataforma conectada mecánicamente al remolque 01 y equipada con cilindros de elevación para realizar el movimiento de elevación y descenso de la estructura, y de una mesa de traslación móvil fijada al soporte mediante cilindros de traslación que realizan el movimiento longitudinal sobre el marco soporte.
3. **Montaje de plataforma de vagones y sistema de descarga rápida de dovelas:** Consiste en una plataforma conectada al remolque 03 y que cuenta con estaciones de elevación para descarga rápida, las cuales cumplen la función de mantener suspendidas las dovelas de concreto que son transportadas en los vagones del tren de producción, liberando de esta forma las dovelas de dichos vagones.
4. **Comisionamiento de la TBM hasta remolque 13:** Con el montaje y conexionado de los sistemas de la máquina hasta el remolque 13

completado, se iniciará con el comisionamiento de la TBM, es decir se realizarán las pruebas de funcionamiento de todas las instalaciones desde el escudo hasta los remolques conectados. En la Figura 4.33 se observa el montaje finalizado de la TBM hasta el remolque 13, el cual ya está habilitado para iniciar su avance.

- 5. Montaje de remolques del 13 al 18:** Luego del periodo de pruebas la tuneladora hará un primer avance parcial de 19 m aproximadamente, con lo cual se habilitará espacio para el montaje de los remolques 14 y 15. Luego, se iniciará la excavación lográndose un segundo avance de 200 m aproximadamente, luego del cual se realizará el montaje de los remolques 16, 17 y 18, culminándose así el montaje completo de la TBM.



Figura 4.33: Montaje finalizado de la TBM hasta el remolque 13

(Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.5. EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE

A continuación, se describe los trabajos realizados para la operación de la TBM, es decir para la excavación y revestimiento de los túneles.

4.5.1. Avance inicial y montaje de estructura de reacción

Luego del montaje de la TBM hasta el remolque 13, se instalará un arco metálico situado entre la parte posterior del escudo y el inicio de la cuna de dovelas (Ver Figuras 4.34 y 4.35), cuya función será servir de punto de apoyo para generar un empuje inicial y la TBM logre avanzar luego mediante un proceso de instalación de dovelas inferiores y el empuje de los cilindros de avance contra estas.

Las dovelas serán transportadas al alimentador de dovelas mediante un camión grúa y con ayuda del erector se colocarán las primeras 2 dovelas las cuales se sujetarán con los cilindros de avance. Luego, se verifica que la colocación es adecuada y se extienden los cilindros de avance. Dicho procedimiento se repite para los siguientes 11 avances, desplazándose 18.7 m, hasta que la máquina se ubique en el interior del pre-túnel y su escudo de cola quede en posición de operación con respecto a la estructura de reacción.

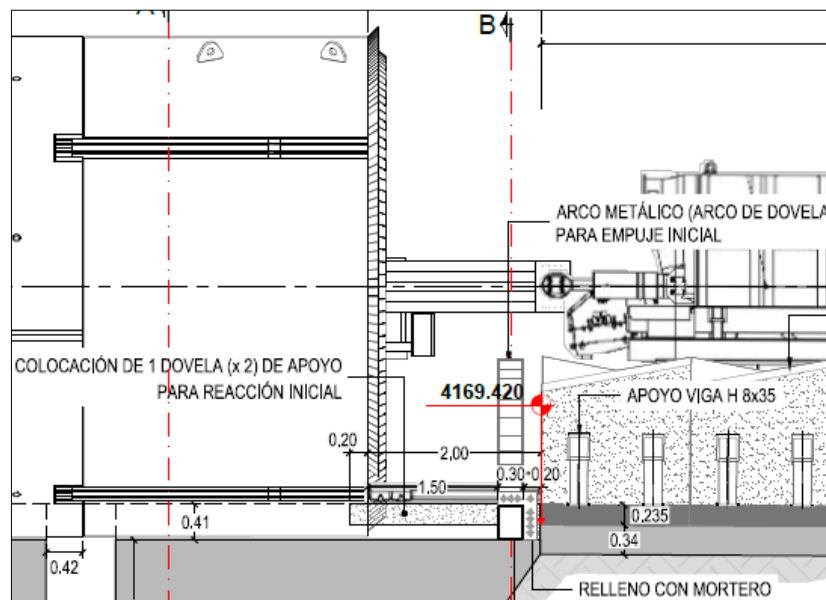


Figura 4.34: Detalle perfil arco metálico para empuje inicial

(Fuente: Expediente Técnico Final)



Figura 4.35: Arco metálico y apoyos metálicos para colocación de dovelas
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

Durante este primer avance la presión ejercida por los cilindros de avance deberá vencer el peso total del back up de la TBM (13 remolques con un peso total de 262 T) sumado al peso del escudo de la TBM (500 T aproximadamente), considerando el coeficiente de rozamiento de 0.08 entre las ruedas del back-up y los rieles y el rozamiento entre el escudo y los apoyos de este de 0.18. De acuerdo a estos datos la fuerza a ejercer será de 111 T, para lo cual solo se utilizan solo 10 cilindros de la parte inferior de la TBM, de un total de 32 cilindros.

Previamente a la introducción de la cabeza de corte en la visera deberá haberse comprobado el gálibo de la misma con una estructura metálica que simule la sección de la cabeza de corte, para asegurarnos de que la cabeza no topará con la visera ni con el interior del pre-túnel y dejando a su vez un gap inicial para el posterior llenado con bicomponente.

A continuación, se montará la estructura de reacción que es una estructura metálica, que se sitúa sobre la cuna de cimentación de la TBM a 1.43 m de la visera de protección, y que tiene por función proporcionar la reacción a la fuerza de empuje de los cilindros de avance de la tuneladora durante el inicio de la excavación de la TBM (Ver Figura 4.36), cuando el rozamiento de las dovelas con el terreno es inexistente o insuficiente para el avance de la máquina.

El montaje de la estructura de reacción consiste en el montaje de las dos bases delanteras para la propia estructura y 6 bases traseras para los puntales. Previamente se realiza el pre-montaje a nivel de suelo y luego se posiciona la estructura (columnas y dintel) sobre los apoyos delanteros con ayuda de la grúa y fijando la estructura con pernos. Finalmente se colocan los puntales sujetándolos a la estructura y a las bases traseras (Ver Figura 4.37).

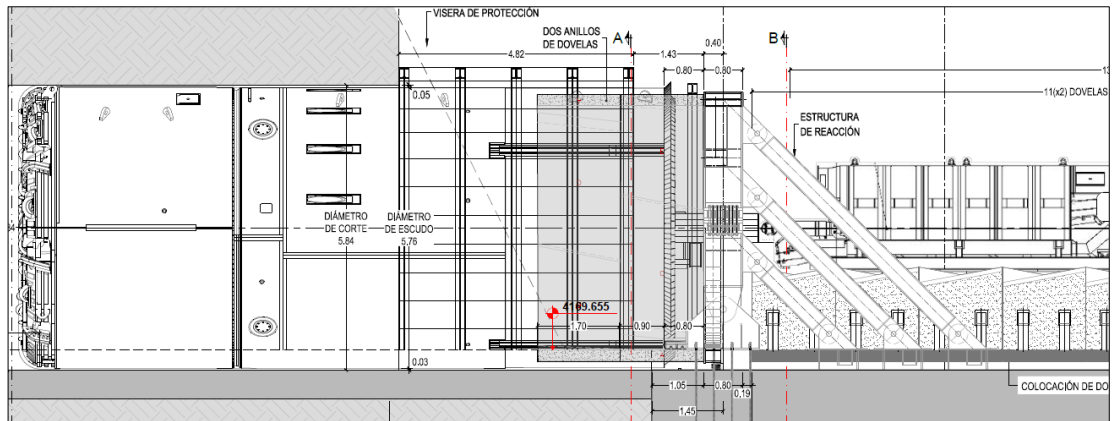


Figura 4.36: Vista de perfil de la estructura de reacción (Fuente: Expediente Técnico Final)

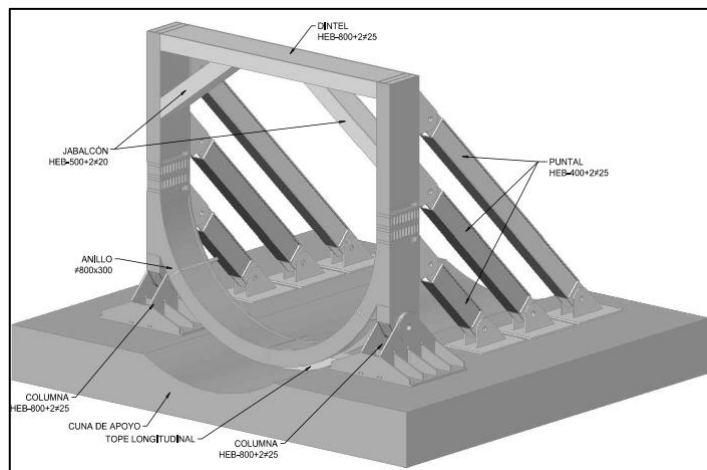


Figura 4.37: Vista isométrica de estructura de reacción (Fuente: Expediente Técnico Final)

A continuación, la TBM realizará un segundo avance hasta llegar al frente de ataque, tramo que se caracteriza por la instalación de dovelas y relleno del gap, pero sin excavación. En este momento se comienza a colocar anillos completos los cuales serán sujetos por los cilindros para evitar que caigan, a una presión de 20 bares ejercida por los 32 cilindros de avance, siendo dicha presión la mínima permitida para la colocación de dovelas.

El segundo avance se inicia con la instalación los dos primeros anillos: cero y uno. El anillo cero tiene una longitud de 1.40 m fuera de la visera por lo que será sostenido, adicionalmente, por puntales de perfiles metálicos (Ver Figura 4.38). Además, las dovelas de dichos anillos estarán fijadas por y escuadras metálicas soldadas a la estructura de reacción y placas con pernos metálicos (Ver Figura 4.39). También será necesario encofrar el hueco formado por el anillo cero y la visera para finalmente proseguir con la inyección de motero y la colocación de los anillos siguientes hasta llegar al frente de excavación.



Figura 4.38: Estructura de reacción, anillo cero con puntales metálicos y relleno de bicomponente colocado (Fuente: Registro fotográfico de obra)



Figura 4.39: Vista interior de dovelas de anillo cero sujetadas por escuadras metálicas y por placas en conjunto con anillo uno (Fuente: Registro fotográfico de obra)

4.5.2. Inicio de excavación y final del montaje de instalaciones

Se iniciará los ciclos de excavación y revestimiento en la progresiva 16+028.70 (fondo del pre-túnel). Luego de haberse desocupado la cuna de apoyo de los remolques, dicha cuna de apoyo es removida y se realiza en su lugar el montaje de la cinta exterior y se procede a la integración con la cinta de la TBM, así como la finalización de la construcción de la playa de vías.

Se construye una losa de cimentación para la estructura de cinta y luego se realiza el montaje de la estructura misma que consiste en enrolladores de faja de la cinta y estructuras metálicas para soporte de la cinta inclinada la cual descarga el material excavado en una zona de acopio de escombro (Ver Figuras 4.40 y 4.41).



Figura 4.40: Montaje de enrollador de banda como parte de la estructura de cinta exterior
(Fuente: Registro fotográfico de obra)

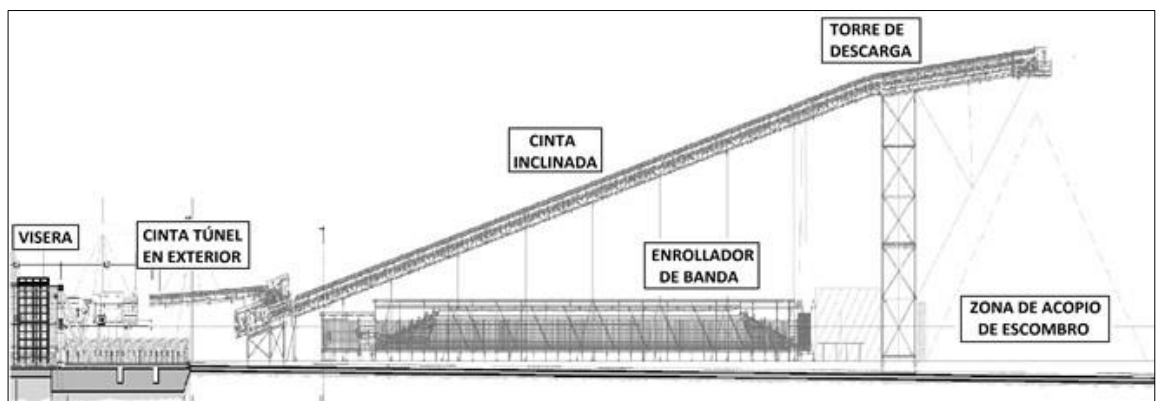


Figura 4.41: Vista de perfil de la estructura de cinta (Fuente: Expediente Técnico Final)

4.5.3. Ciclo de trabajo de la TBM

El proceso de trabajo de la tuneladora es un proceso secuencial y repetitivo. Se pueden destacar, a grandes rasgos, dos ciclos o procesos en la tuneladora, los cuales se denominan ciclo exterior y ciclo interior, siendo las actividades que los componen descritas en la Figura 4.42.

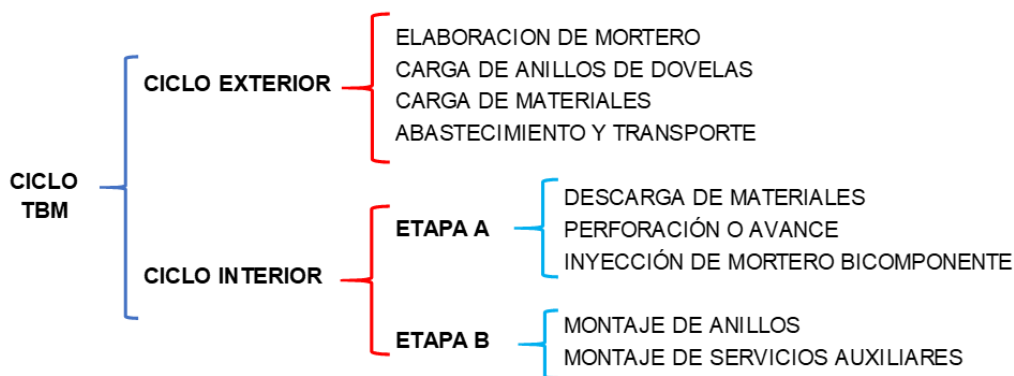


Figura 4.42: Actividades del ciclo de trabajo de la TBM
 (Fuente: Elaboración propia)

Las tareas del ciclo exterior se desarrollan en la playa de vías de la tuneladora. En esta etapa se realizan trabajos tales como:

- **Elaboración de mortero para inyección:** Conformado por los componentes A y B. Estos se bombean hasta el depósito de la TBM mediante tubería. El componente A consiste en una mezcla homogénea y fluida, cuyos compuestos se muestran en la Tabla 4.5. Por su parte, el componente B es un reactivo acelerador de fraguado a base de silicato, disuelto en agua que se almacena en tanques.

Tabla 4.5 Dosificación para 1 m³ de mortero bicomponente
 (Fuente: Expediente Técnico Final)

Componente	Material	Dosificación
Componente A	Cemento III / B 32.5 N/SR	250 - 280 Kg
	Bentonita	20 Kg
	Retardante/ Estabilizante	2.50 - 3.00 Kg
	Agua	820 – 845 Kg
Componente B	Silicato Sódico	4 - 5% de Comp. A

- **Carga de anillos de dovelas:** En los correspondientes vagones de dovelas para transporte en el tren mediante las grúas pórticos montadas en las zonas de acopio de dovelas.
- **Carga de materiales auxiliares de la tuneladora:** En el tren, como pueden ser los diferentes tipos de grasas, aceites o espumas, tuberías de agua, soportes de ventilación, vías, cables eléctricos, elementos prolongación cinta del túnel.
- **Abastecimiento y transporte:** Se realiza mediante instalaciones o a través de los trenes. Estos métodos se describen a continuación:
 - a) **Mediante instalaciones:** Se alimenta desde el exterior con las siguientes instalaciones que van fijadas a las dovelas de concreto del túnel, mediante soportes. Las instalaciones son las siguientes:
 - Cable de alimentación eléctrica de alta tensión de 20.000 voltios.
 - Cable de fibra óptica, iluminación, tierras, comunicaciones etc.
 - Tubería de agua entrada de refrigeración TBM.
 - Tubería de agua retorno de refrigeración TBM
 - Tubería de bombeo para componente A.
 - Tubería de bombeo para componente B.
 - Tubería de ventilación túnel.
 - Banda de extracción del desescombro.
 - b) **Mediante trenes de aprovisionamiento:** También llamados trenes de producción, los cuales sirven todos los materiales o productos necesarios, así como el transporte del personal para el avance normal de la TBM, desde el exterior o la playa de vías hasta el interior de la tuneladora. La configuración de los trenes de aprovisionamiento se observa en la Figura 4.43 y se describe a continuación:
 - Locomotora Diesel.
 - Vagón de personal.
 - 2 vagones para transporte de materiales.
 - 4 vagones para el transporte de dos anillos.

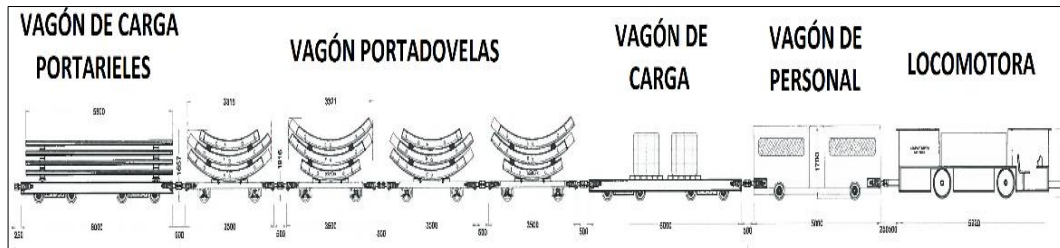


Figura 4.43: Vista de perfil del tren de producción (Fuente: Expediente Técnico Final)

El ciclo interior corresponde a los trabajos que se realizan dentro de la misma tuneladora. A su vez, el ciclo interior se divide en dos etapas que constan de diversas actividades que se llevan a cabo de forma simultánea. A continuación, se describen los trabajos a realizar en el ciclo interior de la TBM para cada etapa:

1. Etapa A:

- **Descarga de trenes en la tuneladora:** la descarga comienza con el emplazamiento del tren en la posición de descarga establecida. Esta maniobra será coordinada por el capataz de interior y el maquinista del tren, ayudándose de emisoras portátiles para la comunicación, así como cámaras de videos que llevan los trenes. Los materiales más importantes para la construcción del túnel son las dovelas, las cuales ingresan sobre 4 vagones en grupos de 3 dovelas. Mediante el sistema de descarga rápida se liberan las dovelas de los vagones, después un polipasto las transporta hasta el alimentador de dovelas, donde ya quedan en posición para que las coja el erector.
- **Avance o perforación:** Para el avance de la TBM esta cuenta con 32 cilindros hidráulicos dispuestos en todo el perímetro del escudo, los cuales se apoyan contra el anillo de dovelas situado en el escudo de cola. Esta disposición proporciona el empuje o fuerza de propulsión durante la perforación, así como el control del direccionamiento de la máquina, el empuje máximo es de 50,667 kN a 350 bares de presión. La TBM va avanzando hasta que se crea el espacio necesario para el montaje de un anillo. El tiempo de avance estimado para el espacio correspondiente a un anillo de dovelas será de 15 minutos, sin embargo puede variar según el tipo de terreno a excavar.

Para realizar la perforación y controlar todos los parámetros de la TBM, el operador dispone de una serie de ordenadores que le facilitan su trabajo. Tendrá una computadora que le dará en tiempo real todos los datos de la máquina como pueden ser velocidad, revoluciones, penetración, temperaturas de aceites, etc. También tendrá un ordenador de topografía conectado a un teodolito láser que indica al piloto la situación de la máquina en cada momento, indicándole las posibles desviaciones del eje teórico del túnel, para poder realizar así las oportunas correcciones. El operador comienza la perforación según la siguiente secuencia de arranque:

- Arranque del circuito de refrigeración.
- Arranque del circuito de filtración.
- Arranque de compresores
- Circuito de servicios auxiliares.
- Arranque de motores accionamiento.
- Ventilación interior.
- Arranque de las cintas de extracción de material.
- Arranque de la bomba de avance.
- Circuitos de grasas.
- Circuitos de inyección de agua y espuma.

Una vez realizados todos estos pasos y después de colocar el ordenador de topografía en modo avance el piloto procederá a realizar la excavación. Durante la realización del avance o excavación uno de los puntos más importantes que controla el operador de la TBM es la extracción de material, que se realiza mediante cintas de desescombro. El sistema de evacuación de escombros va provisto de tres cintas:

1. La cinta primaria de la TBM que sale de la tolva de descarga de la propia rueda de corte. Esta cinta está equipada con dos básculas de pesaje que permitirá registrar el peso de material excavado.
2. La cinta del túnel que transporta el material hasta el exterior.
3. La cinta exterior ubicada en la plataforma Chalhuanca y que deposita el material en la zona de acopio de escombro.

El control del peso de cada excavación es primordial para el control de las posibles sobre excavaciones que se puedan estar produciendo. En la Tabla 4.6 se muestra el cálculo teórico de una pesada del material y que variará en función del tipo de terreno excavado.

Tabla 4.6 Cálculo del peso del escombro extraído (Fuente: Expediente Técnico Final)

	Diámetro (mm)	Volumen unitario (m ³ /m)	Long. de avance (m)	Volumen unitario (m ³ /avance)	Densidad material (T/m ³)	Peso teórico [T]	Peso teórico mínimo 10%	Peso teórico máximo 10%
Excavación máxima	5.82	26.60	1.70	45.22	2.00	90.44	81.40	99.48

- **Inyección de bicomponente:** se realiza de forma simultánea a través de las 5 líneas dobles de inyección situadas en el perímetro del escudo de cola, de manera que el anillo se apoye en el relleno al salir de la cola del escudo, asegurando la estabilidad del anillo y también la impermeabilización del túnel. También con ello se minimizan los asentos en superficie.

En cada línea se encuentran 2 toberas para cada componente A y B, ambos se inyectan al mismo tiempo a través de esas líneas, produciéndose así la mezcla de bicomponente en el trasdós del anillo o gap (Ver Figura 4.44). Para un adecuado control del relleno, el operador de inyección debe tener en cuenta presión y volumen teórico a inyectar. Por ello, en cada tobera hay un detector de presión para que el sistema pueda controlar que la inyección se realiza de forma homogénea en todo el anillo, además se cuenta con caudalímetros para el control de volumen que se inyecta. Los caudales de inyección en cola para los componentes A y B son de 34.5 m³/h y de 5.1 m³/h respectivamente.

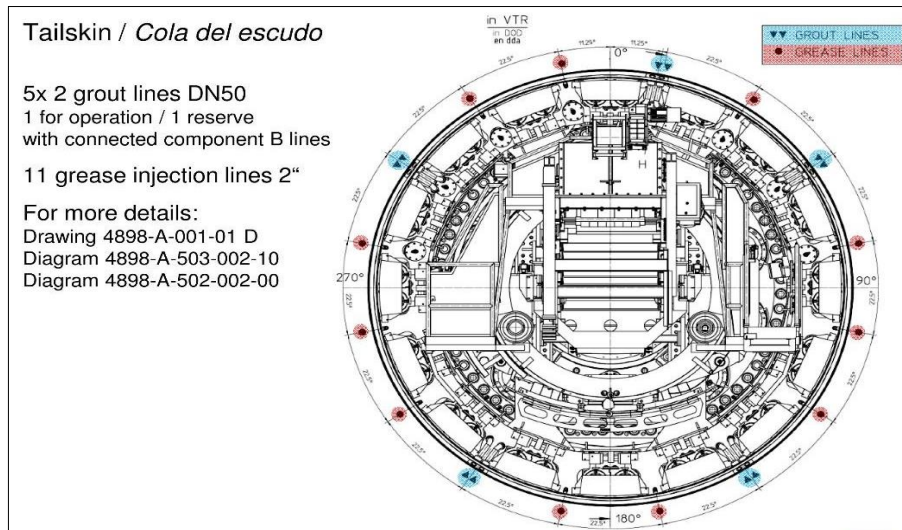


Figura 4.44: Distribución de toberas para inyección de mortero bicomponente
(Fuente: Expediente Técnico Final)

El volumen teórico de relleno del gap (Gteo.) para un anillo de 1.7 m. es de 5.28 m³. Otro parámetro de control será el peso teórico estimado (Pteo.) de material excavado que es de 90.44 T. Debido al hecho de que la excavación no es perfecta, se tiene que establecer un sistema que asegure el control de llenado, aparte de los controles volumétricos. A continuación, se describe los criterios para el control de llenado del gap

- a) El corte de inyección de todas las líneas será por presión y no por volumen, porque si no se corre el riesgo que la inyección se vaya hacia la rueda de corte.
- b) En los casos en los que el control de pesada del material excavado se encuentre entre el 0.9 y el 1.1 del peso teórico estimado, se considerará la inyección concluida cuando el volumen inyectado en el anillo supere el 0.8 del valor teórico ($0.8 * G_{teo}$).
- c) En aquellos casos en los que el volumen de inyección se sitúe por debajo del $0.8 * G_{teo}$, se procederá a una reinyección del anillo.
- d) Si el peso sobrepasa el $1.1 * P_{teo}$ pero es menor igual al $1.15 * P_{teo}$, entonces implicaría, si es posible, una revisión del frente de excavación al concluir el avance en busca de posibles sobre excavaciones. En el caso de no existir ninguna sobre excavación se seguirá con el trabajo normal. Si aparecen sobre excavaciones, será preciso evaluar un nuevo valor de referencia del Gteo en función del estudio de la posible

fracturación de la zona atravesada. El criterio de inyección será el mismo del caso anterior ($0.8 \cdot G_{teo}$) pero relacionado con el nuevo valor de G_{teo} . La inyección del presente anillo (anillo N) se realizará cuando se excave el anillo N + 8, ya que, dada la longitud del escudo de la TBM, entre el anillo excavado y el inyectado hay una longitud de 6 anillos. Entre estos anillos es donde se produciría la sobre excavación por lo que se deberá rellenar con el volumen de inyección necesario hasta el corte por presión en las 5 líneas.

- e) Si el peso de pasada es mayor al $1.15 \cdot P_{teo}$, entonces la inyección se realizaría como en el caso anterior, pero se procedería a bajar las revoluciones de la rueda de corte y en caso de falla, a cerrar parte de las entradas de material de la rueda si se produce otra pasada semejante para evitar la entrada de demasía de material.

2. Etapa B:

- **Montaje del anillo de dovelas:** Una vez terminada la perforación, así como la inyección de bicomponente del último anillo instalado, se inicia el montaje del anillo de dovelas. El tiempo estimado de montaje de un anillo completo de dovelas es de 15 minutos.

El montaje del anillo será realizado por el operador del erector de dovelas con la ayuda normalmente de dos operarios. Para el control y manejo de todo el sistema de montaje de anillos llevará una consola con mando a distancia. La secuencia de montaje será la siguiente A, B, C, D, E y K (Ver Figura 4.45); que es el orden en que son apiladas en la mesa del alimentador de dovelas. Determinada la posición de cada dovela, se retraen los cilindros que ocupan dicha ubicación, para que el erector la posicione en su lugar. Una vez colocada la dovela se extienden de nuevo los gatos de empuje a su posición y se colocan los pernos de unión con el anterior anillo. El proceso se va repitiendo sucesivamente con todas las dovelas que se van fijando al anillo anterior y entre sí. Una vez colocado el anillo comienza un nuevo ciclo.

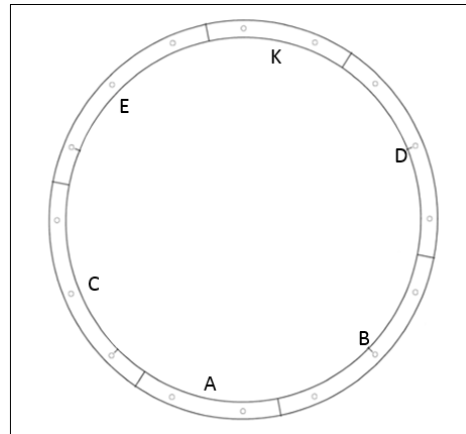


Figura 4.45: Sección tipo del anillo de dovelas (Fuente: Expediente Técnico Final)

Como se describió anteriormente el anillo utilizado es de tipo universal, es decir están contruidos de tal forma que permitan girar el eje del túnel vertical u horizontalmente. Para lograr esto se deberá tener mucha atención en la posición de la dovela llave (dovela K), la cual permitirá adaptar el revestimiento al trazado de proyecto del túnel en función de su posición en el montaje del anillo. Para el presente proyecto la dovela llave tendrá 16 posibles posiciones.

Una perfecta elección de la llave evitará que el revestimiento pierda la trayectoria del trazado, así como la posible rotura de los cepillos de cola por falta de espacio, incluso de las propias dovelas, ya que se podrían producir interferencias con el escudo. Los factores a considerar para la elección de la llave son los siguientes:

- a) Mantener el paralelismo entre el frente del anillo y el plano de escudo; y evitar exceder la extensión máxima de los cilindros de avance. Esto se logra colocando la dovela llave donde menos extendidos estén los cilindros de empuje. Los cilindros de articulación del escudo permiten el giro del mismo, por ello la parte más extendida provocará la mayor extensión del cilindro de empuje. Para mantener el paralelismo a la extensión de la articulación deberá restarse a la extensión del cilindro de empuje colindante. Estos resultados permiten calcular la posición de la llave. En la Figura 4.46 se observa el paralelismo mencionado anteriormente.

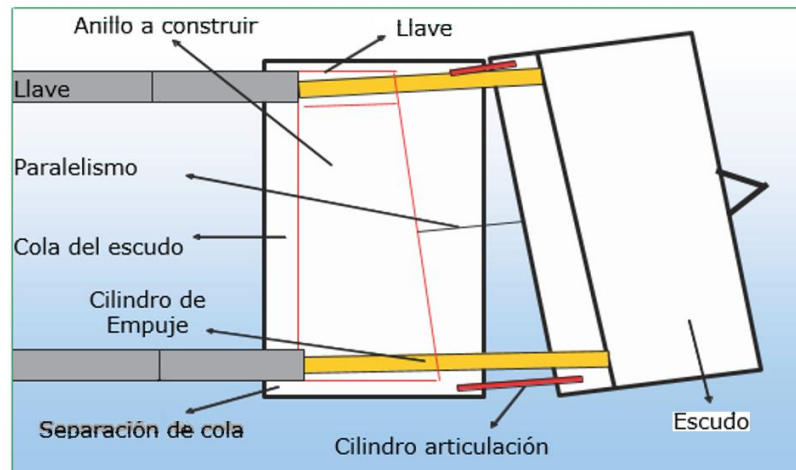


Figura 4.46: Esquema del paralelismo entre escudo y anillo
(Fuente: Expediente Técnico Final)

- b) Considerar la separación en cola, que es el espacio existente entre la pared interna del escudo de cola y la pared externa del anillo construido anteriormente. Esta se mide en cuatro posiciones como se aprecia en la Figura 4.47. Cuando se realiza el montaje del anillo se debe evitar que la separación de cola se reduzca al punto que el anillo choque con la pared de la cola del escudo. Esto se puede evitar seleccionando la llave en la posición que más separación tenga, pues hacia allí se dirigirá el próximo anillo a construir.

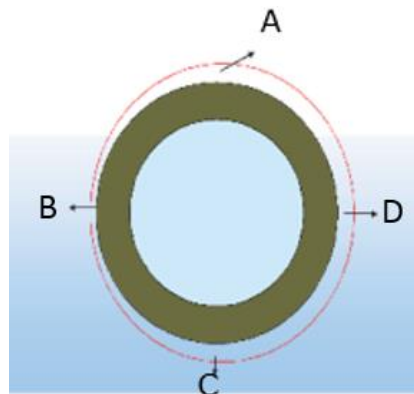


Figura 4.47: Esquema de separación en cola (Fuente: Expediente Técnico Final)

- c) La pericia del piloto en prevenir el movimiento de la TBM sin hacer grandes cambios de dirección.
- d) La tendencia a seguir según el trazado ya que si mantenemos dicha tendencia no se tendrán que realizar recuperaciones y el paralelismo siempre se mantendrá.

- **Montaje de servicios auxiliares:** Durante el proceso de avance de una TBM se realizan a su vez una serie de montajes auxiliares en el interior de la tuneladora que permiten el avance continuo de la misma. Se puede dividir los servicios auxiliares en dos tipos:
 - a) Los que se pueden montar de forma simultánea al avance de la TBM, siendo estos los siguientes:
 - Montaje de vías para los accesos del tren.
 - Montaje de soportes de ventilación.
 - Montaje de soportes del cable eléctrico y tuberías de agua
 - Ampliación de la estructura de la cinta túnel.
 - Prolongar las diferentes tuberías de alimentación.
 - Montaje de alumbrado del túnel.
 - Cambio del Casete de ventilación.
 - Montaje de la vía de guiado del back-up.
 - b) Los servicios cuyo montaje condiciona una parada de la TBM, siendo tres los principales:
 - Prolongación del cable de alta tensión, ya que suministra la tensión para que todos los servicios de la tuneladora puedan estar operativos.
 - Cambio de herramientas de corte.
 - Prolongación tramos de banda de cinta transportadora.

CAPÍTULO V. ANALISIS DEL PLANEAMIENTO DEL TIEMPO Y COSTO DE LA CONSTRUCCION DE LOS TÚNELES

Dos de los parámetros más importantes para la planificación y control de un proyecto son el tiempo y el costo. Estos parámetros se reflejan en el cronograma y el presupuesto de obra. En el presente capítulo se realiza una estimación de tiempo y costo para cada método y luego un análisis comparativo.

5.1. ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO MEDIANTE TBM TIPO ESCUDO SIMPLE

Para elaborar la Línea Base de tiempo y costo del método constructivo mediante TBM tipo escudo simple, es importante recordar los parámetros del presente proyecto ya que se replicarán las mismas condiciones para el planeamiento del segundo método con el que se hará la comparación. Las consideraciones son:

- La sección hidráulica final es de 19.63 m², correspondiente a un diámetro de 5.00 m, y la sección de excavación es de 26.60 m², definido por el diámetro de la tuneladora que es 5.82 m.
- Según el trazo topográfico de los túneles estos tienen longitudes de 9.5 km para el Trasandino y 6.3 km para el Pucará. Además, la calidad de material a excavar es la prevista en el expediente técnico del proyecto.

5.1.1. Planeamiento del Tiempo por TBM Tipo Escudo Simple

Como se describió el alcance de la presente tesis, el análisis del planeamiento se acota a la construcción de los túneles Pucará y Trasandino, llevada a cabo a través de la excavación, sostenimiento y revestimiento de dichos túneles, así como sus obras preliminares y provisionales las cuales son los afrontamientos, plataforma de instalaciones, montaje de TBM y producción de dovelas.

El alcance se presenta mediante la herramienta de la Estructura de desglose de trabajo (EDT) en la Figura 5.1. Con dicha herramienta se define el alcance en entregables o paquetes de trabajo.

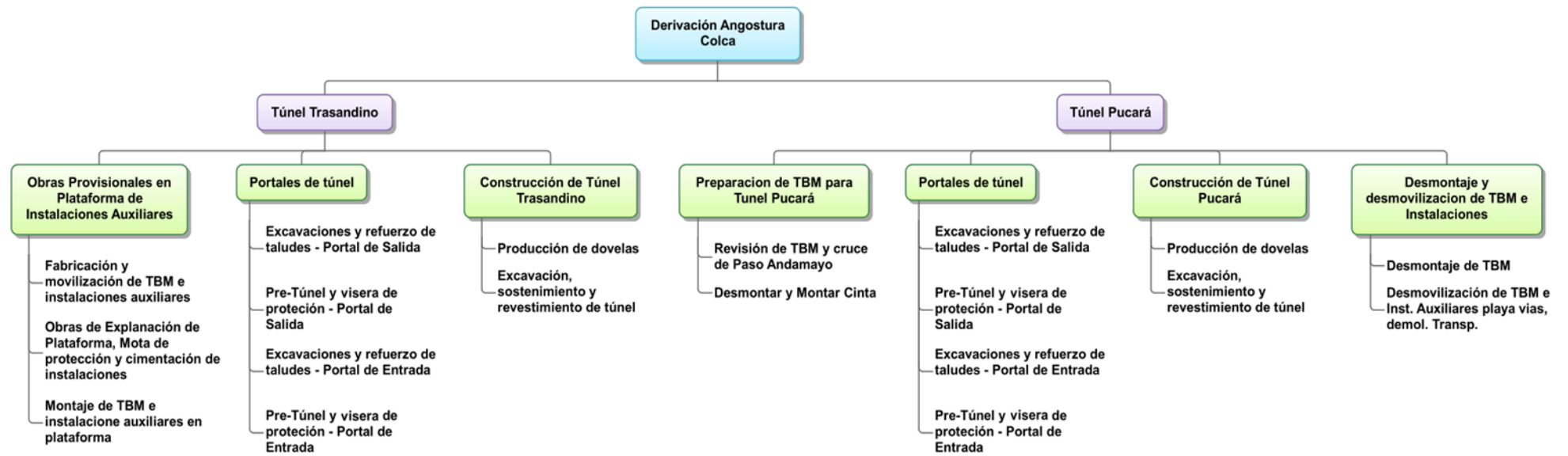


Figura 5.1: EDT de túneles Trasandino y Pucará mediante uso de TBM Tipo Escudo Simple

(Fuente: Elaboración Propia)

Para el caso del presente método constructivo en estudio, la duración de las actividades se calculó mediante la estimación paramétrica, es decir, mediante ratios de productividad; para las demás actividades se utilizó la estimación análoga, es decir información de otros proyectos con parámetros similares.

La principal actividad del proyecto es la excavación y sostenimiento de los túneles, ya que es la que define la ruta crítica. Para estimar el rendimiento de una TBM se debe tomar en cuenta la calidad el tipo de material excavado, el diámetro de excavación y las características técnicas que ofrece la tuneladora. La TBM tipo escudo simple se caracteriza por utilizarse en excavaciones de material de roca media a buena, por esta razón tendrá mejores rendimientos en rocas Clase I. De acuerdo a las especificaciones técnicas de la tuneladora, esta fue diseñada para cumplir un tiempo de 15 minutos para excavación y 15 minutos para el revestimiento, dando un total 30 minutos por ciclo de trabajo lográndose un avance de 1.70 m igual al ancho de las dovelas. Esta duración de ciclo no considera tiempos contributorios ni improductivos.

Para estimar un porcentaje de tiempo útil, será necesario revisar estudios de productividad de proyectos similares. Tomando como referencia el estudio correspondiente a una TBM tipo escudo de presión de tierras, utilizada en 5 obras sucesivas como parte de la construcción del metro de Madrid (Melis, 2005), cuyos resultados de tiempos productivos se presentan en la Tabla 5.1, allí se observa las típicas paradas obligatorias que requieren las TBM durante su operación.

Tabla 5.1 Evolución de tiempos no contributorios de cinco obras ejecutadas con la misma TBM tipo escudo de presión de tierras de 9.3 m de diámetro (Fuente: Melis, 2005)

% de tiempo en cada actividad	Línea 7	Línea 8	Alcobendas	Línea 10	Metrosur
Excavación	17%	28%	31%	29%	29%
Colocación de anillo	19%	19%	21%	20%	21%
Subtotal útil	36%	47%	52%	49%	50%
Mantenimiento cabeza	18%	7%	11%	5%	6%
Limpiezas	2%	6%	7%	2%	0%
Fallos agua, aire, energía	1%	1%	1%	0%	0%
Trenes y descarrilos	12%	9%	5%	9%	9%
Supervisión y topografía	1%	0%	1%	0%	0%
Paradas TBM y Backup	11%	8%	9%	11%	4%
Paso de estaciones	2%	8%	0%	0%	23%
Otros	17%	14%	14%	24%	8%

Como se observa el tiempo productivo oscila en un rango entre 36% y 52%, siendo el porcentaje útil promedio de 47%. Para la estimación de rendimientos según el expediente técnico se considera un tiempo productivo de 40%, esto se considera correcto dado que el estudio anterior fue elaborado para una TBM también del tipo escudada. Otro parámetro a tomar en cuenta para el rendimiento es que para el presente proyecto se definió una jornada de 22 horas/día (doble turno). Finalmente, para el caso de roca de mediana calidad (Clase III) se indica que el rendimiento se reduce a un 75%, mientras que en roca de calidad media baja (Clase IV o zona de fallas) el rendimiento se reduce a un 45%. Dichos datos se resumen en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Cálculo de rendimientos para TBM tipo escudo simple de 5.8 m diámetro
(Fuente: Expediente Técnico Final)

Descripción	Cantidad	Unidad
Duración ciclo	0.50	horas/ciclo
Jornada	22	horas
Disponibilidad útil	40%	
Jornada útil	8.8	horas/día
Avance por ciclo	1.7	m/ciclo
Rendimiento (Roca Clase I)	29.9	m/día
Rendimiento (Roca Clase III)	22.4	m/día
Rendimiento (Roca Clase IV)	13.5	m/día

De acuerdo con el artículo “New applications of the excavability index for selection of TBM types and predicting their performance” (Bieniawski et al, 2008), donde se presenta datos reales de rendimientos diarios de túneles construidos en Alemania, Suiza y España, mediante TBM tipo escudo simple cuyos resultados se muestran en la Figura 5.2. Se observa el comportamiento de rendimiento de TBM tipo escudo simple según el índice RME, el cual se ajusta a curvas logarítmicas. Si bien la calidad del presente proyecto se ha definido según el índice RMR, hay una clara tendencia al aumento de rendimiento conforme aumenta la calidad geomecánica. Además, los rendimientos de los estudios coinciden con los expuestos en el expediente técnico. Según este último, se cuenta con tres rendimientos para tres calidades de roca. Para el presente trabajo se ha extrapolado los otros rendimientos conforme a una función logarítmica como se muestra en la Figura 5.3), teniendo concordancia con el comportamiento antes mencionado. Los rendimientos estimados para diferentes RMR se muestran en la Tabla 5.3.

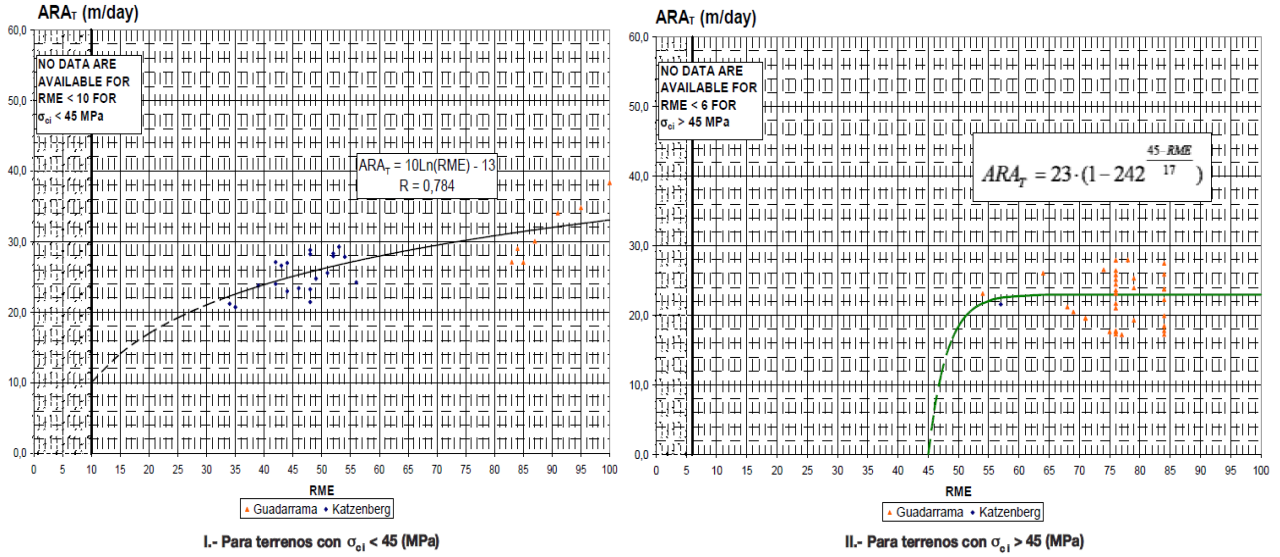


Figura 5.2: Correlación entre calidad de roca y rendimiento diario para TBMs tipo escudo simple
(Fuente: Bieniawski et al, 2008)

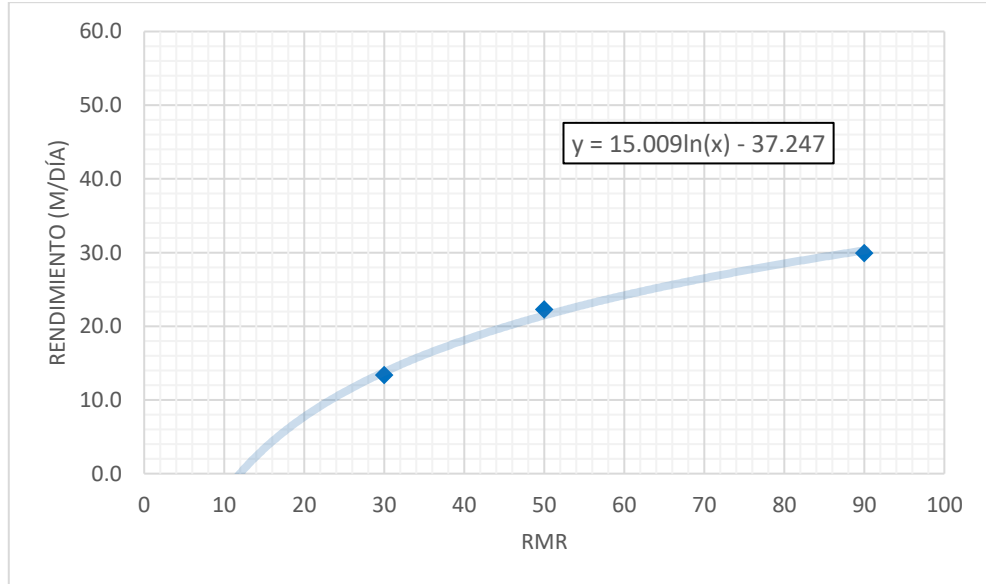


Figura 5.3: Correlación entre calidad de roca y rendimiento diario para TBM tipo escudo simple de
5.8 m de diámetro
(Fuente: Expediente Técnico Final)

Tabla 5.3 Resumen de rendimientos según calidad de roca para TBM tipo escudo simple de 5.8 m de diámetro (Fuente: Expediente Técnico Final)

Rangos de RMR	Rendimiento (m/día)
>70	27.6
61-70	25.4
51-60	22.9
41-50	19.9
31-40	16.1
<31	11.1

Una vez estimados los rendimientos para cada tipo de material que se espera encontrar, se calculará el tiempo de construcción. De acuerdo a la información presentada en el capítulo 3, se tiene el porcentaje esperado a encontrar de cada material a lo largo de la excavación de los túneles. Multiplicando cada porcentaje por la longitud del túnel se puede estimar la tramificación del túnel que es la longitud de cada tipo de material a excavar. Luego, se divide entre el rendimiento a dichas longitudes de material y se obtiene el cálculo del tiempo esperado.

Estos cálculos se pueden apreciar en las Tablas 5.4 y 5.5, donde además se estima un rendimiento ponderado final para cada uno de los túneles en base a las calidades y cantidades de material que se espera encontrar según los estudios preliminares. Hay que considerar que se ha restado 30 metros a las longitudes de los túneles debido a que pertenecen a los primeros 15 metros de cada portal ejecutados por método convencional, los llamados pre-túneles.

Tabla 5.4 Estimación de plazo de construcción de túnel Pucará para método por TBM tipo escudo simple de 5.8 m de diámetro (Fuente: Elaboración Propia)

Calidad del material (RMR)	% en Túnel Pucará	Longitud Túnel Pucará (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (días)	Plazo (meses)
>70	11.4%	718	27.6	26	0.9
61-70	18.1%	1,140	25.4	45	1.5
51-60	29.3%	1,846	22.9	81	2.7
41-50	26.2%	1,651	19.9	83	2.8
31-40	15.0%	945	16.1	59	2.0
<31	0.0%	0	11.1	0	0.0
Total	100.0%	6,300	21.5	293	9.8

Tabla 5.5 Estimación de plazo de construcción de túnel Trasandino para método por TBM tipo escudo simple de 5.8 de diámetro (Fuente: Elaboración Propia)

Calidad del material (RMR)	% en Túnel Trasandino	Longitud Túnel Trasandino (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (días)	Plazo (meses)
>70	19.4%	1,836	27.6	67	2.2
61-70	25.9%	2,451	25.4	96	3.2
51-60	20.1%	1,902	22.9	83	2.8
41-50	26.3%	2,489	19.9	125	4.2
31-40	8.3%	786	16.1	49	1.6
<31	0.0%	0	11.1	0	0.0
Total	100.0%	9,464	22.5	420	14.0

Finalmente, se estimó las actividades complementarias a la construcción del túnel las cuales son las siguientes:

- 1. Fabricación y movilización de tuneladora e instalaciones auxiliares:** corresponde a la fabricación y transporte de la TBM a pie de obra lo cual tomó un total de 13 meses. En este tiempo también se hace la compra y movilización de las instalaciones auxiliares, de menor duración.
- 2. Obras en plataforma de instalaciones auxiliares:** corresponde a la ejecución de movimiento de tierras para la explanación y las cimentaciones de las instalaciones. El trabajo se ejecutó en el presente proyecto tomando un total de 4 meses.
- 3. Montaje de tuneladora:** el trabajo se ejecutó en el proyecto y tomó un total de 2 meses.
- 4. Excavación y refuerzo de taludes de portales:** los trabajos se ejecutaron en el proyecto dando una duración promedio de 1.5 meses por portal.
- 5. Viseras de protección y Pre-túneles:** los trabajos se ejecutaron en el proyecto dando una duración promedio de 1 mes cada uno.
- 6. Producción de dovelas:** de acuerdo a los datos obtenidos en el proyecto el rendimiento obtenido es de 0.5 anillos/hora, trabajando en doble turno 22 horas al día, las duraciones serán de 498 días para los anillos del túnel Trasandino y 337 días para los anillos del túnel Pucará.
- 7. Revisión de TBM y cruce de Paso Andamayo:** la actividad se ejecutará cuando la TBM termine de construir el túnel Trasandino y de acuerdo al juicio experto se estima una duración de 1 mes.

8. **Desmontar y montar cinta:** la estructura de la cinta debe ser trasladada de la boca del túnel Trasandino a la del túnel Pucará, estimándose un total de 50 días o 1.7 meses para ello.
9. **Desmontaje y desmovilización:** de acuerdo al juicio experto dichas actividades deben ejecutarse en 2 meses.

Luego de definir las duraciones de las actividades se desarrollará el cronograma, para ello se secuenciarán las actividades siguiendo la lógica de los trabajos y tomando en cuenta las restricciones del proyecto, así como las dependencias y precedencias entre actividades. El resumen de las actividades y sus duraciones estimadas se observan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Lista de actividades y duraciones para método por TBM tipo escudo simple

(Fuente: Elaboración Propia)

EDT	Descripción	Duración (días)	Duración (meses)
01	Derivación Angostura Colca		
01.01	Túnel Trasandino		
01.01.01	Obras Provisionales en Plataforma de Instalaciones Auxiliares		
01.01.01.01	Fabricación y Movilización de TBM e instalaciones auxiliares	390	13.0
01.01.01.02	Obras de Explanación de Plataforma, Mota de protección y cimentación de instalaciones	120	4.0
01.01.01.03	Montaje de TBM e instalaciones auxiliares en plataforma	60	2.0
01.01.02	Portales de túneles		
01.01.02.01	Excavaciones y refuerzo de taludes - Portal de Salida	45	1.5
01.01.02.02	Pre-Túnel y Visera de protección - Portal de Salida	30	1.0
01.01.02.03	Excavaciones y refuerzo de taludes - Portal de Entrada	45	1.5
01.01.02.04	Pre-Túnel y Visera de protección - Portal de Entrada	30	1.0
01.01.03	Construcción de Túnel Trasandino		
01.01.03.01	Producción de dovelas	498	16.6
01.01.03.02	Excavación, sostenimiento y revestimiento de túnel	420	14.0
01.02	Túnel Pucará		
01.02.01	Preparación de TBM para Túnel Pucará		
01.02.01.01	Revisión de TBM y cruce de Paso Andamayo	30	1.0
01.02.01.02	Desmontar + Montar Cinta	50	1.7
01.02.02	Portales de túneles		
01.02.02.01	Excavaciones y refuerzo de taludes - Portal de Salida	30	1.0
01.02.02.02	Pre-Túnel y Visera de protección - Portal de Salida	30	1.0
01.02.02.03	Excavaciones y refuerzo de taludes - Portal de Entrada	45	1.5
01.02.02.04	Pre-Túnel y Visera de protección - Portal de Entrada	30	1.0
01.02.03	Construcción de Túnel Pucará		
01.02.03.01	Producción de dovelas	337	11.2
01.02.03.02	Excavación, sostenimiento y revestimiento de túnel	293	9.8
01.02.04	Desmontaje y desmovilización de TBM e Instalaciones		
01.02.04.01	Desmontaje de TBM	30	1.0
01.02.04.02	Desmovilización de TBM e Inst. Auxiliares playa vías, desmol. Transp.	30	1.0

Las secuencias de actividades se observan en la Figura 5.4, donde se presenta el Diagrama de Gantt para representar la línea base de cronograma para el método por TBM tipo escudo simple, y donde al sumar las duraciones de actividades y según las secuencias el cronograma nos da un total de duración de 1,303 días calendario que equivale a 43.4 meses.

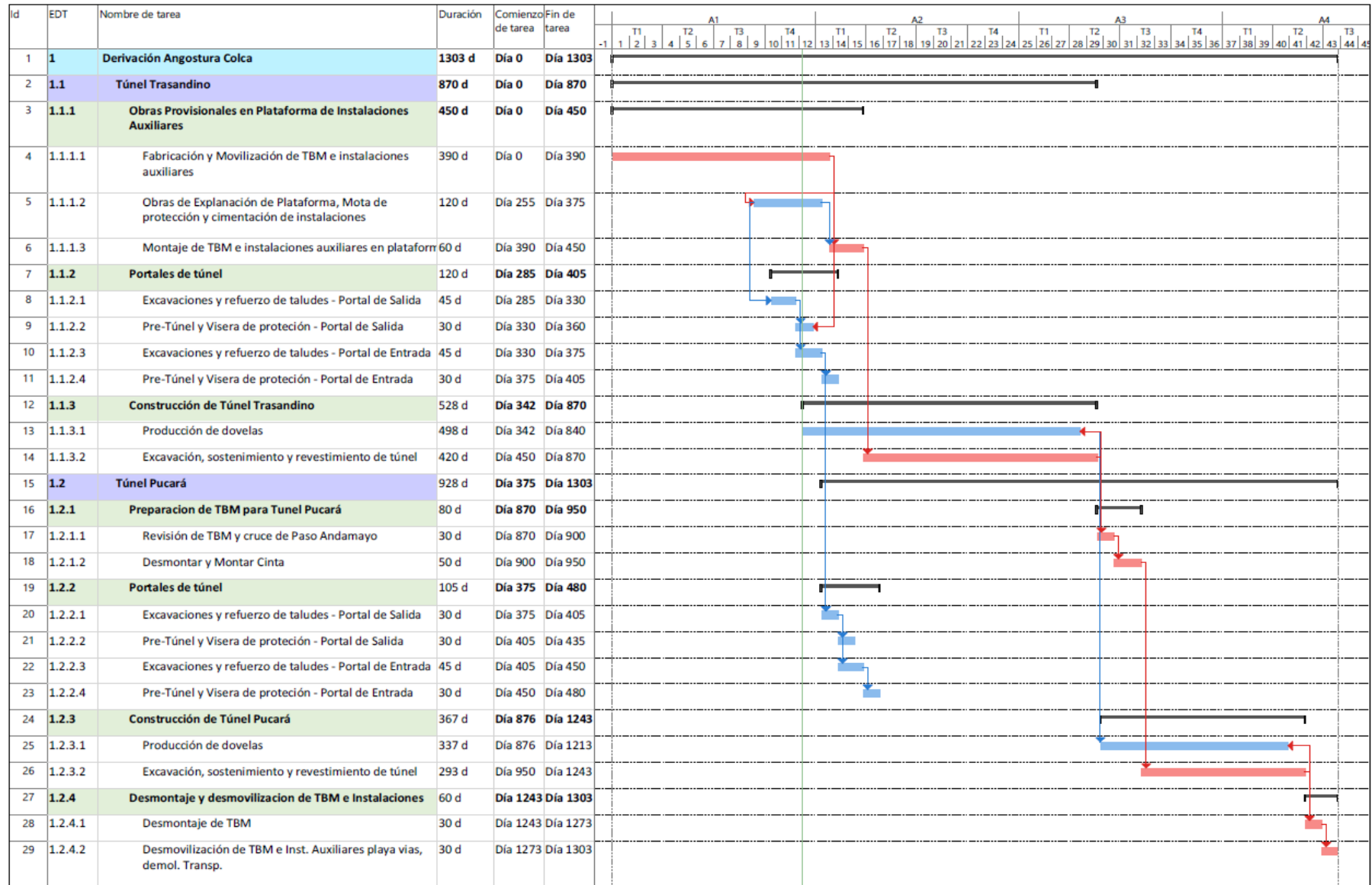


Figura 5.4: Cronograma de método por TBM tipo escudo simple (Fuente: Elaboración Propia)

5.1.2. Planeamiento del Costo por TBM Tipo Escudo Simple

Para la estimación del costo directo mediante el método con TBM tipo escudo simple se ha consolidado los precios unitarios de los presupuestos presentados al cliente en los expedientes técnicos del proyecto. Dicho presupuesto detallado a nivel de partidas así como los principales análisis de precios unitarios se presentan en la Anexo A.

Del presupuesto detallado se pueden extraer los principales metrados o cantidades de trabajo necesarias para construir el túnel, las cuales se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Resumen de cantidades para estimación de costos
(Fuente: Expediente Técnico Final)

Metrado	Unidad	Cantidad
Longitud total de los túneles	ml	15,824
Volumen a excavar	m ³	419,367
Volumen total de Bicomponente	m ³	39,094
Anillos de dovelas	und	9,315
Tiempo de operación de TBM	mes	23.8

Además, el costo directo presupuestado se ha agrupado en cuatro categorías según la metodología usada en la tesis “Estimación de coste y plazo de ejecución en proyectos de túneles mecanizados” (Saénz de Santa María, 2007). Las categorías de costos son los dependientes del tiempo, los independientes del tiempo, los fijos y las maquinarias. Estos costos por categorías se muestran de forma consolidada en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Resumen de presupuesto por categorías de método por TBM tipo escudo simple con fecha diciembre 2015 (Fuente: Elaboración Propia)

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio (USD)
DEPENDIENTES DEL TIEMPO				22,950,695
Operación de TBM	Mes	14.0	1,020,171	14,285,258
Taller de mantenimiento	Mes	14.0	322,016	4,509,131
Operación de patio de dovelas	Mes	14.0	296,819	4,156,306
INDEPENDIENTES DEL TIEMPO				69,972,636
Sostenimiento de dovelas	Und	9,315	5,265	49,040,665
Inyección de mortero en gap	m ³	39,094	250	9,777,808
Instalaciones auxiliares internas	ml	15,824	553	8,746,728
Eliminación de material excavado	m ³	419,367	6	2,407,435
MAQUINARIA E INSTALACIONES				30,672,238
Tuneladora	Glb	1	15,739,688	15,739,688
Cinta Túnel	Glb	1	5,536,145	5,536,145
Planta Bicomponente	Glb	1	1,550,326	1,550,326
Locomotoras y vagones	Glb	1	1,841,425	1,841,425
Grúas Pórtico	Glb	1	1,332,160	1,332,160
Ventiladores	Und	2	164,162	328,324
Bomba de agua y Depuradora	Glb	1	221,556	221,556
Taller mecánico	Glb	1	1,055,175	1,055,175
Fábrica de dovelas	Glb	1	2,255,465	2,255,465
Generadores Electricos 1250 KVA	Und	9	90,219	811,973
FIJOS				18,889,961
Implantación y retirada	Glb	1	8,917,777	8,917,777
Obras en portales	Und	4	2,163,933	8,655,733
Auscultación	Glb	1	528,151	528,151
Comunicaciones	Glb	1	788,301	788,301
COSTO DIRECTO TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO (USD)				142,485,530

El presupuesto total en dólares corresponde solo al costo directo el cual asciende a 142,5 millones de USD.

5.2. ANÁLISIS DEL PLANEAMIENTO MEDIANTE METODOLOGÍA CONVENCIONAL

Si bien los túneles en estudio fueron diseñados para construirse mediante el método con TBM tipo escudo simple, el presente trabajo de tesis busca realizar una comparación de cronograma y presupuesto de dicho método con el método convencional. Por esta razón, se realizó un segundo diseño conservando los parámetros más importantes de los túneles originales que son la topografía del trazo, lo que implica su longitud y proyección de la calidad geomecánica del material a excavar, así como el área de la sección hidráulica de los túneles.

Respecto a la condicionante hidráulica, la sección geométrica que mejor facilita la construcción mediante métodos convencionales es la de tipo baúl, la cual tiene como medidas 4.50 metros de ancho en la solera, 4.85 metros de altura, con 2.60 metros de hastiales rectos y 2.25 metros de un arco de medio punto. Dicha sección se muestra en la Figura 5.5.

El diseño realizado siguió la filosofía del NATM, explicado en el capítulo de fundamento teórico, según el cual, se definió seis secciones tipo de sostenimientos acorde a los seis tipos de calidad geomecánica de materiales que se prevé encontrar y que están indicados en el expediente técnico, que además se muestran en el tercer capítulo.

Para definir las secciones tipo de sostenimiento se utilizó métodos empíricos, es decir se basó en experiencia en otros túneles de características similares. Las obras similares consideradas son los túneles hidráulicos de la Central Hidroeléctrica El Platanal, túneles de la Central Hidroeléctrica Cheves y el túnel de desvío de la presa Angostura, que es una obra que pertenece al proyecto Majes Sigvas. Además, se reviso datos de la investigación “Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles” del autor Romana (2001).

En base a esta información, se han definido las siguientes secciones tipo de sostenimiento:

Sección Tipo I (RMR >70):

- Longitud de pase 3.60 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa.
- Pernos $\Phi 32$ -Gr60 de 2.1 m de longitud dispuestos en malla 2.0 m x 2.0 m.

Sección Tipo II (RMR 60-70):

- Longitud de pase 3.00 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa.
- Pernos $\Phi 32$ -Gr60 de 2.1 m de longitud y espaciado 1.7 m x 1.7 m.

Sección Tipo III (RMR 50-60):

- Longitud de pase 2.40 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa y aplicación de 5 cm de concreto lanzado SH-25 reforzado con fibras capaces de absorber 750 J.
- Pernos $\Phi 25$ -Gr60 de 2.1 m de longitud y espaciado 1.5 m x 1.5 m.

Sección Tipo IV (RMR 40-50):

- Longitud de pase 1.50 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa.
- Pernos $\Phi 25$ -Gr60 de 2.1 m de longitud y espaciado 1.25 m x 1.25 m.
- Marcos metálicos W4X13 separados 1.50 m.
- Se asegurará un espesor de concreto lanzado entre marcos de 12 cm.

Sección Tipo V (RMR 30-40):

- Longitud de pase 1.00 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa.
- Marcos metálicos W4X13 separados 1.00 m.
- Se asegurará un espesor de concreto lanzado entre marcos de 12 cm.
- Paraguas pesado de 9 m de longitud de micropilotes

Sección Tipo VI (RMR <30):

- Longitud de pase 0.75 m.
- Sellado de 3 cm de concreto lanzado de 25 MPa.
- Marcos metálicos W4X13 separados 0.75 m.
- Se asegurará un espesor de concreto lanzado entre marcos de 17 cm.
- Paraguas pesado de 9 m de longitud de micropilotes

Finalmente, ya que los anillos de dovelas del método con TBM cumplen también la función de revestimiento, para el método convencional se ha considerado un revestimiento de shotcrete de 5 cm de espesor, así como una losa de concreto de 15 cm de espesor.

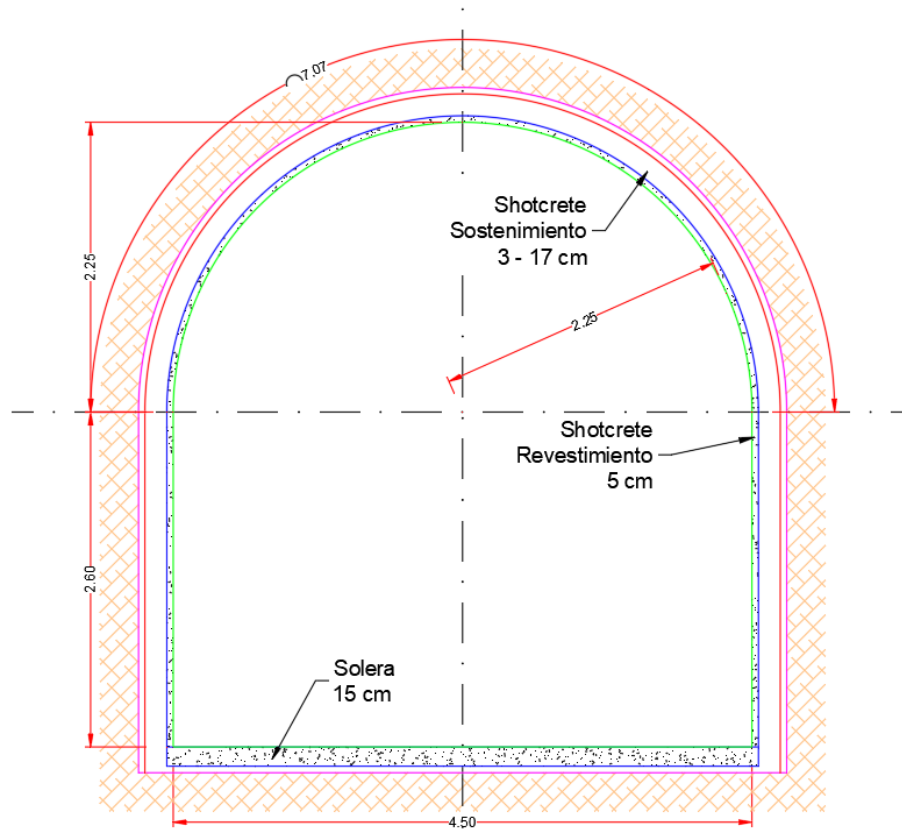


Figura 5.5: Sección tipo baúl con medidas homologadas asumida para método convencional
 (Fuente: Elaboración Propia)

5.2.1. Planeamiento del Tiempo por metodología convencional

Para poder elaborar el cronograma de la construcción de los túneles Pucará y Trasandino mediante el método convencional de construcción, es necesario definir el alcance de este proyecto. Si bien el resultado final continúa siendo la excavación, sostenimiento y revestimiento de los túneles, debido a que los rendimientos de avance del método convencional son mucho menores a los del método con TBM, esto obliga a añadir cambios como son la apertura de nuevos frentes de excavación. Para esto, al alcance se agrega la construcción de dos túneles adicionales tipo adits, los cuales permiten aperturar dos frentes adicionales en cada túnel dando un total de ocho frentes de trabajo.

Debido a la construcción de los adits, el proyecto ahora contará con 6 portales de entrada para acceder a los frentes de construcción. Esto implica también incrementar las obras provisionales en estos portales, así como la movilización de más equipos e instalaciones debido a la cantidad de frentes.

De acuerdo a los cambios mencionados, la construcción inicia con seis frentes y en el momento en que se termina de excavar los adits se abren dos frentes adicionales. Estos frentes se representan en el esquema de la Figura 5.6.

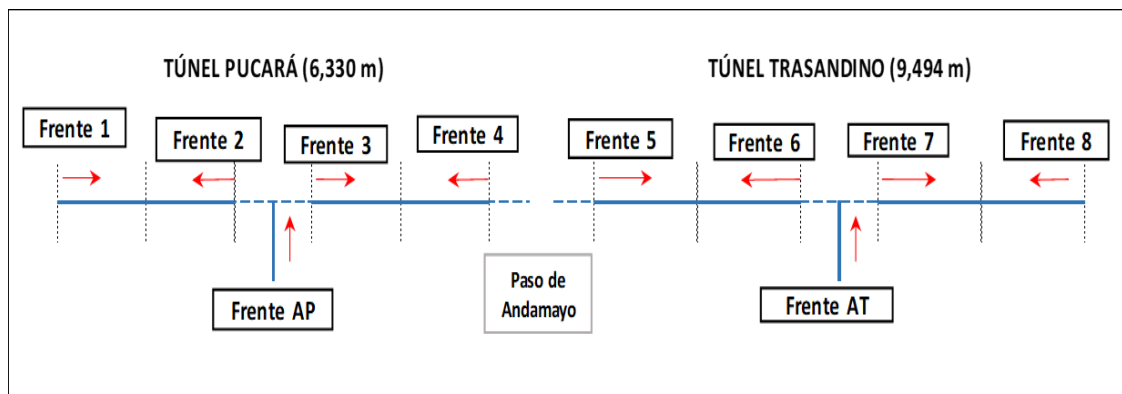


Figura 5.6: Esquema de frentes de construcción mediante método convencional
(Fuente: Elaboración Propia)

El alcance actualizado acorde a los condicionantes del método convencional se ha presentado mediante la herramienta de la estructura de desglose de trabajo (EDT) que se muestra en la Figura 5.7.

De las actividades mencionadas en la EDT, las más importantes son la excavación y sostenimiento, las cuales definen la ruta crítica del proyecto. Mientras que en el método con TBM, dicha actividad tenía un solo ciclo de trabajo bien definido y repetitivo, para el método convencional el ciclo de trabajo a seguir es variable y dependerá de la calidad geomecánica de la zona que se esté excavando. Por ello el tiempo de excavación y sostenimiento durante un ciclo de trabajo en el método convencional está en función del diseño de las secciones tipo.

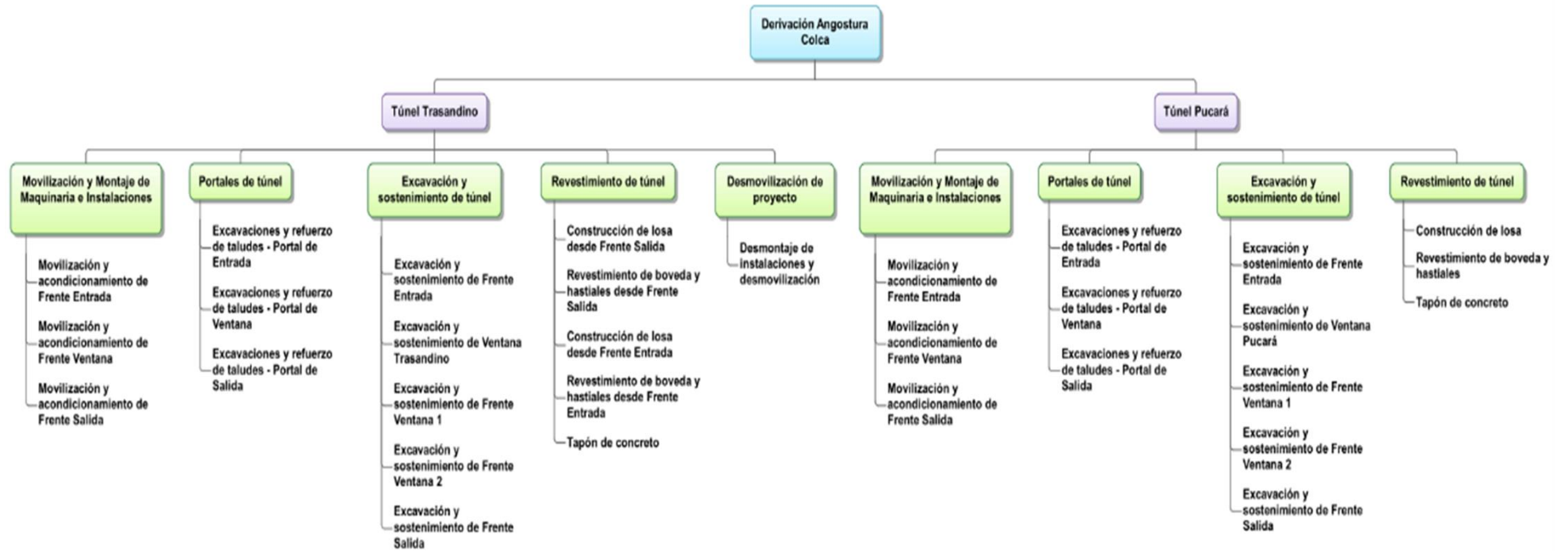


Figura 5.7: EDT de túneles Trasandino y Pucará mediante método convencional
 (Fuente: Elaboración Propia)

El ciclo básico del método convencional cuenta con las siguientes operaciones:

- Perforación de los barrenos
- Carga y disparo del explosivo
- Evacuación de humos y ventilación
- Saneamiento de los hastiales y bóveda
- Carga y transporte del escombro
- Colocación del sostenimiento

Sin embargo, cuando la calidad de material es mala, se reduce el factor de carga de las voladuras las cuales por reducir su potencia puede surgir la necesidad de terminar el trabajo con martillo hidráulico, o incluso será necesario el uso de un pre-sostenimiento especial como es el caso de los paraguas de micropilotes.

Cada sección tipo tendrá un rendimiento de avance diferente, siendo mayor cuando la calidad geomecánica del material es favorable y se va reduciendo conforme la calidad del material empeora. El rendimiento se calcula dividiendo la longitud de pase entre la duración estimada del ciclo de trabajo según cada sección tipo de sostenimiento. Para estimar las duraciones se ha hecho uso de los rendimientos de equipos de construcción a los cuales se les aplicó una reducción por efectividad real basada en la experiencia en obras de características similares.

Para las actividades de perforación se ha considerado un jumbo de dos brazos con una velocidad promedio de perforación efectiva de 1.00 m/min, la cual está penalizado por los tiempos de reposicionamiento de brazo entre barrenos, cambio de brocas, tiempo de averías y posicionamiento de la máquina. Para los tiempos de carga se ha considerado un rendimiento de dos tiros por minuto y para la evacuación del personal y voladura unos 30 minutos.

El tiempo para el desescombro del material es función de la capacidad del cucharón, en este caso se consideró una pala de perfil bajo con capacidad de 4.6 m³, dicha pala transportará el material hacia los camiones mineros los cuales se encontrarán en los apartaderos intermedios. El rendimiento promedio del desescombro resulta en 30 m³/h.

Para el tiempo de colocación de pernos se ha considerado el rendimiento de perforación del jumbo. En el caso de la colocación de shotcrete de sellado y sostenimiento se ha considerado una velocidad promedio de bombeo de 8m³/h.

En el caso de las secciones tipo V y VI se ha previsto un método de excavación mixto, es decir parte con perforación y voladura y parte con medios mecánicos, que implica el uso de una retroexcavadora con martillo hidráulico. También se ha previsto el uso de marcos metálicos y paraguas formado por micropilotes. Los rendimientos medios se han obtenido de obras con características similares.

Las duraciones de los ciclos, así como los rendimientos diarios obtenidos por cada sección tipo se muestran en la Tabla 5.9. Para la jornada diaria se ha considerado dos turnos de 11 horas cada uno. Los cálculos de dichos rendimientos con la maquinaria considerada se presentan en el Anexo B.

Tabla 5.9 Tiempos de ciclos y rendimientos diarios de excavación y sostenimientos de túneles Pucará y Trasandino para método convencional (Fuente: Elaboración Propia)

Descripción	Und	Sostenimiento Tipo					
		ST-I	ST-II	ST-III	ST-IV	ST-V	ST-VI
Perforación	min	182	160	133	102	76	
Carga, disparo y ventilación	min	114	113	108	104	94	
Excavación por medios mecánicos	min				60	60	225
Carga y transporte del escombros	min	184	159	135	98	79	67
Sellado	min	57	62	59	55	71	69
Sostenimiento con shotcrete	min			73	84	75	77
Apernado	min	55	81	81	77		
Colocación de cerchas	min				300	300	300
Posible paraguas	min					90	68
Ciclo total	min	592	575	589	879	846	805
Ciclo total	horas	9.9	9.6	9.8	14.6	14.1	13.4
Rendimiento diario	m/d	7.39	6.34	4.95	2.07	1.56	1.23

Habiéndose definido los rendimientos para cada sección tipo, y dado que se conoce, según expediente técnico, los porcentajes de calidad de material para cada túnel, se procede a estimar un rendimiento promedio para cada túnel dividiendo la longitud total del túnel entre la suma del tiempo estimado para cada calidad de material. Estos cálculos se muestran en las tablas 5.10 y 5.11.

Tabla 5.10 Rendimiento ponderado excavación en Túnel Pucará para método convencional
(Fuente: Elaboración Propia)

Tipo de Sostenimiento	% en Túnel Pucará	Longitud en Túnel Pucará (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (d)
ST-I	11.4%	718	7.39	97
ST-II	18.1%	1,140	6.34	180
ST-III	29.3%	1,846	4.95	373
ST-IV	26.2%	1,651	2.07	796
ST-V	15.0%	945	1.56	605
ST-VI	0.0%	0	1.23	0
Total	100.0%	6,300	3.07	2,051

Tabla 5.11 Rendimiento ponderado excavación en Túnel Trasandino para método convencional
(Fuente: Elaboración Propia)

Tipo de Sostenimiento	% en Túnel Trasandino	Longitud en Túnel Trasandino (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (d)
ST-I	19.4%	1,836	7.39	249
ST-II	25.9%	2,451	6.34	387
ST-III	20.1%	1,902	4.95	384
ST-IV	26.3%	2,489	2.07	1200
ST-V	8.3%	786	1.56	503
ST-VI	0.0%	0	1.23	0
Total	100.0%	9,464	3.48	2,723

Para la estimación de estos rendimientos se ha tomado en cuenta la construcción de apartaderos, también llamados ensanchamientos, de 25 metros de longitud y ubicados cada 350 metros de excavación. Su sección de túnel es igual a la definitiva, pero se le agrega 2 metros más de ancho para permitir el paso de 2 vehículos y las maniobras de eliminación de material. La sección de los ensanchamientos coincide con la sección de las ventanas o adits previstos para mejorar el plazo de excavación y sostenimiento.

Teniendo en cuenta los mismos recursos, pero con diferentes cantidades, se ha estimado los rendimientos promedio para la excavación de ensanchamientos y adits, los cuales resultan en 2.67 m/d para la sección de ensanche del túnel Pucará y en 3.00 m/d para la del túnel Trasandino. El detalle de estas estimaciones se presenta en el Anexo C.

Para estimar el rendimiento promedio final de los túneles debe considerarse que un porcentaje de estos tendrán el rendimiento menor de los ensanchamientos, por esta razón se hace un promedio de rendimientos en función de la longitud resultando los rendimientos para los túneles en 3.05 m/d para el túnel Pucará y en 3.44 m/d para el túnel Trasandino.

Finalmente, debido a que se dispone de ocho frentes, la ruta crítica estará definida por la duración de la excavación y sostenimiento del tramo de mayor longitud. En las Figuras 5.8 y 5.9 se muestran los frentes para cada túnel, incluyendo los adit, y se presentan las longitudes a construir en base a los rendimientos estimados anteriormente. Como resultado se observa que el frente 5 requiere el mayor plazo de ejecución, por lo que las actividades de excavación y sostenimiento tendrán una duración total de 33.1 meses.

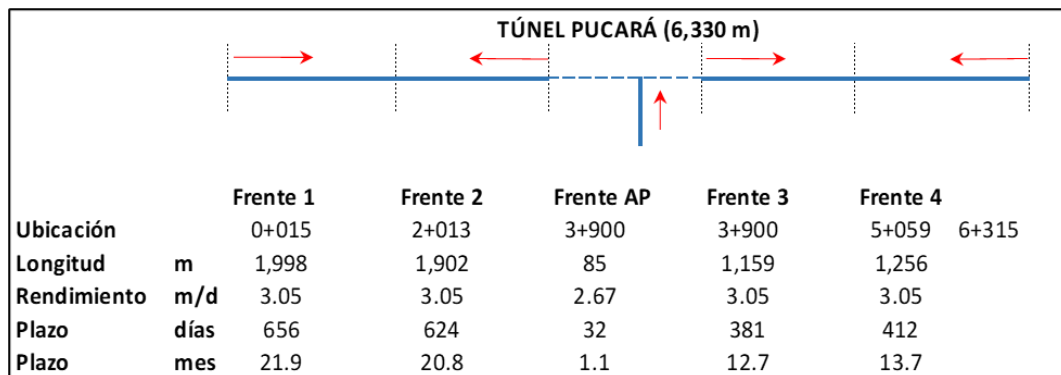


Figura 5.8: Estimación de plazo de excavación y sostenimiento por frente del túnel Pucará mediante método convencional (Fuente: Elaboración Propia)

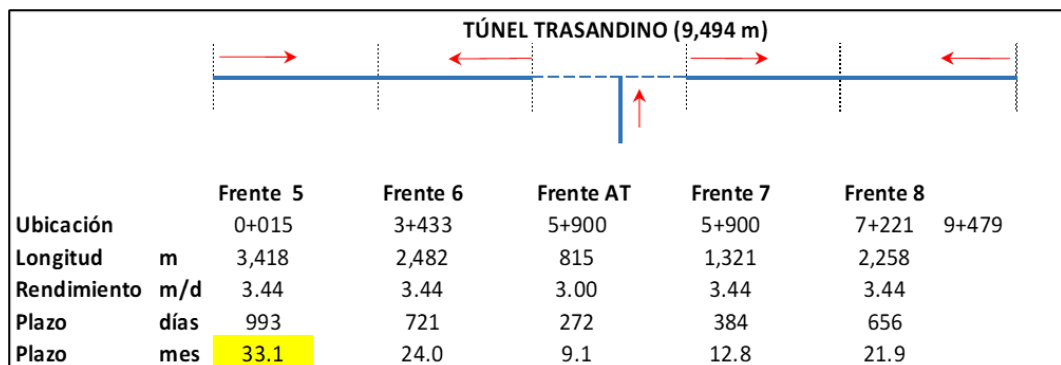


Figura 5.9: Estimación de plazo de excavación y sostenimiento por frente del túnel Trasandino mediante método convencional (Fuente: Elaboración Propia)

Finalmente, se ha hecho la estimación de las duraciones de las actividades complementarias, las cuales son las siguientes:

1. **Movilización y acondicionamiento de frente:** corresponde a la movilización de los equipos e instalaciones requeridos para los trabajos, así como su puesta en marcha. El tiempo estimado según proyectos similares es de 45 días o 1.5 meses.
2. **Tratamiento de taludes, visera de protección y pre-túnel:** estas actividades son comunes en ambos métodos constructivos, por la que su duración es igual a la estimada para el método por TBM, el cual es de 2.5 meses por portal.
3. **Revestimiento de túnel:** incluye la construcción de la losa definitiva y revestimiento de bóveda y hastiales mediante una capa de shotcrete de 5 cm. Basado en ratios de otros proyectos se estima un rendimiento de 60 m/día. Estos trabajos se realizan una vez terminado el sostenimiento, por lo cual tienen holgura en los frentes que no pertenecen a la ruta crítica. Respecto al tramo de la ruta crítica, se requerirá revestir un total de 5,900 m, por lo cual en dos frentes se podrá realizar en 49 días o 1.6 meses.
4. **Tapón de concreto:** son muros de concreto armado, construidos al finalizar las labores de revestimiento, que impedirán el paso del agua del túnel hidráulico hacia los adits, permitiendo el correcto comportamiento hidráulico de los túneles principales. El tiempo estimado se obtiene de proyectos similares y se considera en 1 mes.
5. **Desmontaje de instalaciones y desmovilización:** de acuerdo a proyecto similares se estima la duración en 1 mes.

Luego de definir las duraciones de las actividades se desarrolla el cronograma, para ello se secuencian las actividades siguiendo la lógica de los trabajos y tomando en cuenta las restricciones del proyecto, así como las dependencias y precedencias entre actividades. El resumen de las actividades y sus duraciones estimadas se observan en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Lista de actividades y duraciones para método convencional

(Fuente: Elaboración Propia)

EDT	Descripción	Duración (días)	Duración (meses)
01	Derivación Angostura Colca		
01.01	Túnel Trasandino		
01.01.01	Movilización y Montaje de Maquinaria e Instalaciones		
01.01.01.01	Movilización y acondicionamiento de Frente Entrada	45	1.5
01.01.01.02	Movilización y acondicionamiento de Frente Ventana	45	1.5
01.01.01.03	Movilización y acondicionamiento de Frente Salida	45	1.5
01.01.02	Portales de túnel		
01.01.02.01	Portal de Entrada (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.01.02.02	Portal de Ventana (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.01.02.03	Portal de Salida (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.01.03	Excavación y sostenimiento de túnel		
01.01.03.01	Excavación y sostenimiento de Frente Entrada	993	33.1
01.01.03.02	Excavación y sostenimiento de Ventana Trasandino	272	9.1
01.01.03.03	Excavación y sostenimiento de Frente Ventana 1	721	24.0
01.01.03.04	Excavación y sostenimiento de Frente Ventana 2	384	12.8
01.01.03.05	Excavación y sostenimiento de Frente Salida	656	21.9
01.01.04	Revestimiento de túnel		
01.01.04.01	Construcción de losa desde Frente Salida	30	1.0
01.01.04.02	Revestimiento de bóveda y hastiales desde Frente Salida	30	1.0
01.01.04.03	Construcción de losa desde Frente Entrada	49	1.6
01.01.04.04	Revestimiento de bóveda y hastiales desde Frente Entrada	49	1.6
01.01.04.05	Tapón de concreto	30	1.0
01.01.05	Desmovilización de proyecto		
01.01.05.01	Desmontaje de instalaciones y desmovilización	30	1.0
01.02	Túnel Pucará		
01.02.01	Movilización y Montaje de Maquinaria e Instalaciones		
01.02.01.01	Movilización y acondicionamiento de Frente Entrada	45	1.5
01.02.01.02	Movilización y acondicionamiento de Frente Ventana	45	1.5
01.02.01.03	Movilización y acondicionamiento de Frente Salida	45	1.5
01.02.02	Portales de túneles		
01.02.02.01	Portal de Entrada (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.02.02.02	Portal de Ventana (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.02.02.03	Portal de Salida (Tratamiento de talud, visera de protección y Pre-túnel)	75	2.5
01.02.03	Excavación y sostenimiento de túnel		
01.02.03.01	Excavación y sostenimiento de Frente Entrada	656	21.9
01.02.03.02	Excavación y sostenimiento de Ventana Pucará	32	1.1
01.02.03.03	Excavación y sostenimiento de Frente Ventana 1	624	20.8
01.02.03.04	Excavación y sostenimiento de Frente Ventana 2	381	12.7
01.02.03.05	Excavación y sostenimiento de Frente Salida	412	13.7
01.02.04	Revestimiento de túnel		
01.02.04.01	Construcción de losa	53	1.8
01.02.04.02	Revestimiento de bóveda y hastiales	53	1.8
01.02.04.03	Tapón de concreto	30	1.0

Las secuencias de actividades se observan en la Figura 5.10, donde se presenta el Diagrama de Gantt para representar la línea base de cronograma para el método convencional, y donde al sumar las duraciones de actividades y según las secuencias el cronograma nos da un total de duración de 1,222 días calendario que equivale a 40.7 meses.

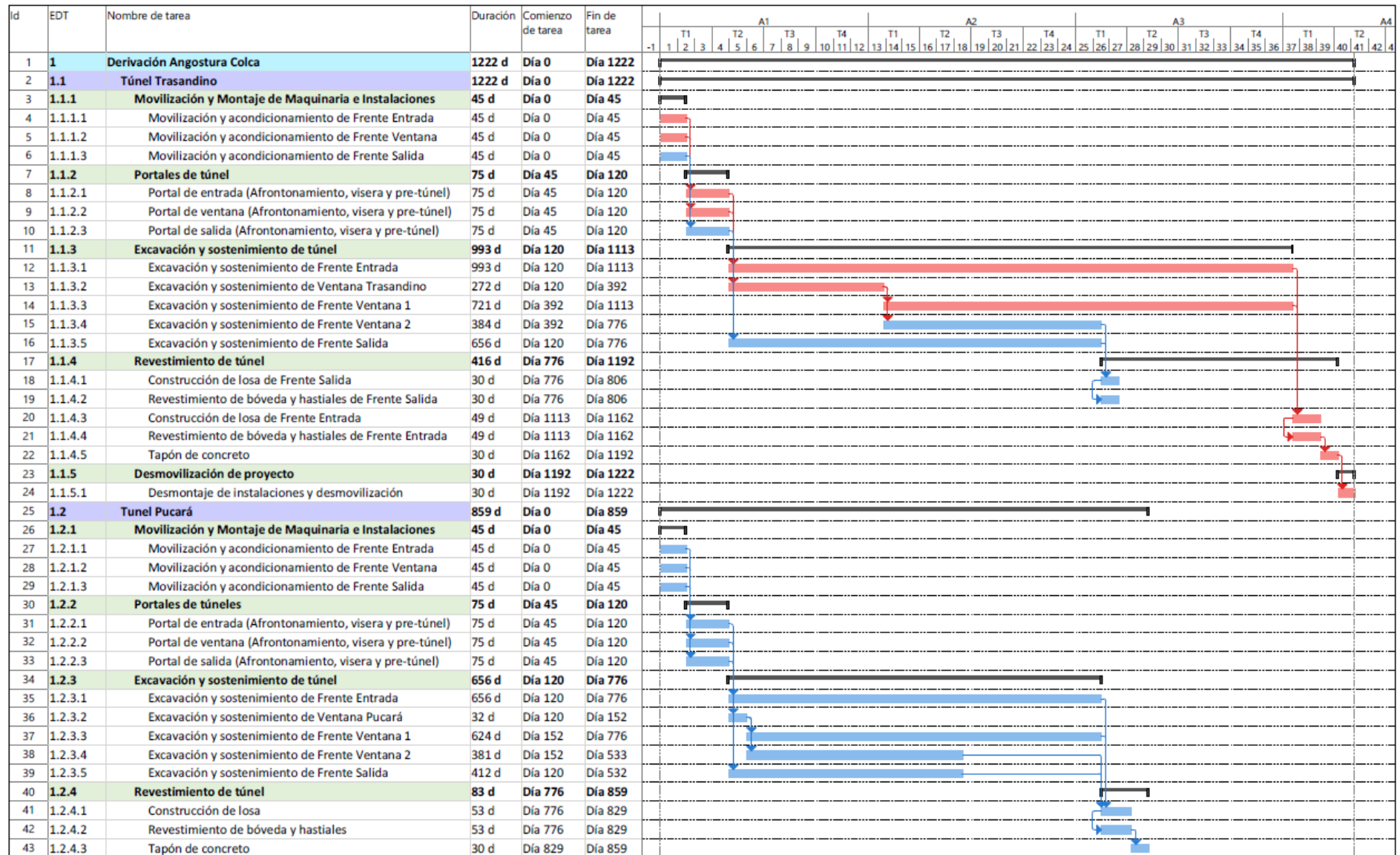


Figura 5.10: Cronograma de método convencional (Fuente: Elaboración Propia)

5.2.2. Planeamiento del Costo por metodología convencional

Para la estimación del costo directo mediante el método convencional de construcción, primero fue necesario definir los costos unitarios a utilizar. Para esta comparación se realizó una estimación análoga para dichos costos, es decir se tomó los precios unitarios de un proyecto anterior muy similar al actual, en este caso dicho proyecto fue el túnel de desvío de la presa Angostura, que al pertenecer al mismo proyecto Majes, permitió contar con precios unitarios más acordes a las condiciones de construcción.

Luego de definir los precios unitarios de los principales, se desagregó las actividades del proceso constructivo según recursos como mano de obra, equipos y materiales calculándose las cantidades necesarias para realizar el proyecto. La lista de dichos recursos y su respectivo precio unitario se muestran en el Anexo D. El resumen de este presupuesto se presenta en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Resumen de presupuesto de método convencional con fecha diciembre 2015

(Fuente: Elaboración Propia)

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio (USD)
DEPENDIENTES DEL TIEMPO				26,137,083
Cuadrilla de mano de obra subterránea	HH	112,884	232	26,137,083
INDEPENDIENTES DEL TIEMPO				58,025,067
Explosivos (Inc. accesorios)	Kg	837,739	5	4,362,455
Shotcrete (Inc. transporte)	m ³	28,799	986	28,405,606
Pernos Helicoidales (Inc. accesorios y resinas)	und	86,451	58	5,048,047
Marcos metálicos (Inc. accesorios)	Kg	1,213,146	6	7,630,686
Paraguas de micropilotes	m	33,029	216	7,142,162
Aceros de perforación	Glb	1	1,267,745	1,267,745
Concreto de solera (Inc. colocación)	m ³	12,049	218	2,628,610
Combustible de equipos	gal	411,700	4	1,539,757
MAQUINARIA E INSTALACIONES				35,553,748
Jumbo Boomer 282	HM	24,233	201	4,861,027
Scoop 6.0 yd3	HM	19,248	112	2,152,401
Retroexcavadora 101HP	HM	4,982	23	116,631
Scaler	HM	4,485	151	675,454
Telehandler	HM	37,346	32	1,186,095
Lanzador de concreto	HM	23,813	161	3,826,674
Camión volquete 15m ³	HM	29,979	31	917,411
Instalaciones Auxiliares	m	16,694	1,307	21,818,055
FIJOS				16,898,041
Implantación y retirada	Glb	1	2,254,991	2,254,991
Obras en portales	Und	6	2,163,933	12,983,599
Tapón de concreto armado	m ³	245	1,400	343,000
Auscultación	Glb	1	528,151	528,151
Comunicaciones	Glb	1	788,301	788,301
COSTO DIRECTO TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO (USD)				136,613,940

Como resultado el presupuesto o línea base de costo, que corresponde solo a costo directo, para el método convencional asciende a un total de 136,6 millones de dólares.

5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO

Se presentan los siguientes criterios de comparación considerados para los dos métodos en estudio que son el de tuneladora tipo escudo simple y el método convencional, aplicados a la construcción de los túneles Pucará y Trasandino del proyecto Majes Siguas.

5.3.1. Análisis comparativo del proceso constructivo

Los métodos constructivos estudiados tienen particularidades que pueden traer diversos beneficios para el desarrollo del proyecto. En la Tabla 5.14 se presentan las características aplicables al presente proyecto, según el método constructivo.

Tabla 5.14 Criterios de comparación del proceso constructivo (Fuente: Elaboración Propia)

Descripción	Método con TBM Tipo Escudo Simple	Método Convencional
Fabricación de concreto para túnel	Se requiere una planta de fabricación de dovelas y una planta de fabricación de bicomponente.	Se requiere una planta de concreto para producir shotcrete y concreto para losa.
Materiales	Principalmente las dovelas y mortero. También se requiere los consumibles de la TBM y vías férreas.	Se requiere explosivos, aceros de perforación, repuestos de equipos de perforación, y los materiales correspondientes a cada tipo de sostenimiento (pernos, shotcrete, marcos metálicos y paraguas).
Revestimiento	Formado por las dovelas de 40 MPa de resistencia. Realizan la doble función de sostenimiento y revestimiento.	Conformado por losa de concreto y shotcrete. Se realiza finalizando el sostenimiento principal.
Personal requerido	Por ser tecnología nueva el personal es más especializado. La cantidad de personal es baja debido a solo utilizar un frente de trabajo.	Personal especializado, pero con mayor disponibilidad en el país. La cantidad de personal es alta debido a la cantidad de frentes de trabajo.
Gases nocivos generados dentro del túnel	La TBM no genera al ser un equipo eléctrico-hidráulico. Las locomotoras de personal generan gas, pero es mínimo	Generado por el proceso de voladura, además de los emitidos por equipos diesel como jumbo, excavadora, volquetes, entre otros.
Seguridad de obra	El personal de la TBM siempre está resguardado por el escudo del equipo.	El personal está expuesto durante la colocación de sostenimiento luego de la excavación.
Ventanas de comunicación	No requiere ventanas ya que solo se trabaja en un frente.	Requiere la construcción de dos ventanas para habilitar 4 frentes adicionales, de lo contrario el plazo se incrementaría.
Ciclo de excavación	Es un proceso con poca variabilidad. Esto favorece a incrementar los rendimientos.	Los procesos constructivos son muy variables ya que depende del tipo de material a excavar.

5.3.2. Análisis comparativo del plazo de los túneles

Durante el análisis de planeamiento de tiempo de ambos métodos, se estimó el rendimiento de excavación y sostenimiento de cada método, teniendo en cuenta la tramificación de los túneles, ya que este factor es muy influyente en la ponderación de los rendimientos. En base a esto se presenta el resumen de rendimientos para cada método en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Cuadro comparativo de plazo de cada método constructivo
 (Fuente: Elaboración Propia)

Método de Construcción	Rendimiento (m/día)	Longitud de ruta crítica (m)	Duración de excavación (días)	Duración de excavación (meses)	Otras actividades (meses)	Plazo (meses)
Método con TBM Tipo Escudo Simple	22.1	15,764	713	23.8	19.6	43.4
Método Convencional	3.4	3,418	993	33.1	7.6	40.7
Diferencia	18.7	12,346	-280	-9.3	12.0	2.7

A pesar de que el rendimiento del método convencional es mucho menor, se debe tomar en cuenta que en el caso del método por TBM existe un solo frente y ambos túneles se construyen en serie, por ello la TBM debe recorrer 15.8 km de excavación. En cambio, en el método convencional, gracias a los 8 frentes de trabajo en el frente de la ruta crítica solo se debe recorrer 3.4 km.

Como se observa la duración de excavación por el método con TBM es 9.3 meses menor a la del método convencional, sin embargo, la diferencia importante se da en las otras actividades donde el plazo del método con TBM resulta mayor por 12 meses. Finalmente, respecto a los plazos totales el método con TBM resulta mayor por 2.7 meses.

Dentro de los 19.6 meses de otras actividades del método con TBM, se encuentra la fabricación y movilización de la TBM que tiene una duración de 13 meses. Se debe tomar en cuenta que el proyecto Majes Sigüas II está compuesto por varias obras. Algunas de estas son los caminos de acceso a los frentes de trabajo, los cuales tienen una duración de 210 días según el expediente técnico del proyecto.

La necesidad de construir obras complementarias del proyecto genera que el tiempo de espera de la fabricación de la TBM se aprovechado en dichas obras.

5.3.3. Análisis comparativo del costo de los túneles

Para la estimación de los presupuestos se utilizó los análisis precios unitarios del Proyecto Majes Siguas. En el caso del método con TBM las cantidades y precios son las del expediente técnico del túnel Pucará-Trasandino, mientras que para el método convencional se utilizó los precios del túnel de desvío de la presa Angostura pero con las cantidades de recursos correspondientes al túnel Pucará-Trasandino. De acuerdo a los presupuestos estimados, se muestra un cuadro comparativo de los dos métodos en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Cuadro comparativo de costo de cada método constructivo
(Fuente: Elaboración Propia)

Método de Construcción	Costo Total (USD)
Método con TBM Tipo Escudo Simple	142,485,530
Método Convencional	136,613,940
Diferencia	5,871,590

Se observa que el presupuesto del método por TBM tipo escudo simple mayor en 5.9 millones de dólares respecto del método convencional.

5.3.4. Análisis de sensibilidad al tipo de material

Como se mencionó anteriormente, los proyectos de túneles cuentan con un alto grado de incertidumbre. En su trabajo de investigación, Gacitúa (2012) concluye que, independientemente del método constructivo, es la exploración y caracterización del medio la variable que produce más incertezas con un 59% de importancia relativa en comparación de otras variables como el diseño, la construcción o el contexto de obra. En base a este estudio se considera que la tramificación de un túnel es un parámetro muy sensible al cambio, es decir que

durante la construcción es probable que la calidad geomecánica del material a excavar varíe respecto a los estudios del expediente técnico.

Por esta razón, un criterio de comparación para esta investigación es el análisis de sensibilidad. Según Roque (2007) en su estudio “Análisis de sensibilidad técnica y económica aplicados a construcción”, se indica que “para un proyecto constructivo se podría definir un análisis de sensibilidad como una herramienta que permite cambiar un modelo determinístico de proyecto a un modelo estocástico, mediante la variación probabilística de las variables más importantes que intervienen en el proceso de planificación”. Para el presente trabajo la variable que se modificará para obtener distintos escenarios es la cantidad de material a excavar cuya calidad geomecánica es mala.

En el mismo estudio de Roque (2007), se aplica el estudio a un proyecto de túnel basado en datos reales, indicándose que los incrementos de recursos pueden variar entre un -5% a 25%. Para la presente investigación se creó 5 escenarios pesimistas donde se reduce un tramo de material de calidad media (ST-IV) y es cambiado a calidad mala (ST-VI). Las variaciones aplicadas al material tipo ST-IV oscilan entre -5% y -25%.

Con ayuda de los presupuestos elaborados para ambos métodos se calculó los costos directos y plazos de excavación de cada escenario desfavorable incrementando los tramos con material con ST-VI. Los resultados se muestran en las Tablas 5.17 y 5.18.

Tabla 5.17 Incremento de costo y plazo en escenario desfavorable para método con TBM tipo escudo simple (Fuente: Elaboración Propia)

Variación de ST-IV (%)	Incremento de longitud ST-VI (m)	Costo Directo (USD)			Plazo de excavación (días)		
		Total (USD)	Incremento (USD)	Variación (%)	Total (días)	Incremento (días)	Variación (%)
0%	0	142,485,530	0	0.0%	713	0	0.0%
5%	207	142,791,664	306,134	0.2%	722	8	1.2%
10%	414	143,097,797	612,267	0.4%	730	17	2.3%
15%	621	143,403,931	918,401	0.6%	738	25	3.5%
20%	828	143,710,065	1,224,535	0.9%	746	33	4.7%
25%	1,035	144,016,198	1,530,669	1.1%	755	41	5.8%

Tabla 5.18 Incremento de costo y plazo en escenario desfavorable para método convencional
(Fuente: Elaboración Propia)

Variación de ST-IV (%)	Incremento de longitud ST-VI (m)	Costo Directo (USD)			Plazo de excavación (días)		
		Total (USD)	Incremento (USD)	Variación (%)	Total (días)	Incremento (días)	Variación (%)
0%	0	136,613,940	0	0.0%	993	0	0.0%
5%	207	138,456,402	1,842,462	1.3%	1,008	15	1.5%
10%	414	140,115,976	3,502,036	2.6%	1,022	29	2.9%
15%	621	141,729,801	5,115,861	3.7%	1,037	44	4.4%
20%	828	143,656,528	7,042,588	5.2%	1,052	59	5.9%
25%	1,035	145,178,536	8,564,596	6.3%	1,066	73	7.4%

Con los datos obtenidos en el análisis de sensibilidad se pueden obtener como resultados que el costo del método convencional supera al método con TBM cuando el tramo con roca tipo ST-VI supera los 828 metros aproximadamente. Esto ocurre porque las variaciones del método convencional son más susceptibles en costo y plazo (hasta 6.3% y 7.4% respectivamente) a comparación del método con TBM donde las variaciones de costo y plazo son menores (hasta 1.1% y 5.8% respectivamente).

La comparación de los costos totales de ambos métodos se observa en la Figura 5.11 y sus variaciones en la Figura 5.12. La comparación del plazo de excavación se observa en la Figura 5.13 y sus variaciones en la Figura 5.14.

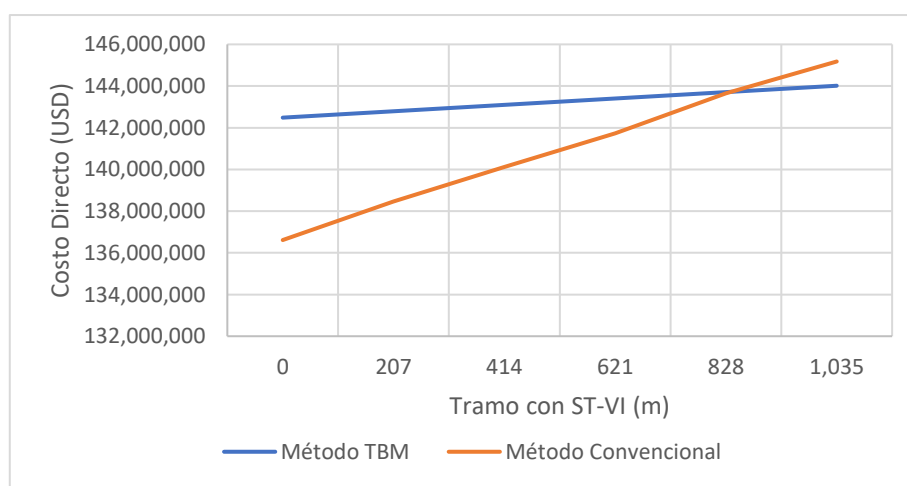


Figura 5.11: Costos directos totales según escenarios desfavorables
(Fuente: Elaboración Propia)

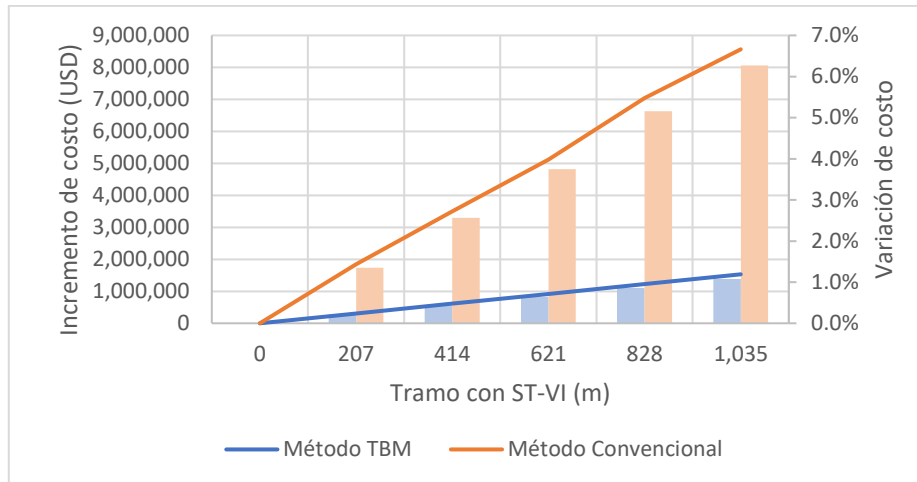


Figura 5.12: Variaciones de costo directo según escenarios desfavorables
(Fuente: Elaboración Propia)

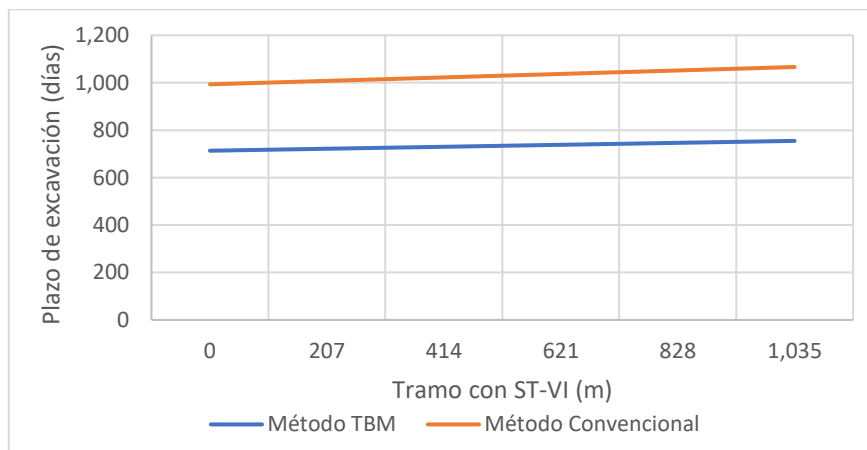


Figura 5.13: Plazos de excavación según escenarios desfavorables
(Fuente: Elaboración Propia)

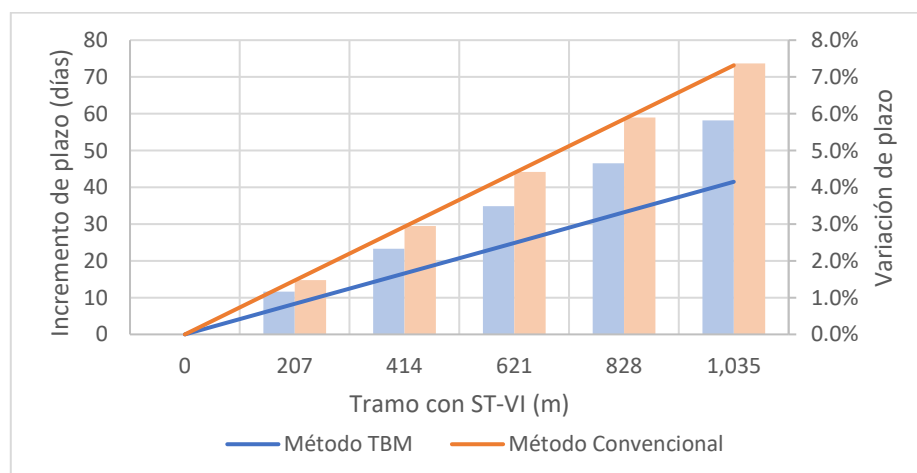


Figura 5.14: Variaciones de plazo según escenarios desfavorables
(Fuente: Elaboración Propia)

CONCLUSIONES

En esta tesis se analizó el planeamiento de tiempo y costo de los túneles hidráulicos Pucará y Trasandino del proyecto Majes Siguan II, tanto para el método por TBM tipo escudo simple como para el método convencional, lo cual permitió hacer el análisis comparativo.

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes que se han obtenido del presente trabajo:

- Realizada la estimación de plazo para los métodos en estudio, se concluyó que el plazo total de ejecución del método con TBM tipo escudo simple resultó mayor por 2.7 meses, que representa un 7% más de plazo respecto del método convencional. La actividad que resulta más desfavorable es el tiempo de espera de la fabricación de la máquina tuneladora.
- Al realizar el análisis solo del plazo de excavación, sin obras preliminares, se concluye que el método con TBM tipo escudo simple resulta más beneficioso ya que el tiempo de excavación es menor por 9.3 meses que representa un 28% menos tiempo de excavación respecto del método convencional. Es decir, el método con TBM tipo escudo simple resulta más eficiente en excavación a pesar de usarse un solo equipo a diferencia del convencional en el que se trabaja en varios frentes de ataque.
- Realizada la estimación de presupuesto para los métodos en estudio, se concluye que el costo del método con TBM tipo escudo simple resultó mayor en 5,871,590 USD lo cual representa un 4% más de costo respecto al método convencional.

- Realizado del análisis de sensibilidad, se concluye que en escenarios donde se incrementa la cantidad de roca mala el método convencional es más desfavorable ya que llega a incrementar su costo hasta en 8.6 millones de dólares (6.3%) comparado al método con TBM que aumenta hasta en 1.5 millones de USD (1.1%). Además, el método convencional es más desfavorable al incrementar su plazo hasta en 73 días (7.4%), mientras que en el método con TBM se aumenta hasta en 41 días (5.4%).
- En el capítulo IV se realizó la descripción del proceso constructivo mediante TBM tipo escudo simple, poniendo atención en los procesos más novedosos y que lo diferencian del método convencional. En base a dicha descripción se concluye que el método con TBM es más beneficioso gracias a que su ciclo de excavación es mucho menos variable a comparación del método convencional donde el ciclo de trabajo cambia al estar supeditado al tipo de terreno a excavar. Esta ventaja sobre el método convencional se evidencia en los altos rendimientos del método con TBM, los cuales llegan a ser hasta 6 veces mayor al del método convencional.
- El método con TBM tipo escudo simple presenta importantes ventajas como el menor plazo de excavación, mayor seguridad para el personal gracias al escudo del equipo, menor cantidad de recursos como personal, maquinaria y materiales; menor generación de gases tóxicos, ejecución del revestimiento al mismo tiempo que el sostenimiento y menor incremento de costo (hasta 1.1%) en caso encontrar roca de mala calidad.
- Las desventajas del método con TBM tipo escudo simple son el mayor costo (4% más que el método convencional), la demora en la fabricación, transporte y montaje de la máquina tuneladora (un total de 15 meses) y el requerimiento de personal especializado para la operación de la TBM debido a que es una tecnología nueva en nuestro medio.

- El método convencional, en su lugar, presenta ventajas como menor costo de construcción, mayor facilidad para abrir frentes adicionales mediante la excavación de túneles tipo adits, posibilidad de realizar curvas de menor radio y la posibilidad de modificar la sección de excavación según la necesidad del proyecto.
- Las desventajas del método convencional son principalmente el menor rendimiento a comparación del método con TBM tipo escudo simple. Con el fin de reducir plazos este método requiere la construcción de túneles adicionales cuyo costo y longitud estará condicionada por la topografía y geología del proyecto. Además, otras desventajas son la menor seguridad para el personal y equipos en el frente de excavación, el requerimiento de diversos materiales dependiendo del tipo de roca y el mayor incremento de costo (hasta 6.3%) en caso de encontrarse con más roca débil.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que durante la excavación de los túneles en proyectos similares se realicen clasificaciones geomecánicas preliminares por tramos en el sistema Q o RMR del material excavado y poder compararlo con el expediente técnico, de esta manera se podrá verificar la confiabilidad de los estudios realizados en el anteproyecto y lo más importante se podrá verificar la confiabilidad de los rendimientos asumidos.
- Se recomienda utilizar el tiempo de espera de la fabricación de la TBM para desarrollar actividades contributivas en caso existan proyectos en paralelo. Por ejemplo, para este proyecto existió un periodo de 6 meses en que se debía esperar la fabricación de la TBM, sin embargo, al ser este un proyecto grande, ese tiempo se usó para realizar obras provisionales como campamentos y accesos de construcción.
- Se debe procurar que una vez la máquina tuneladora llegue a obra, todas las facilidades para su montaje y operación estén terminadas o muy avanzadas para finalizarlas cuando se requieran. La planificación de trabajos provisionales de la TBM debe hacerse dentro del tiempo de fabricación y movilización de la TBM y otros equipos auxiliares.
- Se recomienda subcontratar la fabricación de dovelas a un contratista especialista en fabricación de concreto. Esto se debe a que estos pueden obtener mejores rendimientos para la producción de dovelas. Este es un proceso que no debe retrasarse sino paralizaría los trabajos de excavación de la TBM. El riesgo del retraso por producción de dovelas se trasladaría a un tercero el cual deberá ser supervisado continuamente para cumplir los plazos requeridos.

- El método de construcción por máquinas tuneladoras escudadas es nuevo en nuestro país, sin embargo, será muy requerido en un futuro cercano debido a la construcción de líneas de metro subterráneas en la ciudad de Lima así como otros posibles proyectos de túneles que atraviesen las cordilleras del país. Por esta razón se recomienda realizar nuevos estudios de rendimientos y costos para estos proyectos, con el objetivo de cada vez mejorar los plazos y reducir el costo de estos proyectos.
- Al ser el método por TBM un proceso constructivo más automatizado, es muy importante que todos los materiales estén a tiempo en el momento requerido como es el caso de las dovelas, los insumos para el bicomponente, los materiales como vías férreas o tuberías para la extensión las instalaciones interiores del túnel, el combustible de los grupos electrógenos, los consumibles de la TBM, así como sus repuestos; de esta manera se obtendrá mejores rendimientos para la TBM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFTES (Association Francaise des Tunnels et de L'Espce Souterrain), "AFTES Recomendations for the design, sizing and construction of precast concrete segments installed at the rear of a tunnel boring machine (TBM)", Francia, 1997
2. Apolinario Vega, Juan M., "Planeamiento, proceso constructivo y control de obra. Mantenimiento periódico de la Panamericana Sur: tramo Puente Santa Rosa - Puente Montalvo", Lima, Perú, 2009
3. Barton, N., Lien, R., y Lunde, J., "Engineering Classification of Rock Masses for the design of tunnel support", Rack Meehanies, 6, 189-236, 1974.
4. Barton, N., "TBM tunneling in jointed and faulted rock". A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, 2000.
5. Basf.com (Inyección de mortero en trasdós de dovelas)
6. Bieniawski Z. T., "Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering", Nueva York, EEUU, 1989
7. Bieniawski Z. T., Celada B., Galera J., Alvarez M., "Rock Mass Excavability (RME) indicator: New way to selecting the optimum tunnel construction method", Madrid, España, 2006.
8. Bieniawski Z. T., Celada B., Galera J. M., Tardaguila I., "New Applications Of The Excavability Index For Selection Of TBM Types And Predicting Their Performance", Agra, India, 2008
9. Bogeconsultores.com (Estructura de desglose de trabajo)
10. Concesionaria Angostura Sigvas, "Expediente Técnico Final del Proyecto Majes-Sigvas Etapa II", Arequipa, Perú, 2017
11. EFNARC (European Federation of National Associations Representing producer and applicators of specialist building products for Concrete), "Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock", Farnham, Inglaterra, 2005.
12. Gacitúa Carafí, José M., "Análisis cualitativo y jerárquico de incertezas en la construcción de túneles", Santiago, Chile, 2012
13. Geologiaweb.com (Clasificación de roca según indicador RMR)

14. Giraldo Paredez, Emiliano Giraldo, "Las máquinas tuneladoras Tipo TBM como alternativa al sistema de Perforación y Voladura para la excavación de túneles Caso: Desarrollo de túneles en Yuncan", Lima, Perú, 2010
15. González de Vallejo, Luis I., "Ingeniería Geológica", Madrid, España, 2002.
16. Gutiérrez Ramírez, Antonio David, "Análisis comparativo del proceso constructivo de losas aligeradas utilizando viguetas prefabricadas Firth, viguetas armadas Todocemento y viguetas vaciadas en obra", Lima, Perú, 2009
17. Herrenknecht.com (Tipos de tuneladoras)
18. Investigaciondeoperaciones.net (Distribución PERT)
19. López Jimeno, Carlos, "Manual de Túneles y obras subterráneas", Madrid, España, 2003
20. Melis Maynar, Manuel, "Las tuneladoras de 3 carriles de la M-30", Revista de Obras Públicas, N°3454, Madrid, España, 2005
21. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, "Manual de Carreteras: Manual de Túneles, Muros y Obras Complementarias", Lima, Perú, 2016
22. Oberlender, Garold D., "Project Management for Engineering and Construction", Editorial Me Graw Hill, EEUU, 1993
23. Oteo Mazo, C. (1998): "El Nuevo Método Austríaco y su Filosofía Real". En López Jimeno, C. (Ed.): "Ingeotúneles.Vol.1"
24. Pino Mendoza, Mario I., "Estimación, cálculo y análisis de ratios de costos directos de excavaciones de túneles por el método de perforación y voladura", Lima, Perú, 2015
25. PMI (Project Management Institute), "La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)", Sexta Edición, EEUU, 2017
26. Proyecteus.com (Diagrama de Gantt)
27. Regionarequipa.gob.pe (Majes Siguas Etapa I)
28. Riscmiami.com (Afrontamiento de túnel)
29. Romana Ruiz, Manuel, "Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles", Revista de Obras Públicas, N°3408, Madrid, España, 2001
30. Roque Siles, César, "Análisis de sensibilidad técnica y económica aplicados a construcción", Costa Rica, 2007
31. Sáenz de Santa María Gatón, Ignacio, "Estimación de coste y plazo de ejecución en proyectos de túneles mecanizados", España, 2007

32. Sapigni M., Berti M., Bethaz E., Busillo A., Cardone G., "TBM performance estimation using rock mass classifications", Italia, 2002.
33. Schoema.de (Locomotora eléctrica)
34. SRK Consulting Engineers and Scientists, "Construcción de Túneles con Tuneladoras TBM Experiencias, Desafíos y Oportunidades en Chile", Santiago, Chile, 2010
35. Wagner.com.au (Fabricación de dovelas)

ANEXOS

A. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LOS TÚNELES PUCARÁ Y TRASANDINO

- A.1. Planta y Perfil General
- A.2. Planta Geológico-Geotécnica
- A.3. Perfil Geológico
- A.4. Sondajes diamantinos para túneles
- A.5. Valores de RQD por sondeo y tramos de túneles
- A.6. Distribución de RMR por sondeo y tramos de túneles
- A.7. Datos de fallas geológicas previstas

B. PRESUPUESTO DE TÚNELES PUCARÁ Y TRASANDINO MEDIANTE METODO CON TBM TIPO ESCUDO SIMPLE

- B.1. Presupuesto Túnel Pucará y Trasandino
- B.2. Análisis de Precios Unitarios

C. CÁLCULO DE RENDIMIENTOS MEDIANTE METODOS CONVENCIONALES SECCION 4.50 x 4.85

- C.1. Datos Generales de sección normal de túnel
- C.2. Maquinaria para la ejecución de los túneles
- C.3. Medidas de excavación de sección normal de túnel
- C.4. Datos de sostenimiento
- C.5. Cálculo de ciclo de excavación de sección normal de túnel

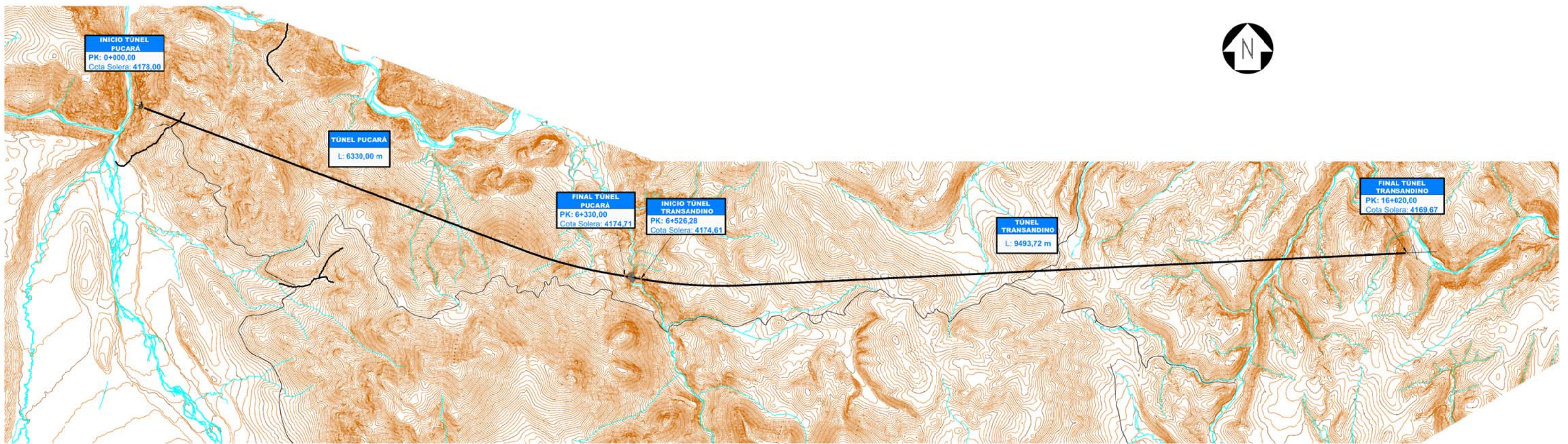
D. CALCULO DE RENDIMIENTOS DE SECCION ENSANCHADA 6.50 x 4.85

- D.1. Datos Generales de sección de ensanche de túnel
- D.2. Medidas de excavación de sección de ensanche de túnel
- D.3. Cálculo de ciclo de excavación de sección de ensanche de túnel
- D.4. Rendimiento ponderado para sección de ensanche de adit de túnel Pucará
- D.5. Rendimiento ponderado para sección de ensanche de adit de túnel Trasandino
- D.6. Cálculo de rendimiento final de túnel Pucará
- D.7. Cálculo de rendimiento final de túnel Trasandino

E. PRESUPUESTO DE TÚNELES PUCARÁ Y TRASANDINO MEDIANTE METODO CONVENCIONAL

- E.1. Cálculo de Mano de Obra Subterránea
- E.2. Cálculo de costo de equipos
- E.3. Análisis de Precios Unitarios de principales recursos
- E.4. Cálculo de costo de instalaciones
- E.5. Metrado de elementos de sostenimiento
- E.6. Cálculo de volumen de excavación de túneles
- E.7. Presupuesto Túnel Pucará y Trasandino

ANEXO A



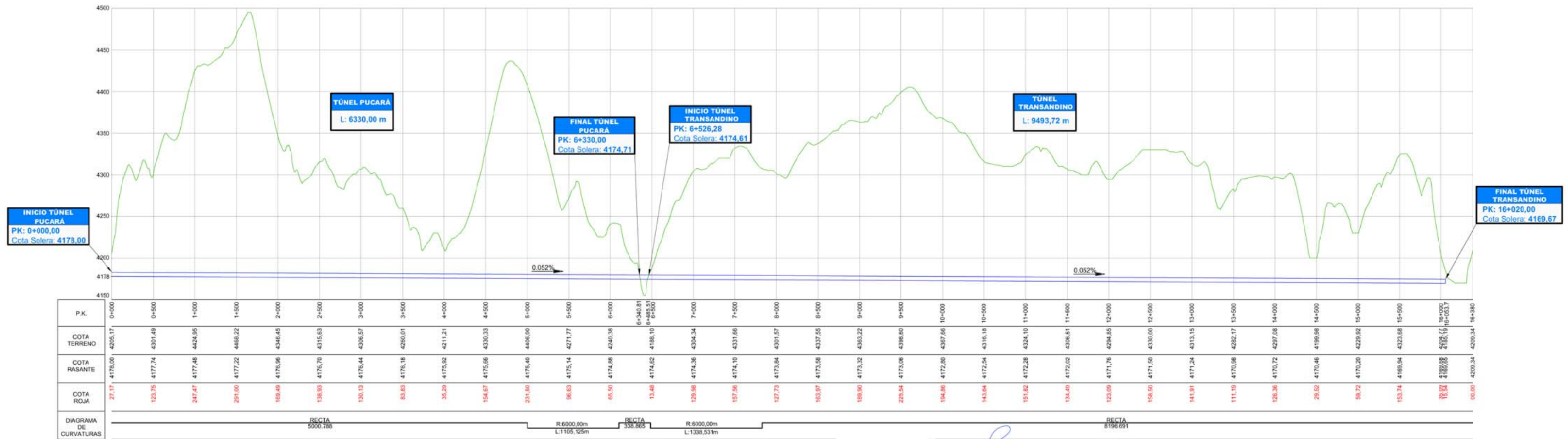
PLANTA DE TRAZADO
ESCALA 1:50.000

Definición del trazado en planta de: EJE DE TUNEL PUCARA-TRANSANDINO

P.K.	X	Y	Azmut	Longitud	Tipo	Radio	Parámetro
0+000.000	217075.536	8320668.286	122.839	5000.788	Recta		
5+000.788	221757.957	8318912.490	122.839	1105.125	Curva	-6000.000	
6+105.913	222822.518	8318621.695	111.113	378.865	Recta		
6+484.778	223195.626	8318555.896	111.113	1338.531	Curva	-6000.000	
7+823.309	224528.731	8318471.777	96.911	8196.691	Recta		
16+020.000	232715.773	8318869.394	96.911	8196.691	Recta		

Definición del trazado en alzado de: EJE TUNEL PUCARA TRANSANDINO
RASANTE DE AGUA

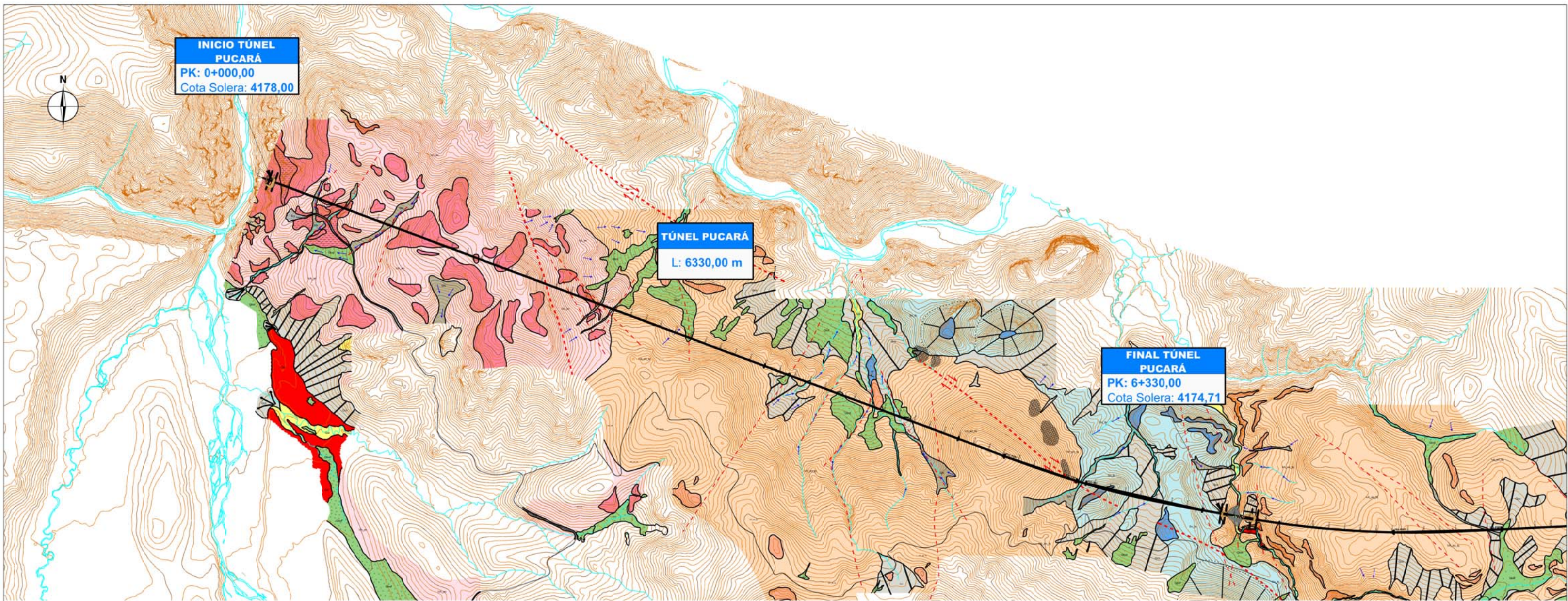
P.K.	X	Y	Cota	Longitud	Pendiente
0+000.000	217075.533	8320668.277	4178.000		
0.000	217075.533	8320668.277	0.000		
16+020	232715.773	8318869.394	4169.669	16020.000	0.00052
0.000	232715.773	8318869.394	0.000		



P.K.	0+000	0+500	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500	4+000	4+500	5+000	5+500	6+000	6+340.81	6+500	7+000	7+500	8+000	8+500	9+000	9+500	10+000	10+500	11+000	11+500	12+000	12+500	13+000	13+500	14+000	14+500	15+000	15+500	16+000	16+020				
COTA TERRENO	4205.17	4301.49	4424.95	4489.22	4346.45	4315.63	4305.57	4260.01	4211.21	4330.33	4406.00	4271.77	4240.38	4168.10	4340.81	4304.34	4337.55	4363.22	4316.19	4294.85	4306.61	4294.85	4330.00	4313.15	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08	4297.08		
COTA RASANTE	4176.00	4177.74	4177.48	4177.22	4176.96	4176.70	4176.44	4176.18	4175.92	4175.66	4175.40	4175.14	4174.88	4174.62	4174.36	4174.10	4173.84	4173.58	4173.32	4173.06	4172.80	4172.54	4172.28	4172.02	4171.76	4171.50	4171.24	4170.98	4170.72	4170.46	4170.20	4169.94	4169.68	4169.42	4169.16	4168.90	4168.64	4168.38	
COTA ROJA	271.17	122.25	247.47	291.00	168.49	138.93	138.13	83.83	35.29	154.67	231.50	98.63	66.50	13.48	126.98	157.56	127.73	163.97	169.90	225.54	194.86	143.64	151.82	134.40	123.09	168.90	141.91	111.19	126.36	29.52	59.72	153.74	178.24	178.24	178.24	178.24	178.24	178.24	178.24
DIAGRAMA DE CURVATURAS	RECTA 5000.788										R 6000.80m L:1105.125m		RECTA 338.865		R 6000.00m L:1338.531m		RECTA 8196.691																						

PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA H= 1:50.000
V= 1:5.000

PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRANSANDINO	SUPERVISIÓN: JOSE MARIA MARRIN MORALES INGENIERO EN INFRASURUTURA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Reg. CIP N° 1338 - 1	ESCALA: H= 1:50000 V= 1:5000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DISEÑO: Eduardo Pradesa GARCIA Ing. Caminos, canales y puentes N° colegiado 3.609	DESCRIPCIÓN: TÚNEL PUCARÁ Y TRANSANDINO PLANTA Y PERFIL GENERAL	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0001.01 HOJA 1 DE 1	REV. 1 DIBUO
---	---	---	--	--	--	--	---	---	-----------------



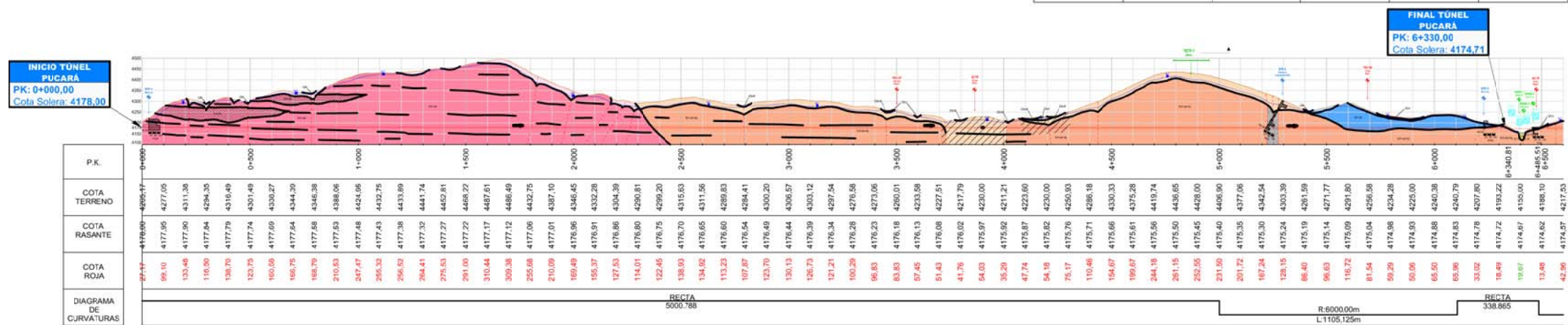
PLANTA DE TRAZADO
ESCALA 1:25.000

Definición del trazado en planta de: EJE DE TUNEL PUCARA-TRANSANDINO

P.K.	X	Y	Azimut	Longitud	Tipo	Radio	Parámetro
0+000.000	217075.536	8320668.286	122.839	5000.788	Recta		
5+000.788	221757.957	8318912.490	122.839	1105.125	Curva	-6000.000	
6+105.913	222822.518	8318621.695	111.113	378.865	Recta		
6+484.778	223195.626	8318555.896	111.113	1338.531	Curva	-6000.000	
7+823.309	224528.731	8318471.777	96.911	8196.691	Recta		
16+020.000	232715.773	8318869.394	96.911	8196.691	Recta		

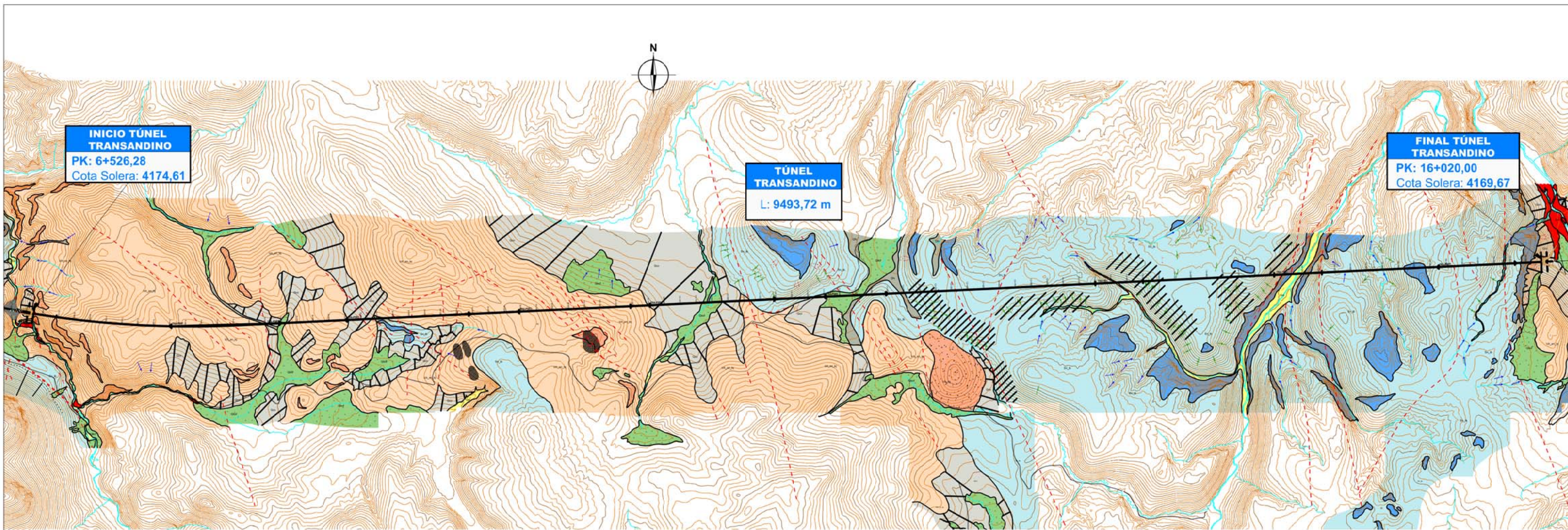
Definición del trazado en alzado de: EJE TUNEL PUCARA TRANSANDINO RASANTE DE AGUA

P.K.	X	Y	Cota	Longitud	Pendiente
0+000.000	217075.533	8320668.277	4178.000		
0.000	217075.533	8320668.277	0.000		
16+020	232715.773	8318869.394	4169.569	16020.000	0.00052
0.000	232715.773	8318869.394	0.000		



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA 1:25.000

Ingeniero Prados Gómez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegiado 3.909



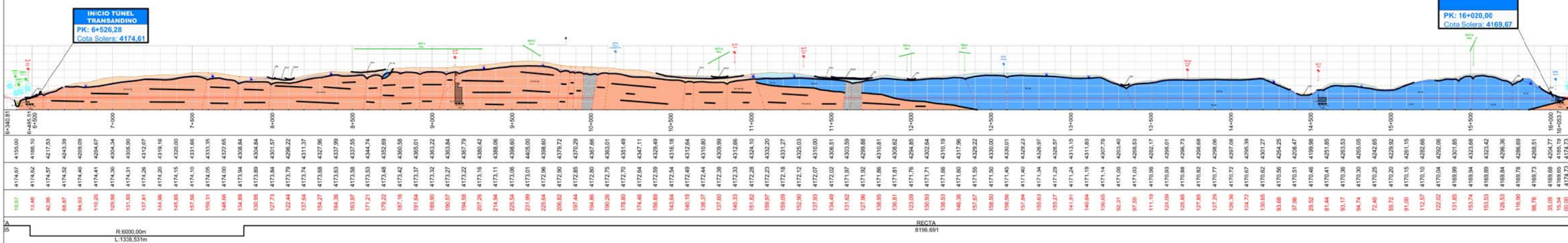
PLANTA DE TRAZADO
ESCALA 1:25.000

Definición del trazado en planta de: EJE DE TUNEL PUCARA-TRANSANDINO

P.K.	X	Y	Azimet	Longitud	Tipo	Radio	Parámetro
0+000.000	217075.536	8320668.286	122.839	5000.788	Recta		
5+000.788	221757.957	8318912.490	122.839	1105.125	Curva	-6000.000	
6+105.913	222822.518	8318621.695	111.113	378.865	Recta		
6+484.778	223195.626	8318555.896	111.113	1338.531	Curva	-6000.000	
7+823.309	224528.731	8318471.777	96.911	8196.691	Recta		
16+020.000	232715.773	8318869.394	96.911	8196.691	Recta		

Definición del trazado en alzado de: EJE TUNEL PUCARA TRANSANDINO
RASANTE DE AGUA

P.K.	X	Y	Cota	Longitud	Pendiente
0+000.000	217075.533	8320668.277	4178.000		
0.000	217075.533	8320668.277	0.000		
16+020	232715.773	8318869.394	4169.669	16020.000	0.00052
0.000	232715.773	8318869.394	0.000		



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA 1:25.000

[Signature]
INGENIERO
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1335 - Y

[Signature]
Eduardo Proenza-Cárdenas
Ing. Caminos, canales y puentes
N° colegado 3.809

PROPIETARIO: REPÚBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TUNEL PUCARÁ-TRANSANDINO	SUPERVISIÓN: 	ESCALA: 1:25000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DIBUJO: APROBACIÓN:	DESCRIPCIÓN: TUNEL TRANSANDINO PLANTA Y PERFIL GENERAL	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0015.01 HOJA 1 DE 1	REV: 1
---	---	---	--	------------------	--------------------------------------	--	--	---	-----------

LEYENDA

LITOLOGÍAS

CUATERNARIO

FORMACIONES SUPERFICIALES

- Ra Rellenos antópicos. Explanaciones y caminos
- Qal Depósitos aluviales/Barras: Clastos y gravas subredondeadas en matriz limoarenosa. Gravas limpias
- Qcd Depósitos de cono de deyección: Arenas, cantos y bolos
- Qfv Depósitos de fondo de valle: Arenas y gravas
- Qt Depósitos de terraza: Arenas, limos y gravas
- Qco Depósitos coluviales: Arenas limosas y gravas con clastos angulosas.
- Qbof Depósitos bofedales: Arenas limosas y gravas con material orgánico en superficie y filtraciones de agua.

MIOCENO - PLIOCENO

FORMACIÓN SENCÇA

FORMACIÓN ICHOCOLLO (GRUPO TACAÇA)

- Sn_tb Tobas soldadas cristalolíticas.
- Ich_an Lavas y aglomerados andesíticos.
- Ich_tb Lentejones de tobas dacíticas.
- Ich_ag Aglomerado andesítico
- Ich_an_tq Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas

SIMBOLOGÍA

- Zona Fracturada
- Zona Alterada
- Domo
- Falla de Rumbo (Regional)
- Falla identificada con geofísica y fotointerpretación
- Dirección y buzamiento de la capa
- Drenaje superficial
- Fuerte incisión de las aguas de escorrentía
- Caída de bloques
- Deslizamientos superficiales

RECONOCIMIENTOS DE CAMPAÑAS PREVIAS

- TAC- Perforaciones Diamantinas Estudios Anteriores
- S- Perforaciones Diamantinas 2013
- P- Perforaciones Diamantinas Sitio Presa
- SAND- Perforaciones Diamantinas Ventana Andamayo
- CALI- Calicatas 2013
- PSA- Perfil sísmico (campaña 2012)
- TETT- Tomografía eléctrica (campaña 2012)
- EG- Estaciones Geomecánicas 2013
- EG- Estaciones Geomecánicas 2012

RECONOCIMIENTOS DE LA CAMPAÑA 2015 / 2016

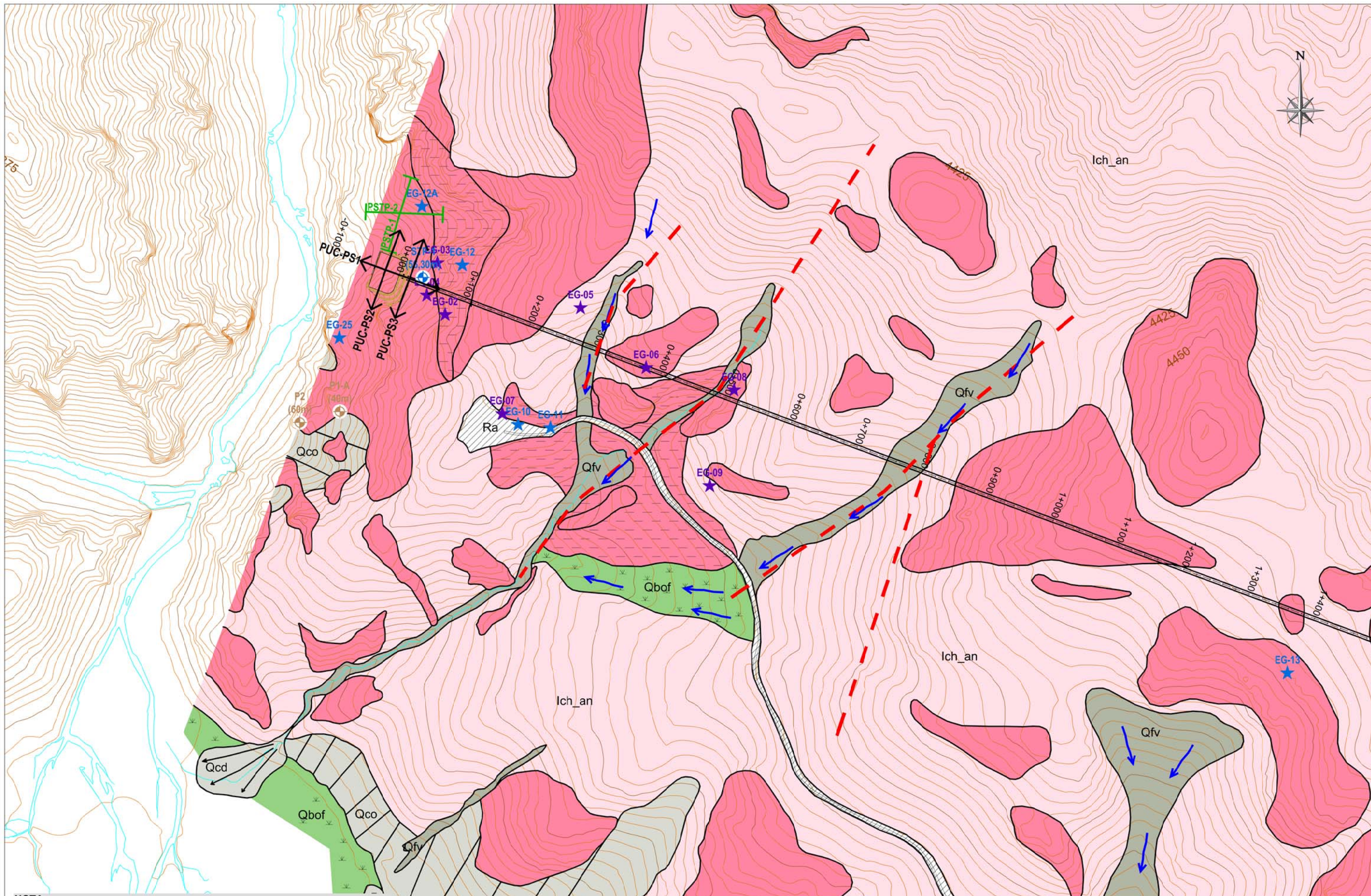
- CALI- Calicatas 2016
- PS- Perfil de sísmica de refracción
- PSR- Perfil de sísmica de reflexión
- TE- Perfil de tomografía eléctrica

DES	Túnel de Desvío
PUC	Túnel de Pucará
TRA	Túnel de Transandino

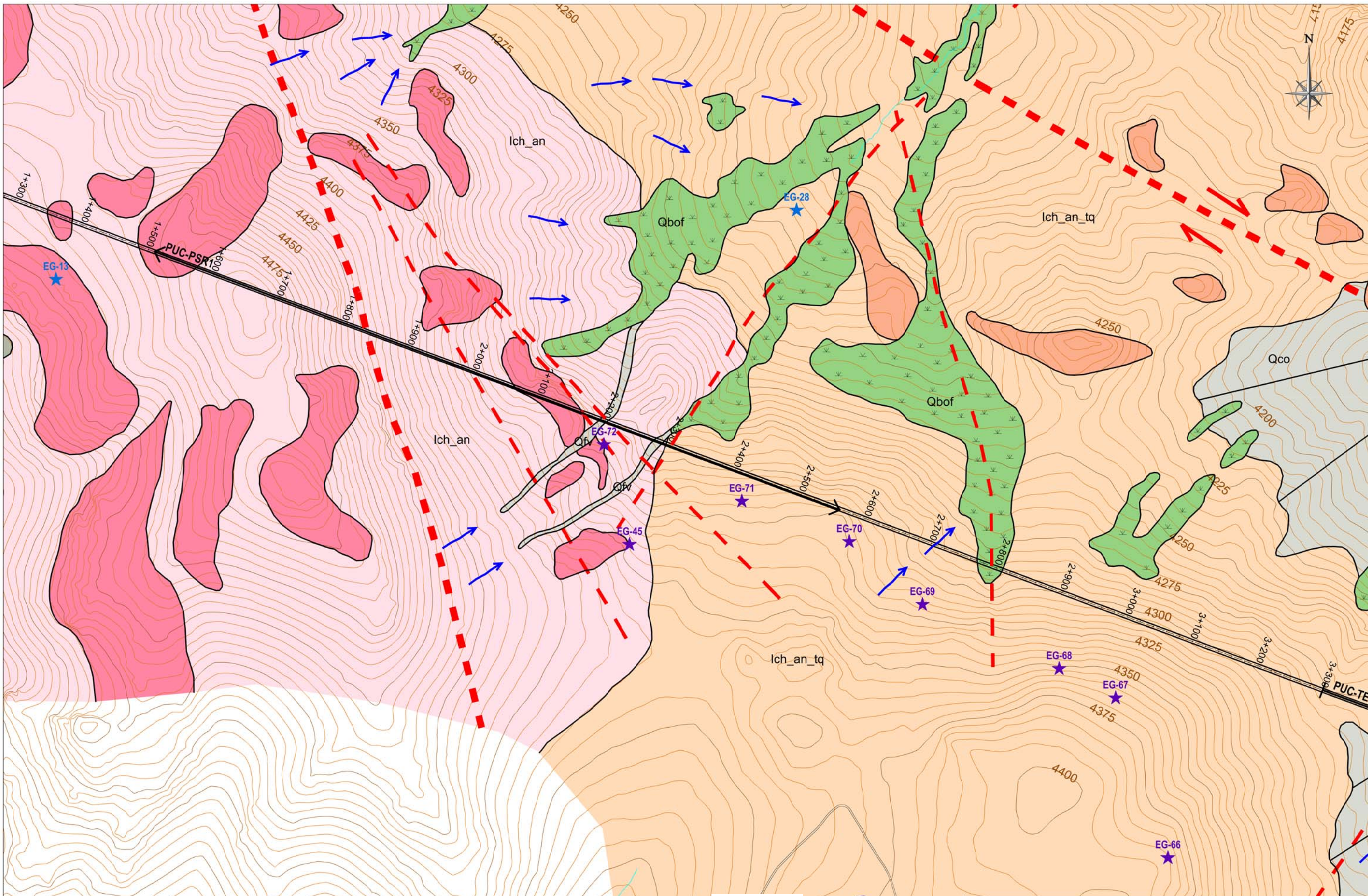
Nota: En la cartografía se han diferenciado con tonos fuertes de color los afloramientos y con tonos suaves las zonas que muestran recubrimiento de suelos

JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T

Eduardo Prada Gomez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegado 3.809



PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 		CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 		PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II		COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO		SUPERVISIÓN: Eduardo Piñera Gómez Ing. Caminos, canales y puentes N° Colegiado 3.609		ESCALA: 1:5000 FORMATO: A3		FECHA: OCTUBRE 2016 DISEÑO: JOSÉ MARÍA MARÍN MORGILLO INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Reg. CIP N° 1384 - 1		DESCRIPCIÓN: TÚNEL PUCARÁ PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA		PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0003.02 HOJA 2 DE 5		DIBU/O REV. 1	
--	--	---	--	--	--	---	--	---	--	-------------------------------------	--	--	--	---	--	--	--	------------------	--



PROPIETARIO:
 REPUBLICA DEL PERU
 Promoción GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

CONTRATISTA:
CONCESIONARIA
ANGOSTURA SIGUAS
 cobra COSAPI

PROYECTO:
 CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO
 HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS
 MAJES - SIGUAS ETAPA II

COMPONENTE DEL PROYECTO:
 FASE I - ANGOSTURA
 TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO

SUPERVISIÓN:
 JOSÉ MARÍA MARÍN MORGILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 RNE. CIP N° 1339-1

Eduardo Pradera GómeZ
 Ing. Caminos, canales y puertos
 N° colegiado 3.609

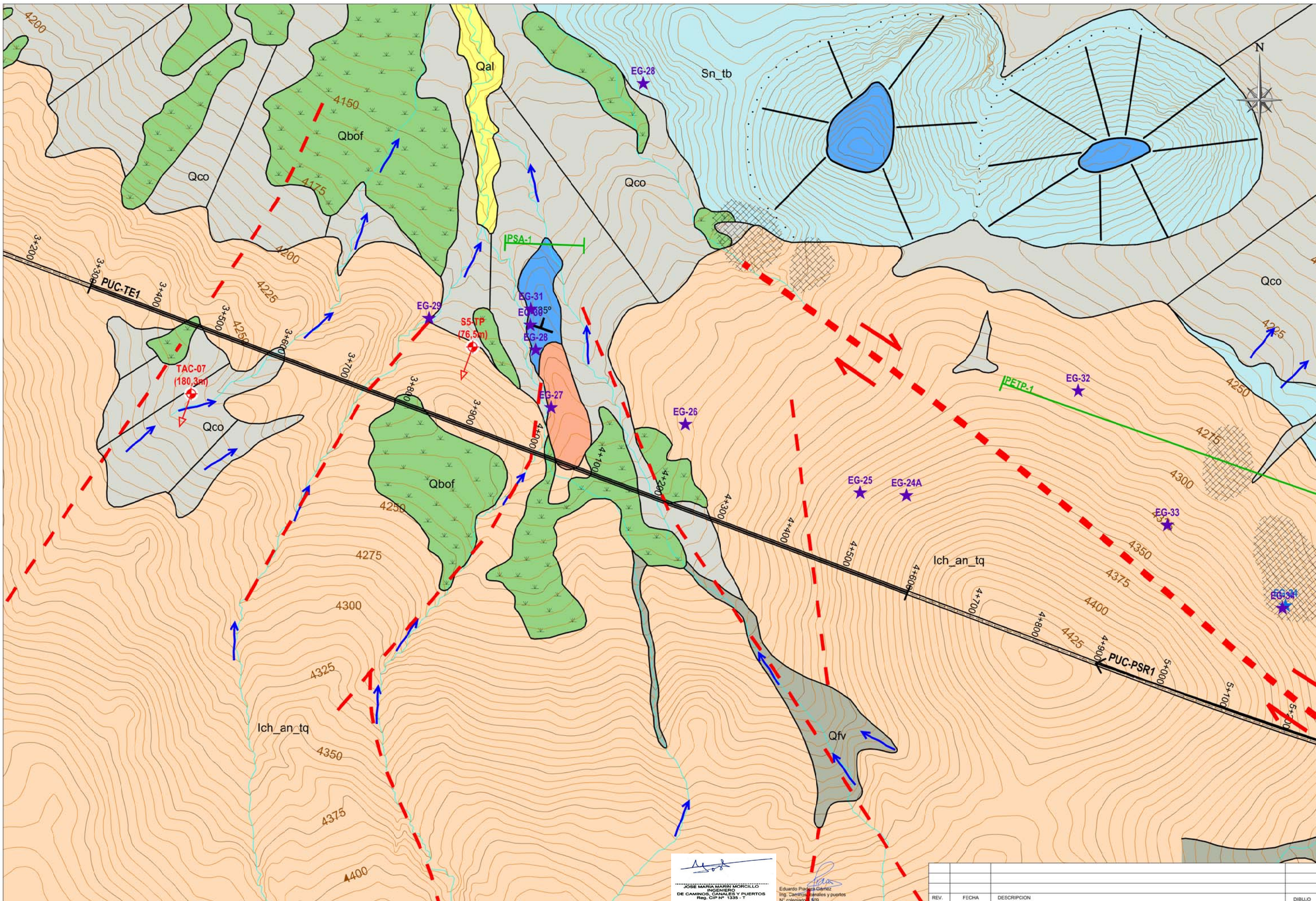
ESCALA:
 1:5000

FORMATO:
 A3

FECHA:
 OCTUBRE 2016

DIBUJO:
 APROBACIÓN:

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PLANO:	DIBUJO:
			MS2-ET1-TPT-PLA-0003.03	1
DESCRIPCIÓN: TÚNEL PUCARÁ PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA			HOJA 3 DE 5	



PROPIETARIO:
 REPUBLICA DEL PERU
 GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

CONTRATISTA:
CONCESIONARIA
ANGOSTURA SIGUAS
 cobra COSAPI

PROYECTO:
 CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO
 HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS
 MAJES - SIGUAS ETAPA II

COMPONENTE DEL PROYECTO:
 FASE I - ANGOSTURA
 TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO

SUPERVISIÓN:
 JOSÉ MARÍA MARÍN MÓRCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 REG. CIP N° 1335 - T

ESCALA:
 1:5000

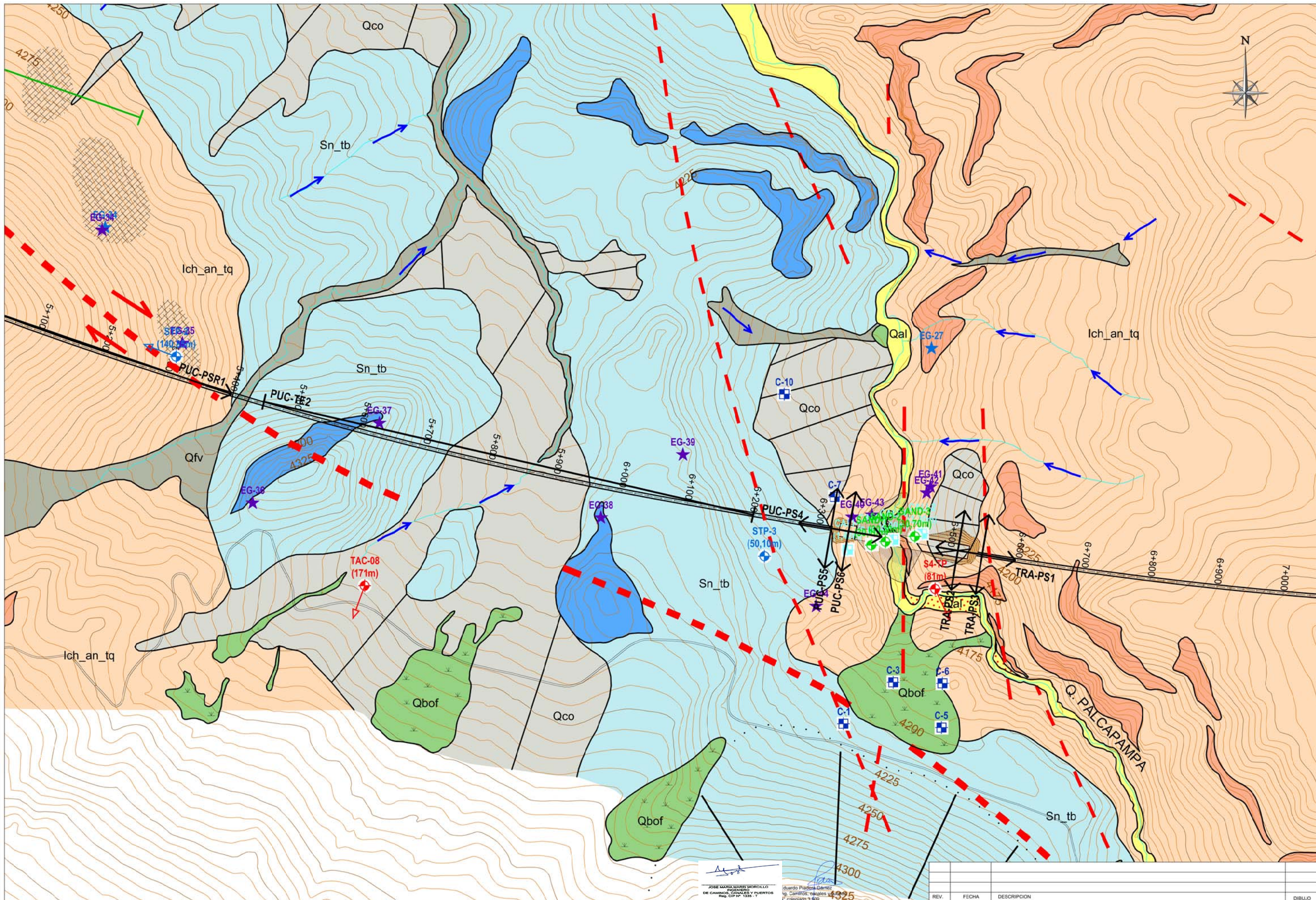
FECHA:
 OCTUBRE 2016

DISEÑO:
 APROBACIÓN:

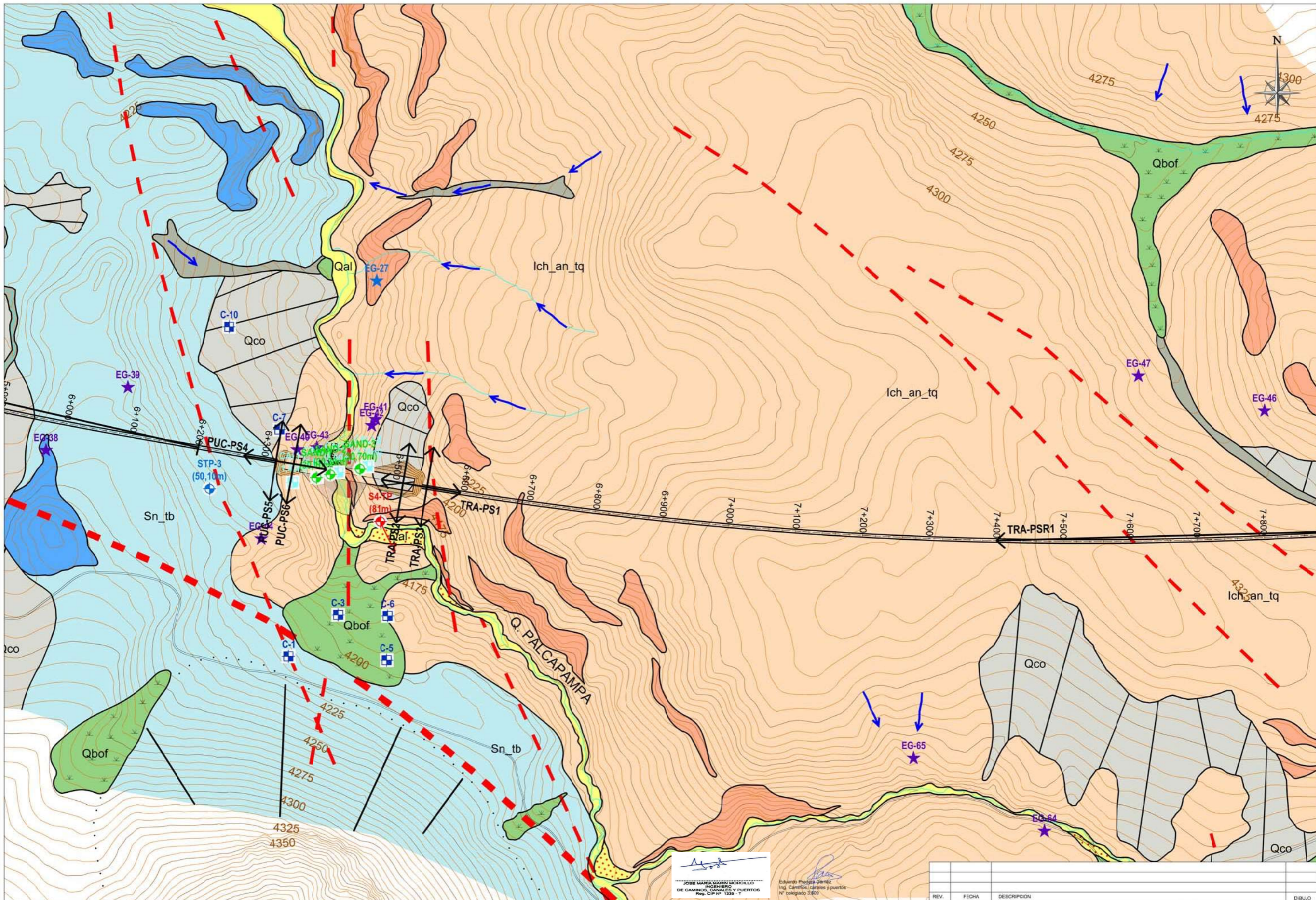
DESCRIPCIÓN:
 TÚNEL PUCARÁ
 PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA


PLANO:
 MS2-ET1-TPT-PLA-0003.04
 HOJA 4 DE 5

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUO



PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO	SUPERVISIÓN: JOSÉ MARÍA MARÍN MÓRCHILLO INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS REG. CIP Nº. 1331-7	ESCALA: 1:5000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DIBUJO: EDUARDO PIÑEIRA GEMEZ INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS REG. CIP Nº. 1331-7	DISEÑO: APROBACIÓN: EDUARDO PIÑEIRA GEMEZ INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS REG. CIP Nº. 1331-7	DESCRIPCIÓN: TÚNEL PUCARÁ PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0003.05 HOJA 5 DE 5	REV: 1
--	---	---	---	---	-------------------------------------	---	--	---	--	-----------




 Eduardo Pradja Gámez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegiado 3.407

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBU.O

PROPIETARIO:
 REPUBLICA DEL PERU


CONTRATISTA:
CONCESIONARIA
ANGOSTURA SIGUAS


PROYECTO:
 CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO
 HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS
 MAJES - SIGUAS ETAPA II

COMPONENTE DEL PROYECTO:
 FASE I - ANGOSTURA
 TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO

SUPERVISIÓN:
 JOSÉ MARÍA MARIÑO MORECILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T

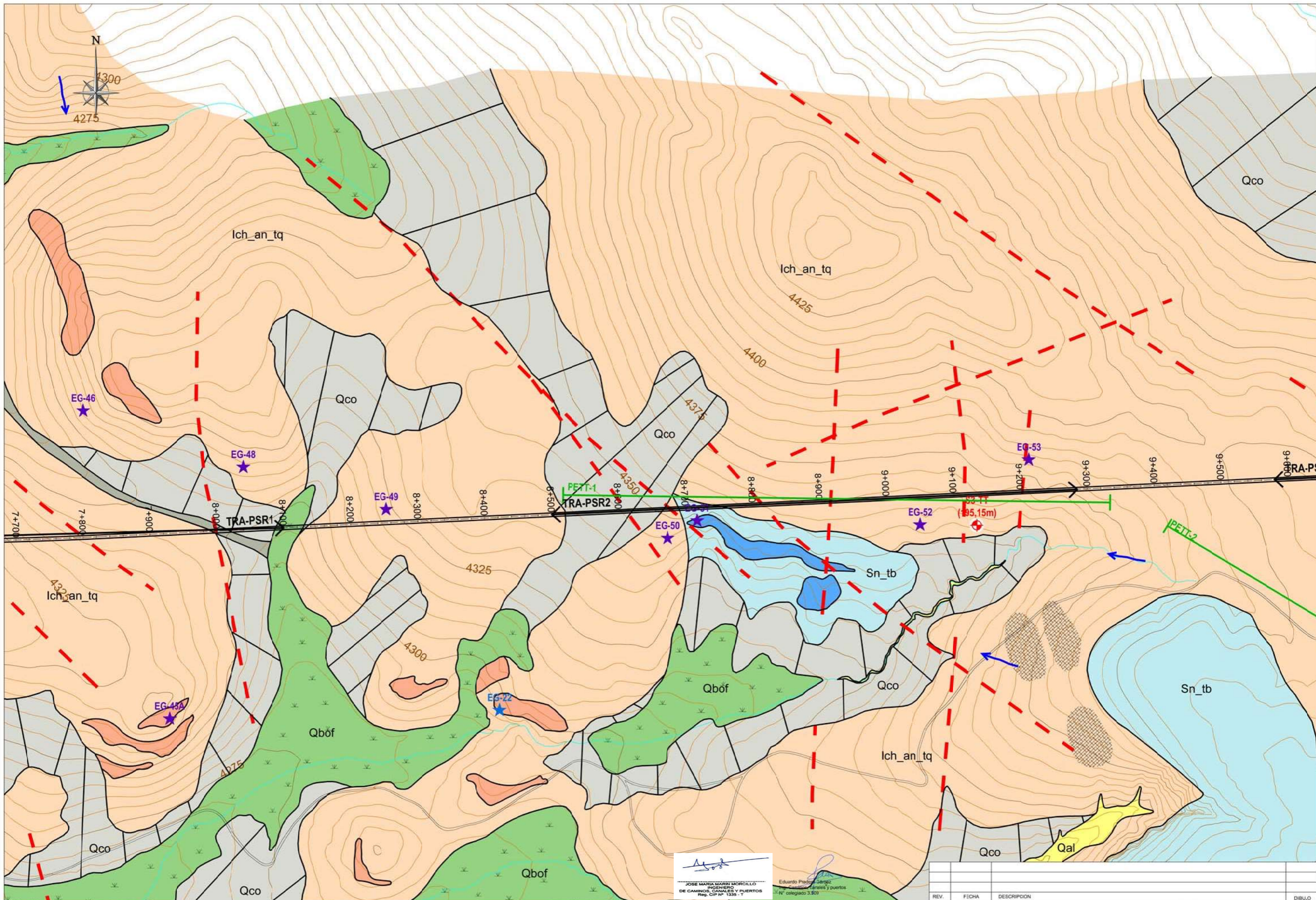
ESCALA:
 1:5000
 FORMATO:
 A3

FECHA:
 OCTUBRE 2016
 DIBUJO:
 APROBACIÓN

DISEÑO:
 APROBACIÓN




DESCRIPCIÓN:
TÚNEL TRANSANDINO
PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA

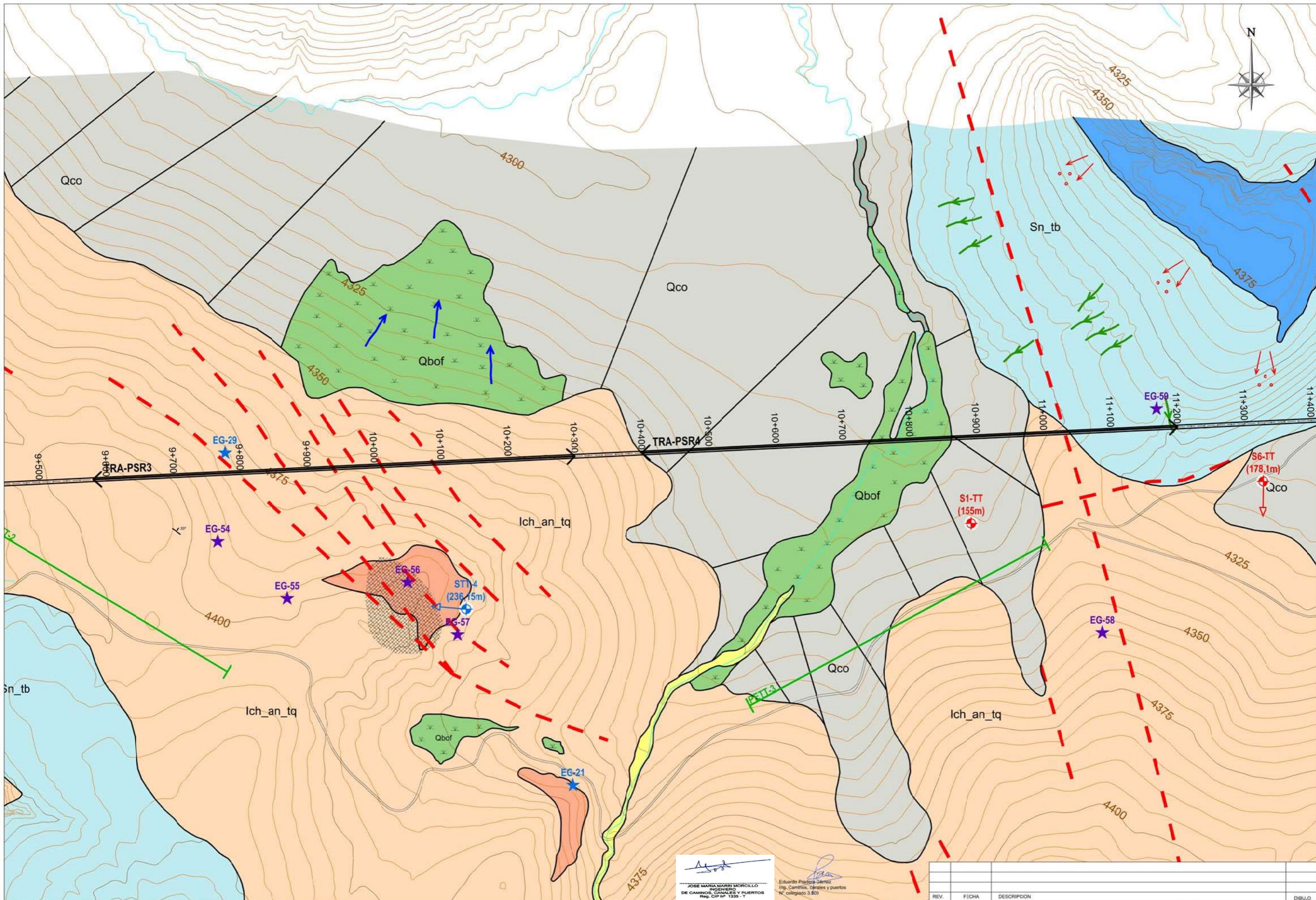
PLANO:
MS2-ET1-TPT-PLA-0016.02
 HOJA 2 DE 8





 JOSE MARIA MARMOLA
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T


 Eduardo Prado
 INGENIERO
 DE OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
 N° Colegiado 3.807

PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO	SUPERVISIÓN:  JOSE MARIA MARMOLA INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Reg. CIP N° 1335 - T	ESCALA: 1:5000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DIBUJO: APROBACIÓN:	DISEÑO: APROBACIÓN:	DESCRIPCIÓN: TÚNEL TRANSANDINO PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0016.03 HOJA 3 DE 8	DIBUJO: REV. 1
---	---	---	---	---	-------------------------------------	--	------------------------	--	--	-------------------




 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T


 Eduardo Prada Garniz
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegiado 3.809

PROPIETARIO:
 REPUBLICA DEL PERU


CONTRATISTA:
CONCESIONARIA
ANGOSTURA SIGUAS


PROYECTO:
 CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO
 HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS
 MAJES - SIGUAS ETAPA II

COMPONENTE DEL PROYECTO:
FASE I - ANGOSTURA
TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO

SUPERVISIÓN:


ESCALA:
 1:5000
 FORMATO:
 A3

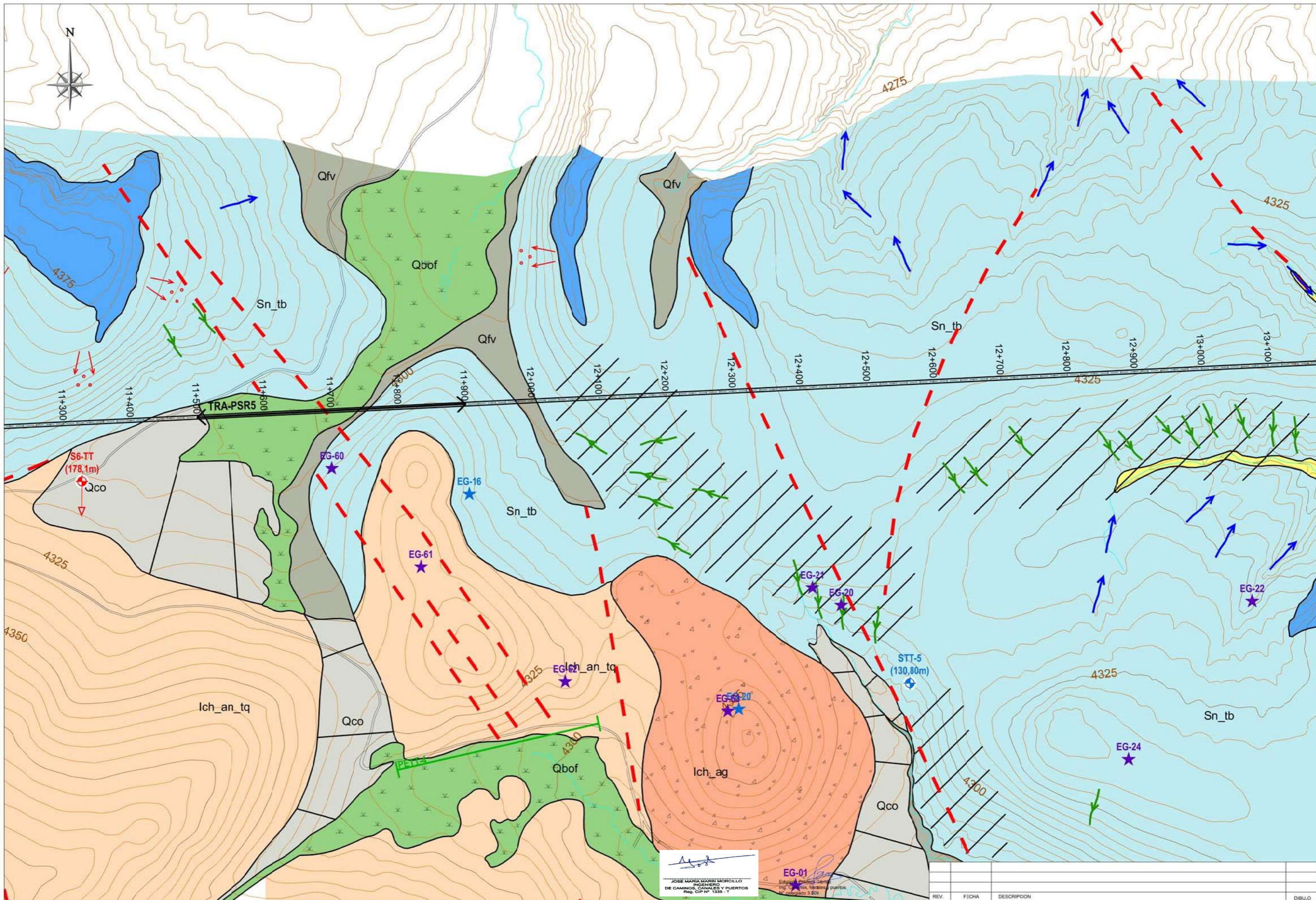
FECHA:
 OCTUBRE 2016
 DIBUJO:
 APROBACIÓN:

DISEÑO:
 APROBACIÓN:

DESCRIPCIÓN:
TÚNEL TRANSANDINO
PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA




PLANO:
MS2-ET1-TPT-PLA-0016.04
 HOJA 4 DE 8

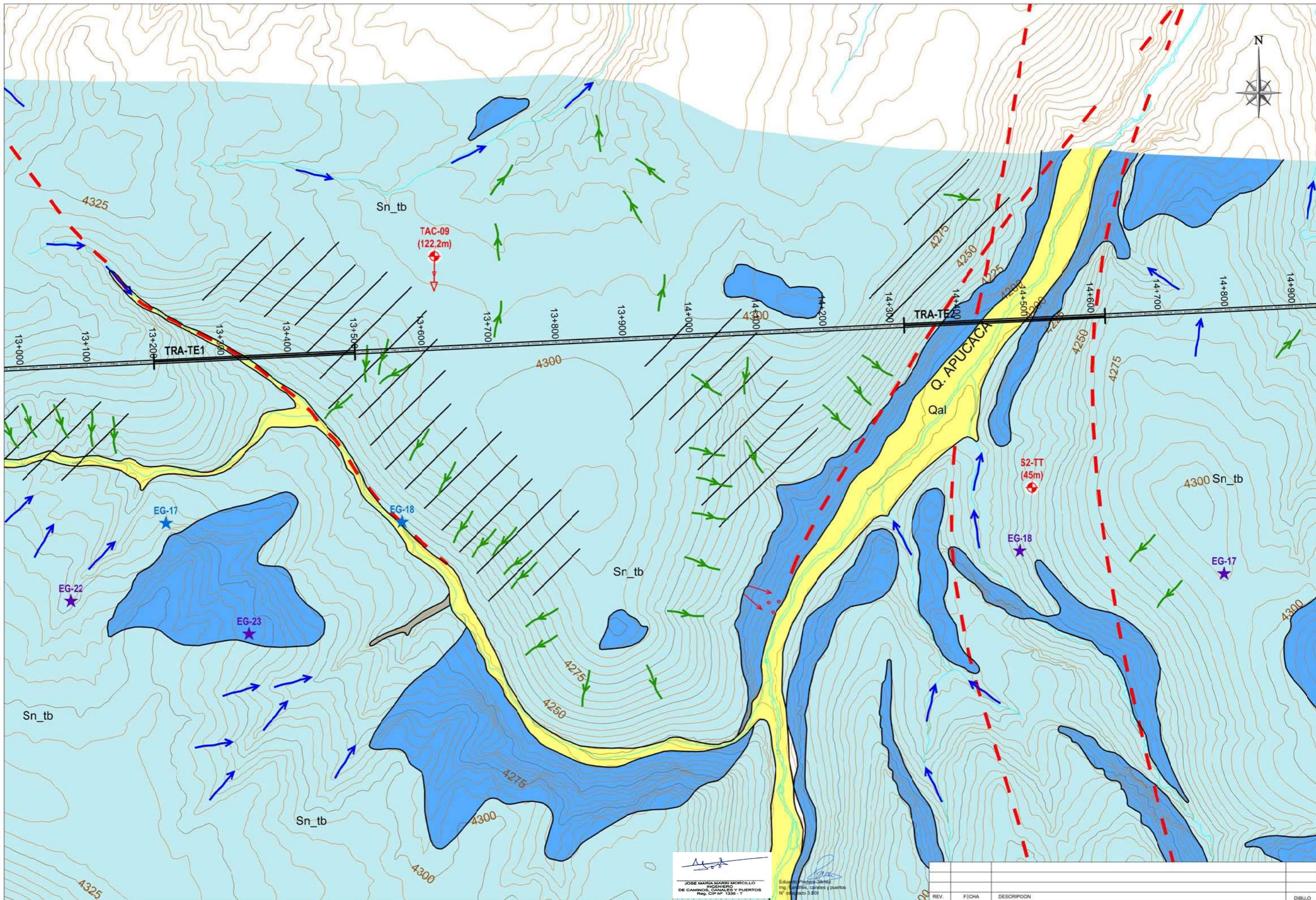
DIBUJO:
 1





 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T

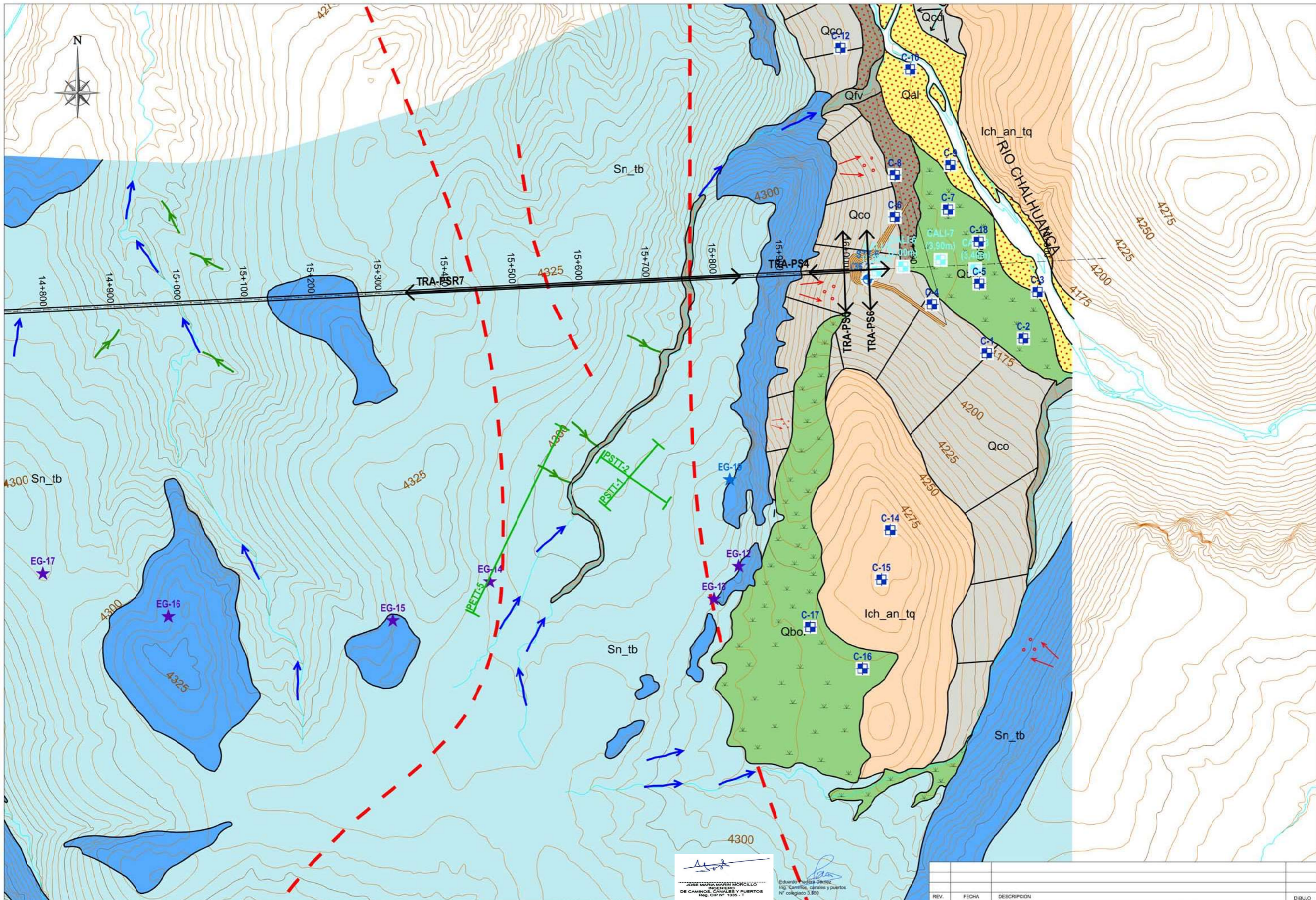
EG-01
 Inj. C. nos. cables y puertos
 (C. longitud 3.80)

PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO	SUPERVISIÓN:  JOSE MARIA MARIN MORCILLO INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Reg. CIP N° 1335 - T	ESCALA: 1:5000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DIBUJO: APROBACIÓN:	DESCRIPCIÓN: TÚNEL TRANSANDINO PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0016.05 HOJA 5 DE 8	DIBUJO: 1
---	--	---	---	--	-------------------------------------	--	--	--	--------------




 Inge. Eduardo Prágora
 INGENIERO EN INGENIERIA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO



PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU 	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS 	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO	SUPERVISIÓN: JOSÉ MANUEL MARIÑO MORALES INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Reg. CIP N° 1335 - T	ESCALA: 1:5000 FORMATO: A3	FECHA: OCTUBRE 2016 DIBUJO: APROBACIÓN:	DISEÑO: APROBACIÓN:	DESCRIPCIÓN: TÚNEL TRANSANDINO PLANTA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0016.07 HOJA 7 DE 8	DIBUJO: REV. 1
--	---	---	---	--	-------------------------------------	--	------------------------	--	--	-------------------

LEYENDA

LITOLOGÍAS

CUATERNARIO

FORMACIONES SUPERFICIALES

- Ra Rellenos antópicos. Explanaciones y caminos
- Qal Depósitos aluviales/Barras: Clastos y gravas subredondeadas en matriz limoarenosa. Gravas limpias
- Qcd Depósitos de cono de deyección: Arenas, cantos y bolos
- Qfv Depósitos de fondo de valle: Arenas y gravas
- Qt Depósitos de terraza: Arenas, limos y gravas
- Qco Depósitos coluviales: Arenas limosas y gravas con clastos angulosas.
- Qbof Depósitos bofedales: Arenas limosas y gravas con material orgánico en superficie y filtraciones de agua.

MIOCENO - PLIOCENO

FORMACIÓN ICHOCOLLO (GRUPO TACAZA)

- Sn_tb Tobas soldadas cristalolíticas.
- Ich_an Lavas y aglomerados andesíticos.
- Ich_tb Lentejones de tobas dacíticas.
- Ich_ag Aglomerado andesítico
- Ich_an_tq Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas

SIMBOLOGÍA

- Zona Fracturada
- Zona Alterada
- Contacto entre materiales
- Falla de Rumbo (Regional)
- Falla identificada con geofísica y fotointerpretación
- Nivel Freático
- Límite de capas con velocidad de ondas sísmicas
- Vp. Velocidad de las ondas sísmicas en m/s

RECONOCIMIENTOS DE CAMPAÑAS PREVIAS

- TAC- Perforaciones Diamantinas Estudios Anteriores
- S- Perforaciones Diamantinas 2013
- P- Perforaciones Diamantinas Sitio Presa
- SAND- Perforaciones Diamantinas Ventana Andamayo
- CALI- Calicatas 2013
- PSA- Perfil sísmico (campaña 2012)
- TETT- Tomografía eléctrica (campaña 2012)
- EG- Estaciones Geomecánicas 2013
- EG- Estaciones Geomecánicas 2012

RECONOCIMIENTOS DE LA CAMPAÑA 2015

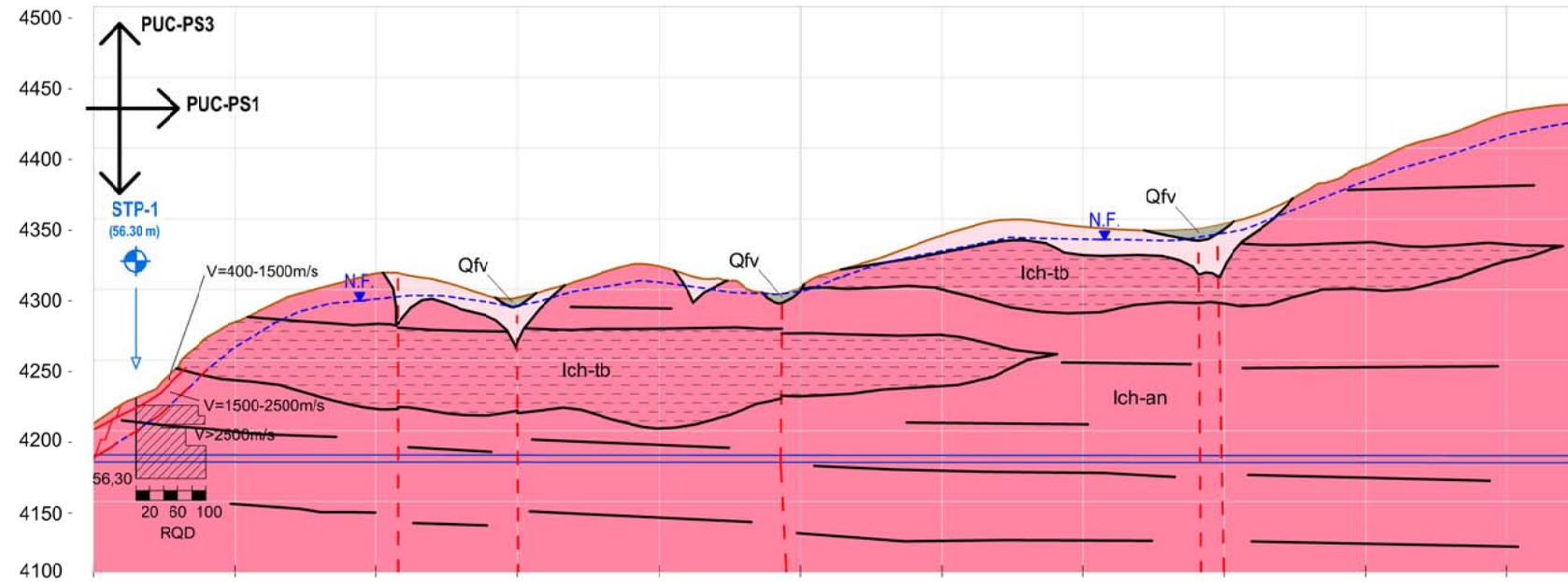
- PS- Perfil de sísmica de refracción
- PSR- Perfil de sísmica de reflexión
- TE- Perfil de tomografía eléctrica

DESV	Túnel de Desvío
PUC	Túnel de Pucará
TRA	Túnel de Transandino

Nota: En la cartografía se han diferenciado con tonos fuertes de color los afloramientos y con tonos suaves las zonas que muestran recubrimiento de suelos

Eduardo Padilla Gómez
 Ing. Camiños, canales y puentes
 N° colegiaco 3.809

JOSÉ MARÍA MARÍN MERGILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 REG. CIP N° 1338 - T

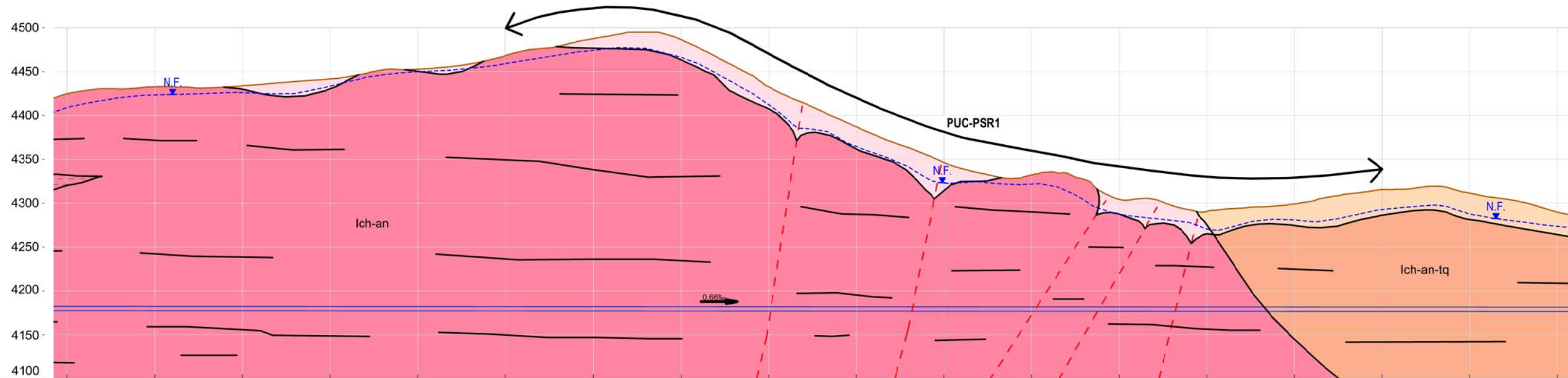


P.K.	0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+500	0+600	0+700	0+800	0+900	1+000
COTA TERRENO	4205.17	4277.05	4311.38	4294.35	4316.49	4301.49	4338.27	4344.39	4346.38	4388.06	4424.95
COTA RASANTE	4178.00	4177.95	4177.90	4177.84	4177.79	4177.74	4177.69	4177.64	4177.58	4177.53	4177.48
RECUBRIMIENTO S/Rasante	+21.17					+123.75					+247.47
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo Tacaza)										
LITOLOGÍA	Lavas y conglomerados andesíticos con lentejones de tobas dacíticas. (ZF)		Lavas y conglomerados andesíticos con lentejones de tobas dacíticas. (ZF)			Lavas y conglomerados andesíticos con lentejones de tobas dacíticas. (ZF)		Lavas y conglomerados andesíticos (ZF)		Lavas y conglomerados andesíticos	
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	210		10	70	10	180	10	280	20	1015	

Eduardo Paderra Gómez
Ing. Caminos, canales y puentes
N° colegiado 3.809

JOSE MARIA WARIN YACRILLO
INGENIERO
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
REG. CIP N° 1338 - 1

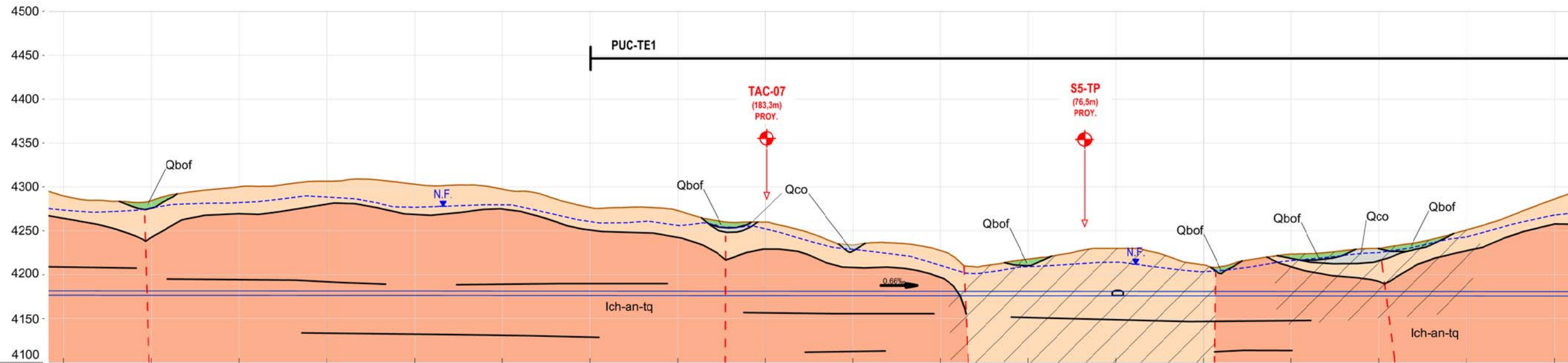
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJO



P.K.	1+000	1+100	1+200	1+300	1+400	1+500	1+600	1+700	1+800	1+900	2+000	2+100	2+200	2+300	2+400	2+500	2+600	2+700									
COTA TERRENO	4424.95	4432.75	4433.89	4441.74	4452.81	4468.22	4487.61	4486.49	4432.75	4387.10	4346.45	4332.28	4304.39	4290.81	4299.20	4315.63	4311.56	4289.83									
COTA RASANTE	4177.48	4177.43	4177.38	4177.32	4177.27	4177.22	4177.17	4177.12	4177.06	4177.01	4176.96	4176.91	4176.86	4176.80	4176.75	4176.70	4176.65	4176.60									
RECUBRIMIENTO S/Rasante	+247.47							+291							+169.49				+138.93								
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo Tacaza)																										
LITOLÓGÍA	Lavas y conglomerados andesíticos										(ZF)	Lavas y conglomerados andesíticos		(ZF)	Lavas y conglomerados andesíticos		(ZF)	Lavas y conglomerados andesíticos		(ZF)	Lavas y conglomerados andesíticos		Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas				
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	1015										10	150		10	130		10	60		10	70		10	90		430	

Eduardo Pradera Gámez
Ing. Caminos, canales y puentes
N° colegado 3.809

JOSE MARIA MARIN MORGILLO
INGENIERO
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1336 Y

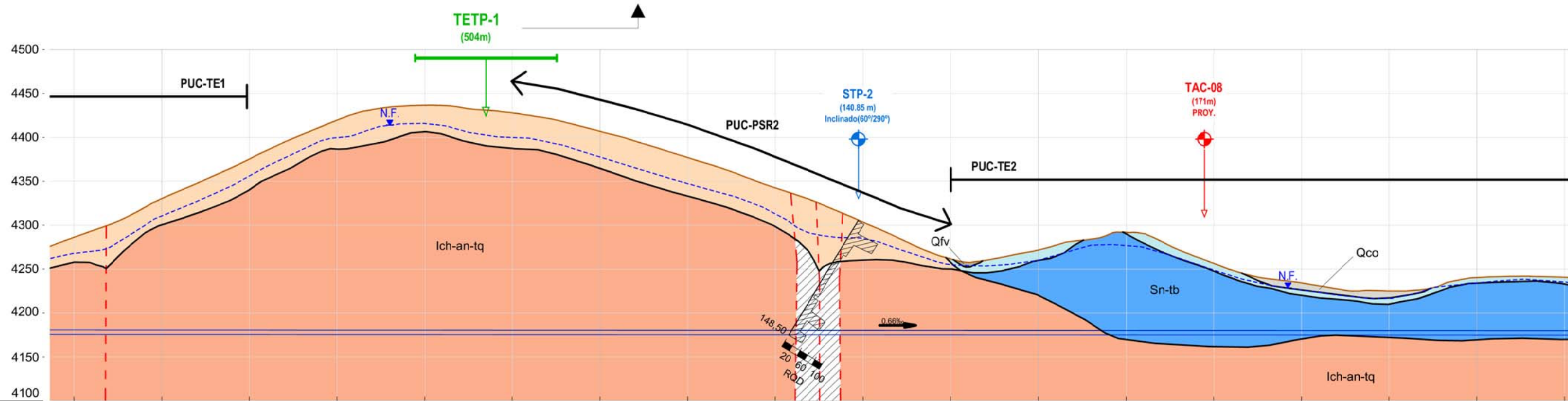


P.K.	2+700	2+800	2+900	3+000	3+100	3+200	3+300	3+400	3+500	3+600	3+700	3+800	3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400
COTA TERRENO	4289.83	4284.41	4300.20	4306.57	4303.12	4297.54	4276.58	4273.06	4260.01	4233.58	4227.51	4217.79	4230.00	4211.21	4223.60	4230.00	4250.93	4286.18
COTA RASANTE	4176.60	4176.54	4176.49	4176.44	4176.39	4176.34	4176.28	4176.23	4176.18	4176.13	4176.08	4176.02	4175.97	4175.92	4175.87	4175.82	4175.76	4175.71
RECUBRIMIENTO S/Rasante				+130.13						+83.83						+35.29		
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo Tacaza)																	
LITOLOGÍA	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas	(ZF)	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas						(ZF)	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas	(ZF)	Eofedales en superficie. posible presencia de roca alterada y agua						
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	430	10	650						10	260	10	280	10	190	10	220	22	


Eduardo Prades GARCÍA
Ing. Caminos, canales y puentes
N° colegiado 3.809


JOSE MARIA MARIN MORCILLO
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1335 - 7

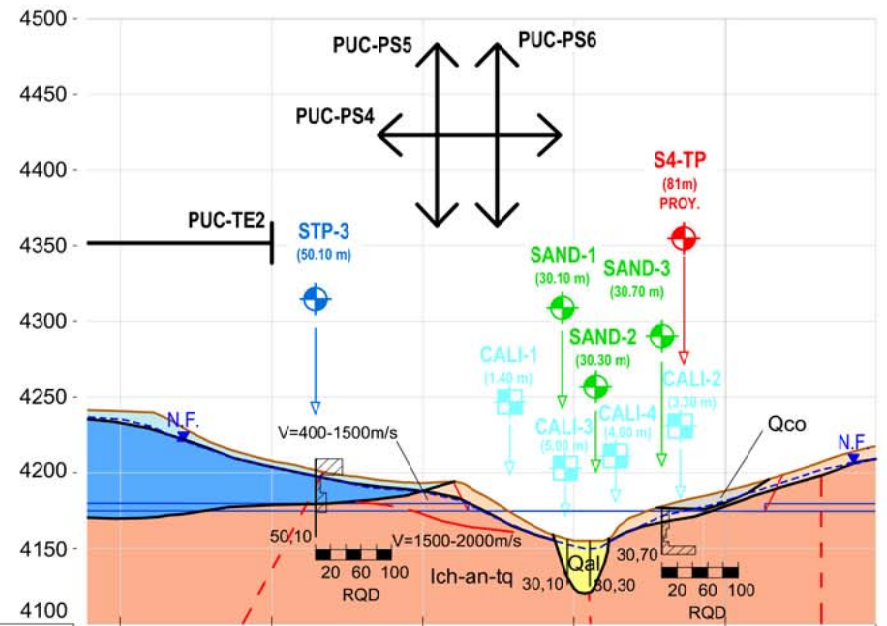
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO



P.K.	4+400	4+500	4+600	4+700	4+800	4+900	5+000	5+100	5+200	5+300	5+400	5+500	5+600	5+700	5+800	5+900	6+000	6+100
COTA TERRENO	4286.18	4330.33	4375.28	4419.74	4436.65	4428.00	4406.90	4377.06	4342.84	4303.39	4261.59	4271.77	4291.80	4256.58	4234.28	4225.00	4240.38	4240.79
COTA RASANTE	4175.71	4175.66	4175.61	4175.56	4175.50	4175.45	4175.40	4175.35	4175.30	4175.24	4175.19	4175.14	4175.09	4175.04	4174.98	4174.93	4174.88	4174.83
RECUBRIMIENTO S/Rasante	+154.57			+231.5					+96.63				+65.5					
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo Tacaza)										FM. SENCCA							
LITOLÓGÍA	(ZF) Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas										(ZF) Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas							
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	220	10	780					50	290				655					


 JOSÉ MARÍA MARÍN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMIONES, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - 1


 Eduardo Pradera Gómez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegado 3.809



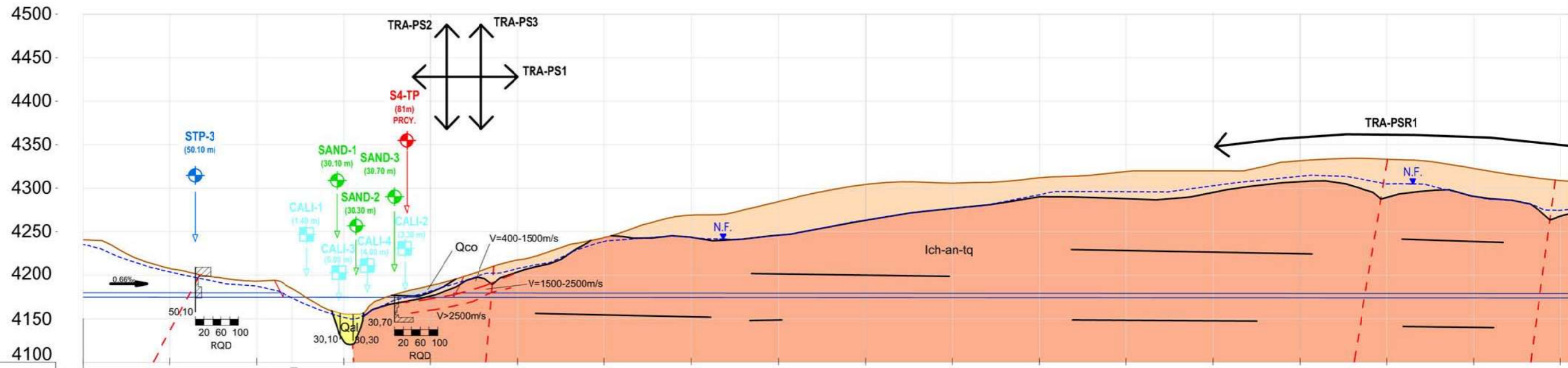
P.K.	6+100	6+200	6+300	6+400	6+485.51	6+500	6+600
COTA TERRENO	4240,79	4207,80	4193,22	4155,00	4188,10	4188,10	4217,53
COTA RASANTE	4174,83	4174,78	4174,72	4174,67	4174,62	4174,62	4174,57

RECUBRIMIENTO S/Rasante				
FORMACIÓN	FM. SENCCA FM. ICHCCOLLO (Grupo Tacaza)		FM. ICHOCOLLO (Grupo Tacaza)	
LITOLÓGÍA	Tobas soldadas cristalofíticas Andesitas traquib. y andesitas afan.		Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas	
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	655	10	40	60

Eduardo Padilla Gámez
Ing. Caminos, puentes y puertos
N° colegiado 3.809

JOSE MARCELO MARIÑO GARCILLO
INGENIERO
DE CAMINOS, PUENTES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1335 - Y

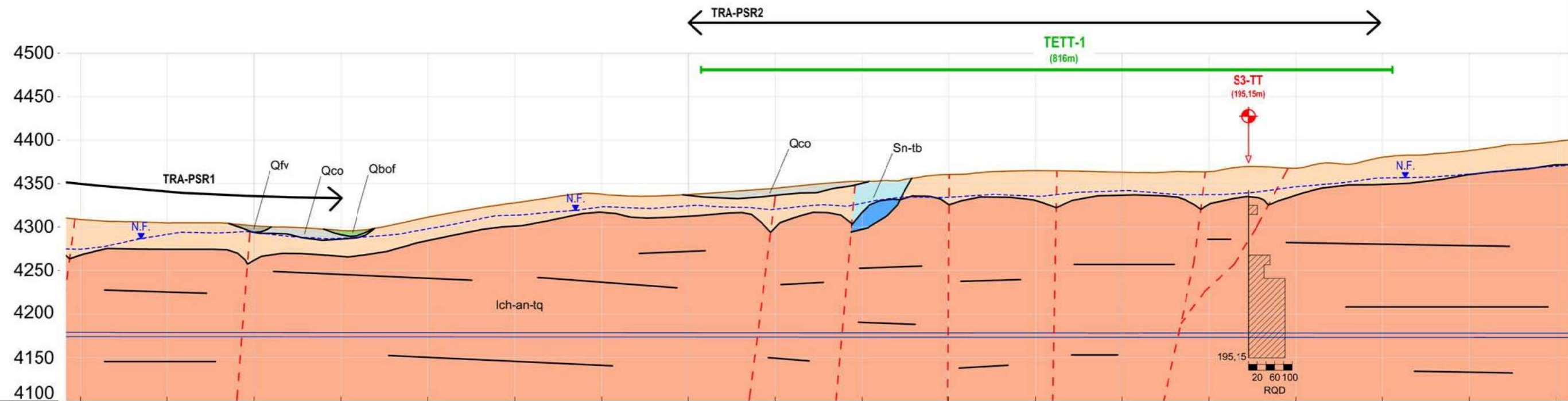
PROPIETARIO: REPUBLICA DEL PERU	CONTRATISTA: CONCESIONARIA ANGOSTURA SIGUAS	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS MAYORES DE AFIANZAMIENTO HÍDRICO Y DE INFRAESTRUCTURA PARA IRRIGACIÓN DE LAS PAMPAS DE SIGUAS MAJES - SIGUAS ETAPA II	COMPONENTE DEL PROYECTO: FASE I - ANGOSTURA TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO	SUPERVISIÓN:	ESCALA: 1:5000	FECHA: OCTUBRE 2016	DISEÑO: DIBUJO: APROBACIÓN:	DESCRIPCIÓN: TÚNEL PUCARÁ PERFIL GEOLÓGICO	PLANO: MS2-ET1-TPT-PLA-0004.06	REV.:	FECHA:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJO: 1
										HOJA 6 DE 6			



P.K.	6+100	6+200	6+300	6+340.81	6+400	6+500	6+600	6+700	6+800	6+900	7+000	7+100	7+200	7+300	7+400	7+500	7+600	7+700	7+800
COTA TERRENO	4240.79	4207.80	4193.22		4155.00	4188.10	4217.53	4243.39	4269.09	4284.67	4304.31	4305.90	4312.07	4319.16	4320.00	4331.66	4333.35	4322.65	4308.84
COTA RASANTE	4174.83	4174.78	4174.72		4174.67	4174.62	4174.57	4174.52	4174.46	4174.41	4174.36	4174.31	4174.26	4174.20	4174.15	4174.10	4174.05	4174.00	4173.94
RECUBRIMIENTO S/Rasante						+13.48					+129.98					+157.56			
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo Icaza)																		
LITOLÓGÍA	Andesitas traquib. y andesitas afa. (ZF) Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF) Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)																		
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	50 10 980 10 190 10																		


 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - 7

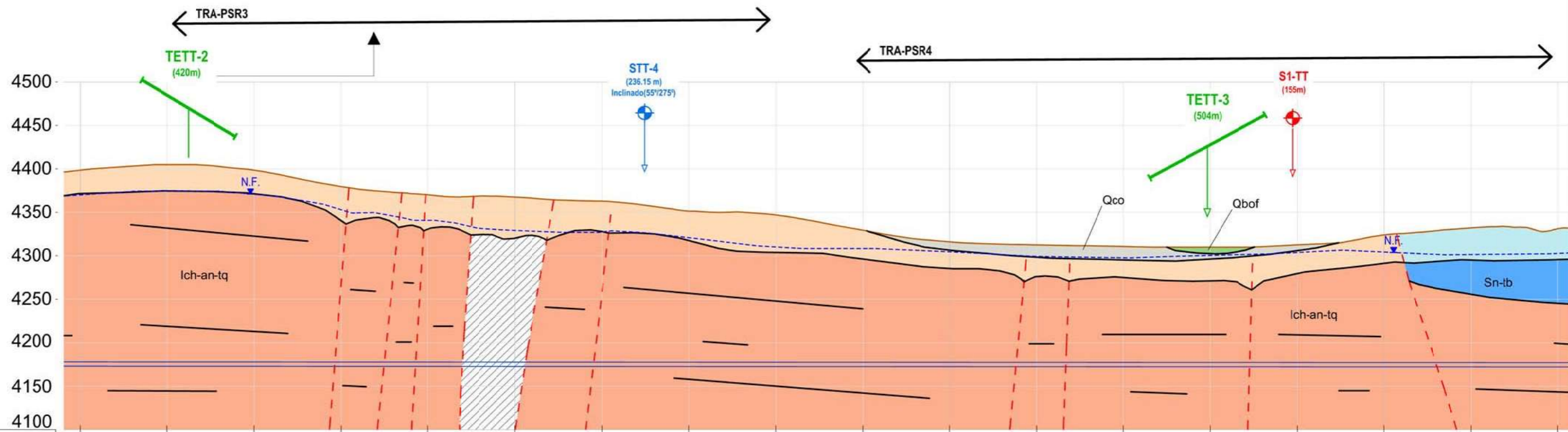

 Eduardo Pradita Gantés
 Ing. Caminos, canales y puentes.
 N° colegiado 3.509



P.K.	7+800	7+900	8+000	8+100	8+200	8+300	8+400	8+500	8+600	8+700	8+800	8+900	9+000	9+100	9+200	9+300	9+400	9+500
COTA TERRENO	4308,84	4304,84	4301,57	4296,22	4311,37	4327,96	4337,99	4337,55	4344,74	4352,69	4360,58	4365,01	4363,22	4363,84	4367,79	4380,42	4388,06	4396,60
COTA RASANTE	4173,94	4173,89	4173,84	4173,79	4173,74	4173,68	4173,63	4173,58	4173,53	4173,48	4173,42	4173,37	4173,32	4173,27	4173,22	4173,16	4173,11	4173,06
RECUBRIMIENTO S/Rasante	+127,73			+163,97						+189,90				+225,54				
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo tacaza)																	
LITOLOGÍA	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)		Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)							Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)				Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)				
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	210	10	590				10	90	10	110	10	110	20	120	10	720		


 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T


 Eduardo Pradera GómeZ
 Ing. Caminos, canales y puertos
 N° colegiado 3.309



P.K.	9+500	9+600	9+700	9+800	9+900	10+000	10+100	10+200	10+300	10+400	10+500	10+600	10+700	10+800	10+900	11+000	11+100	11+200				
COTA TERRENO	4398.60	4405.00	4398.60	4379.72	4370.29	4367.66	4363.01	4351.49	4347.11	4329.49	4316.18	4312.64	4310.80	4309.99	4312.66	4324.10	4332.20	4331.27				
COTA RASANTE	4173.06	4173.01	4172.96	4172.90	4172.85	4172.80	4172.75	4172.70	4172.64	4172.59	4172.54	4172.49	4172.44	4172.38	4172.33	4172.28	4172.23	4172.18				
RECUBRIMIENTO S/Rasante	:5.54		+194.86					+143.64					+151.82									
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo lacaza)																					
LITOLOGÍA	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)					(ZF)		(ZF)			Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)			Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)		Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)		Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas (ZF)				
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	720		10	40	10	30	10	45	90	65	10	480			10	40	10	210	10	210	10	515

JOSE MARIA MANON MORCILLO

 INGENIERO

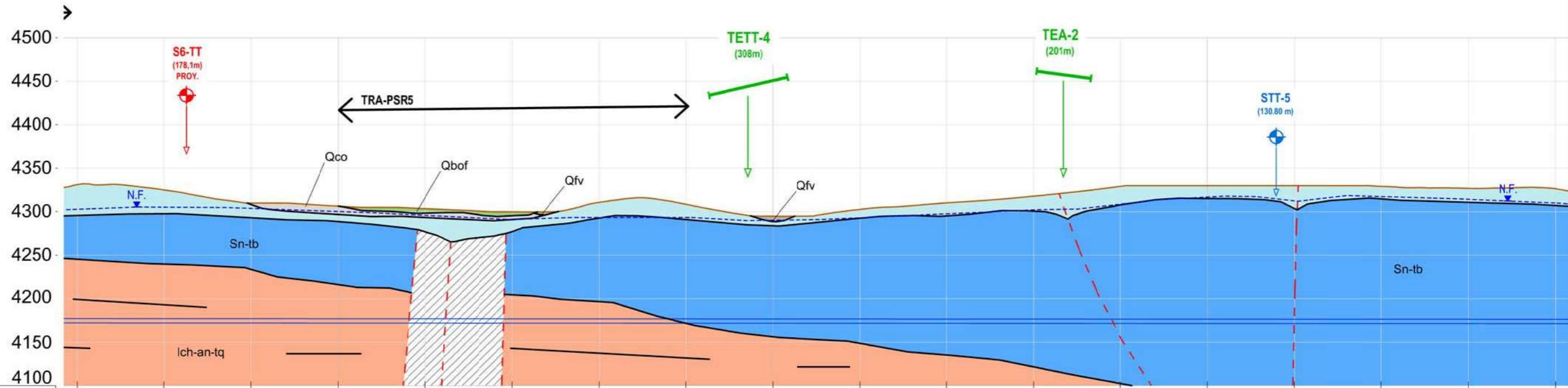
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

 Reg. CIP N° 1335 - T

Eduardo Prada Garmez


 Ing. Caminos, canales y puentes


 N° colegiado 3.509



P.K.	11+200	11+300	11+400	11+500	11+600	11+700	11+800	11+900	12+000	12+100	12+200	12+300	12+400	12+500	12+600	12+700	12+800	12+900
COTA TERRENO	4331.27	4325.03	4310.00	4306.51	4303.59	4299.88	4310.81	4308.62	4294.85	4302.64	4310.19	4317.96	4329.22	4330.00	4330.01	4329.23	4326.97	4326.57
COTA RASANTE	4172.18	4172.12	4172.07	4172.02	4171.97	4171.92	4171.86	4171.81	4171.76	4171.71	4171.66	4171.60	4171.55	4171.50	4171.45	4171.40	4171.34	4171.29

RECUBRIMIENTO S/Rasante	+134,49			+123,09			+158,50								
FORMACIÓN	FM. ICHOCOLLO (Grupo lacaza)						FM. SENCCA								
LITOLOGÍA	y as Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas		(ZF)	Andesitas traquibasálticas y andesitas afaníticas		Tobas soldadas cristalólicas			(ZF) Tobas soldadas cristalólicas	(ZF)	Tobas soldadas cristalólicas				
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	515			110	200		490			10	200		10	760	


 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T

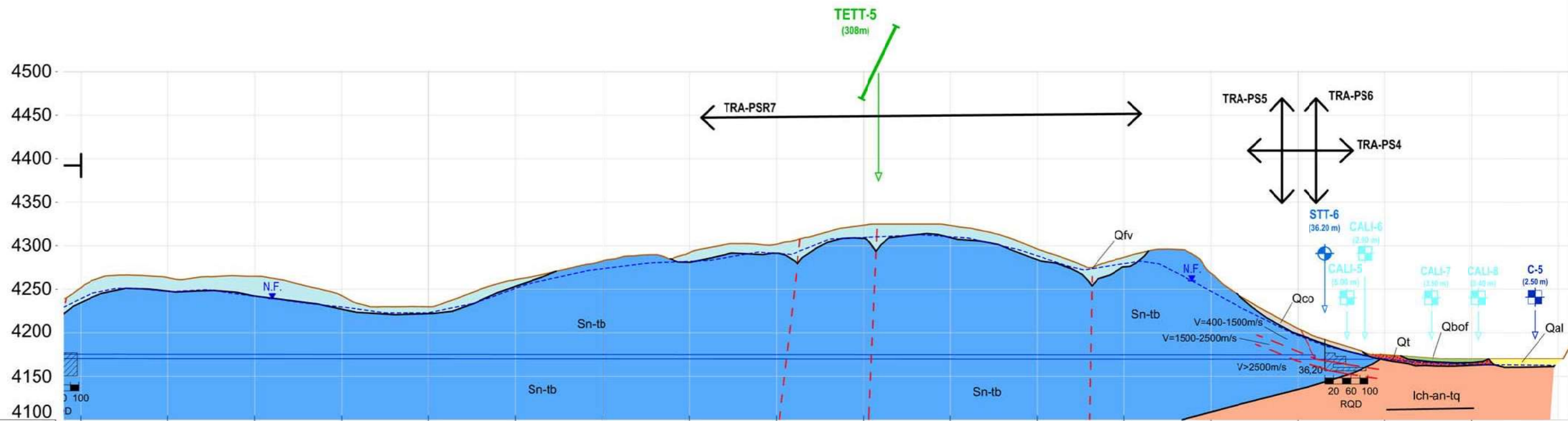

 Eduardo Pralora Centeno
 Ing. Caminos, canales y puertos
 N° colegiado 3.509



P.K.	12+900	13+000	13+100	13+200	13+300	13+400	13+500	13+600	13+700	13+800	13+900	14+000	14+100	14+200	14+300	14+400	14+500	14+600						
COTA TERRENO	4326,57	4313,15	4311,83	4307,78	4263,40	4268,53	4202,17	4295,01	4296,73	4298,68	4298,06	4297,08	4295,39	4301,27	4264,25	4208,47	4199,98	4251,85						
COTA RASANTE	4171,29	4171,24	4171,19	4171,14	4171,08	4171,03	4170,90	4170,93	4170,88	4170,82	4170,77	4170,72	4170,67	4170,62	4170,56	4170,51	4170,46	4170,41						
RECUBRIMIENTO S/Rasante	+141,91			+111,19						+126,36						+29,52								
FORMACIÓN	FM. SENCCA																							
LITOLOGÍA	Tobas soldadas cristalólicas										Tobas soldadas cristalólicas													
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	763										980								10	50	10	140	10	830


 JOSE MARIA MARIN MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - 1


 Eduardo Pradera Gomez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegiado 3.809



P.K.	14+600	14+700	14+800	14+900	15+000	15+100	15+200	15+300	15+400	15+500	15+600	15+700	15+800	15+900	16+000	16+100	16+200	16+200
COTA TERRENO	4251.85	4263.53	4265.05	4242.65	4229.92	4261.15	4282.66	4292.06	4301.85	4323.68	4323.42	4296.36	4286.69	4268.51	4204.77	4174.73	4169.95	4169.99
COTA RASANTE	4170.41	4170.36	4170.30	4170.25	4170.20	4170.15	4170.10	4170.04	4169.99	4169.94	4169.89	4169.84	4169.78	4169.73	4169.68	4174.73	4169.95	4169.99
RECUBRIMIENTO S/Rasante					+59,72				+153,74				+35,09					
FORMACIÓN	FM. SENCCA																	
LITOLOGÍA	Tobas soldadas cristalólicas				(ZF) Tobas soldadas cristalólicas				(ZF) Tobas soldadas cristalólicas				(ZF) Tobas soldadas cristalólicas					
LONGITUD DEL TRAMO (m.)	130	830				10	90	10	245				10	255				


 JOSÉ MARÍA MARES MORCILLO
 INGENIERO
 DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1335 - T


 Eduardo Pradón Gámez
 Ing. Caminos, canales y puentes
 N° colegiado 3.869

Sondajes diamantinos para túneles

Nº	DENOMINACIÓN	OBJETIVO	COORDENADAS			INCLINACIÓN (º)	PROFUNDIDAD (m)	UBICACIÓN (P.K.)	TRAMO	
			NORTE	ESTE	COTA				P.K. INICIAL	P.K. FINAL
1	STP-1	TÚNEL PUCARÁ	8320665	217109	-	-90	56.30	0+000	0+000	2+350
2	TAC-07		8319660	220300	4,320.0	-70	180.30	3+500	2+350	5+400
3	S5-TP		8319729.8	8319729.8	4,211.3	-60	76.50	3+880		
4	STP-2		8318841	22786.2	-	-60	140.85	5+300		
5	TAC-08		8318810	222320	4,310.0	-70	171.00	5+800	5+400	6+330
6	STP-3		8318543	222931	-	-90	50.10	6+220		
7	SAND-3	TÚNEL TRASANDINO	-	-	-	-	30.70	6+500	6+526	8+600
8	S4-TP		8318805.2	223145.1	4,217.8	-60	81.00	-		
9	S3-TT		8318799.6	225890.6	4,346.6	-90	195.15	9+140	8+600	9+800
10	STT-4		8318363	226839	-	-55	234.25	10+150	9+800	10+150
11	S1-TT		8318858.8	227795.5	4,321.7	-90	155.00	-	10+150	11+900
12	S6-TT		8318865	228040.4	4,326.4	-60	178.10	-		
13	STT-5		-	-	-	-	130.80	-	11+900	16+020
14	S2-TT		8318855.8	231233.8	4,201.3	-90	45.00	-		
15	STT-6	8319203	232714	-	-90	36.20	-			

Valores de RQD por sondeo y tramos de túneles

SONDEO	PROFUNDIDAD			RQD (%)	RMR	TRAMO	
	(m)		MEDIA			P.K. INICIAL	P.K. FINAL
STP-1	30.8	35.8	33.3	72	64	0+000	2+350
STP-2	113.5	118.6	116.0	18	39	2+350	5+400
	125.7	130.7	128.2	65	48		
TAC-08	155.0	160.0	157.5	50	62	5+400	6+330
	160.2	165.2	162.7	0	46		
	166.0	171.0	168.5	25	54		
STP-3	23.9	29.0	26.5	5	38		
S3-TT	160.0	165.0	162.5	68	66	8+600	9+800
	165.0	170.0	167.5	54	67		
	170.0	175.0	172.5	94	73		
	180.0	185.0	182.5	75	74		
	185.2	190.2	187.7	86	74		
STT-4	177.5	182.6	180.0	50	52	9+800	10+150
	190.7	195.8	193.2	59	59		
	208.9	214.0	211.4	30	55		
S1-TT	126.8	129.8	128.3	79	66	10+150	11+900
	130.0	135.0	132.5	77	69		
	135.0	140.0	137.5	77	69		
	142.0	145.0	143.5	88	53		
	145.0	150.0	147.5	35	48		
	150.0	155.0	152.5	67	53		
STT-5	100.8	105.8	103.3	85	37		
	121.0	125.0	123.0	0	33		
S2-TT	25.0	30.0	27.5	69	99	11+900	16+020
	30.0	35.0	32.5	80	59		
	35.0	40.0	37.5	99	69		
	40.0	45.0	42.5	94	68		
STT-6	28.3	33.8	31.1	18	53		

Distribución de RMR por sondeo y tramos de túneles

SONDEO	OBJETIVO	DISTRIBUCIÓN DE RMR						TRAMO	
		23-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>70	P.K. INICIAL	P.K. FINAL
STP-1	TÚNEL PUCARÁ	0.0%	4.1%	3.7%	20.3%	36.1%	35.8%	0+000	2+350
TAC-07		0.0%	0.0%	0.0%	39.0%	28.8%	32.2%	2+350	5+400
S5-TP		0.0%	24.8%	37.4%	29.3%	8.5%	0.0%		
STP-2		0.0%	5.4%	39.8%	37.0%	17.8%	0.0%	5+400	6+330
TAC-08		0.0%	0.0%	32.7%	24.2%	17.5%	25.6%		
STP-3		0.0%	60.5%	10.4%	14.5%	6.4%	8.2%		
SAND-3	TÚNEL TRASANDINO	0.0%	15.0%	56.9%	22.5%	0.0%	5.6%	6+526	8+600
S4-TP		0.0%	0.0%	90.9%	9.1%	0.0%	0.0%		
S3-TT		0.0%	3.5%	17.1%	17.4%	27.2%	34.8%	8+600	9+800
STT-4		0.0%	6.0%	28.8%	34.6%	28.0%	2.6%	9+800	10+150
S1-TT		0.0%	0.0%	0.0%	26.2%	42.2%	31.6%	10+150	11+900
S6-TT		0.0%	4.9%	35.5%	26.6%	23.1%	9.9%		
STT-5		0.0%	21.4%	8.2%	3.6%	37.0%	29.8%	11+900	16+020
S2-TT		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%		
STT-6		0.0%	45.3%	3.8%	39.6%	11.3%	0.0%		

Datos de fallas geológicas previstas en túnel Pucará

Nº	SITUACIÓN	ORIENTACIÓN	CRUCE CON TÚNEL	INTERPRETACIÓN	LONGITUD ESTIMADA (m)
1	0+220	NE-SW SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos	10
2	0+300	NNE-SSW SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos	10
3	0+490	NNE-SSW SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos	10
4	0+780	NNE-SSW/N-S SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos	20
	0+800	NNE-SSW/N-S SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos	
5	1+830	NNW-SSE, SUBVERTICAL (Falla de rumbo)	Oblicuo	Sísmica de Reflexión PUC-PSR- 1	10
6	1+970	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Sísmica de Reflexión PUC-PSR- 1	10
7	2+100	NW-SE. Buz a W	Oblicuo	Sísmica de Reflexión PUC-PSR- 1	10
8	2+170	NW-SE. Buz a W	Oblicuo	Sísmica de Reflexión PUC-PSR- 1	10
9	2+270	NW-SE. Buz a W	Oblicuo	Sísmica de Reflexión PUC-PSR- 1	10
10	2+800	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos	10
11	3+460	NE-SW, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos / Tomografía PUC-TE-1	10
12	3+730	NE-SW, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Tomografía PUC-TE-1	10
13	4+010	NE-SW, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Tomografía PUC-TE-1	10
14	4+210	NNW-SSE SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Tomografía PUC-TE-1	10
15	4+430	N-S, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Tomografía PUC-TE-1	10
16	5+250	NW-SE, SUBVERTICAL (Falla de rumbo regional)	Oblicuo/subparalelo	Interpretación Lineamientos Sondeo STP-2 y Sísmica de Reflexión PUC-PSR-2	50
17	6+210	NNW-SSE, buz 45°SW	Perpendicular	Interpretación Lineamientos y/o identificación en superficie	10

Datos de fallas geológicas previstas en túnel Trasandino

Nº	SITUACIÓN	ORIENTACIÓN	CRUCE CON TÚNEL	INTERPRETACIÓN	LONGITUD ESTIMADA (m)
1	6+560	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos y/o identificación en superficie	10
2	7+570	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-1	10
3	7+770	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-1	10
4	7+980	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-1	10
5	8+580	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-2	10
6	8+680	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-2	10
7	8+800	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-2	10
8	8+920	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-2	10
9	9+050	N-S, INCLINADA	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-2	10
10	9+800	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	10
11	9+850	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	10
12	9+890	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	10
13	9+920	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	90
	10+010	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	
14	10+080	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-3	10
15	10+580	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-4	10
16	10+640	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-4	10
17	10+850	N-S/NNW-SSE, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-4	10
18	11+050	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	STT-5 (proyectado), Contacto Andesitas-Tobas en zona superior	10

Nº	SITUACIÓN	ORIENTACIÓN	CRUCE CON TÚNEL	INTERPRETACIÓN	LONGITUD ESTIMADA (m)
19	11+590	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-5	110
	11+620	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-5	
	11+700	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-5	
20	12+380	NNW-SSE, buz 30ºNE	Oblicuo	Interpretación Lineamientos y/o identificación en superficie	10
21	12+600	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos y/o identificación en superficie	10
22	13+360	NW-SE, Buza a NE	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-TE-1	10
23	14+350	NE-SW, SUBVERTICAL	Oblicuo	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-TE-2	10
24	14+420	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-TE-2	10
25	14+580	N-S, INCLINADA	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-TE-2	10
26	15+420	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-7	10
27	15+510	NNW-SSE, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-7	10
28	15+760	N-S, SUBVERTICAL	Perpendicular	Interpretación Lineamientos Sísmica de reflexión TRA-PSR-7	10

ANEXO B

Presupuesto Túnel Pucará y Trasandino (Fecha del presupuesto 09 dic 2015)

CÓDIGO	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO (USD)	PARCIAL (USD)
03.	DERIVACION ANGOSTURA COLCA				142,485,529.75
03.01	TUNEL DE DERIVACION PUCARA (0+000 a 6+330 - 6.33km)				38,901,128.46
03.01.01	PORTALES DE ENTRADA (0+000) Y SALIDA (6+330)				1,985,880.71
03.01.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1,430,938.69
03.01.01.01.01	DESPEJE, DESBROCE Y EXCAV. TIERRA VEGETAL EMAX=0.3M, DMAX=1KM	m3	1,394.10	5.03	7,012.32
03.01.01.01.02	EXCAVACION EN SUELO CON MEDIOS MECANICOS DMAX=1KM	m3	15,866.85	11.65	184,848.80
03.01.01.01.03	EXCAVACION EN ROCA CON MEDIOS MECANICOS DMAX= 1KM	m3	36,052.42	16.92	610,006.95
03.01.01.01.04	EXCAVACION EN ROCA CON VOLADURA DMAX= 1KM	m3	17,130.02	36.61	627,130.03
03.01.01.01.05	FORMACIÓN DE BOTADERO	m3	1,394.10	1.07	1,491.69
03.01.01.01.06	RECUPERACION AMBIENTAL DE BOTADEROS	m2	278.82	1.61	448.90
03.01.01.02	REFUERZO DE TALUDES				554,942.02
03.01.01.02.01	PERNO HELICOIDAL 32MM X 6.0M	und	357.00	333.01	118,884.57
03.01.01.02.02	PERNO HELICOIDAL 32MM X 8.0M	und	95.00	369.30	35,083.50
03.01.01.02.03	SHOTCRETE PROYECTADO F'C=25 MPA TRATAMIENTO TALUDES	m3	165.00	1,200.75	198,123.75
03.01.01.02.04	MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO #6X150X150 (CONVENCIONAL)	m2	1,645.00	20.96	34,479.20
03.01.01.02.05	MALLA METALICA TRIPLE TORSION REFORZADA CON CABLES EN TALUDES	m2	3,638.00	15.70	57,116.60
03.01.01.02.06	MICROPILOTE EN PARAGUAS PESADO	m	360.00	309.04	111,254.40
03.01.02	EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO DE TUNEL EJECUTADO CON TBM				36,915,247.75
03.01.02.01	PASO DE TUNELADORA EN VACIO POR VENTANA ANDAMAYO	m	196.00	3,976.40	779,374.40
03.01.02.02	ESTRUCTURA DE REACCION Y CIMENTACION TUNELADORA TBM - ANDAMAYO	glb	1.00	163,853.11	163,853.11
03.01.02.03	EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ROCA SANA SIN FALLA GEOLOGICA	m3	164,408.52	53.82	8,848,466.55
03.01.02.04	EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ZONA DE FALLA GEOLOGICA	m3	3,192.40	82.30	262,734.52
03.01.02.05	FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 1, HA-40, DINT 5.00m	und	3,414.00	5,234.86	17,871,812.04
03.01.02.06	FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 2, HA-40, DINT 5.00m	und	282.00	5,819.27	1,641,034.14
03.01.02.07	FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 3, HA-40, DINT 5.00m	und	30.00	5,643.31	169,299.30
03.01.02.08	FABRIC. ANILLO DOVELAS INSTRUMENTADO, 6 DOVELAS HA-40 DINT 5.00m	und	2.00	21,630.11	43,260.22
03.01.02.09	INYECCION DE MORTERO BY-COMPONENTE DE RELLENO EN TRASDOS ANILLO	m3	15,624.00	250.11	3,907,718.64
03.01.02.10	ELIMINACION DE MATERIAL ACOPIADO DMAX=1KM	m3	165,305.05	4.12	681,056.81
03.01.02.11	FORMACIÓN DE BOTADERO	m3	165,305.05	1.07	176,876.40
03.01.02.12	CONTROL Y AUSCULTACION EN TUNEL TBM MEDIANTE DOVELA INSTRUMENTAD	mes	10.00	15,000.00	150,000.00
03.01.02.13	EJECUCION BOCA DE SALIDA/ENTRADA TBM EN TUNEL PUCARA/TRASANDINO.	glb	2.00	659,708.31	1,319,416.62
03.01.02.14	DESMONTAJE DE TUNELADORA EN BOCA ENTRADA	glb	1.00	900,345.00	900,345.00
03.03	TUNEL DE DERIVACION TRASANDINO (6+526.28 a 16+020 - 9.49km))				103,584,401.29
03.03.01	MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE MAQUINARIA E INSTALACIONES				40,207,266.78
03.03.01.01	MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE TBM - FASE 1	glb	1.00	15,739,687.71	15,739,687.71
03.03.01.02	MOVIL. TRANSP. Y MONT. CINTA TRANSPORTADORA DESESCOMBRADO TÚNEL	glb	1.00	5,536,145.10	5,536,145.10
03.03.01.03	MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE PLANTA BI-COMPONENTE PARA INYECCION	glb	1.00	1,550,326.24	1,550,326.24
03.03.01.04	MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE VIAS Y CAMBIOS	m	16,459.00	274.28	4,514,374.52

CÓDIGO	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO (USD)	PARCIAL (USD)
03.03.01.05	MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE DE LOCOMOTORAS Y VAGONES DE HASTA 16TON	und	1.00	1,841,425.10	1,841,425.10
03.03.01.06	MOVILIZACION FABRICA DOVELAS Y ELEMENTOS AUXILIARES	glb	1.00	2,255,465.40	2,255,465.40
03.03.01.07	MOVIL. TRANSP. MONT. PORTICOS CARGA DE DOVELAS Y ELEMENTOS AUX.	glb	1.00	1,332,160.20	1,332,160.20
03.03.01.08	MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE G.E. 1250KVA	und	9.00	90,219.23	811,973.07
03.03.01.09	MOVILIZACION NAVES TALLER, ALMACEN, BASCULA Y ELEM. AUXILIARES	und	1.00	1,055,174.74	1,055,174.74
03.03.01.10	MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE VENTILADOR 160KW Y ELEM. AUXILIARES	und	2.00	164,161.92	328,323.84
03.03.01.11	MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE TUBERIA VENTILACION Y ELEM. AUXILIARES	m	15,959.00	16.17	258,057.03
03.03.01.12	MOV. TRANSP. Y MONTAJE DE CABLEADO INSTALACIONES AUXILIARES TBM	m	16,459.00	142.16	2,339,811.44
03.03.01.13	MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE TUBERIA AGUA Y AIRE PARA INST. AUX. TBM	m	16,059.00	101.78	1,634,485.02
03.03.01.14	MOVIL. TRANSP. MONTAJE DEPURADORA, CLARIFICADOR, DEPOSITO AGUA.	und	1.00	221,556.37	221,556.37
03.03.01.15	MOVIL. TRANSP. MONTAJE Y ENLACE INFRAESTRUCTURA COMUNICACIONES	glb	1.00	549,165.00	549,165.00
03.03.01.16	OPERACION Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA PARA COMUNICACIONES	und	48.00	4,982.00	239,136.00
03.03.02	PORTALES DE ENTRADA (6+526.8)				2,526,793.86
03.03.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1,354,989.09
03.03.02.01.01	DESPEJE, DESBROCE Y EXCAV. TIERRA VEGETAL EMAX=0.3M, DMAX=1KM	m3	2,100.00	5.03	10,563.00
03.03.02.01.02	EXCAVACION EN SUELO CON MEDIOS MECANICOS DMAX=1KM	m3	18,297.75	11.65	213,168.79
03.03.02.01.03	EXCAVACION EN ROCA CON MEDIOS MECANICOS DMAX= 1KM	m3	12,198.50	16.92	206,398.62
03.03.02.01.04	EXCAVACION EN ROCA CON VOLADURA DMAX= 1KM	m3	24,951.48	36.61	913,473.68
03.03.02.01.05	PRECORTE EN ROCA	m2	900.00	12.65	11,385.00
03.03.02.02	REFUERZO DE TALUDES				1,171,804.77
03.03.02.02.01	PERNO HELICOIDAL 32mm x 6.0m	und	577.00	333.01	192,146.77
03.03.02.02.02	PERNO HELICOIDAL 32mm x 9.0m	und	371.00	541.11	200,751.81
03.03.02.02.03	SHOTCRETE PROYECTADO F' C=25 MPA TRATAMIENTO TALUDES	m3	513.00	1,200.75	615,984.75
03.03.02.02.04	MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO #6X150X150 (CONVENCIONAL)	m2	5,119.00	20.96	107,294.24
03.03.02.02.05	MICROPILOTE EN PARAGUAS PESADO	m	180.00	309.04	55,627.20
03.03.03	EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO DE TUNEL EJECUTADO CON TBM				54,395,091.57
03.03.03.01	EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ROCA SANA SIN FALLA GEOLOGICA	m3	241,603.91	53.82	13,003,122.44
03.03.03.02	EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ZONA DE FALLA GEOLOGICA	m3	10,162.47	82.30	836,371.28
03.03.03.03	FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 1, HA-40, DINT 5.00m	und	5,342.00	5,234.86	27,964,622.12
03.03.03.04	FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 3, HA-40, DINT 5.00m	und	247.00	5,643.31	1,393,897.57
03.03.03.05	FABRIC. ANILLO DOVELAS INSTRUMENTADO, 6 DOVELAS HA-40 DINT 5.00m	und	3.00	21,630.11	64,890.33
03.03.03.06	INYECCION DE MORTERO BY-COMPONENTE DE RELLENO EN TRASDOS ANILLO	m3	23,470.03	250.11	5,870,089.20
03.03.03.07	ESTRUCTURA DE REACCION Y CIMENTACION TUNELADORA TBM - TRASANDINO	und	1.00	1,101,819.57	1,101,819.57
03.03.03.08	ELIMINACION DE MATERIAL ACOPIADO DMAX=1KM	m3	248,317.57	4.12	1,023,068.39
03.03.03.09	FORMACIÓN DE BOTADERO	m3	248,317.57	1.07	265,699.80
03.03.03.10	TRANSPORTE DE MATERIAL D>1KM	m3k	248,317.57	1.05	260,733.45
03.03.03.11	CONTROL Y AUSCULTACION EN TUNEL TBM MEDIANTE DOVELA INSTRUMENTAD	mes	18.00	15,000.00	270,000.00
03.03.03.12	EJECUCION BOCA DE SALIDA/ENTRADA TBM EN TUNEL PUCARA/TRASANDINO.	glb	2.00	659,708.31	1,319,416.62
03.03.03.13	DESMONTAJE DE INST. AUXILIARES PLAYA DE VIAS, DEMOL. TRANSP.	glb	1.00	1,021,360.80	1,021,360.80
	PORTAL DE SALIDA DE TUNEL TRASANDINO	glb	1.00	1,504,224.86	1,504,224.86
	PLATAFORMA DE CHALHUANCA	glb	1.00	4,951,024.22	4,951,024.22
	COSTO DIRECTO TÚNEL PUCARÁ-TRASANDINO				142,485,529.75

Análisis de Precios Unitarios (Fecha del presupuesto 09 dic 2015)

03.01.02.01 PASO DE TUNELADORA EN VACIO POR VENTANA ANDAMAYO 0.19444m /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0015	CUADRILLA OPERACION TBM	hh	1.0000	181.26	932.22	
SPMO0016	CUADRILLA OPERACION CINTA	hh	1.0000	94.71	487.09	
SPMO0017	CUADRILLA PLAYA DE VIAS	hh	1.0000	153.91	791.56	
SPMO0018	CUADRILLA DE TALLERES	hh	1.0000	139.92	719.61	
SC391072	SC VARIOS PARA PASO DE TBM EN ANDAMAYO	gib	1.0000	/196 205,000.00	1,045.92	
TOTAL PARTIDA USD.....					3,976.40	

03.01.02.02 ESTRUCTURA DE REACCION Y CIMENTACION TUNELADORA TBM - ANDAMAYO 1gib /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC395576	SC ESTRUCTURA DE REACCION INCLUSO ANILLO METÁLICO	kg	14,600.0000	x 0.50 5.50	40,150.00	
SPEXC003	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	211.6800	12.00	2,540.16	
SPEXC005	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS EN ROCA	m3	52.9200	27.87	1,474.88	
SPCON009	SOLADO DE CONCRETO F'c=100kg/cm2	m3	29.0000	214.14	6,210.06	
SPCON005	CONCRETO f'c=210kg/cm2 EN ESTRUCTURAS (N SITU)	m3	235.0000	263.61	61,948.35	
SPCON003	ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS	kg	18,768.0000	2.02	37,911.36	
SPCON008	TRANSPORTE DE CONCRETO D=1KM	m3k	2,640.0000	1.63	4,303.20	
SPCON004	ENCOFRADO PARA ESTRUCTURAS	m2	94.0000	56.51	5,311.94	
SC3055800	ESTRUCTURA METALICA	kg	3,364.0000	x 0.50 2.38	4,003.16	
TOTAL PARTIDA USD.....					163,853.11	

03.01.02.03 EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ROCA SANA SIN FALLA GEOLOGICA 26m3 /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMA0806	MAQUINA PERFORADORA DE TUNEL (TBM)	hm	1.0000	587.62	22.60	
SPMA0807	CINTA TRANSPORTADORA (TUNEL)	hm	1.0000	220.91	8.50	
SPMA0808	EQUIPOS DE TRANSPORTE INTERIOR DE TUNEL	hm	1.0000	9.06	0.35	
SPMA0815	SISTEMA DE VENTILACION	hm	1.0000	0.93	0.04	
SPMA0816	SISTEMA SUMINISTRO DE AGUA	hm	1.0000	12.28	0.47	
SPMA0817	TALLER DE MANTENIMIENTO	hm	1.0000	274.90	10.57	
SPMA0818	SUMINISTRO DE ENERGIA	hm	1.0000	35.11	1.35	
SPMA0820	OPERACION PATIO DE DOVELAS	hm	1.0000	253.39	9.75	
SPMA0819	OTROS	m	1.0000	/26 129.83	0.19	
TOTAL PARTIDA USD.....					53.82	

03.01.02.04 EXCAVACION TUNELES CON TBM EN ZONA DE FALLA GEOLOGICA 17m3 /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMA0806	MAQUINA PERFORADORA DE TUNEL (TBM)	hm	1.0000	587.62	34.57	
SPMA0807	CINTA TRANSPORTADORA (TUNEL)	hm	1.0000	220.91	12.99	
SPMA0808	EQUIPOS DE TRANSPORTE INTERIOR DE TUNEL	hm	1.0000	9.06	0.53	
SPMA0815	SISTEMA DE VENTILACION	hm	1.0000	0.93	0.05	
SPMA0816	SISTEMA SUMINISTRO DE AGUA	hm	1.0000	12.28	0.72	
SPMA0817	TALLER DE MANTENIMIENTO	hm	1.0000	274.90	16.17	
SPMA0818	SUMINISTRO DE ENERGIA	hm	1.0000	35.11	2.07	
SPMA0820	OPERACION PATIO DE DOVELAS	hm	1.0000	253.39	14.91	
SPMA0819	OTROS	m	1.0000	/26 129.83	0.29	
TOTAL PARTIDA USD.....					82.30	

03.01.02.05 FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 1, HA-40, DINT 5.00m 0.49und /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	21.92	
MO475002	JEFE DE GRUPO MECÁNICO / ELECTRICO	hh	1.0000	12.43	25.37	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	7.0000	9.59	137.00	
MO472001	OFICIAL CIVIL	hh	6.0000	8.11	99.31	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	5.0000	7.44	75.92	
MO473002	OPERARIO MECÁNICO	hh	2.0000	9.59	39.14	
MO471002	AYUDANTE MECÁNICO	hh	3.0000	7.44	45.55	
MT540147	DESMOLDANTE PIENCOFRADOS	gal	0.5600	x 1.10 7.59	4.68	
MT020106	FIBRA DE ACERO	kg	230.0000	x 1.03 1.70	402.73	
SPMA0509	CAMION VOLVO N-10 C/GRUA HIAB 12 TON	hm	1.0000	71.44	145.80	
SPMA1206	GRUPO ELECTROGENO 1000KVA	hm	1.0000	161.70	330.00	
SPPC0402	SUMINISTRO DE CONCRETO F'c=40MPa, CEMENTO P - DOVELAS FASE I	m3	6.5700	x 1.05 353.10	2,435.86	
MT304057	JUNTA PARA DOVELAS TIPO 1	jgo	1.0000	x 1.03 63.58	65.49	
MT020164	CONECTORES PARA DOVELAS	jgo	1.0000	x 1.03 45.00	46.35	
S%39002	REPUESTOS, CONSUMIBLES Y ACCESORIOS VARIOS	est	8.5000	2,911.66	505.08	
SC394041	OPERACION PATIO ACOPIO EN FABRICA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394043	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN FABRICA	mes	1.0000	/350 9,139.30	26.11	
SC394040	TRANSPORTE DE ANILLO DE DOVELAS FABRICA - OBRA	vje	1.0000	538.28	538.28	
SC394042	OPERACION PATIO DE ACOPIO EN OBRA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394044	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN OBRA	mes	1.0000	/350 9,139.30	26.11	
TOTAL PARTIDA USD.....					5,234.86	

03.01.02.06 FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 2, HA-40, DINT 5.00m 0.49und /hr						
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	21.92	
MO475002	JEFE DE GRUPO MECÁNICO / ELECTRICO	hh	1.0000	12.43	25.37	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	7.0000	9.59	137.00	
MO472001	OFICIAL CIVIL	hh	6.0000	8.11	99.31	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	5.0000	7.44	75.92	
MO473002	OPERARIO MECÁNICO	hh	2.0000	9.59	39.14	
MO471002	AYUDANTE MECÁNICO	hh	3.0000	7.44	45.55	
MT540147	DESMOLDANTE PIENCOFRADOS	gal	0.5600	x 1.10 7.59	4.68	
MT020106	FIBRA DE ACERO	kg	230.0000	x 1.03 1.70	402.73	
MT030001	ACERO DE REFUERZO	kg	405.3400	x 1.03 0.99	413.33	
SPMA0509	CAMION VOLVO N-10 C/GRUA HIAB 12 TON	hm	2.0000	71.44	291.59	
SPMA1206	GRUPO ELECTROGENO 1000KVA	hm	1.0000	161.70	330.00	
SPPC0402	SUMINISTRO DE CONCRETO F'c=40MPa, CEMENTO P - DOVELAS FASE I	m3	6.5700	x 1.05 353.10	2,435.86	
MT304058	JUNTA PARA DOVELAS TIPO 2	jgo	1.0000	x 1.03 63.58	65.49	
MT020164	CONECTORES PARA DOVELAS	jgo	1.0000	x 1.03 45.00	46.35	
S%39002	REPUESTOS, CONSUMIBLES Y ACCESORIOS VARIOS	est	8.5000	3,057.45	530.37	
SC394041	OPERACION PATIO ACOPIO EN FABRICA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394043	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN FABRICA	mes	1.0000	/350 9,139.30	26.11	
SC394040	TRANSPORTE DE ANILLO DE DOVELAS FABRICA - OBRA	vje	1.0000	538.28	538.28	
SC394042	OPERACION PATIO DE ACOPIO EN OBRA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394044	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN OBRA	mes	1.0000	/350 9,139.30	26.11	
TOTAL PARTIDA USD.....					5,819.27	

03.01.02.07 FABRICACION ANILLO DOVELAS TIPO 3, HA-40, DINT 5.00m				0.49und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	21.92	
MO475002	JEFE DE GRUPO MECÁNICO / ELECTRICO	hh	1.0000	12.43	25.37	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	7.0000	9.59	137.00	
MO472001	OFICIAL CIVIL	hh	6.0000	8.11	99.31	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	5.0000	7.44	75.92	
MO473002	OPERARIO MECÁNICO	hh	2.0000	9.59	39.14	
MO471002	AYUDANTE MECÁNICO	hh	3.0000	7.44	45.55	
MT540147	DESMOLDANTE PIENCOFRADOS	gal	0.5600 x 1.10	7.59	4.68	
MT020106	FIBRA DE ACERO	kg	230.0000 x 1.03	1.70	402.73	
MT030001	ACERO DE REFUERZO	kg	232.7800 x 1.03	0.99	237.37	
SPMA0509	CAMION VOLVO N-10 C/GRUA HIAB 12 TON	hm	2.0000	71.44	291.59	
SPMA1206	GRUPO ELECTROGENO 1000KVA	hm	1.0000	161.70	330.00	
SPPC0402	SUMINISTRO DE CONCRETO Fc=40MPa, CEMENTO P - DOVELAS FASE I	m3	6.5700 x 1.05	353.10	2,435.86	
MT304059	JUNTA PARA DOVELAS TIPO 3	jgo	1.0000 x 1.03	63.58	65.49	
MT020164	CONECTORES PARA DOVELAS	jgo	1.0000 x 1.03	45.00	46.35	
S%39002	REPUESTOS, CONSUMIBLES Y ACCESORIOS VARIOS	est	8.5000	3,057.45	530.37	
SC394041	OPERACION PATIO ACOPIO EN FABRICA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394043	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN FABRICA	mes	1.0000 /350	9,139.30	26.11	
SC394040	TRANSPORTE DE ANILLO DE DOVELAS FABRICA - OBRA	vje	1.0000	538.28	538.28	
SC394042	OPERACION PATIO DE ACOPIO EN OBRA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394044	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN OBRA	mes	1.0000 /350	9,139.30	26.11	
TOTAL PARTIDA USD.....					5,643.31	

03.01.02.08 FABRIC. ANILLO DOVELAS INSTRUMENTADO, 6 DOVELAS HA-40 DINT 5.00m				0.44und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	24.41	
MO475002	JEFE DE GRUPO MECÁNICO / ELECTRICO	hh	1.0000	12.43	28.25	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	7.0000	9.59	152.57	
MO472001	OFICIAL CIVIL	hh	6.0000	8.11	110.59	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	5.0000	7.44	84.55	
MO473002	OPERARIO MECÁNICO	hh	2.0000	9.59	43.59	
MO471002	AYUDANTE MECÁNICO	hh	3.0000	7.44	50.73	
MT020106	FIBRA DE ACERO	kg	230.0000 x 1.03	1.70	402.73	
MT030001	ACERO DE REFUERZO	kg	525.0000 x 1.03	0.99	535.34	
MT540147	DESMOLDANTE PIENCOFRADOS	gal	0.5600 x 1.10	7.59	4.68	
MT301045	INSTRUMENTACION DE DOVELA	und	1.0000	15,472.00	15,472.00	
SPMA0509	CAMION VOLVO N-10 C/GRUA HIAB 12 TON	hm	2.0000	71.44	324.73	
SPMA1206	GRUPO ELECTROGENO 1000KVA	hm	1.0000	161.70	367.50	
SPPC0402	SUMINISTRO DE CONCRETO Fc=40MPa, CEMENTO P - DOVELAS FASE I	m3	6.5700 x 1.05	353.10	2,435.86	
MT304060	JUNTA PARA DOVELAS INSTRUMENTADAS	jgo	1.0000 x 1.03	84.74	87.28	
MT020164	CONECTORES PARA DOVELAS	jgo	1.0000 x 1.03	45.00	46.35	
S%39002	REPUESTOS, CONSUMIBLES Y ACCESORIOS VARIOS	est	8.5000	3,128.09	604.29	
SC394041	OPERACION PATIO ACOPIO EN FABRICA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394043	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN FABRICA	mes	1.0000 /350	9,139.30	26.11	
SC394040	TRANSPORTE DE ANILLO DE DOVELAS FABRICA - OBRA	vje	1.0000	538.28	538.28	
SC394042	OPERACION PATIO DE ACOPIO EN OBRA (NO INC. PORTICOS)	und	1.0000	132.08	132.08	
SC394044	MANTENIMIENTO PATIO ACOPIO EN OBRA	mes	1.0000 /350	9,139.30	26.11	
TOTAL PARTIDA USD.....					21,630.11	

03.01.02.09 INYECCION DE MORTERO BY-COMPONENTE DE RELLENO EN TRASDOS ANILLO				3.1m3 /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMT0026	MORTERO BICOMPONENTE	m3	1.0000 x 1.50	163.21	244.82	
MT800001	CONSUMIBLES VARIOS PLANTA BICOMPONENTE	m3	1.0000	2.45	2.45	
SC302017	SC CIMENTACIONES PLANTA BICOMPONENTE	gib	1.0000 /39,464	96,080.00	2.43	
SC391082	SC DESMONTAJE DE PLANTA BICOMPONENTE	gib	1.0000 /39,464	16,280.88	0.41	
TOTAL PARTIDA USD.....					250.11	

03.01.02.13 EJECUCION BOCA DE SALIDA/ENTRADA TBM EN TUNEL PUCARA/TRASANDINO.				1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC391087	EXCAVACION DE TUNEL EN BOQUILLAS	m3	526.4900	548.51	288,785.03	
SC391088	CERCHA TIPO W4X13	kg	7,097.6000	18.76	133,150.98	
SC391089	CONCRETO LANZADO F'c=25MPa EN TUNEL	m3	184.1960	1,200.75	221,173.35	
SC391090	ELIMINACION DE MATERIAL ACOPIADO DMAx=1KM	m3	526.4900	3.11	1,637.38	
SC391091	FORMACIÓN DE BOTADERO (TUNEL)	m3	529.4900	0.25	132.37	
SC391092	TRANSPORTE DE MATERIAL D=1KM	m3k	529.4900	0.85	450.07	
SC391093	CHAPA TIPO BERNOLD O SIMILAR E=2.00mm	m2	83.1500	172.93	14,379.13	
TOTAL PARTIDA USD.....					659,708.31	

03.01.02.14 DESMONTAJE DE TUNELADORA EN BOCA ENTRADA				1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	25.0000	20,520.24	513,006.00	
SC394026	SC MOVILIZACION TERRESTRE PIEZAS ESPECIALES	ton	100.0000	1,824.93	182,493.00	
SPMO0019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA	h	2,000.0000	14.44	28,880.00	
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	200.0000	549.04	109,808.00	
SPMA1108	GRUA HIDRÁULICA 30TN	hm	200.0000	105.79	21,158.00	
MT305912	MATERIALES VARIOS DESMONTAJE TBM	gib	1.0000	45,000.00	45,000.00	
TOTAL PARTIDA USD.....					900,345.00	

03.03.01.01 MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE TBM - FASE 1				1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394027	SC MOVILIZACION MARITIMA CONTENEDOR	und	30.0000	26,520.00	795,600.00	
SC394028	SC MOVILIZACION MARITIMA PIEZAS ESPECIALES	ton	483.0000	2,556.00	1,234,548.00	
SC394001	SC GASTOS PORTUARIOS	gib	3.0000	2,030,148.00	60,904.44	
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	30.0000	20,520.24	615,607.20	
SC394026	SC MOVILIZACION TERRESTRE PIEZAS ESPECIALES	ton	483.0000	1,824.93	881,441.19	
SPMO0019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA	h	40,320.0000	14.44	582,220.80	
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	1,440.0000	549.04	790,617.60	
SC398812	SC ASISTENCIA FABRICANTE DURANTE MONTAJE	mes	3.0000	1,624,768.16	4,874,304.48	
SC398813	SC ACOMPAÑAMIENTO POR FABRICANTE (20 ANILLOS)	gib	1.0000	3,491,460.00	3,491,460.00	
SC398814	SC ASISTENCIA ISP DURANTE MONTAJE	gib	1.0000	145,680.00	145,680.00	
MT300083	MATERIALES VARIOS DURANTE MONTAJE	gib	1.0000	1,727,304.00	1,727,304.00	
SC394029	SC EQUIPOS VARIOS DURANTE MONTAJE	gib	1.0000	540,000.00	540,000.00	
TOTAL PARTIDA USD.....					15,739,687.71	

03.03.01.02 MOVIL. TRANSP. Y MONT. CINTA TRANSPORTADORA DESESCOMBRADO TUNEL				1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA	h	4,332.0000	14.44	62,554.08	
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	100.0000	20,520.24	2,052,024.00	
SC398815	SC MONTAJE DE CINTA POR FABRICANTE	gib	1.0000	2,494,835.54	2,494,835.54	
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	1,200.0000	549.04	658,848.00	
SPMA1105	MANLIFT 120 FT	hm	1,200.0000	50.58	60,696.00	
SC302016	SC CIMENTACIONES CINTA TRANSPORTADORA	gib	1.0000	207,187.48	207,187.48	
TOTAL PARTIDA USD.....					5,536,145.10	

03.03.01.03		MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE PLANTA BI-COMPONENTE PARA INYECCION		1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	26.0000	20,520.24	533,526.24	
SC398816	SC MONTAJE PLANTA BENTONITA POR FABRICANTE	gib	1.0000	713,400.00	713,400.00	
SPMO0019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA/h	h	2,000.0000	14.44	28,880.00	
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	500.0000	549.04	274,520.00	
TOTAL PARTIDA USD.....					1,550,326.24	

03.03.01.04		MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE VIAS Y CAMBIOS		1m /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0020	CUADRILLA MONTAJE DE VIAS	hh	1.0000	47.50	47.50	
MT020060	CAMBIO DE VIA SIMPLE	jgo	5.0000	/15,959	21,950.00	6.88
MT020061	CAMBIO DE VIA DOBLE	jgo	1.0000	/15,959	65,850.00	4.13
SPMT0062	RIEL DE 30 KG/M	m	2.0000	x 1.05	45.30	95.13
MT020063	BRIDAS PARA CARRILES INC. ACCESORIOS	jgo	0.4000	x 1.05	36.36	15.27
MT020064	TIRAFONDOS	und	2.3000	x 1.05	3.00	7.25
MT020065	TRAVESAS DE VIA	jgo	0.8100	x 1.05	53.32	45.35
MT020069	CAMBIO CALIFORNIANO	jgo	1.0000	/15,959	226,204.00	14.17
MT020070	BURLADERO	jgo	0.0100	x 1.05	1,500.00	15.75
MT02%001	MATERIALES VARIOS PARA VIAS	%mt	10.0000		108.80	10.88
MT02%002	REPUESTOS VARIOS PARA VIAS	%mt	10.0000		119.68	11.97
TOTAL PARTIDA USD.....					274.28	

03.03.01.05		MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE DE LOCOMOTORAS Y VAGONES DE HASTA 16TON		1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394031	TRANSPORTE DE LOCOMOTORA	und	5.0000	79,141.40	395,707.00	
SC394032	TRANSPORTE DE VAGONES	und	13.0000	70,299.40	913,892.20	
SC394033	PUESTA EN MARCHA DE LOCOMOTORAS	gib	1.0000	531,825.90	531,825.90	
TOTAL PARTIDA USD.....					1,841,425.10	

03.03.01.06		MOVILIZACION FABRICA DOVELAS Y ELEMENTOS AUXILIARES		1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMA0514	CAMABAJA HASTA 28ton	hm	5,000.0000	360.99	1,804,950.00	
SPMA0516	CAMION PLATAFORMA HASTA 28ton	hm	1,500.0000	272.57	408,855.00	
SPMA0515	CAMIONETA RESGUARDO	dia	60.0000	694.34	41,660.40	
TOTAL PARTIDA USD.....					2,255,465.40	

03.03.01.07		MOVIL. TRANSP. MONT. PORTIGOS CARGA DE DOVELAS Y ELEMENTOS AUX.		1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMA0514	CAMABAJA HASTA 28ton	hm	2,500.0000	360.99	902,475.00	
SPMA0516	CAMION PLATAFORMA HASTA 28ton	hm	1,500.0000	272.57	408,855.00	
SPMA0515	CAMIONETA RESGUARDO	dia	30.0000	694.34	20,830.20	
TOTAL PARTIDA USD.....					1,332,160.20	

03.03.01.08		MOVILIZACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE G.E. 1250KVA		1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	4.0000	20,520.24	82,080.96	
SPMO0019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA/h	h	450.0000	/9	14.44	722.00
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	100.0000	/9	549.04	6,100.44
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	250.0000	/9	47.37	1,315.83
TOTAL PARTIDA USD.....					90,219.23	

03.03.01.09		MOVILIZACION NAVES TALLER, ALMACEN, BASCULA Y ELEM. AUXILIARES		1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	25.0000	20,520.24	513,006.00	
SC391075	MONTAJE DE TALLERES	gib	1.0000	151,145.54	151,145.54	
SC391076	MONTAJE PATIO DE DOVELAS	gib	1.0000	391,023.20	391,023.20	
TOTAL PARTIDA USD.....					1,055,174.74	

03.03.01.10		MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE VENTILADOR 160KW Y ELEM. AUXILIARES		1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	8.0000	20,520.24	164,161.92	
TOTAL PARTIDA USD.....					164,161.92	

03.03.01.11		MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE TUBERIA VENTILACION Y ELEM. AUXILIARES		1m /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MT300113	DUCTO DE VENTILACION D=1900MM	m	10,000.0000	/15,764	21.35	13.54
MT300114	SOPORTE DUCTO DE VENTILACION	und	3,977.0000	/15,764	6.50	1.64
MT020016	CABLE DE ACERO GALVANIZADO	m	31,818.0600	/15,764	0.49	0.99
TOTAL PARTIDA USD.....					16.17	

03.03.01.12		MOV. TRANSP. Y MONTAJE DE CABLEADO INSTALACIONES AUXILIARES TBM		1m /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MT305901	KIT DE EMPALME	und	54.0000	/15,764	754.60	2.58
MT305902	EMPALME DE CABLE DE 20KV	und	54.0000	/15,764	539.26	1.85
MT305903	TRANSFORMADORES	und	2.0000	/15,764	35,000.00	4.44
MT305904	CUADRO ELECTRICO ANDAMAYO	und	1.0000	/15,764	60,000.00	3.81
MT190230	CABLE 3X70+25 DE 22.9KV	m	15,909.0000	/15,764	36.73	37.07
MT190231	CABLE 3X70+25 DE 4.16KV	m	15,909.0000	/15,764	13.33	13.45
MT305905	SOPORTE DE EMPALME DE 22.9KV	und	53.0000	/15,764	100.00	0.34
MT190232	CABLE ROV 0.60/1 KV H1 CU2 3X35+54.6 (LUM.TUNEL)	m	15,909.0000	/15,764	2.30	2.32
MT190233	CABLE AEROPREX 0.60/1 KV 3X6MM (ALUMB. BT TUNEL)	m	15,909.0000	/15,764	2.02	2.04
MT190234	CABLE R 1X95 H07V-UJ-R A/V (TIERRA)	m	31,818.0600	/15,764	3.13	6.32
MT190235	CABLE EAP DE 16X2X0.9MM (COMUNIC.)	m	15,909.0000	/15,764	3.00	3.03
MT190236	CABLE RVC4V-K 30X1.5 (COMUNIC. CINTAS)	m	15,909.0000	/15,764	3.21	3.24
MT305020	CABLE DE FIBRA OPTICA	m	15,909.0000	/15,764	3.11	3.14
MT305906	TRANSFORMADOR 4.16/0.40 DE 10KVA	und	16.0000	/15,764	1,400.00	1.42
MT020017	SOPORTE CABLE TUNEL	und	10,606.0200	/15,764	12.53	8.43
MT305907	MATERIALES VARIOS	est	1.0000	/15,764	150,000.00	9.52
MT190237	CABLES VARIOS	est	1.0000	/15,764	275,000.00	17.44
MT305908	MATERIAL ELECTRICO CONSUMIBLE TBM	est	4,000.0000	/15,764	13.33	3.38
MT305909	MATERIAL ELECTRICO CONSUMIBLE TUNEL	est	12,000.0000	/15,764	13.33	10.15
MT305910	BOBINAS DE CABLE	est	1.0000	/15,764	67,472.67	4.28
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	3.0000	/15,764	20,520.24	3.91
TOTAL PARTIDA USD.....					142.16	

03.03.01.13 MOVIL. TRANSP. Y MONTAJE TUBERIA AGUA Y AIRE PARA INST. AUX. TBM				1m /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MT304022	DEPOSITOS DE AGUA	gib	2.0000	/15,764	20,000.00	2.54
MT304023	ESTACION DE BOMBEO	gib	2.0000	/15,764	20,000.00	2.54
MT650011	TUBERIA DE ACERO 6" - AGUA	m	10,000.0000	/15,764	12.47	7.91
MT650012	TUBERIA DE ACERO 8" - AGUA	m	10,000.0000	/15,764	15.62	9.91
MT650014	TUBERIA VICTAULIC ALTA RESISTENCIA 3"	m	15,909.0000	/15,764	12.53	12.65
MT650018	BRIDA VICTAULIC 6" CON JUNTA DE GOMA	und	1,666.0000	/15,764	32.76	3.46
MT650019	BRIDA VICTAULIC 8" CON JUNTA DE GOMA	und	1,666.0000	/15,764	59.58	6.30
MT650020	BRIDA VICTAULIC 3" CON JUNTA DE GOMA	und	2,652.0000	/15,764	26.29	4.42
MT650021	RACOR FLEXIBLE	und	63.6400	/15,764	100.00	0.40
MT650022	SOPORTE TUBERIA 3"	und	5,303.0100	/15,764	18.00	6.06
MT770006	LLAVE MARIPOSA CON ACOPLA VICTAULIC 6"	und	318.0000	/15,764	101.20	2.04
MT65%001	MATERIALES VARIOS RED DE AGUA	est	19.0000		51.11	9.71
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	26.0000	/15,764	20,520.24	33.84

TOTAL PARTIDA USD..... 101.78

03.03.01.14 MOVIL. TRANSP. MONTAJE DEPURADORA, CLARIFICADOR, DEPOSITO AGUA.				1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC394025	SC MOVILIZACION TERRESTRE CONTENEDOR	und	9.0000	20,520.24	184,682.16	
SC398817	SC MONTAJE DE PLANTA POR FABRICANTE	gib	1.0000	12,000.00	12,000.00	
SPM00019	CUADRILLA DE TALLERES - COSTO MEDIO POR PERSONA/h	h	400.0000	14.44	5,776.00	
SPMA1107	GRUA HIDRÁULICA 60TN	hm	24.0000	549.04	13,176.96	
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	125.0000	47.37	5,921.25	

TOTAL PARTIDA USD..... 221,556.37

03.03.01.15 MOVIL. TRANSP. MONTAJE Y ENLACE INFRAESTRUCTURA COMUNICACIONES				1gib /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC302021	CONSTRUCCION DE TROCHA DE ACCESO	km	4.0000	27,831.00	111,324.00	
SC302022	PREPARACION DE PLATAFORMA	m3	800.0000	5.09	4,072.00	
SC302023	CERCO PERIMETRICO	m	40.0000	240.00	9,600.00	
SC302024	TORRE DE COMUNICACION (TORRE, TORNILLERIA, RETENIDAS)	und	1.0000	60,000.00	60,000.00	
SC302025	ZAPATAS DE ANCLAJE	und	4.0000	3,000.00	12,000.00	
SC302026	EQUIPAMIENTO SUMINISTRO ENERGIA ELECTRICA (G.E.+TANQUE+BATERIAS)	und	1.0000	50,000.00	50,000.00	
SC302027	SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TORMENTAS (PTA. FRANKLIN + P.TIERRA)	und	1.0000	15,000.00	15,000.00	
SC302028	EQUIPOS DE COMUNICACIONES (ANTENAS + ACCESORIOS)	jgo	1.0000	120,000.00	120,000.00	
SC302029	CONEXION A RED DE PROVEDOR	gib	1.0000	167,169.00	167,169.00	

TOTAL PARTIDA USD..... 549,165.00

03.03.01.16 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA PARA COMUNICACIONES				1und /hr		
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SC302020	SC MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA SISTEMA DE COMUNICACIONES	und	1.0000	4,982.00	4,982.00	

TOTAL PARTIDA USD..... 4,982.00

ANEXO C

Datos Generales de sección normal de túnel

Ancho (m)	4.50
Radio bóveda (m)	2.25
Altura hastial (m)	2.60
Revestimiento (m)	0.05
Losa (m)	0.15
Sección túnel (m2)	19.65

Maquinaria para la ejecución de los túneles

Actividad	Equipo	Und	Observaciones
Perforación			
Jumbo de perforación	Jumbo de dos brazos con chasis sobre neumáticos y con deslizadera extensible	1	
Excavación mecánica			
Retroexcavadora con martillo hidráulico	Retroexcavadora 101 HP	1	
Saneamiento de los hastiales y bóveda			
Desatar	Desacatador mecanizado Scaler	1	
Carga y transporte del material excavado al acopio intermedio			
Pala de perfil bajo diesel	Modelo LH-307 o similar con chasis sobre neumáticos	1	
Carga y transporte del material excavado al portal			
Pala de perfil bajo diesel	Modelo LH-307 o similar con chasis sobre neumáticos	1	La misma que hace el transporte al acopio intermedio.
Camion volquete 15m3		3	
Sostenimiento o fortificación			
Colocación de pernos y micropilotes	Jumbo de dos brazos con chasis sobre neumáticos y con deslizadera extensible	1	La misma que hace la perforación de taladros para explosivos.
Robot de concreto proyectado	Modelo SPM-4210 o similar por vía húmeda	1	
Instalación de pernos y marcos metálicos	Telehandler	1	
Transporte de shotcrete	Camión Mixer 4.0m3 perfil bajo	1	

Medidas de excavación de sección normal de túnel

Descripción	ST-I	ST-II	ST-III	ST-IV	ST-V	ST-VI
Radio boveda (m)	2.65	2.65	2.70	2.77	2.77	2.82
Ancho (m)	5.30	5.30	5.40	5.54	5.54	5.64
Altura hastiales (m)	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Sección de excavación (m ²)	25.87	25.87	26.57	27.56	27.56	28.28

Datos de sostenimiento

Tipo de Sostenimiento	Rangos de RMR	Longitud de pase (m)	Shotcrete Sellado (cm)	Pernos	Shotcrete definitivo (cm)	Cerchas	Otros
ST-I	>70	3.60	3	2.0 x 2.0			Solo en boveda
ST-II	61-70	3.00	3	1.7 x 1.7			-
ST-III	51-60	2.40	3	1.5 x 1.5	5		-
ST-IV	41-50	1.50	3	1.0 x 1.0	12	@ 1.50	-
ST-V	31-40	1.00	3		12	@ 1.00	Paraguas de micropilotes L=9 m
ST-VI	<31	0.75	3		17	@ 0.75	Contrafuerte; Paraguas de micropilotes L=9 m

Cálculo de ciclo de excavación de sección normal de túnel

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Excavación	m3/m		22.23	22.23	22.88	23.82	23.82	24.49
RMR			>70	70-60	60-50	50-40	40-30	<30
Long. Perforación /disparo	pie		12.0	10.0	8.0	5.0	3.3	2.5
	m		3.60	3.00	2.40	1.50	1.00	0.75
Eficiencia por disparo			92%	92%	92%	92%	100%	100%
Avance por disparo	m		3.31	2.76	2.21	1.38	1.00	0.75
Volumen en banco	m3		73.61	61.34	50.53	32.87	23.82	18.37
Perforación por disparo	m		299	243	178	102	53	
Esponjamiento		1.5						
Volumen suelto	m3		110.42	92.01	75.79	49.30	35.73	27.56
	p		17.84	17.84	18.09	18.45	18.45	18.71
	dt		0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	
	c		2.00	2.00	1.75	1.50	1.00	
	Numero		80	77	70	64	50	
Numero de Taladros Perforados			83	81	74	68	53	
Espaciamiento Taladros Contorno			0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Espaciamiento Taladros Producción			0.6	0.7	0.7	0.75	0.75	0.75
Piso			10	9	9	8	8	
Hastiales			12	12	10	10	8	
Boveda			16	15	14	14	13	
Arranque			9	9	9	9	9	
Producción			36	36	32	27	15	
PERFORACION DE FRENTE								
Velocidad de perforación	pie/min	8.00						
	m/min	2.44						
	Efic.	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	m/min	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63
Tiempo de perforación	m/hr	97.54	97.54	97.54	97.54	97.54	97.54	97.54
	min		184	149	109	63	33	
	Nº eq.	1.67						
	min		110	90	66	38	20	
	hr		1.84	1.49	1.09	0.63	0.33	
Ratio	hm/m		0.55	0.54	0.49	0.45	0.33	
Uso de Jumbo	min		214	179	139	93	63	
	hr		3.56	2.99	2.32	1.55	1.04	
Instalación jumbo frente	min	15	15	15	15	15	15	
Perforación	min		184	149	109	63	33	
Desinstalación jumbo frente	min	15	15	15	15	15	15	

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
LIMPIEZA DE FRENTE								
Volumen cucharon	yd3	6.3						
	m3	4.60						
Viajes			25	21	17	11	8	6
Tiempo eliminacion	min	6.15	154	129	105	68	49	37
	hr		2.56	2.15	1.74	1.13	0.82	0.62
Dist.	km	0.175						
vel.	km/hr	10						
t.viaje	min	2.10						
carguio	min	1.00						
descarga	min	1.00						
Eficiencia		67%						
Rendimiento	m3/hr		28.73	28.50	29.00	29.15	29.05	29.87
Uso de Scoop	min		166	141	117	80	61	49
	hr		2.76	2.35	1.94	1.33	1.02	0.82
Traslado al frente de trabajo	min	12	12	12	12	12	12	12
Eliminación	min		154	129	105	68	49	37
COLOCACION DE PERNOS								
Perimetro								
Densidad pernos	und/m		1.87	4.52	5.88	8.61		
Espaciamiento								
Pernos por disparo	und		7	13	13	12		
Longitud del perno	m		2.1	2.1	2.1	2.1		
Longitud total de perforacion	m		14.7	27.3	27.3	25.2		
Tiempo de perforación								
Velocidad de perforación	pie/min	8.00						
	m/min	2.44						
	Efic.	0.67						
	m/min	1.63						
Tiempo perforación	min		9.04	16.79	16.79	15.50		
Instalación jumbo frente	min		15	15	15	15		
Desinstalación de Jumbo	min		10	10	10	10		
Tiempo total de perforacion	min		34	42	42	41		
Tiempo de instalación								
Tiempo instalación perno	min/und	3.00	21.00	39.00	39.00	36.00		
Tiempo total de instalación	min		21	39	39	36		
Tiempo colocado pernos	min		55	81	81	77		

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
SHOTCRETE - SELLADO								
Perimetro a revestir	m2/m		7.27	12.87	13.03	13.25	13.25	13.41
Espesor	m		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Lanzado de shotcrete	m3/m		0.22	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40
Factor rugosidad		40%	0.09	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
Factor rebote		30%	0.07	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Factor seguridad		30%	0.07	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Total por m	m3/m		0.44	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80
Volumen a colocar por disparo	m3		1.45	2.13	1.73	1.10	0.79	0.60
Volumen teorico a colocar	m3		0.72	1.07	0.86	0.55	0.40	0.30
Factor			2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Tiempo de lanzado								
Tiempo de recorrido	min hr	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Dist. vel.		0.5 8						
t.viaje	min	7.50						
Eficiencia		83%						
Instal./desinst. robot shotcrete	min		15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Tiempo de espera mixer	min		15.00	15.00	15.00	15.00	30.00	30.00
Colocación de shotcrete	m3/hr	10	0.14	0.21	0.17	0.11	0.08	0.06
	min		8.67	12.79	10.36	6.58	4.77	3.62
t.parcial eficiencia	min	83%	47.67	51.79	49.36	45.58	58.77	57.62
T. efectivo de colocación de shotcrete	min		57.21	62.15	59.23	54.70	70.52	69.14
SHOTCRETE - SOSTENIMIENTO								
Perimetro a revestir	m2/m				12.90	13.01	13.01	13.09
Espesor	m				0.05	0.12	0.12	0.17
Lanzado de shotcrete	m3/m				0.65	1.56	1.56	2.23
Factor rugosidad		40%			0.26	0.62	0.62	0.89
Factor rebote		30%			0.19	0.47	0.47	0.67
Factor seguridad		30%			0.19	0.47	0.47	0.67
Total por m	m3/m				1.29	3.12	3.12	4.45
Volumen a colocar por disparo	m3				2.85	4.31	3.12	3.34
Volumen teorico a colocar	m3				1.42	2.16	1.56	1.67
Factor					2.00	2.00	2.00	2.00
Tiempo de lanzado								
Tiempo de recorrido	min hr	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Dist. vel.		0.5 8						
t.viaje	min	7.50						
Eficiencia		83%						
Instal./desinst. robot shotcrete	min		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Tiempo de espera mixer	min		15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Colocación de shotcrete	m3/hr	10			0.28	0.43	0.31	0.33
	min				17.10	25.86	18.74	20.03
t.parcial eficiencia	min	83%	44.00	44.00	61.10	69.86	62.74	64.03
T. efectivo de colocación de shotcrete	min				73.31	83.83	75.29	76.84

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
MARCOS RETICULADOS								
Colocado de marcos								
Preparación de terreno	min					30.00	30.00	30.00
Armado de marco	min					120.00	120.00	120.00
Fijado de marco	min					60.00	60.00	60.00
Colocado de planchas	min					45.00	45.00	45.00
Topeado (bolsacretos)	min					45.00	45.00	45.00
Tiempo para instalación de cimbras	min					300.00	300.00	300.00
						0.20	0.20	0.20
						2.20	2.20	2.20
PARAGUAS								
Colocación								
Velocidad de perforación	pie/min	8.00						
	m/min	2.44						
	Efic.	0.40						
	m/min	0.98						
	m/hr	58.52						
Número de micropilotes	und						11	11
Longitud de micropilote	m						9	9
Total metros de micropilotes	m						99	99
Tiempo de perforación	min						101.50	101.50
Uso de Jumbo	min						162	162
	hr						2.69	2.69
Instalación jumbo frente	min	30					30	30
Perforación	min						102	102
Tiempo para extension de miropilote	min/und	4.03						
Uniones de micropilote	und						22	22
Extension de micropilote (cada 3 m)	min						89	89
Desinstalación jumbo frente	min	30					30	30
Velocidad de inyección	m/min	4.94						
Inyección de lechada	min						20	20
Espera de fraguado	min	240					240	240
Retirada de equipos	min						30	30
Tiempo de instalación de paraguas	min						540	540
Ciclos al amparo del paraguas	und						6	8
Tiempo distribuido por ciclo de avance	min						90	68

ANEXO D

Datos Generales de sección de ensanche de túnel

Ancho (m)	6.50
Radio bóveda (m)	2.25
Altura hastial (m)	2.60
Revestimiento (m)	0.05
Losa (m)	0.15
Sección túnel (m2)	29.35

Medidas de excavación de sección de ensanche de túnel

Descripción	ST-I	ST-II	ST-III	ST-IV	ST-V	ST-VI
Radio bóveda (m)	2.38	2.38	2.43	2.50	2.50	2.55
Ancho (m)	6.76	6.76	6.86	7.00	7.00	7.10
Altura hastiales (m)	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Sección de excavación (m2)	32.59	32.59	33.34	34.42	34.42	35.19

Cálculo de ciclo de excavación de sección de ensanche de túnel

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Excavación	m3/m		32.59	32.59	33.34	34.42	34.42	35.19
RMR			>70	70-60	60-50	50-40	40-30	<30
Long. Perforación /disparo	pie m		12.0 3.60	10.0 3.00	8.0 2.40	5.0 1.50	3.3 1.00	2.5 0.75
Eficiencia por disparo			92%	92%	92%	92%	100%	100%
Avance por disparo	m		3.31	2.76	2.21	1.38	1.00	0.75
Volumen en banco	m3		107.92	89.94	73.62	47.50	34.42	26.40
Perforación por disparo	m		403	330	238	135	69	
Esponjamiento		1.5						
Volumen suelto	m3		161.89	134.90	110.43	71.24	51.63	39.59
	p		21.84	21.84	22.09	22.45	22.45	22.71
	dt		0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	
	c		2.00	2.00	1.75	1.50	1.00	
	Numero		109	105	95	86	66	
Numero de Taladros Perforados			112	110	99	90	69	
Espaciamiento Taladros Contorno			0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Espaciamiento Taladros Producción			0.6	0.7	0.7	0.75	0.75	0.75
Piso			14	13	12	11	10	
Hastiales			12	12	10	10	8	
Boveda			20	19	18	17	16	
Arranque			9	9	9	9	9	
Producción			57	57	50	43	26	
PERFORACION DE FRENTE								
Velocidad de perforación	pie/min m/min Efic. m/min	8.00 2.44 0.67 1.63	0.67 1.63	0.67 1.63	0.67 1.63	0.67 1.63	0.67 1.63	0.67 1.63
Tiempo de perforación	m/hr min N° eq. min hr	97.54 1.67	97.54 248	97.54 203	97.54 146	97.54 83	97.54 42	97.54
Ratio	hm/m		0.75	0.74	0.66	0.60	0.42	
Uso de Jumbo	min hr		278 4.63	233 3.88	176 2.94	113 1.88	72 1.21	
Instalación jumbo frente	min	15	15	15	15	15	15	
Perforación	min		248	203	146	83	42	
Desinstalación jumbo frente	min	15	15	15	15	15	15	

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
LIMPIEZA DE FRENTE								
Volumen cucharon	yd3	6.3						
	m3	4.60						
Viajes			36	30	25	16	12	9
Tiempo eliminacion	min	6.15	221	185	154	98	74	55
	hr		3.69	3.08	2.56	1.64	1.23	0.92
Dist.	km	0.175						
vel.	km/hr	10						
t.viaje	min	2.10						
carguio	min	1.00						
descarga	min	1.00						
Eficiencia		67%						
Rendimiento	m3/hr		29.25	29.25	28.73	28.96	27.98	28.61
Uso de Scoop	min		233	197	166	110	86	67
	hr		3.89	3.28	2.76	1.84	1.43	1.12
Traslado al frente de trabajo	min	12	12	12	12	12	12	12
Eliminación	min		221	185	154	98	74	55
COLOCACION DE PERNOS								
Perimetro								
Densidad pernos	und/m		2.37	5.22	6.77	9.89		
Espaciamiento								
Pernos por disparo	und		8	15	15	14		
Longitud del perno	m		2.1	2.1	2.1	2.1		
Longitud total de perforacion	m		16.8	31.5	31.5	29.4		
Tiempo de perforación								
Velocidad de perforación	pie/min	8.00						
	m/min	2.44						
	Efic.	0.67						
	m/min	1.63						
Tiempo perforación	min		10.33	19.38	19.38	18.09		
Instalación jumbo frente	min		15	15	15	15		
Desinstalación de Jumbo	min		10	10	10	10		
Tiempo total de perforacion	min		35	44	44	43		
Tiempo de instalación								
Tiempo instalación perno	min/und	3.00	24.00	45.00	45.00	42.00		
Tiempo total de instalación	min		24	45	45	42		
Tiempo colocado pernos	min		59	89	89	85		

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
SHOTCRETE - SELLADO								
Perimetro a revestir	m2/m		9.27	14.87	15.03	15.25	15.25	15.41
Espesor	m		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Lanzado de shotcrete	m3/m		0.28	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46
Factor rugosidad		40%	0.11	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Factor rebote		30%	0.08	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
Factor seguridad		30%	0.08	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
Total por m	m3/m		0.56	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92
Volumen a colocar por disparo	m3		1.84	2.46	1.99	1.26	0.91	0.69
Volumen teorico a colocar	m3		0.92	1.23	1.00	0.63	0.46	0.35
Factor			2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Tiempo de lanzado								
Tiempo de recorrido	min	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	hr							
	Dist.	0.5						
	vel.	8						
	t.viaje	min	7.50					
	Eficiencia	83%						
Instal./desinst. robot shotcrete	min		15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Tiempo de espera mixer	min		15.00	15.00	15.00	15.00	30.00	30.00
Colocación de shotcrete	m3/hr	10	0.18	0.25	0.20	0.13	0.09	0.07
	min		11.06	14.78	11.95	7.58	5.49	4.16
t.parcial	min		50.06	53.78	50.95	46.58	59.49	58.16
eficiencia		83%						
T. efectivo de colocación de shotcrete	min		60.07	64.53	61.14	55.89	71.39	69.79
SHOTCRETE - SOSTENIMIENTO								
Perimetro a revestir					14.90	15.01	15.01	15.09
Espesor					0.05	0.12	0.12	0.17
Lanzado de shotcrete	m3/m				0.75	1.80	1.80	2.57
Factor rugosidad		40%			0.30	0.72	0.72	1.03
Factor rebote		30%			0.22	0.54	0.54	0.77
Factor seguridad		30%			0.22	0.54	0.54	0.77
Total por m	m3/m				1.49	3.60	3.60	5.13
Volumen a colocar por disparo	m3				3.29	4.97	3.60	3.85
Volumen teorico a colocar	m3				1.65	2.49	1.80	1.92
Factor					2.00	2.00	2.00	2.00
Tiempo de lanzado								
Tiempo de recorrido	min	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	hr							
	Dist.	0.5						
	vel.	8						
	descarga	min						
	Eficiencia	83%						
Instal./desinst. robot shotcrete	min		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Tiempo de espera mixer	min		15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Colocación de shotcrete	m3/hr	10			0.33	0.50	0.36	0.38
	min				19.75	29.84	21.62	23.09
t.parcial	min		44.00	44.00	63.75	73.84	65.62	67.09
eficiencia		83%						
T. efectivo de colocación de shotcrete	min				76.49	88.60	78.74	80.51

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
MARCOS RETICULADOS					2.58			
Colocado de marcos								
Preparación de terreno	min					30.00	30.00	30.00
Armado de marco	min					150.00	150.00	150.00
Fijado de marco	min					60.00	60.00	60.00
Colocado de planchas	min					45.00	45.00	45.00
Topeado (bolsacretos)	min					45.00	45.00	45.00
Tiempo para instalación de cimbras	min					330.00	330.00	330.00
						0.18	0.18	0.18
						2.00	2.00	2.00
PARAGUAS								
Colocación								
Velocidad de perforación	pie/min	8.00						
	m/min	2.44						
	Efic.	0.40						
	m/min	0.98						
	m/hr	58.52						
Número de micropilotes	und						15	15
Longitud de micropilote	m	9.00					9.00	9.00
Total metros de micropilotes	m						135	135
Tiempo de perforación	min						138.41	138.41
Uso de Jumbo	min						198	198
	hr						3.31	3.31
Instalación jumbo frente	min	30					30	30
Perforación	min						138	138
Tiempo para extensión de micropilote	min/und	4.03						
Uniones de micropilote	und						30	30
Extensión de micropilote (cada 3 m)	min						121	121
Desinstalación jumbo frente	min	30					30	30
Velocidad de inyección	m/min	4.94						
Inyección de lechada	min						27	27
Espera de fraguado	min	240					240	240
Retirada de equipos	min						30	30
Tiempo de instalación de paraguas	min						616	616
Ciclos al amparo del paraguas	und						6	8
Tiempo distribuido por ciclo de avance	min						103	77

Tipo de Roca	UND	Factores	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V	Tipo VI
Ciclo de Perforación								
Tipo de roca								
Marcado del frente	min		56	55	50	45	35	15
Excavación por medios mecánicos	min					60	60	201
Perforación	min		179	152	118	80	55	
Carguío y disparo	min		103	101.5	94.35	88.5	74.85	
Ventilación	min		30	30	30	30	30	
Desatar e inspección geotécnica del frente	min		30	30	30	30	30	30
Limpieza	min		221	185	154	98	74	55
Colocado de pernos	min		59	89	89	85		
Shotcrete - Sellado	min		60	65	61	56	71	70
Shotcrete - Sostenimiento	min				76	89	79	81
Marco reticulado	min					330	330	330
Paraguas							103	77
CICLO TOTAL	min		738	707	702	991	941	868
	hr		12.3	11.8	11.7	16.5	15.7	14.5
Avance diario	m/d		5.92	5.16	4.15	1.84	1.40	1.14
RENDIMIENTO								
Jornada	22							
Disparos por jornada		ciclo/d	1.79	1.87	1.88	1.33	1.40	1.52
Avance por ciclo		m3/m3/ciclo	107.92	89.94	73.62	47.50	34.42	26.40
Rendimiento jornada		m3/d	192.92	167.98	138.37	63.24	48.25	40.15
Turnos por día			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Rendimiento ponderado para sección de ensanche de adit de túnel Pucará

Tipo de Sostenimiento	% en Túnel Pucará	Long Adit Pucará (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (d)
ST-I	11.4%	10	5.92	2
ST-II	18.1%	15	5.16	3
ST-III	29.3%	25	4.15	6
ST-IV	26.2%	22	1.84	12
ST-V	15.0%	13	1.40	9
ST-VI	0.0%	0	1.14	0
Total	100.0%	85	2.67	32

Rendimiento ponderado para sección de ensanche de adit de túnel Trasandino

Tipo de Sostenimiento	% en Túnel Trasandino	Long Adit Trasandino (m)	Rendimientos (m/d)	Plazo (d)
ST-I	19.4%	158	5.92	27
ST-II	25.9%	211	5.16	41
ST-III	20.1%	164	4.15	39
ST-IV	26.3%	214	1.84	117
ST-V	8.3%	68	1.40	48
ST-VI	0.0%	0	1.14	0
Total	100.0%	815	3.00	272

Cálculo de rendimiento final de túnel Pucará

Sección	Longitud (m)	Incidencia	Rendimiento (m/d)	Plazo (d)
Normal	5,950	94.4%	3.07	1,937
Ensanche	350	5.6%	2.67	131
Total	6,300	100.0%	3.05	2,068

Cálculo de rendimiento final de túnel Trasandino

Sección	Longitud (m)	Incidencia	Rendimiento (m/d)	Plazo (d)
Normal	8,889	93.9%	3.48	2,558
Ensanche	575	6.1%	3.00	192
Total	9,464	100.0%	3.44	2,750

ANEXO E

Cálculo de Mano de Obra Subterránea

Cargo	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Parcial (USD)	Categoría
Capataz	1.0	10.74	10.74	Jefe de grupo
Operador Jumbo	1.0	10.00	10.00	Operador
Ayudante Jumbo	1.0	7.44	7.44	Ayudante
Operador Scoop	1.0	10.00	10.00	Operador
Operador Scaler	1.0	10.00	10.00	Operador
Operador Retroexcavadora	1.0	10.00	10.00	Operador
Operadores de volquete	2.0	10.00	20.00	Operador
Oficial bombero	2.0	8.11	16.22	Oficial
Electricista	0.5	10.74	5.37	Operario
Preparador carga	1.0	9.59	9.59	Operario
Ayudantes cuneteros	3.0	7.44	22.32	Ayudante
Operarios cimbreros	3.0	9.59	28.77	Operario
operarios pernos	3.0	9.59	28.77	Operario
Operador de lanzador	1.0	10.00	10.00	Operador
Ayudantes p/instalaciones	3.0	7.44	22.32	Ayudante
Operador de telehandler	1.0	10.00	10.00	Operador
COSTO HORA (USD)	25.50	9.08	231.54	

Cálculo de costo de equipos

JUMBO HIDRAULICO

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		2.30	3.74	8.60
PERFORADOR HIDRAULICO TIPO ATLAS COPCO RB282	HM	1.00	1.00	200.60	200.60
Total					219.20

SCOOP

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		6.70	3.74	25.06
CARGADOR FRONTAL BAJO PERFIL 6YD3	HM	1.00	1.00	111.82	111.82
Total					146.88

RETROEXCAVADORA 127 HP

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		2.00	3.74	7.48
RETROEXCAVADORA CAT 127HP	HM	1.00	1.00	23.41	23.41
Total					40.89

SCALER

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		2.30	3.74	8.60
DESATADOR MECANIZADO SCALER	HM	1.00	1.00	150.60	150.60
Total					169.20

TELEHANDER

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		1.50	3.74	5.61
MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	HM	1.00	1.00	31.76	31.76
Total					47.37

LANZADOR DE CONCRETO

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		2.30	3.74	8.60
ROBOT LANZADOR DE CONCRETO	HM	1.00	1.00	160.70	160.70
Total					179.30

VOLQUETE

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (USD)	Parcial (USD)
Operador	HH	1.00	1.00	10.00	10.00
Petroleo Biodiesel B2	gal		3.20	3.74	11.97
CAMION VOLQUETE 15M3	HM	1.00	1.00	30.60	30.60
Total					52.57

Análisis de Precios Unitarios (Fecha del presupuesto 09 dic 2015)

02.02.02.02.02 EXCAVACIÓN DE TÚNEL TERRENO SECCIÓN TIPO I		4.5m3 /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0005	CUADRILLA MANO DE OBRA SUBTERRANEA	hh	1.0000	196.82	43.74	
MT300062	COUPLING R38/T38	und	0.0019	55.43	0.11	
MT300028	BROCA DE RIMADO 100MM NO REQUIERE ADAPTADOR	und	0.0002	359.00	0.07	
MT300061	SHANK ADAPTER R32/R38/T38	und	0.0019	254.62	0.48	
MT300032	BARRA DE PERFORACION 14"	pza	0.0016	414.34	0.66	
MT300006	BROCA DE BOTONES 51MM	und	0.0117	125.31	1.47	
MT270009	FAMECORTE P-60 4.2M O SIMILAR	und	0.2386	1.77	0.42	
MT270011	MECHA DE SEGURIDAD	ml	0.4114	0.25	0.10	
MT270002	DETONANTES TIPO FANEL	und	0.7818	2.87	2.24	
MT270116	CORDÓN DETONANTE 5G	ml	0.7818	0.29	0.23	
MT280153	EMULSION ENCARTUCHADA (EMULNOR 5000 O SIMILAR)	kg	0.3801	2.70	1.03	
MT280154	EMULSION ENCARTUCHADA (EMULNOR 3000 O SIMILAR)	kg	1.2700	2.54	3.23	
SPMA0803	JUMBO HIDRAULICO DE 2 BRAZOS TIPO ATLAS COPCO RB282	hm	1.0000	219.20	48.71	
SPMA0606	CARGADOR FRONTAL BAJO PERFIL 6YD3	hm	1.0000	146.88	32.64	
SPMA0805	DESATADOR MECANIZADO SCALER	hm	1.0000	169.20	37.60	
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	1.0000	47.37	10.53	
SPTUN001	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A SUPERFICIE	m3	1.0000	12.80	12.80	
SPTUN002	INSTALACIONES AUXILIARES - TUNEL TERRENO CLASE "A"	m	0.0772	1,850.11	142.83	
TOTAL PARTIDA USD.....					338.89	

02.02.03.03 PERNO HELICOIDAL D=32mm x 2m EN TUNEL (INC. ACCESORIOS)		3.5und /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	3.07	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	1.0000	9.59	2.74	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	2.0000	7.44	4.25	
MT304073	CEMBOLT	pza	4.0000 x 1.20	0.66	3.17	
MT304072	RESINA EPOXICA DE 1" RAPIDA	pza	2.0000 x 1.20	2.96	7.10	
MT020151	BARRA DE ACERO HELICOIDAL D=32MM	m	2.0000 x 1.20	11.00	26.40	
MT020152	PLANCHA Y TUERCA PARA BARRA HELICOIDAL D=32MM	jgo	1.0000 x 1.20	17.00	20.40	
MA491118	BOMBA DE INYECCION (PERNOS)	hm	1.0000	5.00	1.43	
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	1.0000	47.37	13.53	
SPTUN008	PERFORACION PARA PERNO HELICOIDAL	m	2.0000 x 1.20	46.26	111.02	
TOTAL PARTIDA USD.....					193.11	

02.02.03.04 SHOTCRETE PROYECTADO F'C=25MPA EN TÚNEL		1m3 /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO473007	OPERARIO SUBTERRANEO	hh	1.0000	9.59	9.59	
MO475008	JEFE DE GRUPO SUBTERRANEO	hh	1.0000	10.74	10.74	
MO471008	AYUDANTE SUBTERRANEO	hh	2.0000	7.44	14.88	
SPMA0901	ROBOT LANZADOR DE CONCRETO	hm	1.0000	179.20	179.20	
SPCC0251	SUMINISTRO DE SHOTCRETE F'C=25MPA, CEMENTO IP -m3 FASE I	m3	1.0000 x 2.00	493.17	986.34	
TOTAL PARTIDA USD.....					1,200.75	

02.02.03.06 ACERO EN MARCOS TIPO W4X13		18kg /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0005	CUADRILLA MANO DE OBRA SUBTERRANEA	hh	1.0000	196.82	10.93	
MT020068	PERFL W4"x13	kg	1.0000 x 1.05	2.80	2.94	
MT030001	ACERO DE REFUERZO	kg	0.1000	0.99	0.10	
MT300017	BARRENO INTEGRAL 3"	und	0.0050	110.22	0.55	
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	1.0000	47.37	2.63	
MA491152	PERFORADORA NEUMATICA	hm	2.0000	5.14	0.57	
SPMA0705	COMPRESORA 1000 PCM	hm	0.5000	76.52	2.13	
SPMA0803	JUMBO HIDRAULICO DE 2 BRAZOS TIPO ATLAS COPCO RB282	hm	0.2000	219.20	2.44	
TOTAL PARTIDA USD.....					22.29	

02.02.03.07 MICROPILOTE EN PARAGUAS PESADO		5m /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
SPMO0005	CUADRILLA MANO DE OBRA SUBTERRANEA	hh	1.0000	196.82	39.36	
MT300019	BROCA PILOTO PARA MICROPILOTES SISTEMA P89	und	0.0040 x 1.05	1,482.64	6.23	
MT300022	CASING INICIAL RING BIT Y 2.95M DE EXTENSION	und	0.0833 x 1.05	367.70	32.16	
MT650007	CASING DE EXTENSION X 3.00M	und	0.2500 x 1.05	177.15	46.50	
MT300061	SHANK ADAPTER R32/R38/T38	und	0.0005 x 1.05	254.62	0.13	
MT300062	COUPLING R38/T38	und	0.0005 x 1.05	55.43	0.03	
MT300063	SPEEDROD T38 DE 10PIE	und	0.0057 x 1.05	846.20	5.06	
SPMA0803	JUMBO HIDRAULICO DE 2 BRAZOS TIPO ATLAS COPCO RB282	hm	1.0000	219.20	43.84	
SPMA1106	MANIPULADOR TELESCOPICO TELEHANDLER	hm	1.0000	47.37	9.47	
SP0303060502	INYECCION DE MICROPILOTES	ton	0.3000 x 1.20	350.72	126.26	
TOTAL PARTIDA USD.....					309.04	

02.02.03.05 CONCRETO F'C=10MPa EN SOLADOS - T.DESVÍO		2m3 /hr				
CÓDIGO	RECURSO	UD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
MO475001	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.0000	10.74	5.37	
MO473001	OPERARIO CIVIL	hh	4.0000	9.59	19.18	
MO472001	OFICIAL CIVIL	hh	8.0000	8.11	32.44	
MO471001	AYUDANTE CIVIL	hh	6.0000	7.44	22.32	
SPCON002	CURADO DE CONCRETO	m2	10.0000	1.38	13.80	
SPPCO101	SUMINISTRO DE CONCRETO F'C=100KG/CM2, FASE I, D=1KM	m3	1.0000 x 1.30	91.30	118.69	
SPCON008	TRANSPORTE DE CONCRETO D=1KM	m3k	3.0000 x 1.30	1.63	6.36	
TOTAL PARTIDA USD.....					218.16	

Cálculo de costo de instalaciones

FRENTE 01

Long.	m	1,998
Excavación	m	1,998
Plazo	día	656
	mes	21.9

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	2,161	3.62	7,824
Hidrocoplas 2"	und	50	48	11.32	543
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	2,161	7.15	15,454
Hidrocoplas 4"	und	50	48	25.09	1,205
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	2,161	7.15	15,454
Hidrocoplas 4"	und	50	48	25.09	1,205
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		1	49,850.00	49,850
Manga de ventilacion	m	1.03	2,079	20.00	41,581
Soportes de ventilación	und		520	6.50	3,378
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		1	150,000.00	150,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	2,079	36.97	76,862
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	2,079	22.84	47,485
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	2,079	3.13	6,503
Soporte cable túnel			1,386	12.53	17,364
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	667	10.00	6,670
Alcayatas electricas	und	3	667	7.00	4,669
Combustible Compresora	gln	6.5	25,590	3.74	95,705
Combustible Grupos	gln		424,419	3.74	1,587,327

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 2,129,080

IMPREVISTOS : 212,908

TOTAL MATERIALES (US\$) : 2,341,988

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	2	656	10.82	14,199
Compresora 750 cfm	hm	6	3,937	26.99	106,256
Pulmon de aire	dia	1	656	10.00	6,561
Grupo electrogeno de 250kW	hm		33,954	10.00	339,535

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 466,551

IMPREVISTOS : 46,655

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 513,207

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 2,855,195

FRENTE 02, AP y 03

		02	AP	03
Long.	m	1,902	85	1,159
Excavación	m	1,902	85	1,159
Plazo	día	624	32	381
	mes	20.8	1.1	12.7

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	3,430	3.62	12,418
Hidrocoplas 2"	und	50	76	11.32	860
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	3,430	7.15	24,528
Hidrocoplas 4"	und	50	76	25.09	1,907
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	3,430	7.15	24,528
Hidrocoplas 4"	und	50	76	25.09	1,907
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		2	49,850.00	99,700
Manga de ventilacion	m	1.03	3,348	20.00	66,961
Soportes de ventilación	und		837	6.50	5,441
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		2	150,000.00	300,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	3,348	36.97	123,777
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	3,348	22.84	76,469
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	3,348	3.13	10,473
Soporte cable túnel			2,232	12.53	27,963
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	1,077	10.00	10,770
Alcayatas electricas	und	3	1,077	7.00	7,539
Combustible Compresora	gln	6.5	40,430	3.74	151,209
Combustible Grupos	gln		556,073	3.74	2,079,714

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 3,026,164

IMPREVISTOS : 302,616

TOTAL MATERIALES (US\$) : 3,328,781

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	4	1,037	10.82	44,867
Compresora 750 cfm	hm	6	6,220	26.99	167,879
Pulmon de aire	dia	1	1,037	10.00	10,367
Grupo electrogeno de 250kW	hm		44,486	10.00	444,859

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 667,971

IMPREVISTOS : 66,797

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 734,768

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 4,063,549

FRENTE 04

Long.	m	1,256
Excavación	m	1,256
Plazo	día	412
	mes	13.7

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	1,397	3.62	5,056
Hidrocoplas 2"	und	50	31	11.32	351
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	1,397	7.15	9,986
Hidrocoplas 4"	und	50	31	25.09	778
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	1,397	7.15	9,986
Hidrocoplas 4"	und	50	31	25.09	778
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		1	49,850.00	49,850
Manga de ventilacion	m	1.03	1,314	20.00	26,285
Soportes de ventilación	und		329	6.50	2,136
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		1	150,000.00	150,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	1,314	36.97	48,588
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	1,314	22.84	30,018
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	1,314	3.13	4,111
Soporte cable túnel			876	12.53	10,977
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	419	10.00	4,190
Alcayatas electricas	und	3	419	7.00	2,933
Combustible Compresora	gln	6.5	16,082	3.74	60,148
Combustible Grupos	gln		268,080	3.74	1,002,619

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 1,418,789

IMPREVISTOS : 141,879

TOTAL MATERIALES (US\$) : 1,560,668

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	2	412	10.82	8,924
Compresora 750 cfm	hm	6	2,474	26.99	66,778
Pulmon de aire	dia	1	412	10.00	4,124
Grupo electrogeno de 250kW	hm		21,446	10.00	214,464

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 294,290

IMPREVISTOS : 29,429

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 323,719

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 1,884,387

FRENTE 05

Long.	m	3,418
Excavación	m	3,418
Plazo	día	993
	mes	33.1

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	3,624	3.62	13,118
Hidrocoplas 2"	und	50	80	11.32	906
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	3,624	7.15	25,909
Hidrocoplas 4"	und	50	80	25.09	2,008
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	3,624	7.15	25,909
Hidrocoplas 4"	und	50	80	25.09	2,008
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		1	49,850.00	49,850
Manga de ventilacion	m	1.03	3,541	20.00	70,826
Soportes de ventilación	und		885	6.50	5,755
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		1	150,000.00	150,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	3,541	36.97	130,922
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	3,541	22.84	80,883
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	3,541	3.13	11,077
Soporte cable túnel			2,361	12.53	29,577
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	1,140	10.00	11,400
Alcayatas electricas	und	3	1,140	7.00	7,980
Combustible Compresora	gln	6.5	38,729	3.74	144,847
Combustible Grupos	gln		664,105	3.74	2,483,753

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 3,246,727

IMPREVISTOS : 324,673

TOTAL MATERIALES (US\$) : 3,571,400

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	2	993	10.82	21,490
Compresora 750 cfm	hm	6	5,958	26.99	160,815
Pulmon de aire	dia	1	993	10.00	9,931
Grupo electrogeno de 250kW	hm		53,128	10.00	531,284

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 723,520

IMPREVISTOS : 72,352

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 795,872

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 4,367,271

FRENTE 06, AT y 07

			06	AT	08
Long.	m		2,482	815	1,321
Excavación	m		2,482	815	1,321
Plazo	día		721	272	384
	mes		24.0	9.1	12.8

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	5,699	3.62	20,631
Hidrocoplas 2"	und	50	126	11.32	1,426
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	5,699	7.15	40,749
Hidrocoplas 4"	und	50	126	25.09	3,162
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	5,699	7.15	40,749
Hidrocoplas 4"	und	50	126	25.09	3,162
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		2	49,850.00	99,700
Manga de ventilacion	m	1.03	5,617	20.00	112,336
Soportes de ventilación	und		1,404	6.50	9,127
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		2	150,000.00	300,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	5,617	36.97	207,653
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	5,617	22.84	128,287
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	5,617	3.13	17,569
Soporte cable túnel			3,745	12.53	46,911
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	1,812	10.00	18,120
Alcayatas electricas	und	3	1,812	7.00	12,684
Combustible Compresora	gln	6.5	53,701	3.74	200,840
Combustible Grupos	gln		804,715	3.74	3,009,633

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 4,272,741

IMPREVISTOS : 427,274

TOTAL MATERIALES (US\$) : 4,700,015

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	4	1,377	10.82	59,594
Compresora 750 cfm	hm	6	8,262	26.99	222,981
Pulmon de aire	dia	1	1,377	10.00	13,769
Grupo electrogeno de 250kW	hm		64,377	10.00	643,772

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 940,116

IMPREVISTOS : 94,012

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 1,034,128

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 5,734,143

FRENTE 08

Long.	m	2,258
Excavación	m	2,258
Plazo	día	656
	mes	21.9

			Cant.	P.U.	Parcial
AGUA DE PERFORACIÓN					
Tubería HDPE 2"	m	1.03	2,428	3.62	8,791
Hidrocoplas 2"	und	50	54	11.32	611
DRENAJE					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	2,428	7.15	17,363
Hidrocoplas 4"	und	50	54	25.09	1,355
AIRE COMPRIMIDO					
Tubería HDPE 4"	m	1.03	2,428	7.15	17,363
Hidrocoplas 4"	und	50	54	25.09	1,355
VENTILACIÓN					
Alquiler de ventilador 100kW	und		1	49,850.00	49,850
Manga de ventilacion	m	1.03	2,346	20.00	46,920
Soportes de ventilación	und		586	6.50	3,812
ELECTRICOS					
Transformadores y tableros	Glb		1	150,000.00	150,000
Cable de MT 3x70mm2, 3.6/6kV		1.03	2,346	36.97	86,731
Cable de MT 3x25mm2, 3.6/6kV		1.03	2,346	22.84	53,582
Cable aeroprex RZ 0,6/1 kv 3x6 mm (alumbrado)		1.03	2,346	3.13	7,338
Soporte cable túnel			1,564	12.53	19,594
MATERIALES VARIOS					
Alcayatas agua/aire/drenaje	und	3	753	10.00	7,530
Alcayatas electricas	und	3	753	7.00	5,271
Combustible Compresora	gln	6.5	25,580	3.74	95,670
Combustible Grupos	gln		429,194	3.74	1,605,185

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES (US\$) : 2,178,321

IMPREVISTOS : 217,832

TOTAL MATERIALES (US\$) : 2,396,153

EQUIPOS					
Electrobomba de drenaje 15kW	dia	2	656	10.82	14,194
Compresora 750 cfm	hm	6	3,935	26.99	106,217
Pulmon de aire	dia	1	656	10.00	6,559
Grupo electrogeno de 250kW	hm		34,336	10.00	343,355

COSTO ESTIMADO DE EQUIPOS (US\$) : 470,325

IMPREVISTOS : 47,032

TOTAL EQUIPOS (US\$) : 517,357

TOTAL INSTALACIONES (US\$) : 2,913,511

Metrado de elementos de sostenimiento en sección de ensanche de túneles

ÍTEM	UBICACIÓN	und	LONGITUD x TIPO					
			I (m)	II (m)	III (m)	IV (m)	V (m)	VI (m)
	SOSTENIMIENTO TUNEL SECCION ENSANCHE							
	TIPOS DE ROCA		319	439	407	480	181	0
01.00.00	SOSTENIMIENTO - PERNOS HELICOIDALES	und/m	2.42	5.43	6.79	10.14	0.00	0.00
	Metrado parcial :	und	772	2,385	2,764	4,865	0	0
	METRADO TOTAL :	und	10,786					
02.00.00	SOSTENIMIENTO - SHOTCRETE SELLADO	m3/m	0.29	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49
	Metrado parcial :	m3	93	213	197	235	89	0
	METRADO TOTAL :	m3	827					
03.00.00	SOSTENIMIENTO - SHOTCRETE SOSTENIMIENTO	m3/m	0.00	0.00	0.80	2.27	2.27	2.75
	Metrado parcial :	m3	0	0	326	1,087	410	0
	METRADO TOTAL :	m3	1,823					
03.00.00	SOSTENIMIENTO - SHOTCRETE REVESTIMIENTO	m3/m	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	Metrado parcial :	m3	117	160	148	175	66	0
	METRADO TOTAL :	m3	666					
04.00.00	SOSTENIMIENTO - MARCO RETICULADO	und/m	0.00	0.00	0.00	0.67	1.00	1.33
	Metrado parcial :	und	0	0	0	320	181	0
		m/und	0.00	0.00	0.00	15.05	15.05	15.20
	Metrado parcial :	m	0	0	0	4,815	2,723	0
	METRADO TOTAL :	m	7,538					
05.00.00	SOSTENIMIENTO - PARAGUAS	m/m	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	24.00
	Metrado parcial :	m	0	0	0	0	4,335	0
	METRADO TOTAL :	m	4,335					
06.00.00	REVESTIMIENTO - CONCRETO SOLERA	m3/m	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	Metrado parcial :	m3	317	435	403	475	179	0
	METRADO TOTAL :	m3	1,809					

Cálculo de volumen de excavación de túnel Pucará

Tipo de Sostenimiento	Longitud de Túnel Pucará (m)	Apartaderos (Sección en ensanche)			Túnel (Sección Normal)			Adits (Sección en ensanche)			Volumen Total de excavación (m3)
		Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen de excavación (m3)	Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen de excavación (m3)	Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen de excavación (m3)	
ST-I	718	40	32.59	1,300.17	678	22.23	15,075.64	10	32.59	315.75	16,691.56
ST-II	1,140	63	32.59	2,064.30	1,077	22.23	23,935.88	15	32.59	501.33	26,501.51
ST-III	1,846	103	33.34	3,419.37	1,743	22.88	39,893.77	25	33.34	830.42	44,143.55
ST-IV	1,651	92	34.42	3,156.08	1,559	23.82	37,129.06	22	34.42	766.48	41,051.62
ST-V	945	53	34.42	1,806.92	893	23.82	21,257.10	13	34.42	438.82	23,502.84
ST-VI	0	0	35.19	0.00	0	24.49	0.00	0	35.19	0.00	0.00
Total	6,300	350	33.56	11,746.83	5,950	23.07	137,291.45	85	33.56	2,852.80	151,891.08

Cálculo de volumen de excavación de túnel Trasandino

Tipo de Sostenimiento	Longitud de Túnel Pucará (m)	Apartaderos (Sección en ensanche)			Túnel (Sección Normal)			Adits (Sección en ensanche)			Volumen Total de excavación (m3)
		Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen (m3)	Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen (m3)	Longitud túnel (m)	Sección de excavación (m2)	Volumen (m3)	
ST-I	1,836	112	32.59	3,634.93	1,724	22.23	38,327.32	158	32.59	5,152.11	47,114.36
ST-II	2,451	149	32.59	4,852.81	2,302	22.23	51,168.95	211	32.59	6,878.34	62,900.10
ST-III	1,902	116	33.34	3,853.66	1,787	22.88	40,885.51	164	33.34	5,462.15	50,201.32
ST-IV	2,489	151	34.42	5,204.78	2,338	23.82	55,680.66	214	34.42	7,377.21	68,262.66
ST-V	786	48	34.42	1,642.57	738	23.82	17,572.22	68	34.42	2,328.17	21,542.97
ST-VI	0	0	35.19	0.00	0	24.49	0.00	0	35.19	0.00	0.00
Total	9,464	575	33.37	19,188.76	8,889	22.91	203,634.68	815	33.37	27,197.98	250,021.42

Presupuesto Túnel Pucará y Trasandino (Fecha del presupuesto 09 dic 2015)

Descripción	UND	Cantidad en Sección Normal	Cantidad en Sección de Ensanche	Cantidad Total	Precio Unitario (USD)	Parcial (USD)
MANO DE OBRA						26,137,083.36
Cuadrilla de excavación subterránea	HH			112,884	231.54	26,137,083.36
EQUIPOS						13,735,693.12
Jumbo Boomer 282	HM	21,088	3,144	24,233	200.60	4,861,027.26
RATIO DE CONSUMO	HM/m			1.45		
Perforación y voladura	HM	16,024	2,478	18,502		
Pernos	HM	4,284	560	4,845		
Paraguas	HM	780	106	886		
METROS PERFORADOS	m	1,360,239	221,464	1,581,703		
Perforación y voladura	m	1,172,648	194,478	1,367,127		
Pernos	m	158,897	22,651	181,547		
Paraguas	m	28,694	4,335	33,029		
INCIDENCIA	m/hm	65	70	65		
Perforación y voladura	m/hm	73	78	74		
Pernos	m/hm	37	40	37		
Paraguas	m/hm	37	41	37		
Scoop 6.0 yd3	HM	16,408	2,840	19,248	111.82	2,152,401.23
RATIO DE CONSUMO	HM/m			1.15		
Perforación y voladura	HM	13,401	2,302	15,704		
Eliminación a superficie	HM	3,007	538	3,545		
Retroexcavadora 101HP	HM	4,454	528	4,982	23.41	116,630.97
RATIO DE CONSUMO	HM/m			0.30		
Perforación y voladura	HM	4,454	528	4,982		
Scaler	HM	4,001	484	4,485	150.60	675,453.72
RATIO DE CONSUMO	HM/m			0.27		
Perforación y voladura	HM	4,001	484	4,485		
Telehandler	HM	32,840	4,506	37,346	31.76	1,186,094.80
RATIO DE CONSUMO	HM/m			2.24		
Carguío de explosivos	HM	10,026	1,462	11,488		
Pernos	HM	3,783	539	4,323		
Marcos metálicos	HM	19,031	2,505	21,536		
Lanzador de concreto	HM	21,172	2,641	23,813	160.70	3,826,674.48
RATIO DE CONSUMO	HM/m			1.43		
Shotcrete - Sellado	HM	8,033	1,067	9,100		
Shotcrete - Sostenimiento	HM	7,946	1,197	9,143		
Shotcrete - revestimiento	HM	5,193	377	5,570		
Camión volquete 15m3	HM	25,430	4,549	29,979	30.60	917,410.66
RATIO DE CONSUMO	HM/m			1.80		
Perforación y voladura	HM	25,430	4,549	29,979		

Descripción	UND	Cantidad en Sección Normal	Cantidad en Sección de Ensanche	Cantidad Total	Precio Unitario (USD)	Parcial (USD)
MATERIALES						58,025,066.87
Explosivos	kg	714,874	122,864	837,739		
RATIO DE CONSUMO	kg/m	14,839.00				
	kg/m3	1.78				
EMULNOR 5000	kg	135,043	20,664	155,707	2.70	420,408.75
EMULNOR 3000	kg	412,133	74,737	486,871	2.54	1,236,651.70
EMULNOR 1000	kg	139,038	23,396	162,434	2.35	381,719.91
EMULNOR 500	kg	0	0	0		0.00
FAMECORTE P-60, 4.20m	kg	28,660	4,067	32,727	1.77	57,926.70
	und	192,115	26,889	219,004		0.00
FANEL	und	576,454	91,786	668,240	2.87	1,917,848.61
CORDON DETONANTE	m	576,454	91,786	668,240	0.29	193,789.58
CARMEX 2.4m	und	16,005	1,935	17,941	2.34	41,980.95
MECHA DE SEGURIDAD	m	400,128	48,386	448,514	0.25	112,128.60
Shotcrete	m3	25,483	3,316	28,799		
RATIO DE CONSUMO	m3/m			1.73		
Shotcrete - Sellado	m3	5,408	827	6,235	986.34	6,149,829.90
Shotcrete - Sostenimiento	m3	10,911	1,823	12,734	986.34	12,560,053.56
Shotcrete - Revestimiento	m3	9,164	666	9,830	986.34	9,695,722.20
Pernos Helicoidal D=32mm x 2.10m	und	75,665	10,786	86,451	48.12	4,160,022.12
RATIO DE CONSUMO	m3/m			5.18		
Resina fragua rapida	und	151,330	21,572	172,902	3.55	614,147.90
Cembolt	und	302,660	43,144	345,804	0.79	273,876.77
Marcos Tipo W4x13	m	55,170	7,538	62,708		
RATIO DE CONSUMO	m/m			3.76		
Desidad lineal de Marco Tipo W4x13	kg/m	19.35	19.35			
Peso de marcos	kg	1,067,318.11	145,827.52	1,213,146	6.29	7,630,685.97
Paraguas de micropilotes	m	28,694	4,335	33,029		
Broca piloto para micropilotes Sistema P89	und	115	17	132	1,556.77	205,674.49
Casing Inicial Ring Bit y 2.95m de Extensión	und	2,391	361	2,752	386.09	1,062,666.79
Casing de extensión x 3.00m	und	7,174	1,084	8,257	186.01	1,535,910.43
Speedrod T38 de 10'	und	164	25	189	888.51	167,694.84
Inyección de micropilotes	ton	10,330	1,561	11,890	350.72	4,170,215.12
Aceros de perforación						
Barra perforacion MF 14'	pza	624	102	726	414.34	300,748.74
Brocas de 51 mm	und	4,599	750	5,348	125.31	670,204.16
Broca de rimado 4"	und	68	12	80	359.00	28,634.15
Shank Adapter	und	744	121	865	254.62	220,217.18
Coupling	und	744	121	865	55.43	47,940.61
Concreto para solera		10,240	1,809	12,049	218.16	2,628,609.84

Descripción	UND	Cantidad en Sección Normal	Cantidad en Sección de Ensanche	Cantidad Total	Precio Unitario (USD)	Parcial (USD)
Combustible	gal	355,879	55,820	411,700	3.74	
Jumbo Boomer 282	2.3	48,503	7,232	55,735	3.74	208,449.52
Scoop 6.0 yd3	6.7	109,936	19,029	128,965	3.74	482,327.90
Retroexcavadora 101HP	2.0	8,908	1,056	9,964	3.74	37,266.11
Scaler	2.3	9,203	1,113	10,316	3.74	38,581.21
Telehandler	1.5	49,259	6,759	56,018	3.74	209,508.56
Lanzador de concreto	2.3	48,695	6,075	54,770	3.74	204,837.98
Camión volquete 15m3	3.2	81,375	14,557	95,932	3.74	358,786.05
INSTALACIONES AUXILIARES						21,818,055.25
Grupos electrógenos	glb			1	2,517,268.66	2,517,268.66
Compresora 750 cfm	glb			1	830,926.38	830,926.38
Bombas de agua	glb			1	163,267.00	163,267.00
Ventilación	glb			1	793,357.21	793,357.21
Materiales eléctricos	glb			1	2,500,715.99	2,500,715.99
Combustible	glb			1	12,516,649.68	12,516,649.68
Imprevistos	glb			1	2,495,870.31	2,495,870.31
OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES						16,898,041.27
Movilización y desmovilización de equipos	glb			1	2,254,990.72	2,254,990.72
Afrontamientos	und			6	1,504,224.86	9,025,349.14
Pre-Tunel y Vicera de protección	und			6	659,708.31	3,958,249.86
Tapón de concreto armado	m3			245	1,400.00	343,000.00
Auscultación	glb			1	528,150.55	528,150.55
Comunicaciones	glb			1	788,301.00	788,301.00
TOTAL PRESUPUESTO - COSTO DIRECTO (USD)						136,613,939.87