



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES

*Revisión Geológica - Geotécnica: “Caso de 31 Túneles Construidos en la
Autopista Durango – Mazatlán (Tramo 158+984.00 al 187+787.00) en México”*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA
DE LAS VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. JOSÉ MIGUEL LEÓN RUIZ

ASESOR:

DOCTOR EN GEOLOGÍA

JOSÉ ELEAZAR ARREYGUE ROCHA

CO - ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

NELIO PASTOR GOMEZ

Morelia, Michoacán, Julio 2016.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer *a mis Padres* por su esfuerzo y dedicación que me brindaron durante la maestría, que no nada más con su sacrificio económico sino con su paciencia, abnegación y ejemplo.

Reconocer el apoyo de *mis hermanos*, con quienes hemos compartido alegrías y tristezas, darles el reconocimiento en todo apoyo moral y material que me brindaron durante la maestría.

Un especial agradecimiento a la *Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT)* por brindar el material necesario para desarrollar esta tesis.

Estoy especialmente agradecido con el *Dr. Eleazar Arreygue Rocha* y al *Dr. Nelio Pastor Gómez*, por su apoyo recibido durante la realización de la tesis.

Me gustaría reconocer también al *Ing. Leonardo Guzmán León*, por su colaboración en brindar el material necesario para el desarrollo de la tesis.

Agradecer también al *M.C. Alberto Ramírez Piedrabuena*, por sus valiosos comentarios, opiniones y atenciones, para que esta tesis se haya podido concluir.

Asi como a las personas Andrea Pineda, Paul Sandoval, María Rodríguez, Daniel Tafoya y amigos que estuvieron presentes durante la realización de esta maestría.

Indiscutiblemente para aquellas personas que de forma directa o indirecta me han orientado durante la maestría.

ÍNDICE

RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.- OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
1.3.- JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1.- HISTORIA DE LOS TÚNELES EN EL MUNDO.....	6
2.1.1 ORÍGENES DE LOS TÚNELES.....	6
2.2 LOS TÚNELES EN MÉXICO.....	11
2.2.1 LOS TÚNELES PREHISPÁNICOS.....	11
2.2.2 LOS TÚNELES EN EL VIRREINATO.....	12
2.2.3 TÚNELES FERROVIARIOS.....	14
2.2.4 TÚNELES HIDRÁULICOS.....	15
2.2.5 TÚNELES PARA AGUA POTABLE.....	17
2.2.6 TÚNELES PARA OBRAS HIDROELÉCTRICAS.....	18
2.2.7 TÚNELES PARA EL TRANSPORTE URBANO.....	19
2.2.8. TÚNELES CARRETEROS.....	20
2.3.- CASO DE 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO – MAZATLÁN.....	22
2.3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	23
2.3.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO Y SELECCIÓN DE RUTA.....	23
2.3.3 ESTUDIOS PREVIOS.....	24
2.3.3.1 ESTUDIOS GEOLÓGICOS.....	25
2.3.3.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS.....	25
2.3.3.3 ENSAYOS GEOTÉCNICOS.....	25
2.4 PROYECTO GEOMÉTRICO.....	27
2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ALINEAMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES.....	27
2.4.2 DEFINICIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES.....	27

2.4.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.....	31
2.4.3.1 IMPERMEABILIZACIÓN.....	31
2.4.3.2 FASES DE REVESTIMIENTO.....	32
2.4.3.3 TÚNELES FALSOS.....	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.1.- INTRODUCCIÓN.....	34
3.1.1.-TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.1.2.-FASES DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	35
3.2.- INFORMACIÓN DEL ESTUDIO.....	36
3.3.- RECONOCIMIENTO DEL SITIO.....	37
3.3.1.-RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES.....	37
3.3.2.-LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....	37
3.4.- TÉCNICAS DE PRUEBA DE CAMPO (PRE-CONSTRUCCIÓN).....	38
3.4.1.-PRUEBAS DE GEOTECNIA.....	39
3.4.2.-PRUEBAS DE GEOFÍSICA.....	39
3.5.- MAPEO GEOLÓGICO.....	40
3.6.- CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS.....	41
3.6.1.-GENERAL.....	41
3.6.2.- SISTEMA BÁSICO DE CLASIFICACIÓN.....	41
3.6.3.- ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD).....	43
3.6.4.- EL SISTEMA Q (“QUALITY”) DE BARTON, LIEN Y LUNDE.....	44
3.6.5.- CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI) (1989).....	51
3.7.- RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS Q Y RMR.....	55
3.8.- SOPORTE.....	57
3.8.1.- GENERAL.....	57
3.8.2.- CONCRETO LANZADO.....	58
3.8.3.- MALLA DE ACERO.....	62
3.8.4.- REFUERZO DE ROCA.....	62
3.8.5.- MARCOS METÁLICOS.....	65
3.8.6.- SELLADO.....	66
3.8.7.- REVESTIMIENTOS TEMPORALES Y PERMANENTES.....	67
3.8.8.- REVESTIMIENTOS PERMANENTES.....	68

3.8.9.- REVESTIMIENTO FINAL.....	69
CAPÍTULO 4. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	70
4.1.- PERFILES TOPOGRÁFICOS DE LOS 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO-MAZATLÁN.....	74
4.2.- PERFILES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS DE 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO-MAZATLÁN.....	74
4.3.- PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO PARA CADA CASO.....	75
4.4.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LOS 31 PLANOS “AS BUILT”	76
 CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	 112
5.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS 31 TÚNELES.....	112
5.2.- LONGITUD DE EXCAVACIÓN.....	113
5.3.- PERFIL TOPOGRÁFICO “TIPO”	117
5.4.-METROS DE PERFORACIÓN.....	121
5.5.- ÍNDICES RQD, RMR y Q.....	129
5.6.- CORRELACIÓN ENTRE RMR Y Q.....	141
5.7.- MATERIALES ENCONTRADOS EN EL ÁREA EN ESTUDIO.....	143
5.7.1.- IGNIMBRITAS Y RIOLITAS.....	143
5.7.2.- ANDESITA Y BRECHA.....	147
5.7.3.- BASALTO.....	151
5.8.- RQD vs Q.....	156
5.9.- SOLUCIONES DE SOSTENIMIENTO EN LOS TÚNELES.....	158
 CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	 167
 BIBLIOGRAFÍA.....	 170
 ANEXOS.....	 172

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1.- Los Primeros Túneles.....	6
Figura 2.2.- Cloaca Máxima, boquilla que vierte al Tíber.....	8
Figura 2.3.- Grabado extraído de la obra de <i>De Re Metallica</i> del autor alemán Georgius Agrícola.....	9
Figura 2.4.- A la izquierda una imagen de época del túnel construido bajo las aguas del río Tamesis y a la derecha otra del escudo utilizado y patentado por Brunel para este mismo proyecto (1843).....	10
Figura 2.5.- Códice Duran. Historia de las Indias de Nueva España e Islas de Tierra Firme.....	12
Figura 2.6.- Túnel de Ogarrio. Archivo histórico de Ogarrio, Real de Catorce, San Luis Potosí.....	13
Figura 2.7.- Túnel de Cuetzalan. Archivo Histórico de Cuetzalan, Puebla.....	14
Figura 2.8.- Túnel Falso El Pensil. Línea México – Veracruz.....	15
Figura 2.9.- Portal de Entrada al primer túnel de Tequixquiac, cuando estaba por terminarse el revestimiento de la cara de la montaña.....	16
Figura 2.10.- Fotografía de una barrenadora de aire comprimido del tipo empleado en la excavación del Túnel Atarasquillo – Dos Ríos. Archivo Histórico y Museo de Minería, AC.....	17
Figura 2.11.- Túnel de conducción de la hidroeléctrica Zimapán.....	19
Figura 2.12.- Construcción de una estación en la Línea 7 del Metro. Portal de salida de túneles paralelos.....	20
Figura 2.13.- Técnica modernas en la construcción de túneles en la autopista Durango – Mazatlán. Frente de excavación del túnel Piedra Colorada, ademada con perfiles metálicos TH.....	21

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Gráfica del Sistema Q: valor de referencia para el soporte en comparación con la calidad de la roca, ESR es denominada relación de apoyo excavación.....	45
Figura 3.2.- Relación entre los sistemas RMR y Q.....	56
Figura 3.3.- Explicación de los soportes principales. El incremento de la carga en la transición de (b) a (c) es debido a la pérdida de la fuerza (ruptura) de la viga.....	58
Figura 3.4.- Boquilla de Mezcla Seca.....	59
Figura 3.5.- Concreto rociado – Modo Mezcla Húmeda.....	60
Figura 3.6.- Ancla de Tensión.....	63
Figura 3.7.- Métodos de Enfilaje.....	65
Figura 3.8.- Perfiles de Acero.....	66
Figura 3.9.- Empuje axial en el soporte a la presión radial uniforme (Izquierda) y la flexión con la presión no uniforme (Derecha).....	67

CAPÍTULO 4

Figura 4.1.- Organigrama de los 31 Planos “As-Built” de la Autopista Durango – Mazatlán.....73

CAPÍTULO 5

Figura 5.1.- Tipos de Túneles encontrados en la zona en estudio.....113

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1.- Túneles Carreteros en México.....	22

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1.- Fuentes de Información para México.....	36
Tabla 3.2.- Diferentes clasificaciones de macizo rocoso y autores.....	42
Tabla 3.3.- Calidad de la roca a través del RQD.....	43
Tabla 3.4.- Índice de diaclasado J_n	46
Tabla 3.5.- Coeficiente reductor por la presencia de agua J_w	46
Tabla 3.6.- Índice de Rugosidad J_r	47
Tabla 3.7.- Índice de alteración de las discontinuidades J_a	48
Tabla 3.8.- Condiciones Tensionales SRF.....	49
Tabla 3.9.- Valores de ESR dependiendo del uso destinado.....	50
Tabla 3.10.- Clasificación Geomecánica RMR.....	53
Tabla 3.11.- Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR.....	54
Tabla 3.12.- Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante.....	55
Tabla 3.13.- Diversas correlaciones propuestas entre RMR y Q.....	56
Tabla 3.17.- Edad y Resistencia del concreto lanzado.....	59

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1.- Nombre de los túneles de los cuales se tiene los planos “As Built”	72

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1.- Porcentajes de excavación de los 31 túneles en estudio.....	114
Tabla 5.2.- Comparación entre Longitud (L) Total y Excavada.....	115
Tabla 5.3.- Distancias y coberturas de los perfiles topográficos de 6 túneles.....	118
Tabla 5.4.- Comparación de modelo tipo vs perfil topográfico.....	120
Tabla 5.5.- Modelos para Túneles de 100 m.....	123
Tabla 5.6.- Modelos para Túneles de 150 m.....	124
Tabla 5.7.- Modelos para Túneles de 200 m.....	125
Tabla 5.8.- Promedio de porcentaje de Error para nuestro modelo.....	127
Tabla 5.9.- Promedio de porcentaje de Error para la licitación.....	128

Tabla 5.10.-Tabla de comparación de 7 túneles.....	128
Tabla 5.11.- Tipo de material y valores de proyecto y valores reales del Túnel El Guineo.....	130
Tabla 5.12.- Comparación entre lo proyectado y lo real del Túnel El Guineo en por ciento.....	130
Tabla 5.13.- Tipo de material y valores de proyecto y valores reales del Túnel El Varal (Para ver la tabla completa revisa el Anexo 74).....	131
Tabla 5.14.- Comparación entre lo proyectado y los valores reales del Túnel El Varal.....	132
Tabla 5.15.- Tipo de material y valores de proyecto y de los valores reales del Túnel Las Labores.....	133
Tabla 5.16.- Comparación entre lo proyectado y lo real del Túnel Las Labores.....	134
Tabla 5.17.- Tipo de material y valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Trópico de Cáncer.....	135
Tabla 5.18.- Comparación entre lo proyectado y lo encontrado en el Túnel Trópico de Cáncer.....	135
Tabla 5.19.- Tipo de material con sus valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Corte Alto.....	136
Tabla 5.20.- Comparación entre lo proyectado y lo realizado en el Túnel Corte Alto.....	137
Tabla 5.21.- Tipo de material y valores de proyecto y lo observado en el Túnel Pánuco.....	138
Tabla 5.22.- Comparación entre lo proyectado y lo encontrado Túnel Pánuco.....	138
Tabla 5.23.- Tipo de material y valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Pánuco II.....	139
Tabla 5.24.- Comparación entre lo proyectado y lo observado en el Túnel Pánuco II.....	140
Tabla 5.25.- Diversas correlaciones propuestas entre RMR y Q.....	142
Tabla 5.26.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q.....	144
Tabla 5.27.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q.....	148
Tabla 5.28.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q.....	152
Tabla 5.29.- Ecuaciones de las líneas encontradas en la Gráfica 5.33.....	157
Tabla 5.30.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel El Guineo.....	159
Tabla 5.31.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel El Varal.....	160
Tabla 5.32.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Las Labores.....	161
Tabla 5.34.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Trópico de Cáncer.....	162
Tabla 5.34.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Corte Alto.....	163
Tabla 5.35.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Pánuco.....	164
Tabla 5.36.-Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Pánuco II.....	165
Tabla 5.37.-Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento de los 30 túneles....	166

ÍNDICE DE GRAFICAS

CAPÍTULO 5

Gráfica 5.1.- Histograma correspondiente a 31 túneles de longitud total y 36 túneles de longitud excavada.....	116
Gráfica 5.2.- Media muestral de porcentaje de excavación de los 31 Túneles.....	116
Gráfica 5.3.- Modelo del perfil topográfico tipo.....	119
Gráfica 5.4.- Modelo del perfil topográfico tipo, usando el polinomio de cuarto orden.....	119
Gráfica 5.5.- Ajuste por regresión polinómica.....	121
Gráfica 5.6.- Metros de perforación para túneles de hasta 100m.....	126
Gráfica 5.7.- Metros de perforación para túneles de hasta 150m.....	126
Gráfica 5.8.- Metros de perforación para túneles de hasta 200m.....	127
Gráfica 5.9.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel El Guineo.....	131
Gráfica 5.10.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel El Varal.....	132
Gráfica 5.11.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Las Labores.....	134
Gráfica 5.12.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Trópico de Cáncer.....	136
Gráfica 5.13.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Corte Alto.....	137
Gráfica 5.14.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Pánuco.....	139
Gráfica 5.15.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Pánuco II.....	140
Gráfica 5.16.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD de los 31 túneles.....	141
Gráfica 5.17.- Datos recopilados de los 31 túneles, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación ya expresados.....	142
Gráfica 5.18.- Histograma de los valores de RQD del material Ignimbrita y Riolita.....	144
Gráfica 5.19.- Histograma de los valores de RMR de Ignimbrita y Riolita.....	145
Gráfica 5.20.- Histograma de los valores de Q del material Ignimbrita y Riolita.....	145
Gráfica 5.21.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del tipo de material “Ignimbritas y Riolitas”...	146
Gráfica 5.22.- Datos recopilados del material tipo “Ignimbritas y Riolitas”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación.	147
Gráfica 5.23.- Histograma de los valores de RQD del material Andesita y Brecha.....	148
Gráfica 5.24.- Histograma de los valores de RMR de la Andesita y Brecha.....	149
Gráfica 5.25.- Histograma de los valores de Q del material Andesita y Brecha.....	150
Gráfica 5.26.- Porcentajes de valores de proyecto de RMR, Q y RQD del tipo de material “Andesitas y Brecha”.....	150
Gráfica 5.27.- Datos recopilados del material tipo “Andesita y Brecha”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación.....	151

Gráfica 5.28.- Histograma de los valores de RQD del Basalto.....	152
Gráfica 5.29.- Histograma de los valores de RMR del Basalto.....	153
Gráfica 5.30.- Histograma de los valores de Q del material Basalto.....	154
Gráfica 5.31.- Porcentajes de valores de proyecto de RMR, Q y RQD del “Basalto”.....	154
Gráfica 5.32.- Datos recopilados del material tipo “Basalto”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de-correlación.....	155
Gráfica 5.33.- Líneas de Valores de RQD vs Q.....	157
Gráfica 5.34.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel El Guineo.....	158
Gráfica 5.35.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel El Varal.....	159
Gráfica 5.36.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel Las Labores.....	160
Gráfica 5.37.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Trópico de Cáncer.....	162
Gráfica 5.38.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Corte Alto.....	163
Gráfica 5.39.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Pánuco.....	164
Gráfica 5.40.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel Pánuco II.....	165
Gráfica 5.41.- Fallas Geológicas Presentes en los 30 túneles.....	166

RESUMEN

El desarrollo y movilidad de la infraestructura de un país, es determinado no solo por el incremento de su economía, es primordial enfocar también los beneficios a sus habitantes, y a mejorar el acceso a los servicios de comunicación, salud, alimentación, educación, comercio, e ir generando por causa y consecuencia el crecimiento económico y social del país. En el caso específico de este estudio, la infraestructura carretera para la construcción de túneles, debe garantizar no solo el crecimiento financiero y social del país, además debe ofrecer, a los usuarios seguridad y confort, reducir de manera considerable el tiempo de recorrido, y conservar la flora y fauna del lugar donde serán construidos los túneles; así como restaurar el impacto ambiental producido.

Es por ello que el tema de investigación se dirige a realizar una revisión geológica - geotécnica de 31 Túneles construidos en la autopista Durango - Mazatlán, México. El análisis se desarrolló en gabinete, obteniendo la mayor información posible de la zona y de los túneles en estudio, para continuar con el análisis del proyecto geotécnico, geofísico y geomecánico, así como cuidando también el proceso constructivo, y sus fases de la investigación, centrando el estudio a la clasificación de los planos "As Built", que fueron utilizados en este estudio. Los planos "As Built" ayudaron a recopilar datos con el fin de obtener modelos para futuros proyectos. A su vez, los planos ayudaron a determinar características geométricas, metros de perforación, índices de RQD, RMR y Q; la correlación de RMR y Q; los materiales encontrados en el área de estudio, RQD vs Q; así como soluciones de sostenimientos encontrados en los túneles.

Palabras clave: Revisión geológica - geotécnica, construcción de túneles, planos "As Built", sostenimiento de túneles, índices RQD, RMR y Q.

ABSTRACT

The development and mobility of the infrastructure of a country are determined not just by the increment of its economy, it is also very important to focus on the benefits to its habitants, to get better access to the communication, health, food and commerce systems, and in that way contribute to the economic and social growth of the country. In the specific case of this research, the road infrastructure for the tunnels construction, must guarantee not only the financial and social growth of the country but also must offer security and comfort to the users, reduce considerably the ride time, preserve the flora and fauna of the place where the tunnels are constructed and restore the environmental impact.

For all this, the topic of this research intends to do a geological - geotechnical review of 31 tunnels built in the Durango-Mazatlan, Mexico freeway. The analysis was developed in cabinet, obtaining most information from the actual zone and tunnels, then it continued analyzing the geotechnical, geophysical and geomechanical, and also taking care of the constructing process, and its research phases, focusing the study on the classification of the maps "As built", that were used in this research. The maps "As built" helped to obtain models for future projects. At the same time, maps also helped termine geometric characteristics, meters of drilling, rates of RQD, RMR and Q; the materials found in the research area RQD vs Q; and also roof supports solutions found in the tunnels.

Keywords: Geological - geotechnical review, construction of tunnels, maps "As built", tunnels roof supports, ratings RQD, RMR and Q.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales problemáticas que se presentan al momento de aplicar un proyecto de construcción de túnel carretero, es la variabilidad de sus suelos. México cuenta con muchas regiones con condiciones orográficas difíciles, teniendo que perder mucha flora y fauna del lugar; es por ello que la aplicación de la regla de que la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta, en muchos casos no se puede aplicar.

Esa situación ha cambiado, debido a las estrictas especificaciones aplicables al diseño de las carreteras modernas, a las restricciones en materia de afectación al impacto ambiental; y a los avances considerables que se han presentado en el desarrollo de la construcción de túneles con tecnología de punta.

En la actualidad, se busca hacer eficiente el binomio tiempo-costos, beneficiando a los usuarios, y tomando en cuenta dos importantes aspectos. Primero, brindar a los usuarios seguridad, rapidez y confort; segundo, que el proyecto y la ejecución de los túneles o viaductos, cuenten con el mejor alineamiento, tanto horizontal como vertical conforme a las características de los suelos y rocas, para decidir las alturas máximas de cortes y terraplenes; así como con el objeto de lograr una vía lo más recta posible que además conserve la flora y fauna del lugar, y pueda restaurar el impacto ambiental.

El propósito principal de una revisión geotécnica, para la construcción de túneles, es el establecer criterios, y mecanismos de prevención y control que ayuden a elevar el factor seguridad; asimismo, aplicar el binomio tiempo-costo para poder disminuir, en medida considerable, los niveles de amenaza, riesgo y pérdida.

En el presente estudio, se analiza el proyecto de construcción realizado en la Autopista Durango - Mazatlán, misma que atraviesa los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Durango y Sinaloa, ubicada en la región noroeste de México y con una longitud de 1,241 kilómetros.

El principal objetivo planteado en este proyecto, fue diseñar una vía lo más recta posible que atravesara la Sierra Madre Occidental, mediante una autopista de altas especificaciones que inicia en la ciudad fronteriza de Matamoros y llega al Puerto de Mazatlán, ofreciendo a sus usuarios seguridad y confort. Además de reducir el tiempo de recorrido, proporciona

velocidades entre 90 y 110 km/h, conservando la flora y fauna del lugar ya que la obra se comprometió a restaurar el impacto ambiental.

El presente tesis consta de seis capítulos. El primer capítulo presenta un enfoque general sobre la ubicación del proyecto carretero de la Autopista Durango - Mazatlán. Asimismo, se integran los objetivos generales y particulares, y la justificación de la investigación.

El segundo capítulo desarrolla de manera cronológica los usos, las funciones y el beneficio otorgados a la construcción de túneles. De igual forma, se explican las principales culturas que influyeron en el desarrollo de la humanidad, hasta llegar a la era moderna. Además, analiza la llegada y evolución del túnel en México, y sus nuevas aportaciones para la construcción de túneles carreteros inteligentes en carreteras de altas especificaciones; específicamente, el caso de 31 túneles de la Autopista Durango - Mazatlán.

El tercer capítulo, integra las bases teóricas de la metodología revisada, para llevar a cabo el análisis del proyecto de construcción de una obra carretera, dando seguimiento a la revisión y recolección de datos de las diferentes fuentes de información empleadas en México; así como para sustentar el proyecto estructural, sus tipos y fases de investigación, procesos, información del estudio, clasificación geomecánicas, determinación de los índices de calidad, técnicas de prueba; y mapeo geológico de campo.

El cuarto capítulo completa la recopilación de la información de los túneles en estudio, describiendo la elaboración de los planos "As Built", los cuales permitieron realizar una descripción detallada de los trabajos ejecutados para la excavación de los 31 túneles. De esta manera, se revisó la caracterización geotécnica, la cual muestra los parámetros que expone el análisis del índice RQD, RMR y Q, analizando las características geotécnicas, los tipos de materiales empleados y la velocidad de onda compresional empleada. Asimismo, se estudiaron los perfiles topográficos, en donde se integra la información topográfica de altimetría y planimetría levantada en campo. El perfil geológico-geotécnico es dirigido para revisar la geología, para implementar los controles de seguimiento y para verificar avances de excavación o presencia de cambios litográficos. La propuesta de sostenimiento de los 61 túneles está conforme a lo establecido en los proyectos correspondientes, prestando especial cuidado en respetar su geometría en cada una de las fases y en los avances de excavación especificados en proyecto, o en las adecuaciones efectuadas al mismo.

El quinto capítulo presenta los resultados obtenidos de la investigación, los cuales integraron la recopilación de información de gabinete, de las observaciones y del análisis realizados en los planos “As Built”, con lo cual se determinó el estudio de la información recabada en el capítulo cuatro, obteniendo además información geométrica de cada túnel; y determinando las características distintivas, tipo, longitud de excavación, registros obtenidos en el estudio de los valores de RQD, RMR y Q, para adquirir un perfil topográfico “Tipo” basado en la regla de Strurges.

Finalmente, el sexto capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones finales del presente estudio de investigación.

1.1.- OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión geológica - geotécnica del caso de 31 túneles construidos en la Autopista Durango - Mazatlán, con la finalidad de plasmar una descripción detallada de los trabajos ejecutados para la excavación de los túneles en estudio, y así proponer y diseñar un modelo tipo que agrupe, que proponga y moldee los mecanismos de falla posibles a ocurrir en las distintas partes que conformaron cada uno de los túneles.

1.2.- OBJETIVOS PARTICULARES

- A).- Recopilar la información de 31 túneles en estudio, integrando datos generales de cada caso, datos de estudios realizados y análisis de resultados que se emplean en la zona y en los perfiles geológico, geofísico y geotécnico.
- B).- Agrupar los materiales que conformaron los 31 túneles en estudio, analizando los resultados obtenidos en el trabajo de campo y en pruebas de laboratorio.
- C).- Recopilar, organizar, sintetizar y estructurar la información de los 31 túneles con el objetivo de visualizar e interpretar los planos “As -Built”.
- D).- Analizar y comparar las clasificaciones del macizo rocoso Bieniawski (RMR), Deere (RQD) y Barton (Q) lo proyectado contra lo real.
- E).- Comparar el soporte primario y el sostenimiento, lo proyectado contra lo real.

Todo lo descrito anteriormente se entregará a la SCT, con el propósito de elaborar un tipo catálogo que facilite el trabajo para la toma de decisiones en estudios de campo, en los diseños preliminares y en su aplicación, con el propósito que oriente a los constructores de túneles en su labor, lo que conlleva a tener mejores túneles y vialidades.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

Para dar inicio al nuevo siglo, el gobierno federal trazó grandes retos para llevar a cabo diferentes acciones en beneficio de la sociedad mexicana. Parte de estas acciones fueron destinadas a impulsar el desarrollo, el crecimiento económico y la integración del país, teniendo como prioridad invertir en infraestructura carretera que atendiera con decisión y eficacia las necesidades de un país, que inicia una importante etapa de modernidad.

La investigación del presente tema, se realizó en la Autopista Durango - Mazatlán, misma que forma parte del corredor Matamoros - Mazatlán, el cual atraviesa los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Durango y Sinaloa en la región noroeste de México, con una longitud de 1,241 kilómetros. La obra concluyó sus trabajos en el año 2013. Su construcción duró alrededor de 12 años. Considerado uno de los proyectos más ambiciosos y grandes de México, esta obra forma parte de la modernización del Eje Matamoros-Mazatlán, uno de los 14 corredores troncales prioritarios de la red carretera nacional.

Uno de los propósitos principales, para la construcción de esta magna obra fue: incrementar la comunicación entre los estados del Golfo de México con los estados de la Costa del Pacífico. De igual manera, representa grandes beneficios al conectar a los municipios de Concordia y Mazatlán con Pueblo Nuevo, el Salto y Otinapa del estado de Durango, beneficiándose a más de un millón de habitantes que radican en estas localidades. La conexión a la zona comercial e industrial del norte del país con el pacífico, representa mejores condiciones y oportunidades para promover el asentamiento y generación de nuevas empresas en territorio mexicano.

Como un antecedente al proyecto de la Autopista, se realizó la carretera federal Durango-Mazatlán, inaugurada en 1960, la cual cuenta con una extensión de 322 kilómetros, atravesando la Sierra Madre Occidental, cuya orografía es sinuosa, de grandes acantilados que da, para el deleite de sus usuarios, un escenario espectacular. Con la nueva vía, se

busca reducir los costos de operación vehicular, y aumentar la seguridad y el confort en beneficio de 2 millones de personas.

Hoy, la autopista se encuentra operando 230 kilómetros. En el 2013, se proyectó que el aforo vehicular diario sería 3 mil 527 automóviles, incrementando el 20% para el 2018. Frente a esta realidad, la construcción de la autopista ofrece un gran reto a cumplirse para la ejecución de los túneles, volviéndose un tema muy interesante para ser observado y estudiado, considerada como el proyecto de magnitudes importantes. En otras palabras, en el mundo no hay otro proyecto como éste, razón por la se consideró tomar como tema de tesis.

Una obra con las condiciones presentadas por este proyecto, resulta muy interesante conocer, estudiar y analizar cuáles fueron los resultados proyectados en los planos de obra terminada. Por tal motivo, se decidió realizar esta investigación, con el propósito de aportar un seguimiento secuencial al análisis de la información obtenida, misma que pueda proporcionar algunos criterios y recomendaciones considerados al analizar en los planos de obra terminada, estableciendo mecanismo, y medidas de control y prevención como un ejemplo a seguir que ayuden a determinar, en futuros proyectos, el análisis del perfil topográfico, las fallas proyectadas y las fallas encontradas en el proceso de construcción, uso de materiales, clasificaciones del macizo rocoso (Bieniawski (RMR), Deere (RQD) y Barton (Q), entre otros elementos. Estos elementos son posibles a emplearse en un proyecto de construcción de túnel carretero, tomando como base primordial los planos “As Built”; y buscando, con su interpretación, reducir el tiempo para la clasificación de la información, de tal manera que su búsqueda sea rápida, precisa y concreta.

Asimismo, esta información puede ser de gran utilidad para ayudar a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a comparar las clasificaciones y modelos tipo, empleados para el diseño y construcción de nuevos túneles en México.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1.- HISTORIA DE LOS TÚNELES EN EL MUNDO

2.1.1 ORÍGENES DE LOS TÚNELES

La naturaleza fue quien realizó las primeras construcciones subterráneas, construyendo cuevas y cursos de agua subterráneos, decisivos para el desarrollo de la vida y el equilibrio de los ecosistemas. El hombre utilizó el túnel mucho después como solución para salvar obstáculos o por motivos prácticos, defensivos y por supuesto religioso (Soto, 2014).

La Universidad Politécnica de Cataluña (U.P.C., 2012) relaciona que al final de la Edad de Piedra, la construcción de los primeros túneles se vincula con el descubrimiento de la metalurgia, destinada a la explotación de los minerales como el sílex o pedernal, material indispensable para fabricar una multitud de armas y herramientas. Cuando se agotaba en la superficie la explotación de los minerales, se seguía la veta por medio de pozos y galerías subterráneas. Este proceso debió emplearse desde hace unos 15 000 años atrás (Figura 2.1). En la construcción de los primeros túneles se empleaba la técnica del fuego, que consistía en provocar un incendio en el frente de ataque para luego sofocarlo súbitamente con agua fría: el cambio de temperatura daba lugar al resquebrajamiento de la roca.



Figura 2.1.- Los Primeros Túneles (Soto, 2014)

Una importante aportación de la presencia de los primeros túneles en la historia, se evidencia en los hallazgos encontrados en el interior de las construcciones funerarias en casi todas las civilizaciones antiguas. Gracias a esto, ha sido posible conocer su extraordinaria cultura, misma que continuó su florecimiento bajo el suelo, siendo un lugar propicio para perpetuar vida y gloria eternamente. Tales casos son las tumbas reales del antiguo Egipto, excavadas y esculpidas completamente en roca (Soto, 2014).

Los primeros túneles en la historia de la humanidad se remontan de hace unos tres mil años, contruidos en Asiria, Persia y Mesopotamia para transportar de forma segura el agua, protegiéndola de la evaporación que se producía por los intensos rayos solares de esas áreas. Los túneles también recibían el nombre de *qanats* y su función principal era transportar el agua por gravedad y abastecer a grandes territorios que carecían del vital líquido. Los hallazgos de los pozos revelaron que, posteriormente a su construcción, tuvieron otros usos al encontrarse perforaciones interiores al túnel. Se cree que posiblemente fueron utilizados como ventilación. Se han encontrado también en el suroeste de China y en gran parte de Europa diferentes antecedentes de su construcción (Soto, 2014).

La U.P.C. (2012) considera que, gracias a las antiguas ciudades amuralladas, el abastecimiento de agua se conseguiría mediante túneles, mismos que aseguraban el suministro en caso de ser atacadas. Este es el caso del túnel de Siloam, que se terminó en el año 700 a.C. y llevaba el agua desde los manantiales de la montaña Ophel, hasta el estanque de Siloam en el interior de la vieja y fortificada Jerusalén.

Un importante ejemplo de la ingeniería empleada en la antigüedad de hace 2 500 años, fue llevado a cabo por el arquitecto Eupalinos, quien construyó un túnel de más de un kilómetro de longitud para abastecer el agua desde el Monte Castrón, hasta la ciudad griega de Samos. Sus hombres cavaron desde ambos extremos y se encontraron en medio con la pendiente adecuada para que el agua fluyera de un extremo al otro. Cuando Eupalinos construyó el túnel, sus hombres se abrieron paso a través de una roca sólida suficientemente fuerte para soportar una estructura relativamente pequeña. Sin embargo, los mineros y los constructores pronto aprendieron a reforzar los techos de sus túneles en terrenos menos seguros con maderos y mampuestos, estos últimos identificados como piedras sin labrar para colocarse en obras.

Por su parte, los romanos pasaron a la historia gracias a su dominio y destreza en el arte de la ingeniería civil y con los túneles, sobre todo los de carácter hidráulico, como lo demuestran las redes de acueductos que llevaban agua a las grandes ciudades, muchos de cuyos tramos eran en túnel. También, siguiendo la costumbre de los Etruscos, se desarrolló en el Imperio Romano la construcción de cloacas que resolvían el desagüe de casas y calles.

En la antigüedad, apenas se construyeron túneles para calzadas. No obstante, hay que destacar el de Pansilippo, cerca de Nápoles, construido para una calzada romana en el año 36 a.C. Poseía alrededor de 1 500 metros de longitud y 4 metros de anchura que permitían el tránsito en ambas direcciones (U.P.C., 2012).



Figura 2.2.- Cloaca Máxima, boquilla que vierte al Tíber. (D'ANNA, 1985)

Ya para la Edad Media, los túneles pierden esa potencia como obras vigorosas de ingeniería civil, y derivan en galerías, pasadizos en castillos y fortalezas, como obras menores. Durante ese periodo, la minería se robustece y se consolida fundamentalmente en Europa Central, surgiendo al filo del Renacimiento la obra maestra de minería, *De Re Metallica*, de Georgius Agrícola, publicada en el S. XVI (Figura 2.3). Dicha obra recoge con minuciosidad en su texto y grabados las prácticas y técnicas mineras, siendo un libro básico de consulta durante los dos siguientes siglos a su publicación. (U.P.C., 2012)



Figura 2.3.- Grabado extraído de la obra de *De Re Metallica* del autor alemán Georgius Agrícola (U.P.C., 2012)

El Renacimiento trae consigo el renacer del hombre y el de los túneles tras el letargo de la época medieval. Leonardo da Vinci, en sus adelantadas ideas, concibe niveles subterráneos en sus proyectos de ciudades y piensa en la posibilidad de perforar túneles en donde los canales se encuentran con barreras montañosas. (U.P.C., 2012)

Ya para el siglo XVIII surge “La Era de los Canales”. En esta época, los túneles comienzan a adquirir peso propio: el túnel de Malpas, cerca de Beziers en el Canal de Midi para la unión

de Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, es la obra más extraordinaria que impulsó Colbert bajo el reinado del Rey Luis XIV, y es considerado como el primer túnel para canal (U.P.C., 2012).

La experiencia adquirida con la construcción de túneles para canal resultaría valiosa en el periodo siguiente, ya que superando el corazón de Europa, umbral de la Revolución Industrial, se vislumbraba una nueva época: “La Era de los Ferrocarriles”. El primer túnel de ferrocarril, construido en 1826, fue el de Terre-Noir en Francia, de la línea Roanne-Andrezieux. Era un camino de carriles jalado por caballos y contaba con 1476 metros de longitud, 5 metros de altura y cerca de 3 metros de anchura (U.P.C., 2012).

Entre los años 1830 y 1845 los ferrocarriles de vapor, que comenzaron en Gran Bretaña, se multiplicaron de forma importante. El ferrocarril de Liverpool a Manchester, obra de Isambard Kingdom Brunel fue el primero. Dicha línea atravesaba la montaña a través de dos túneles: uno de 4.8 km y otro de 1.6 km (Figura 2.4). Durante este periodo, también tiene lugar la gesta de la perforación del primer túnel bajo el Río Tamesis entre Totherline y Wapping. El primero, que se construye en terreno blando y con enorme presencia de agua y en el que por primera vez se aplica la técnica del escudo, fue patentada posteriormente por Marc Brunel (U.P.C., 2012).

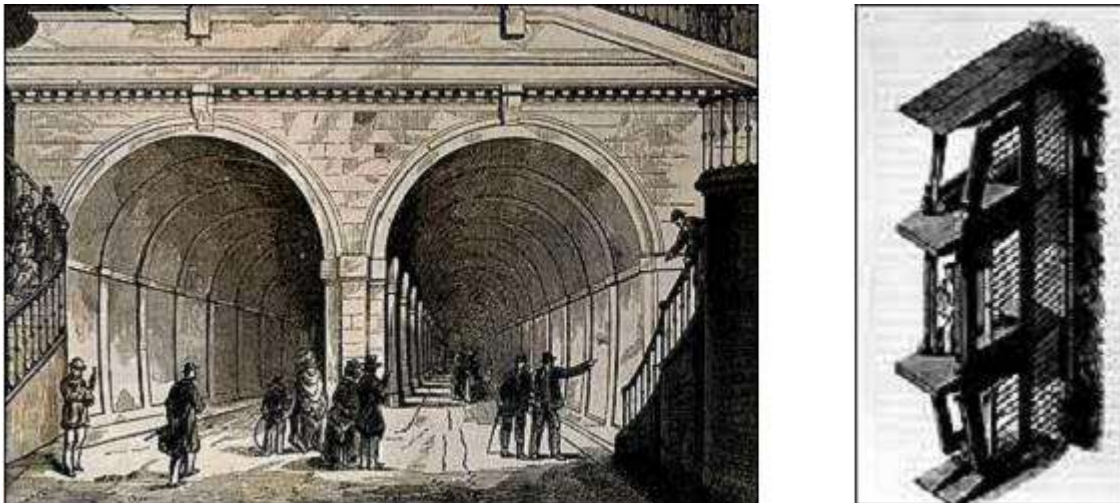


Figura 2.4.- A la izquierda una imagen de época del túnel construido bajo las aguas del río Tamesis y a la derecha otra del escudo utilizado y patentado por Brunel para este mismo proyecto (1843) (U.P.C., 2012)

Soto (2004) nos muestra los antecedentes que desde tiempos remotos han dejado huella invaluable en la historia de la humanidad; y nos acercan de manera paulatina al resurgimiento de los túneles. Como consecuencia de la Revolución Industrial, la máquina de vapor y los ferrocarriles marcaron un hito importante en el diseño y construcción de los mismos. Los siguientes avances fueron debidos a diversas causas. Por una parte, la electricidad y la potencia eléctrica propiciaron la aparición de los ferrocarriles subterráneos y el metro. Por otra parte, las centrales de energía dieron lugar a los túneles para enfriamiento de agua y para conducción de cables. La máquina de combustión interna, no solo extendió la potencia de la ingeniería, sino que dio lugar al motor de explosión, lo que condujo al desarrollo de las carreteras y, por tanto, a la demanda de un número creciente de túneles para vehículos a motor, no perforados únicamente bajo montañas sino también bajo colinas menores o incluso bajo los cauces de los ríos.

En Estados Unidos se van imponiendo los túneles. En la segunda mitad del siglo XIX dos túneles bajo el río de Chicago, abiertos en 1869 y 1871, marcaron un acontecimiento sin precedentes. El túnel Hoosac también ha sido, sin lugar a duda, un hito a nivel de avances tecnológicos, como el de la utilización por primera vez de la nitroglicerina en este tipo de obras; y el túnel de Saint Clair construido a finales del XIX bajo el río que le da nombre entre EE. UU. y Canadá, utilizando un escudo de 6.45 metros de diámetro (U.P.C., 2012).

2.2 LOS TÚNELES EN MÉXICO

2.2.1 LOS TÚNELES PREHISPÁNICOS

México, como imperio prehispánico también sienta importantes aportaciones a la construcción de túneles, manteniendo una fuerte relación entre su idiosincrasia, su cultura y su conexión con los elementos naturales y el universo. Para los antiguos pobladores, los agujeros en la tierra eran considerados como depósitos en donde se conservaba la energía vital de los elementos que conforman el orden natural. Esta energía era esencial frente a otros fenómenos naturales, pues aseguraba la fertilidad y, por lo tanto, el sustento de las comunidades, su continuación y supervivencia. La interrelación entre todos estos conceptos se manifiesta plenamente en el caso de la cueva subterránea que corre por debajo de la Pirámide del Sol en Teotihuacán y las importantes obras hidráulicas que transportan el agua

por la pirámide de Quetzalcóatl (Figura 2.5) (Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas “AMITOS”, 2012).



Figura 2.5.- Códice Duran. Historia de las Indias de Nueva España e Islas de Tierra Firme (AMITOS, 2012)

2.2.2 LOS TÚNELES EN EL VIRREINATO

Con la conquista los españoles, tendrían que emplear en territorio mexicano sus conocimientos de ingeniería de túneles, adecuándolas a la situación geográfica que ofrecía la tierra conquistada. Dado que no había medios mecánicos para excavar, se utilizaban a hombres, como máquina de trabajo.

La información sobre explotación minera que debemos a Humboldt resulta importante, pues de manera indirecta arroja a la luz sobre una proeza de la ingeniería en túneles realizada en territorio mexicano. En este sentido, Humboldt escribió lo siguiente: “una galería subterránea que sirve de canal de desagüe, acabada en menos de un año, de 6,600 metros de largo, con una sección transversal de 10.5 metros cuadrados, es una obra hidráulica que en nuestros días y aun en Europa llamaría la atención de ingenieros”. La singular ubicación de la Ciudad de México en el punto más bajo de una cuenca sin salida natural para el agua de las lluvias, la colocó desde su origen bajo la amenaza de una inundación (AMITOS, 2012).

En principios del siglo XVII, fue tomada la decisión de emprender una obra de alivio: el desagüe del río Cuautitlán y los excedentes de la laguna de Zumpango hacia el río de Tula, ubicados en el Estado de México.

La inteligencia para dirigirla corrió a cargo del inmigrante alemán Enrico Martínez, quien entre el 29 de noviembre de 1607 y el 17 de septiembre de 1608, trazó y ejecutó un túnel de unos seis kilómetros y medio de longitud, a la mitad de una obra de desagüe que en total alcanzaba 13.3 kilómetros, con sendos canales al principio y al final, excavados en el profundo del terreno.

Sin duda, a lo largo y ancho del país se dio el caso de que se excavaran túneles con otros objetivos. Esta visión retroexpectiva se cierra mencionando dos ejemplos de túneles excavados con otros fines, admitiéndose la posibilidad de que existan otros, cuya memoria todavía no está registrada, o que existieran otras obras subterráneas de propósito no minero que ya cayeron en el olvido.

El primero, el Túnel Ogarrio (Figura 2.6), del distrito minero de Real de Catorce en San Luis Potosí, con aproximadamente 2,260 metros de longitud y cuyo promotor fue Vicente Irizar Aróstegui, resulta una obra notable aún en nuestros días. Comunica la población de Real de Catorce con el camino que baja hacia el norte hasta las planicies semidesérticas de Matehuala. Se excavó en roca viva y se dejó sin recubrimiento alguno. Su construcción tardó cuatro años. Algunos ingenieros aseguran que, no se usó más que la fuerza de los barreteros y en algunos puntos selectos, dinamita; otros, sostienen que en esta obra se empleó por primera vez maquinaria de vapor.



Figura 2.6.- Túnel de Ogarrio. Archivo histórico de Ogarrio, Real de Catorce, San Luis Potosí.
(AMITOS, 2012)

El segundo túnel carretero atravesaba el macizo rocoso del paraje de Cuauhtepéhuatl, en la Sierra Norte de Puebla, excavado cuando se construyó una terracería para comunicar las poblaciones de Zacapoaxtla y Cuetzalan en Puebla (Figura 2.7). El túnel tenía 80 metros de longitud y su construcción se hizo bajo la dirección de dos barreneros con experiencia en la minería, traídos de Tetela de Ocampo. Sin embargo, en 1959, cuando se construyó la carretera federal que actualmente continúa en uso, se decidió dinamitar el túnel para darle al camino la amplitud de la especificación estándar. Esa decisión involucró un dilema cotidiano para el ingeniero: elegir entre la memoria y la eficiencia (AMITOS, 2012).



Figura 2.7.- Túnel de Cuetzalan. Archivo Histórico de Cuetzalan, Puebla. (AMITOS, 2012)

2.2.3 TÚNELES FERROVIARIOS

Como rama especializada de la Ingeniería, la construcción de túneles adquiere una gran relevancia, debido a la aparición de los ferrocarriles. No se trata solamente del más antiguo medio motorizado para transportación terrestre, sino que continúa siendo el de más alta eficiencia, en cuanto al ahorro de energéticos. Sin embargo, requiere de curvas amplias y que las pendientes se mantengan lo más tendido posible. Actualmente, la extensión de la red ferroviaria mexicana alcanza 23,781 kilómetros de vías en operación.

La era de los ferrocarriles hace surgir un nuevo nacimiento para la construcción de túneles. En la primera mitad del siglo XIX y en la última década de ese siglo, comenzó la participación

estatal hasta culminar con la nacionalización de todo el sistema a mediados del siglo XX, cambiando después al esquema mixto de la actualidad. La presencia de importantes accidentes orográficos va en relación con la construcción de túneles como recurso principal para salvarlos. La primera concesión, para tender una línea de importancia, se otorgó para comunicar a la Ciudad de México con Veracruz. Conocida desde entonces como “El Mexicano”, su primer tramo, que partía de Veracruz, entró en servicio en 1850. En su extensión total, exigió la excavación de 15 túneles y la construcción de 148 puentes (Figura 2.8) (AMITOS, 2012).



Figura 2.8.- Túnel Falso El Pensil. Línea México – Veracruz (AMITOS, 2012)

2.2.4 TÚNELES HIDRÁULICOS

Si la historia de la Ciudad de México está indisolublemente ligada al asunto de su ubicación geográfica, que dificulta librarla del riesgo de inundación, también ha sido determinante en el desarrollo de la ingeniería mexicana en obras subterráneas.

El Túnel Tequixquiac (Figura 2.9), es una obra de ingeniería moderna. El imaginarla asequible, el proyectarla en sus particularidades y el ejecutarla, habría sido imposible si no se hubiera dispuesto de barómetros y otros instrumentos de medición topográfica, de herramientas de acero en abundancia, de máquinas de vapor para impulsar bombas y malacates; y de un ferrocarril para acarrear materiales. A la excavación del Túnel de

Tequixquiac, le corresponden los primeros logros de la ingeniería en túneles a cargo de técnicos mexicanos, los cuales destacan dos.

El primero fue la realización de un diagrama dado a conocer por el ingeniero Garay desde mediados del siglo XIX, cuando se sometió a consideración el proyecto inicial de desagüe. El diagrama permite apreciar que, después de tenerse la bóveda terminada, se introduce una variación del método belga clásico al efectuarse la construcción de los “hastiales”, o paredes laterales del túnel. Esta variación consiste en conservar el centro de la amplitud del túnel un núcleo de terreno intacto en lugar de excavar a todo lo ancho, a fin de apoyar sobre dicho núcleo un apuntalamiento que se coloca en la bóveda al terminarla, mientras, se construyen los hastiales para lograr mayores garantías de estabilidad;

El segundo logro de la ingeniería mexicana surgió a raíz de la propuesta hecha por el ingeniero belga León Derote: cambiar la sección del túnel en forma de herradura invertida por una enteramente circular. La médula del argumento de Derote descansaba sobre el hecho de que la estructura más estable para tomar empujes en direcciones múltiples, sería una circular. Sin embargo, el ingeniero Espinosa sabía que el terreno en el que trabajaba no presentaba el comportamiento supuesto por él y demostró, apoyándose en las teorías sobre estructuras abovedadas de mampostería del ingeniero ferroviario alemán Hermann Scheffler, que su propuesta era estable por su forma y sus dimensiones, en tanto que la del ingeniero belga no. Por si fuera poco, Espinosa también rebatió la idea que tenía Derote de construir el recubrimiento con anillos concéntricos de ladrillo y, echando mano de sus conocimientos de hidráulica, demostró que era preferible construir la cubeta como él lo sugería, con piedra revestida de dovelas de “piedra artificial”, es decir, de concreto hidráulico (AMITOS, 2012).

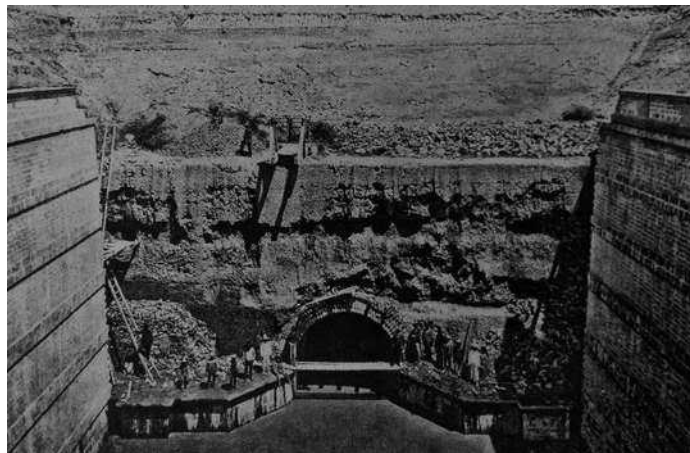


Figura 2.9.- Portal de Entrada al primer túnel de Tequixquiac, cuando estaba por terminarse el revestimiento de la cara de la montaña. (AMITOS, 2012)

2.2.5 TÚNELES PARA AGUA POTABLE

Como en la antigüedad, hasta nuestros días, la construcción de túneles sigue preservando su importante función: acercar el vital líquido a las pequeñas y grandes urbes. En el caso de la Ciudad de México, hacia la cuarta década del siglo XX, la situación respecto a su abastecimiento de agua potable exigía considerar, con detenimiento, un asunto de creciente complejidad en relación con los pros y contras que debían sopesar. Su principal fuente de abastecimiento de agua potable (un acueducto inaugurado en 1909) resultaba ya insuficiente desde posterior a la Revolución Mexicana: la población y la demanda no cesaban de aumentar. Considerando las circunstancias de la Ciudad de México imperantes en la cuarta década del siglo XX, se optó por recurrir a la transferencia de agua de cuencas externas a la del Valle de México, como la del sistema Lerma que entró en operación en 1951. Para la conducción del agua, se requirió de la construcción del Túnel Atarasquillo – Dos Ríos, de 14,336 metros de longitud y 5 metros de diámetro terminado (Figura 2.10). En su época, se le consideró una obra de gran importancia, ya que atravesó la Sierra de las Cruces (AMITOS, 2012).



Figura 2.10.- Fotografía de una barrenadora de aire comprimido del tipo empleado en la excavación del Túnel Atarasquillo – Dos Ríos. Archivo Histórico y Museo de Minería, AC. (AMITOS, 2012).

2.2.6 TÚNELES PARA OBRAS HIDROELÉCTRICAS

La fuerza motriz de una corriente de agua es un fenómeno conocido del hombre desde tiempos inmemoriales. La primera planta hidroeléctrica en México entró en operación en 1879, en Batopilas, Chihuahua. En una central hidroeléctrica moderna, los túneles no sirven solo para la conducción de agua, sino para otros propósitos. Antes de comenzar la construcción, y como parte de los preparativos para alcanzar el sitio de la obra, es posible que se construyan túneles carreteros de sección portal: media sección inferior rectangular y la superior en arco de medio punto o rebajado. Forman parte de una intrincada y extensa red de caminos de acceso que, en el caso de la central de Zimapán, en el estado de Hidalgo, alcanzó una longitud total del orden de 6,172 metros de túneles viales, siendo el caso de mayor desarrollo en México para obras de este tipo (Figura 2.11) (AMITOS, 2012).

Inicialmente, estas obras sirven para realizar la exploración geológica y geotécnica detallada, previa al inicio propiamente dicho de la construcción. Constituyen un variado repertorio cuyas dimensiones, forma, longitud, dirección e inclinación dependen de la función que tienen dentro del conjunto. Otros elementos de una central hidroeléctrica que se pueden resolver mediante un túnel, son las obras de desvío y excedencias. La dimensión de estos túneles se determina en función de las avenidas máximas esperadas (caudales extraordinarios de agua en el río), según los registros meteorológicos de años anteriores. Una vez terminadas las obras de construcción, el túnel de desvío se debe obturar mediante tapones cuya construcción también presenta importante retos. Tan imprescindibles como los túneles de desvío y de excedencias, son los de conducción a presión que trabajan a tubo lleno, por donde se toma el agua del embalse y se conduce cuesta abajo hasta las turbinas que impulsan los generadores. La particularidad de estos túneles es que no solo deben resistir las presiones del subsuelo y el agua incluida en el mismo ejerzan sobre su cara exterior, sino que también deben ser impermeables y en los tramos donde quedarán plenamente llenos por el agua, deberán soportar la presión del líquido desde adentro hacia afuera, más los esfuerzos hidrodinámicos por efecto del golpe de ariete; o los ejercidos en los codos donde inician y terminan las trayectorias de caída. Sumando a lo anterior, deberán resistir el efecto abrasivo del agua durante las décadas de su vida útil. Puesto que la orografía de México hace que las centrales hidroeléctricas suelen ubicarse en comarcas montañosas, los túneles son un elemento casi indispensable en su construcción (AMITOS, 2012).



Figura 2.11.- Túnel de conducción de la hidroeléctrica Zimapán (AMITOS, 2012).

2.2.7 TÚNELES PARA EL TRANSPORTE URBANO

Es común que a estas redes de transporte se les identifique, con la palabra “metro”, pero no como referencia a la medida de longitud. Se trata de la contracción de “Metropolitain”, el nombre que en París se acuñó para la red de ferrocarril urbano local.

La construcción del Metro en la Ciudad de México (Figura 2.12) está estrechamente relacionada con la historia de las obras subterráneas, aunque esta relación inicialmente se dio de modo poco propicio, debido al suelo blando de la ciudad y a la presencia de un nivel freático muy superficial. Sin embargo, la acumulación de conocimientos y experiencias en la construcción de cimentaciones profundas y pasos a desnivel para vehículos, en excavaciones en el Gran Canal de Desagüe y en las de algunos colectores de drenaje, hicieron posible que se construyera y pusiera en servicio en el año de 1969 (AMITOS, 2012).



Figura 2.12.- Construcción de una estación en la Línea 7 del Metro. Portal de salida de túneles paralelos (AMITOS, 2012).

2.2.8. TÚNELES CARRETEROS

La carretera México – Acapulco, terminada de trazar en 1927, en su tiempo representó una de las grandes obras de infraestructura de los regímenes posrevolucionarios. En algún punto de su trayecto a través del Cañón del Zopilote en la Sierra Madre del Sur, su trazo original incluía un corto túnel. Permanecería durante más de medio siglo como un caso excepcional, pues aun tratándose de un país con orografía montañosa, la expansión de la red de carreteras en México se dio sin que creciera el número de túneles construidos.

No es sino hasta finales de la década de los años ochenta, cuando a la par de la expansión de la red de autopistas se comienzan a construir de modo significativo túneles carreteros. Entre las primeras rutas de esa red en expansión figura nuevamente la comunicación entre la capital y la costa del Océano Pacífico, a través de la Autopista del Sol, la cual incluyó cuatro túneles, Los Querendes, Agua de Obispo, Tierra Colorada y el Maxitúnel. Las cifras son más elocuentes en este asunto. En las dos décadas y fracción transcurridas desde que iniciara ese proceso, se han ejecutado o están en proyecto más de un centenar adicional de túneles carreteros. Lo realizado hasta ahora, en cuanto al número de túneles carreteros palidece frente a lo que se realizó en la autopista Durango – Mazatlán con 61 túneles, donde se emplearon técnicas modernas de construcción (Figura 2.13). La nueva autopista México –

Tuxpan es parte de la estrategia de desarrollo decidida por las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT): de modernizar 14 corredores carreteros, se concretará una vez terminados 2600 metros lineales de grandes puentes; y 8,026 metros de túnel. En la Tabla 2.1, se muestran los túneles que se han construido a lo largo del tiempo en México (AMITOS, 2012).



Figura 2.13.- Técnica modernas en la construcción de túneles en la autopista Durango – Mazatlán. Frente de excavación del túnel Piedra Colorada, ademada con perfiles metálicos TH (AMITOS, 2012).

Túneles Carreteros			
Año	Obra	Número de Túneles	Longitud Total (m)
1980 - 1990	Libramiento de Puerto Vallarta	1	416
1990 - 2000	Cuernavaca - Acapulco	5	3,817
	México - Toluca	2	420
	Esperanza - Cd. Mendoza	4	759
2002 - 2006	San Luis Potosí - Los Chorros	1	160
	Pátzcuaro - Uruapan - Lázaro Cárdenas	1	420
	Arriaga - Ocozocuaútl	2	380
2006 - 2012	Av. Luis Donaldo Colosio, Puerto Vallarta	1	490
	Mitla - Tehuantepec II	13	2,040
	México - Tuxpan	6	3,981
	Amozoc - Perote	1	420
	Acceso al Puerto de Salina Cruz	1	494
	Libramiento de Xalapa	1	270
	Barranca Larga - Ventanilla	3	410
	Arriaga - Tuxtla Gutiérrez	2	306
	Atizapán - Atlacomulco	1	360
	Jala - Puerto Vallarta	1	404
	Oaxaca - Istmo de Tehuantepec	13	2,040
	Durango - Mazatlán	61	18,544
Total		120	36,131

Tabla 2.1.- Túneles Carreteros en México.

2.3.- CASO DE 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO - MAZATLÁN

Los grandes retos que se ha planteado México son continuar e iniciar programas y acciones específicas que impulsen al desarrollo de la sociedad, al crecimiento económico y a la integración del país. Para ello, una de sus prioridades ha sido invertir en Infraestructura Carretera.

Al iniciar el nuevo siglo, se proyectó que, para cumplir con dicho desarrollo social y su base obligatoria de progreso económico, era necesaria la construcción de un eje carretero que iniciara en la ciudad fronteriza de Matamoros y llegara al puerto de Mazatlán, planteándose los siguientes objetivos:

- Atravesar la Sierra Madre Occidental mediante una autopista de altas especificaciones.

- Reducir el tiempo de recorrido.
- Proporcionar velocidades entre 90 y 110 km/h.
- Conservar la flora y fauna del lugar, así como restaurar el impacto ambiental.
- Ofrecer seguridad y confort.
- Conformar el corredor carretero Mazatlán – Durango – Torreón – Gómez Palacios – Saltillo – Monterrey – Reynosa y Matamoros.

2.3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de construcción de la Autopista Durango – Mazatlán, forma parte del corredor Matamoros – Mazatlán que atraviesa los Estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Durango y Sinaloa en la región noroeste de México con una longitud de 1,241 kilómetros.

2.3.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO Y SELECCIÓN DE RUTA

Esta carretera fue concebida como una autopista de cuatro carriles tipo A4, aunque en una primera etapa se planteó una sección tipo A2, que sería ampliada posteriormente. En la primera fase, la vía cuenta con 12.0 m de ancho de corona, dos carriles de circulación de 3.5 m cada uno y acotamientos laterales de 2.5 m. No obstante, se planteó que un tramo de 8 km se construyera en su inicio con una sección de tipo A4, de cuatro carriles de 3.5 m de ancho cada uno, y 21 m de ancho de corona.

Esta sección se definió en relación con la zona más accidentada del tramo, donde se encuentran los puentes especiales Baluarte y Carrizo que, por su importancia y condiciones propias de diseño, se proyectaron para una sección de cuatro carriles y así evitar una ampliación de la autopista en la zona más accidentada del proyecto.

De los estudios geotécnicos se obtuvieron sondeos, los cuales permitieron obtener muestras que se llevaron a laboratorios para determinar, a su vez, las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos y rocas, con las que se obtuvo un modelo geotécnico, que permitió efectuar el diseño adecuado con el que se trabajó y así proyectar la obra.

Posteriormente, se planteó el proceso constructivo más adecuado para cada proyecto. De acuerdo con los estudios y análisis previos, se llevó a cabo la ejecución de la obra, así como la supervisión y seguimiento técnico durante la construcción.

Partiendo de la consideración primordial para seleccionar la ruta de esta magna obra, fue el conceptualizar una carretera de altas especificaciones, para proporcionar a los usuarios seguridad y confort. Con el mejor alineamiento tanto horizontal como vertical, hubo la necesidad de adoptar criterios dependiendo de las características de los suelos y rocas, para decidir las alturas máximas de cortes y terraplenes, considerarlas dentro del proyecto y la ejecución de túnel o viaductos, con el objetivo de lograr una vía lo más recta posible.

En las vías terrestres, es aplicable el dicho popular de que la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta. En regiones con condiciones orográficas difíciles, la aplicación en sentido estricto de esa regla llevaría a construir numerosos túneles, pero en el pasado las dificultades técnicas encontradas y el correspondiente alto costo limitaron la construcción de este tipo de obras, exceptuando el caso de las vías de ferrocarril. Esa situación ha cambiado, debido a las estrictas especificaciones aplicables al diseño de las carreteras modernas, a las restricciones en materia de afectación al impacto ambiental; y a los avances considerables que se han presentado en el arte de construir túneles.

Lo anterior coadyuvó en gran medida en el cuidado del medio ambiente, ya que se evitó modificar la superficie original del terreno en todos estos tramos donde se construyeron viaductos y túneles y, con ello, se aseguró mantener intacto los corredores biológicos que utiliza la fauna propia del lugar; y por supuesto se mitigaron los efectos ambientales que pudieran haber causado movimientos de material producidos por los cortes y terraplenes.

La autopista Durango – Mazatlán en su tramo El Salto – Concordia, fue el mayor desafío en este enorme Proyecto Carretero Nacional que, desde su concepción, consideró esquemas eficaces para la protección de los recursos naturales y del ambiente (Poon C., 2013).

2.3.3 ESTUDIOS PREVIOS

Para establecer el marco geológico estructural y determinar las características de resistencia y calidad de la roca que se excavó en cada uno de los 61 túneles de la autopista Durango – Mazatlán, se realizaron estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos, apoyados con

levantamientos topográficos en los distintos sitios, los cuales proporcionaron los conocimientos adecuados sobre el tipo de terreno sobre el que se construyó la carretera (Poon C., 2013).

2.3.3.1 ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Se realizó un levantamiento fotogeológico regional básicamente orientado a la identificación de las principales discontinuidades (fracturas, pseudoestratificaciones e hidrología del sitio, entre otros). A partir de ese estudio, se detectaron las estructuras geológicas mayores, tales como mega fallas y sistemas de fracturas regionales (Poon C., 2013).

2.3.3.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS

El estudio geofísico con enfoque geotécnico se realizó con el propósito de conocer, de manera indirecta, las características del subsuelo mediante la aplicación de métodos geofísicos de resistividad en su modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV).

La aplicación del método de prospección eléctrica permitió evaluar la variación de la resistividad con la profundidad asociada, por una parte, con respecto al contenido de agua que se alojó entre los poros y fracturas internas de la roca; por otra, a la presencia de minerales formadores de rocas (conductores o resistivos).

Con estos estudios, se correlacionó la información geofísica de las unidades estratigráficas de superficie para establecer un modelo geológico conceptual, determinando la calidad de la roca de los horizontes detectados. Previamente a la modelación de los datos geofísicos de campo, se revisaron los cálculos de la resistividad aparente y la coherencia de las curvas obtenidas (Poon C., 2013).

2.3.3.3 ENSAYOS GEOTÉCNICOS

Los ensayos geotécnicos consistieron en pruebas índice y mecánicas. En la primera se obtuvo el peso y modelo volumétrico de la roca. En la segunda, su resistencia a la compresión simple y en pruebas triaxiales se determinaron los parámetros de resistencia y deformabilidad de la roca intacta; así mismo se efectuaron ensayos de resistencia por

compresión diametral (prueba brasileña) y se determinó el índice de calidad de la roca (RQD, por sus siglas en inglés). Las pruebas de resistencia a la compresión simple, se hicieron con carga controlada, con capacidad de hasta 500 toneladas de carga.

Para integrar los estudios, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos, los estudios geológicos y geofísicos, y las pruebas de laboratorio y la integración geotécnica. De este modo, se llegó a un pre diseño adecuado de la excavación, y de los sistemas de soporte y estabilización del terreno que aloja a cada uno de los túneles.

Una vez recabada y procesada la información de campo y laboratorio, y con base en la litología definida para cada uno de los túneles, se caracterizaron las unidades en términos cualitativos y cuantitativos. Las unidades de roca excavadas en cada uno de los túneles se denominaron, de acuerdo con alguno de los sistemas más usuales de clasificación de masas rocosas para túneleo.

Las caracterizaciones geomecánicas utilizadas en los proyectos de todos los túneles son Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski y el sistema Q, desarrollada por Barton, Lien y Lunde. Ambas clasificaciones se basan en los datos de recuperación de núcleos, número de familias de discontinuidades, rugosidad y estado general de las juntas, presencia de agua y, adicionalmente, se puede considerar la resistencia de la roca matriz, la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación y el tipo de obra.

En dicha clasificación, se desprendieron las recomendaciones preliminares para el soporte de la excavación, tiempos de auto soporte y tamaño máximo del claro que lo requiere. Se elaboró un perfil geotécnico integrado que muestra la distribución de las unidades geotécnicas e indica las clasificaciones geomecánicas a lo largo del eje de cada uno de los túneles.

Los resultados de esos estudios permitieron determinar que, en la mayor parte de los túneles de carretera, se excavaría en macizos rocosos duros y rígidos con distintos grados de fracturamiento.

Por otro lado, la profundidad de los túneles es menor a los 200 m, salvo el túnel El Sinaloense, que tiene una cobertura máxima de 400 m aproximadamente (Poon C., 2013).

2.4 PROYECTO GEOMÉTRICO

2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ALINEAMIENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES

Uno de los aspectos importantes en el diseño y construcción de un túnel es su geometría. Su definición requiere la coordinación de todas las especialidades que intervienen en el diseño y de los requerimientos marcados por cada una de ellas. Básicamente, el proyecto geométrico del túnel define la sección en función del uso al que estará destinado, es decir que las características geométricas de los túneles dependen de las especificaciones particulares de necesidades impuesta por el trazo de la autopista, así como del procedimiento constructivo por utilizar.

Algunos de los principales aspectos considerados, fueron las propiedades geomecánicas de la roca, las condiciones hidráulicas y la estabilidad durante el proceso de excavación, así como el procedimiento constructivo del revestimiento definitivo.

El espacio requerido para el tránsito está definido por el ancho de los carriles y la máxima altura de vehículos de carga considerados en el proyecto. Los túneles tienen una sección geométrica simétrica en toda la parte superior, hasta la junta de colado en las zapatas. Ocho túneles fueron diseñados para albergar cuatro carriles. Esos túneles se definieron a partir de la geometría de los puentes especiales Baluarte y Carrizo los cuales, por sus condiciones propias, se proyectaron geométricamente con características de carretera tipo A4.

El galibo de diseño para todos los túneles es de 5.5 m, para lo cual es necesario mantener constantes los arcos de la bóveda y las paredes en los tramos de tangente y curva. Los ajustes correspondientes a la sobreelevación se hacen al variar la altura de las zapatas, hasta alcanzar la pendiente requerida. De esa forma, tanto el ancho de corona, como el galibo se mantienen constantes (Poon C., 2013).

2.4.2 DEFINICIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES

Los resultados de los estudios permitieron determinar, en la mayoría de los túneles de la carretera, la excavación en macizos rocosos duros y rígidos con distintos grados de fracturamiento. Para ello, se representan los siguientes puntos establecidos en el proceso constructivo de los túneles carreteros de la Autopista Durango – Mazatlán.

a) Trazo

Los túneles dependen de las especificaciones particulares de necesidades impuestas por el trazo de la autopista. Para ello se integró una carpeta para cada uno de los túneles, que contienen los registros del trazo y sus referencias, el cálculo de coordenadas y la nivelación de perfiles.

b) Obras de Acceso

Las primeras obras de la construcción de un túnel son los accesos. Para el comienzo de la excavación de los túneles por necesidades de plazo de la obra, no siempre existen accesos por el trazo de la autopista, ya que en general fue necesario comenzar la ejecución de los túneles antes de tener acabados los terraplenes o cortes de terracerías. Por eso, fue necesario construir caminos de acceso al portal de entrada de cada túnel.

c) Emportalamiento

Fue la actividad inicial en la construcción de un túnel y consistió en hacer un corte en tajo del terreno natural, a fin de construir el portal, es decir, una cavidad homogénea donde se inicia la perforación del túnel.

Para su construcción en los diferentes túneles de la autopista, se tomó en cuenta diversos factores que intervienen en la estabilidad de los taludes, como la geometría de la excavación, los elementos para reforzar el talud y en caso necesario garantizar su estabilidad y procedimiento constructivo.

La excavación de los portales presenta una condición diferente a la de un corte en terracerías, ya que la entrada del túnel debilita el talud frontal, por ser la parte inferior, la cual presenta un punto crítico con el que se pierde la ventaja tridimensional de un frente de túnel. Las voladuras que se realizan en los primeros metros del túnel, “dentro de la zona del talud”, pueden ser fuentes de inestabilidad.

Se ha reconocido que, durante y después de la excavación de los portales, se debe garantizar la estabilidad de los taludes. Por lo anterior, prácticamente en todos los taludes frontales de los portales se realizó un tratamiento que, dependiendo de la calidad geotécnica del macizo, estuvo formado por alguno o varios de los siguientes componentes: anclajes (de fricción y tensión), concreto lanzado, visera de protección y drenaje.

d) Barrenación

El primer paso realizado en la excavación de los portales es el desmonte, ubicado dentro de los límites del derecho de vía del proyecto. Posteriormente, se hizo el trazo en el que se ubica la línea que delimita el talud, ceros de corte y se marcó la plantilla de barrenación de acuerdo con la planeación de barrenación.

e) Carga de Explosivo y Voladura

Durante el desarrollo de la obra, se asignó una persona que sea responsable de los reportes, manejo y cuidado de los explosivos. El inicio de la explosión en cada barreno, se hizo con el cartucho instalado en el fondo del barreno y que contiene un detonador. La activación de los explosivos se realizó mediante detonadores de iniciación no eléctrica.

f) Rezaga

Inmediatamente, después de la voladura se ventiló el frente con el propósito de continuar con el proceso. Posteriormente, se efectuó una inspección dentro del túnel, parte fundamental para proceder al amacice del frente y continuar con el ciclo correspondiente (rezaga, soporte primario que necesite el frente, marcos, ademe, concreto lanzado, anclas, etc.). No se debe de avanzar sin que dicho soporte haya sido instalado, para evitar riesgos.

g) Excavación

Históricamente, la selección del método utilizado para perforar un túnel se basa en el tipo de formación de roca y sección de la obra.

Para el caso de los túneles de esta autopista, se optó por utilizar el método convencional mediante métodos mecánicos y voladura, ya que fue el adecuado para las características de los terrenos en estudio. El método consiste en aceptar las deformaciones que ocurren en el interior del túnel. En este caso, no se deben impedir por medios directos como lo son, elementos de soporte, sino que se deben permitir en forma controlada, propiciando el auto soporte de la excavación mediante el uso de elementos básicos (concreto lanzado, marcos metálicos y anclas).

Debido a la mala o pésima calidad de los materiales del terreno, algunos de los túneles requirieron de un procedimiento constructivo especial. De acuerdo con las tendencias actuales de construcción empleadas en túneles carreteros en Europa, son la aplicación de

un sistema de protección o pre sostenimiento mediante enfilaje frontal o paraguas de micropilotes, que es un sistema de pre sostenimiento primario provisional ideado para la fase de excavación del túnel.

h) Enfilaje

Se trata de un conjunto de elementos estructurales lineales subhorizontales perforados en el terreno e inyectados con un mortero, y que a su vez se encuentran apoyados sobre los marcos de soporte. Estos constituyen una pre bóveda formada por material resistente, cuya misión es proporcionar el auto sostenimiento primario al terreno situado en la parte superior del túnel, siguiendo la geometría de este. Asimismo, se utiliza para soportar las deformaciones del terreno en algunos casos. El enfilaje se suele colocar antes de iniciar la excavación del talud frontal del emportalamiento, para garantizar la estabilidad de este durante la excavación de los primeros metros del túnel. El enfilaje más utilizado en los túneles de la autopista fue el método llamado “Jaula de Ardilla”, el cual consiste en barras de acero de 1” de diámetro y 4 m de longitud con una separación de 50 cm.

i) Concreto Lanzado

El concreto lanzado reforzado con fibras de acero (CRFA), es un mortero o concreto que contiene fibras de acero discontinuo, las cuales son proyectadas neumáticamente a altas velocidades a una superficie.

El concreto lanzado reforzado con fibras sintéticas (CRFSn) es un concreto rociado que contiene fibras de plástico discontinuas que son proyectadas neumáticamente a altas velocidades a una superficie.

El objetivo de un concreto lanzado es el de estabilizar las deformaciones requeridas derivadas del movimiento inherente a las fuerzas del terreno. Esto proporciona un refuerzo homogéneo de espesor uniforme. Las fibras de acero son incorporadas en el concreto para mejorar la ductilidad, la absorción de energía, la resistencia al agrietamiento y la resistencia al impacto (Poon C., 2013).

2.4.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

La colocación del revestimiento definitivo, tuvo diversas funciones, entre las cuales se encuentra la parte estructural construida, a corto plazo, apoyado por el sostenimiento. Lo anterior aportó un factor de seguridad adicional en cuanto a la estabilidad de la excavación. A largo plazo, el revestimiento es capaz de absorber las deficiencias estructurales del sostenimiento que es un elemento en contacto directo con el terreno, debido a los altos contenidos de humedad puede presentar una degradación por corrosión. Otra función consistió en evitar labores de mantenimiento que serían crecientes con la edad del túnel, asociados a los altos costos de ejecución y que además interferirían con la explotación de la carretera al entorpecer el tránsito de vehículos. Además, la superficie lisa interior del anillo del concreto del revestimiento ayudaría en gran medida la circulación del aire a lo largo del túnel. Por lo tanto, colaboró con los sistemas de ventilación aumentando de ese modo la seguridad funcional del túnel (Poon C., 2013).

2.4.3.1 IMPERMEABILIZACIÓN

Para el caso de los túneles de la autopista Durango – Mazatlán, se diseñó el revestimiento como una protección de concreto reforzado de 35 cm de espesor y con varillas de diferentes calibres.

El proyecto de impermeabilización constó de 4 fases dentro de la etapa de análisis:

- a) Fase Preliminar: trabajos provisionales de taponamiento o captación y conducción de aguas para permitir la ejecución de la intermedia y principal.
- b) Fase Intermedia: aplicación de concreto lanzado por mortero para el sostenimiento provisional y regularización del soporte.
- c) Fase Principal o Definitiva: compuesta de la instalación de un geotextil y una lámina sintética (geomembrana) impermeable de PVC-P VLDPE.
- d) Fase Posterior: trabajos complementarios a la impermeabilización principal.

La fase de la impermeabilización de los túneles se consideró como la principal o definitiva, y consistió en colocar una capa impermeable que protegiera a los túneles del agua. Para ello, se instaló un geotextil no tejido punzo nado de fibra corta de poliéster. Dicho geotextil solo tiene la función de captar el agua proveniente del macizo y dirigirla al drenaje del túnel.

Posteriormente, se colocó una geomembrana impermeable, una lámina de PVC flexible sin armadura que se fijó con rondanas del mismo material y clavos de acero o taquetes de expansión. Esta geomembrana impermeable evita que el agua se infiltre en el túnel y dañe el concreto del revestimiento (Poon C., 2013).

2.4.3.2 FASES DE REVESTIMIENTO

La construcción del revestimiento de concreto consistió de tres fases.

- a) En la primera, se construyeron las zapatas laterales con concreto reforzado, las cuales se diseñaron con alturas variables para dar las pendientes requeridas por la superficie de rodamiento en zonas de curvas.
- b) En la segunda, se realizó el armado del acero de refuerzo donde se colocó la cimbra metálica conformada por moldes individuales, que se adaptaron a las dimensiones de las zapatas a lo largo del trazo de los distintos túneles.
- c) En la tercera fase, se colocó el armado de acero para el revestimiento superior del túnel. El colado de esta sección se hizo con una cimbra metálica especial deslizante y colapsable, la cual se ajustó a las variaciones del peralte en curva de los túneles, permaneciendo sin cambios la forma del intradós en toda la longitud de los túneles.

2.4.3.3 TÚNELES FALSOS

Por lo general, es conveniente realizar una transición de la plataforma de terracerías al inicio del túnel, construyendo una estructura con la misma sección útil que el revestimiento definitivo, como medida de seguridad. Esa estructura es la que se conoce como Túnel Falso, del cual se decidió diseñar y construir en cada uno de los 61 túneles de la autopista. La construcción de un túnel falso se hizo por módulos, de la misma longitud que la cimbra que se utilizó para su construcción. El carro de cimbrado es el mismo que se usó para la ejecución del revestimiento del túnel. Al ser un túnel falso, la estructura se construye en dos fases:

La primera se construye las zapatas sobre las que se levanta la bóveda del túnel falso. Una vez construidas éstas, se coloca el carro de cimbrado entre ambas y, sobre él, el acero de refuerzo del concreto de la bóveda.

La segunda, se construye la bóveda con la cimbra exterior, que no cierra completamente dicha bóveda, siendo suficiente con que la cimbra llegue hasta el ángulo de reposo del concreto. Para la colocación de la cimbra exterior, es necesario que la excavación realizada para el portal tenga un sobre ancho hasta los taludes laterales, que servirá para el apoyo de la cimbra y para que los operarios tengan un espacio de trabajo. Una vez colocadas las cimbras, se da paso al colado del concreto.

En algunos casos particulares fue necesaria la construcción de túneles falsos intermedios para unir dos obras subterráneas, debido a que en ciertos tramos de dicho túneles la cobertura es menor de 20 m, lo cual obligó a excavar en zonas inestables (POON, 2013).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.- INTRODUCCIÓN

3.1.1.-TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Para una buena planificación, diseño y construcción de un túnel carretero, se requiere de ciertos tipos de investigación que se obtienen de estudios de nivel topográfico, proyecto geométrico, geológico, geofísico, exploraciones subterráneas, pruebas de laboratorio, y geohidrológico, lo que permite tener una información detallada. La mayoría de procedimientos son similares a los proyectos aplicados a las carreteras y puentes. El alcance específico, los objetivos y enfoques de las investigaciones son considerablemente diferentes de túneles y obras subterráneas, y puede variar de forma significativa con las condiciones del subsuelo y los métodos de construcción de los túneles.

Un buen programa de investigación geotécnica, para un proyecto de un túnel, debe utilizar los medios y métodos, para obtener las mejores características y propiedades que sirvan como base para la planificación, diseño y construcción del túnel. Esto permite identificar los riesgos potenciales en la construcción, estableciendo los costos reales y el tiempo que tomará la obra. El alcance de la investigación debe ser coherente con el alcance del mismo proyecto (es decir, la ubicación, la dimensión y presupuesto), los objetivos del proyecto (es decir, el riesgo, el rendimiento); y las restricciones del proyecto (como la geometría, la construcción, impacto a terceros, la estética y el impacto ambiental, etc.). Es de vital importancia que las partes involucradas tengan un entendimiento común de la base geotécnica con el diseño y que sean conscientes del riesgo inevitable de no poder definir completamente las condiciones del subsuelo existentes o para predecir totalmente el comportamiento del suelo durante la fase de construcción.

Generalmente, un programa de investigación de planeación y diseño de un túnel carretero, deberá incluir como mínimo los siguientes componentes:

- a) Recopilación de la información existente.
- b) Inspecciones y reconocimiento del sitio.
- c) Mapeo geotécnico.

- d) Investigaciones del subsuelo.
- e) Estudios de impacto ambiental.
- f) Sismicidad.
- g) Manejo de la información recabada.

3.1.2.-FASES DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

El costo de un programa completo de investigación geotécnica, para un proyecto de un túnel carretero, oscila entre el 3 y 5% del costo de construcción, provocando que sea más eficiente en las investigaciones geotécnicas, así como centrar el esfuerzo en áreas que son más importantes. Especialmente para un túnel carretero, a través de un terreno montañoso, el alto costo, la larga duración, el acceso limitado y el limitado trabajo, pueden exigir que las investigaciones que se lleven a cabo en varias fases para obtener la información necesaria en cada etapa del proyecto y de una manera más rentable.

Además, no es raro que pueda tomar varios años para que un proyecto de un túnel carretero pueda ser conceptualizado, desarrollado, diseñado y finalmente construido. A lo largo del desarrollo del proyecto, el alineamiento final y el perfil pueden diferir de lo que se tenía contemplado inicialmente. Las fases de investigación geotécnica ofrecen un enfoque económico y racional para adaptarse a estos cambios previstos para el proyecto.

Las primeras investigaciones de estudios de planificación y factibilidad, pueden limitarse a los estudios de información y reconocimiento preliminar. Los estudios de los riesgos (en términos de víctimas mortales, daños a la estructura y la interrupción de la construcción), pueden incluir investigaciones topográficas y ambientales que se limitan a identificar los posibles “peligros potenciales” y a detener el proyecto. Una parte importante del esfuerzo de la investigación geotécnica, debe entrar en la fase de diseño preliminar para refinar el alineamiento del túnel y el perfil. Una vez seleccionado el alineamiento final, proporcionará la información detallada necesaria para el diseño.

A medida que el diseño final está terminado, perforaciones de prueba adicionales pueden ser necesarias para brindar una cobertura más completa del alineamiento final y la ubicación de los portales. Según, el método de construcción empleado, las investigaciones adicionales deberán ser necesarias para confirmar la hipótesis de diseño, o para proporcionar información para el diseño de obras complementarias (FHWA, 2009).

3.2.- INFORMACIÓN DEL ESTUDIO

La primera fase de un programa de investigación de un túnel carretero, empieza con la recolección y revisión de la información disponible para desarrollar una comprensión global de la condición del sitio a un bajo costo. La información disponible puede ayudar a definir condiciones, y características que pueden impactar en el diseño y construcción del túnel propuesto, también puede servir de guía para la planificación de los alcances y detalles del suelo. Cartas topográficas, hidrológicas, geológicas, geotécnicas, medio ambiente, zonificación y otra información que pueda ser recolectada, organizada y evaluada en áreas donde la condición sísmica pueda gobernar o influenciar en el proyecto, el historial de sismos puede ser usado para evaluar amenazas sísmicas. Además, el historial de túneles en la región puede estar a veces disponible como estudios de autopistas, carreteras, ferrocarriles, entre otros. En la Tabla 3.1 se muestra una lista resumida de fuentes de información potencial y el tipo de información típicamente disponible (FHWA, 2009).

Tabla 3.1.- Fuentes de Información para México (FHWA, 2009).

Recurso	Uso Funcional	Fuentes de Información
Fotografías Aéreas	Identifica Estructuras	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
	Proporciona información geológica e hidrológica que puede ser usada como base para el reconocimiento del sitio	
	Existencia de cambios en el sitio con el tiempo	
Mapas Topográficos	Proporciona una buena referencia del mapa del sitio	
	Permite estimar la topografía	
	Identifica características físicas y de estructura	
	Puede ser usado para evaluar lugares restringidos	
	Mapas antiguos permite indicar cambios en el suelo o roca	
Mapas Geológicos y Reportes	Proporciona información local del tipo de suelo o roca y las características; cuestiones hidrogeológicas, preocupación ambiental	
Reportes previos de investigación del subsuelo	Proporcionar información local del tipo de suelo o roca, parámetros de fuerza, cuestiones hidrológicas, consentimiento ambiental, tipo de cimentación usada antes	
Registros previos de construcción de cimentación y subterráneas	Proporcionar información local del tipo de suelo o roca, parámetros de fuerza, cuestiones hidrológicas, consentimiento ambiental, métodos de construcción de túneles y problemas	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Pozos de Agua	Proporcionar estratigrafía del sitio o áreas regionales	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
	Permeabilidad	
	Nivel del Agua Subterránea	
Mapas de Inundación	Identifica llanuras de inundación cerca de cuerpos de agua	
	Puede prevenir construcción en una llanura de inundación	
	Proporciona información para evaluar la socavación potencial	
Mapas contra incendios	Útil en áreas urbanas	
	Identifica locaciones de edificios y tipo	
	identifica el tipo de negocio y la locación	

3.3.- RECONOCIMIENTO DEL SITIO

3.3.1.-RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES

La baja resolución de los mapas publicados y el desarrollo fotogramétrico, solamente se emplean para propósitos de planificación. Sin embargo, un primer reconocimiento será necesario para desarrollar conceptos y un diseño preliminar para expandir la información topográfica existente e incluir datos de reconocimiento. Los estudios iniciales deben considerar un reconocimiento sobre el alineamiento del túnel, poniendo atención particular en los portales y en la ubicación del eje. Las características identificadas en mapas y en fotografías aéreas deben ser verificadas. Los afloramientos rocosos, regularmente expuestos, proporcionan un recurso de información sobre la masa de roca fracturada, la estratificación y la ubicación del tipo de roca, fallas, diques y otras características geológicas. Las características identificadas durante el sitio de reconocimiento deben ser fotografiadas, documentadas y fácilmente localizadas tomando sus coordenadas con un navegador del tipo GPS (Global Position System).

El reconocimiento deberá cubrir los alrededores del proyecto, así como una zona regional más grande que la zona geológica, hidrológica y sísmica para que las influencias se puedan considerar. Un reconocimiento de control preliminar horizontal y vertical puede ser requerido para obtener información general del sitio de la selección de la ruta y para el diseño. Este reconocimiento debe ser expandido desde registros existentes, los cuales se basan en los mismos datos horizontales y verticales que se usaron para el diseño final de las estructuras.

3.3.2.-LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Cuando ya no existen alternativas, los mapas, planos y archivos topográficos detallados, deben estar bien desarrollados con el fin de establecer un control primario y un diseño final de construcción basado en un alto orden de estudios de campo de control horizontal y vertical. En un sistema de túnel carretero, las líneas centrales tanto del camino como del túnel normalmente no son idénticas por requerimientos de espacio para camellones y corredores de emergencia. La línea central de un túnel debe ser desarrollada durante el diseño y deberá ser compuesta por tangentes, curvas y espirales de transición que aproximen la línea central compleja del túnel. La línea central deberá ser incorporada en los

planos y todo el control del túnel deberá estar basado en esta línea. Durante la construcción, el reconocimiento del trabajo es necesario para transferir la línea y el grado de la superficie a las mojoneras del túnel, el control del alineamiento del túnel, localización y monitoreo instrumental geotécnico, entre otras cosas.

El mapeo topográfico detallado siempre es requerido para soportar mapeo geológico superficial y el diseño de perforaciones exploratorias, se presente o realice para el proyecto. Las principales técnicas de reconocimiento incluyen:

- Reconocimientos convencionales.
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Utiliza la señal de tiempo de tránsito de una estación de tierra a los satélites para determinar la posición de bancos de nivel en una red de control.
- Medición electrónica de distancia (EDM) con Estación Total: Utiliza un teodolito digital con microprocesadores electrónicos, llamado “Estación Total”, el cual determina la distancia con un prisma remoto, por medición del tiempo que requiere el láser o la luz infrarroja en ser reflejada de regreso hacia el objetivo.
- Teledetección: Identifica efectivamente condiciones del terreno, formaciones geológicas, escarpamientos y reflexión de fallas, lechos de arroyos enterrados, condiciones de acceso a los sitios, suelo en general y formaciones rocosas.
- Escaneo con láser: Utiliza tecnología láser para crear imágenes digitales de superficies en 3D. Esta información puede ser usada en interpretaciones geológicas de mapas, para evaluar estabilidad de laderas, y obtener un diseño de cómo está construida la geometría de un portal.

3.4.- TÉCNICAS DE PRUEBA DE CAMPO (PRE-CONSTRUCCIÓN)

Las pruebas de campo para las investigaciones del subsuelo incluyen dos categorías generales:

- Las pruebas de geotecnia, se utilizan para obtener directamente las mediciones de campo de propiedades útiles del suelo y de la ingeniería de rocas.
- Los estudios geofísicos, son los métodos indirectos de exploración que utilizan las características físicas, tales como: el magnetismo, la densidad, la resistividad

eléctrica, elasticidad o una combinación de estos, se utilizan como una ayuda en el desarrollo de información del subsuelo.

3.4.1.-PRUEBAS DE GEOTECNIA

Los ensayos geotécnicos consistieron en pruebas índice y mecánicas. En las primeras se obtuvo el peso y módulo volumétrico de la roca. En la segunda, su resistencia a la compresión simple y en pruebas triaxiales determinaron los parámetros de resistencia y deformabilidad de la roca intacta; así mismo, se efectuaron ensayos de resistencia por compresión diametral (prueba brasileña) y se determinó el índice de calidad de la roca (RQD, Rock Quality Design). Las pruebas de resistencia a la compresión simple se realizaron con carga controlada, con capacidad de hasta 500 t de carga (Poon, 2013).

Se ensayaron muestras con un diámetro medio de 34.9 mm y una relación de esbeltez media de 2.61. Los ensayos de tensión brasileña se realizaron sobre discos de 3.5 cm de diámetro y 2.0 cm de espesor, aproximadamente. Los ensayos triaxiales se realizaron para presiones de confinamiento de $s_3 = 7.5, 15$ y 30 MPa, aumentando la presión axial S_1 hasta la falla. Ese proceso se repitió con tres probetas similares para los distintos S_3 aplicados (Poon C., 2013).

3.4.2.-PRUEBAS DE GEOFÍSICA

El estudio geofísico con enfoque geotécnico se realizó con el propósito de conocer de manera indirecta las características del subsuelo, mediante la aplicación de métodos geofísicos de resistividad en su modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV).

La aplicación del método de prospección eléctrica, permite evaluar la variación de la resistividad con la profundidad asociada, por una parte, con respecto al contenido de agua que se aloja entre los poros y fracturas internas de la roca; por otra parte, a la presencia de minerales formadores de roca (conductores o resistivos).

Con estos estudios, se correlacionó la información geofísica de las unidades estratigráficas de superficie, para establecer un modelo geológico conceptual, determinando la calidad de roca de los horizontes detectados. Previamente a la modelación de los datos geofísicos de

campo, se revisaron los cálculos de la resistividad aparente y la coherencia de las curvas obtenidas (Poon, 2013).

Posteriormente, se proporcionaron valores suavizados al software Resix Plus, para obtener un modelo estratificado de cada uno de los sondeos. Los valores de resistividad y de espesor verdaderos se correlacionaron con la geología de superficie para definir las unidades y horizontes geo-eléctricos. Con esa información, se llevó a cabo sondeos exploratorios directos en sitios necesarios, con la finalidad de obtener muestras de los materiales de las zonas a construir los túneles. Para esos sondeos se emplearon diversos equipos rotarios, como el Winkie GW-15”.

Para el muestreo continuo, en cada uno de los sondeos se emplearon barriles IAW, con diámetro interior de 35 mm. El motivo por el que se empleó equipo ligero, para la ejecución de los trabajos, fue la inaccesibilidad a los sitios donde se llevó a cabo las perforaciones, así como por las condiciones climatológicas existentes en el área. Una vez realizados todos los trabajos de campo, las muestras obtenidas de los sondeos geotécnicos se llevaron a un laboratorio de materiales, con el fin de realizar los ensayos correspondientes y posteriormente la clasificación geomecánica (Poon, 2013).

3.5.- MAPEO GEOLÓGICO

Después de recolectar y revisar los mapas geológicos, fotografías aéreas, referencias existentes y los resultados del reconocimiento preliminar del sitio, se puede hacer un mapeo geológico superficial que puede estar disponible de un afloramiento rocoso. Éste deberá ser realizado por ingenieros especialistas para obtener detalles, información específica de la roca, su calidad y su estructura. Un mapeo geológico toma una información detallada, la cual es usada para caracterizar y documentar la condición de la masa de roca o del afloramiento rocoso para poder lograr clasificar las rocas. Para interpretar y extrapolar toda esta información, los geólogos deberán tener una mejor comprensión de las condiciones de las rocas probables, que estarán presentes a lo largo del túnel propuesto y de los portales propuestos, y del eje de excavación. La recolección de información puede ser usada en proyecciones estereográficas para análisis estadísticos, usando programas apropiados de computación, así como también la información obtenida de las investigaciones subterráneas.

Las siguientes características superficiales deben ser observadas y documentadas durante el programa de mapeo geológico:

- Deslizamientos nuevos o pasados, particularmente en los portales y el eje.
- Fallas.
- Intemperismo de las rocas.
- Terreno cárstico y sumidero.
- Manantiales de agua subterránea.
- Actividad volcánica.
- Anhidrita, yeso, piritas o lutitas.
- Grietas aliviadas de tensión.
- Presencia de taludes o rocas.
- Aguas termales y de gas.

La información del mapeo también ayudará en la investigación subterránea, perforaciones y pruebas *in situ* en aéreas que se observen variables y anómalas (FHWA, 2009).

3.6.- CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

3.6.1.-GENERAL

Una de las tareas importantes en el diseño, licitación, construcción y costo de túneles es la clasificación del macizo rocoso. El objetivo esencial es el clasificar el macizo rocoso a lo largo del alineamiento del túnel conforme a sus propiedades y su comportamiento con respecto a la excavación y soporte de la cavidad. Además de la preparación de las licitaciones, esto proporciona la base para la selección del proceso constructivo, la especificación de las mediciones del soporte requerido y estimaciones. Durante la fase de construcción, la clasificación debe ser continuamente adaptada a la realidad encontrada de macizo rocoso para servir como base para realizar el costo final.

3.6.2.- SISTEMA BÁSICO DE CLASIFICACIÓN

Hasta inicio de los cincuenta, la clasificación del macizo rocoso para un túnel se basaba predominantemente de forma geológica y puramente como una descripción cualitativa. Esto se asignaba en relación a los posibles métodos de soporte, que se decidían conforme a la

experiencia de los especialistas implicados en el proyecto. Solamente, la combinación de mecánica de rocas y aspectos de tecnologías de construcción, con la descripción geológica para dar una evaluación parcialmente cuantitativa, llevó a una referencia de orientación práctica a la estructura prevista. Las lasificaciones más recientes están basadas en los trabajos de Terzaghi (1946) y Stini (1950), quienes fueron los primeros en proponer una clasificación acorde al comportamiento del macizo rocoso (Tabla 3.2).

Lauffer (1958), seleccionó el tiempo de estabilidad y la longitud de luz libre como criterios para su aceptación general y el proceso de clasificación aplicada. El sistema de propiedades del macizo rocoso, relacionado con los métodos de trabajo técnicos desarrollados por Müller, Rabcewicz, Pacher (1964) y otros, junto con la introducción del concreto proyectado en 1957 y más tarde revisado muchas veces, divide las clases del macizo rocoso conforme a la composición del macizo rocoso y su comportamiento durante la creación de la cavidad. Seeber (1973), intentó en su propuesta de clasificación basada en Mohr, enfatizar la diferenciación de comportamiento quebradizo del macizo rocoso del comportamiento frágil.

Tabla 3.2.- Diferentes clasificaciones de macizo rocoso y autores (Maidl, 2014).

Autor	Clasificación
K. Terzaghi (1946)	11 Clases de Macizo Rcoso (1 a 11) desde "Roca Competente" a "Arena Consolidada Librement".
J. Stini (1950)	5 Clases de Macizo Rcoso (1 a 5) desde "roca más o menos frágil" a "masa de roca suave, muy exprimida".
H. Lauffer (1958)	7 Clases de Macizo Rcoso (De A hasta G) desde "Estable" a "Muy Exprimida".
F. Pacher, L. v. Rabcewicz (1964)	6(5) Clases de Macizo Rcoso (I a Vb) desde "Estable" a "Suelto".
G. E. Wickham (1972)	Sin clases, pero RSR (Calificación de la Estructura de la Roca), los valores de 25 a 100, que denotan la mejora de la calidad del macizo rocoso con valores crecientes.
G. Seeber (1973)	3 Clases de Macizo Rcoso (1 a 3) desde "Estable" a "Exprimido".
N. Barton (1974)	Sin clases, pero el valor Q (Calidad) desde 0.001 hasta 1000 para "Suelo excepcionalmente pobre" a "Roca excepcionalmente buena"
K. W. John and M. Baudendistel (1981)	7 Clases de Procedimiento de Túneleo, (TPC-1 a TPC-7) desde "Muy Favorable" a "Muy Desfavorable" con evaluación desde 100 a 0%.
Z. T. Bieniawski (1989)	5 Clases de Macizo Rcoso (I a V) desde "Muy buena roca" a "Muy mala roca" con rangos de desde 100 a 1.

Gracias a los avances teóricos en mecánica de rocas, los parámetros cuantitativos llegaron a ser introducidos cada vez más a efectos de clasificación. Particularmente digno de mención, los trabajos de Wickham, Barton, Bieniawski así como John y Baudendistel. A finales de los sesenta la tendencia se ha alejado de la aplicación general de clasificación de los macizos rocosos a clasificación relacionados con el proyecto (Maidl, 2014).

3.6.3.- ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD)

El índice RQD, fue desarrollado en 1963 por Deere. Se basa en la recuperación modificada de un testigo, el porcentaje de recuperación de la muestra de un sondeo y de los fragmentos que miden más de 100 mm de longitud. Los testigos que no estén duros o firmes no deben considerarse aunque midan más de 100 mm de longitud. El índice RQD fue introducido para usarse con diámetros de testigos de 54.7 mm (testigos de tamaño NX) (Ecuación 3.1). Se trata de uno de los principales indicadores para las zonas de roca de baja calidad (Tabla 3.3). En la actualidad, el índice RQD se utiliza como parámetro estándar en el registro de testigos de perforación y es un elemento básico de los principales sistemas de clasificación de masa: el sistema de clasificación geomecánica RMR (Bienawski, 1989) y el Índice Q (Barton, 1974) (Maidl, 2014).

$$RQD = \frac{\sum(\text{longitud de fragmentos} \geq 10 \text{ cm})}{\text{longitud total perforada}} \times 100 \quad (3.1)$$

Tabla 3.3.- Calidad de la roca a través del RQD (Maidl, 2014).

RQD (%)	Calidad de Roca
< 25	Muy Mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

3.6.4.- EL SISTEMA Q (“QUALITY”) DE BARTON, LIEN Y LUNDE

El Sistema Q de clasificación de macizo rocoso fue desarrollado en 1974 por Barton, Lien y Lunde en Noruega. El sistema es basado en un análisis de más de 200 proyectos de túneles en Escandinavia. Gracias a este análisis, que puede ser descrito como un sistema cuantitativo, se pretende simplificar el diseño de soporte del túnel. El sistema Q está basado en la estimación numérica de los siguientes seis parámetros:

1. Determinación de la calidad del macizo rocoso ($RQD = \text{Índice de Calidad de la Roca}$).
2. Número de familias de discontinuidades (J_n).
3. Rugosidad de la junta menos favorable como el número de rugosidad de las juntas (J_r).
4. Grado de alteración o relleno de la junta más débil como el número de alteración de juntas (J_a).
5. Ingreso de agua como el parámetro de agua de juntas (J_w).
6. Condiciones de esfuerzo ($SRF = \text{Factor de reducción del estrés}$).

Estos seis parámetros se toman dentro de 3 cocientes, que dan un valor matemático ponderado para la calidad de roca Q, calculado como se muestra en la Ecuación 3.2.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (3.2)$$

El valor de Q (calidad de la roca) radica en un rango de $Q = 0.001$ a $Q = 1000$. El valor de Q se introduce en un diagrama con una escala logarítmica y las clases de rocas se pueden ver en la Figura 3.1 (Maidl B., 2014).

Procedimiento de Clasificación del Sistema Q: las Tablas 3.4 a la 3.8 dan valores numéricos para cada uno de los factores enumerados anteriormente. Son interpretados de la siguiente forma:

El primer cociente, RQD y J_n (número determinado de juntas), dan una visión de la estructura del macizo rocoso y su cociente como una dimensión relativa del tamaño de cuerpo de la junta en el núcleo de perforación. Este primer cociente es una medida relativa del tamaño del bloque (Maidl, 2014).

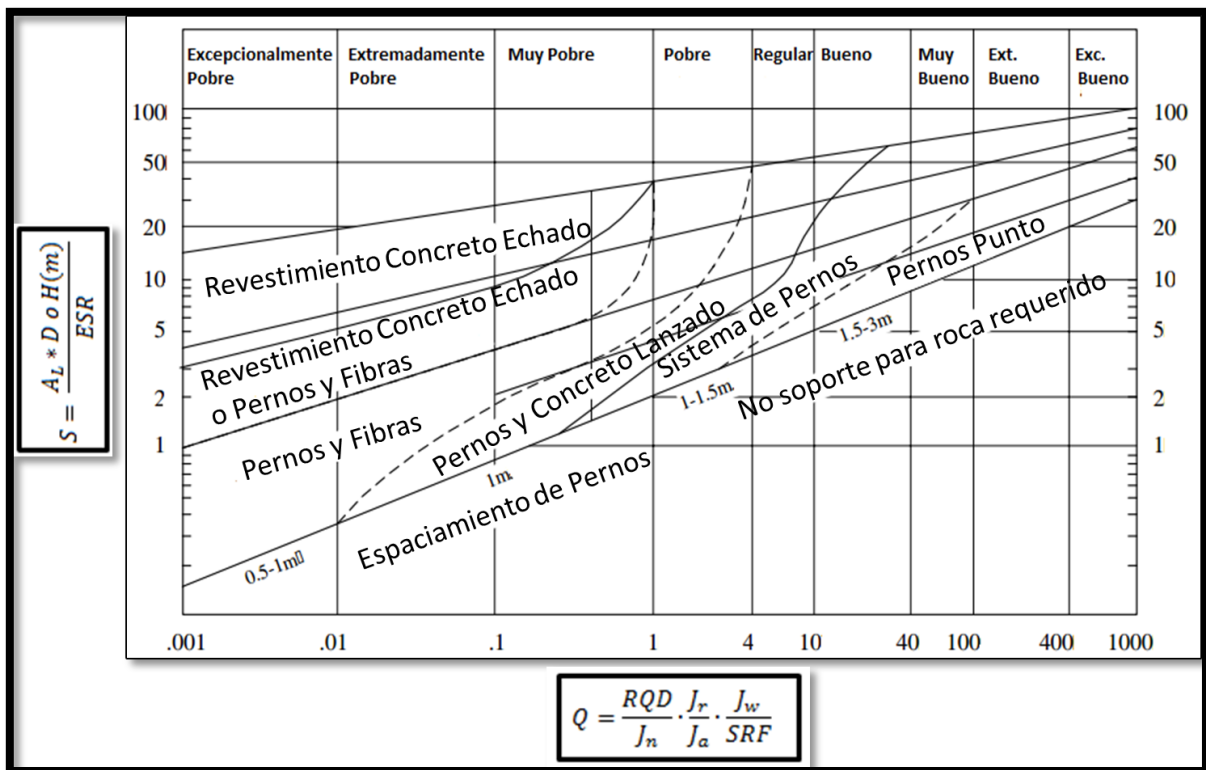


Figura 3.1.-Gráfica del Sistema Q: valor de referencia para el soporte en comparación con la calidad de la roca, ESR es denominada relación de apoyo excavación (Maidl, 2014).

El cociente segundo, J_r representa las características de rugosidad de las juntas; J_a representa las características de alteración (y de relleno) de las juntas, el cociente es una indicación del orden de magnitud de la resistencia al esfuerzo cortante de las juntas.

El tercer cociente, son dos “parámetros” relativos a los esfuerzos, SRF es una valoración sintética de varios posibles problemas diferentes de esfuerzos:

- Excavación en zonas tectónicamente alteradas
- Nivel relativo de esfuerzos en roca competente
- Deformación plástica (“squeezing”) en roca incompetente.

El parámetro J_w es una valoración de la influencia del agua y presión de poro (Maidl, 2014).

Tabla 3.4.- Índice de diaclasado Jn (Maidl, 2014).

Descripción	Jn
Roca masiva	0.5 - 1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
Nota : Para cruces en túneles utilizar (3 x Jn) Para Portales utilizar (2 x Jn)	

Tabla 3.5.- Coeficiente reductor por la presencia de agua Jw (Maidl, 2014).

Descripción	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
Excavaciones secas o de influencia poco	1	< 1
Fluencia o presión media. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1 - 2.5
Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5 - 10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta, decayendo con el tiempo.	0.1 - 0.2*	> 10
Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta y continúa, sin disminución.	0.05 - 0.01*	> 10
Los valores presentados (*) son meramente estimativos. Si se instalan elementos de drenaje, puede incrementarse el valor Jw.		

Tabla 3.6.- Índice de Rugosidad Jr (Maidl, 2014).

Descripción	Jr
* Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	-
Juntas discontinuas.	4
Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
Suave ondulada.	2
Espejo de falla, ondulada.	1.5
Rugosa o irregular, plana.	1.5
Suave plana.	1
Espejo de Falla, plano.	0.5
* No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	-
Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jr en una unidad. Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5.	

Tabla 3.7.- Índice de alteración de las discontinuidades Ja (Maidl, 2014).

Descripción	Ja	θ°
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25 - 30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25 - 30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25 - 30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20 - 25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco, yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8 - 16
Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con < 10 cm desplazamiento lateral.		
Partículas de Arena, Roca desintegrada libre de arcilla.	4	25 - 30
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de < 5 mm de espesor.	6	16 - 24
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.	8	dic-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El Valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6 - 12
No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.		
Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla.	6 - 8 - 12	6 - 24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas.	5	6 - 24
Granos arcillosos gruesos.	13 - 20	6 - 24

Tabla 3.8.- Condiciones Tensionales SRF (Maidl, 2014).

1.- Zona Débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.			SRF
A.- Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.			10
B.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.)			5
C.- Solo una zona débil contiendo arcilla o roca desintegrada químicamente (Profundidad de excavación < 50m.)			2.5
D.- Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad)			7.5
E.- Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad < 50m).			5
F.- Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad > 50m).			2.5
G.- Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. (Cualquier profundidad)			5
Nota: Reducir los valores del SRF en un 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen pero no interceptan a la excavación.			
2.- Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas.	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
H.- Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	> 200	> 13	2.5
I.- Tensiones medias.	200 - 10	13 - 0.33	1
J.- Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10 - 5	0.66 - 0.33	0.5 - 2
K.- Explosión de roca suave (roca masiva).	5 - 2.5	0.33 - 0.16	5 - 10
L.- Explosión de roca fuerte (roca masiva).	< 2.5	< 0.16	10 - 20
Nota: σ_c y σ_t son las resistencias a la compresión y tracción respectivamente de la roca, σ_1 es el esfuerzo principal máximo que actúa en la roca. Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$			
3.- Roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua.			SRF
O.- Presión expansiva suave			5 - 10
P.- Presión expansiva intensa			10 - 15
Nota: En los casos que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5.			

Barton se refiere a los parámetros J_n , J_r y J_a como los más importantes que la orientación de juntas. Es incluido implícitamente en los parámetros J_r y J_a , ya que estos se relacionan a la junta más desfavorable (Maidl, 2014).

Usando el valor Q solamente, es indirectamente posible llegar a una conclusión acerca de las medidas de apoyo necesarias, con referencia al tamaño actual de la sección transversal y

el uso previsto del túnel. La relación de las medidas de apoyo es función de las restricciones descritas anteriormente. Se determina el dividendo de la longitud abierta, el diámetro o la altura de la sección transversal excavada por un factor definido, determinado por el uso previsto de la estructura, relación de apoyo-excavación (Por sus siglas en inglés, ESR) (Ecuación 3.3).

$$S = \frac{A_L * D \text{ o } H(m)}{ESR} \quad (3.3)$$

S= Equivalente al número de medidas de apoyo.

AL= Longitud de la excavación (m)

D= Diámetro del Túnel (m)

H = Altura de la sección transversal (m)

ESR = Relación de apoyo-excavación

El ESR relaciona el uso de la excavación de la cavidad y el grado requerido de seguridad, véase la Tabla 3.9.

Tabla 3.9.- Valores de ESR dependiendo del uso destinado (Maidl B., 2014).

Categoría Excavación	ESR
A.- Excavaciones Temporales	3 a 5
B.- Ejes con una sección transversal redonda	2.5
Ejes con una sección transversal rectangular	2
C.- Excavaciones permanentes, Túneles despresurizados de agua para sistemas de energía hidroeléctrica, túneles piloto, partidas y túneles direccionales para excavaciones largas.	1.6
D.- Cavernas de almacenamiento, trabajos de tratamientos de agua, túneles pequeños de caminos y ferrocarriles, tanques de compensación y socavones de acceso.	1.3
E.- Central eléctrica, túneles autopista y ferrocarriles, bunkers de protección civil, áreas de portales, conexiones entre túneles.	1
F.- Central atómica eléctrica subterránea, estaciones ferrocarriles, fábricas.	0.8

La relación entre el valor Q y el parámetro de referencia (ESR) para el soporte determina la apropiada medida de apoyo. Para apoyo temporal, el valor Q se incrementa a (5 x Q) o el ESR se incrementa un (1.5 x ESR); si el soporte temporal es destinado a periodos menores de un año, el ESR se puede reducir a 0.5 para túneles de transporte que son relativamente

largos. Debería ser señalado que la longitud de anclaje requerido es determinada como se muestra en la Ecuación 3.4, con B siendo el ancho excavado.

$$L = \frac{2 + 0.15 * B}{ESR} \quad (3.4)$$

El índice Q permite calcular algunos parámetros, como la máxima longitud alrededor (sin apoyo), con la Ecuación 3.5.

$$L = 2 * ESR * \sqrt[5]{Q^2} \quad (3.5)$$

Y la relación entre el valor Q y la presión permanente de soporte P puede ser determinado con la Ecuación 3.6. En caso de que el número de conjunto de juntas sea menor de tres, la fórmula es expresada como se indica en la Ecuación 3.7.

$$P = \frac{2}{Jr} * \frac{1}{\sqrt[3]{Q}} \quad (3.6)$$

$$P = \frac{2}{3} * \sqrt{Jn} * \frac{1}{Jr} * \frac{1}{\sqrt[3]{Q}} \quad (3.7)$$

3.6.5.- CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI) (1989)

Se desarrolló esencialmente por Bieniawski en los años 1972 y 1973. El sistema también puede ser referido como “Sistema de clasificación del macizo rocoso” (por sus siglas en inglés, RMR) o también como “Clasificación Geomecánica”. En los últimos 20 años, el sistema ha sido confirmado en más de 350 aplicaciones prácticas y se ha mejorado continuamente con suplementos. El sistema RMR, como el sistema Q, es un sistema de clasificación cuantitativa, que se calibra de proyectos terminados y es así como continúa mejorándose. (Maidl B., 2014)

Procedimiento para la clasificación:

Los siguientes 6 parámetros son usados como sistema de clasificación de masa de roca en el sistema RMR:

- Fuerza de compresión uniaxial del material de roca.
- Determinación de la calidad de la masa de la roca (RQD).

- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Condición de las interfaces.
- Ingreso del agua.
- Orientación de las discontinuidades.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánica de un macizo rocoso se expresa por medio del índice de calidad Rock Mass Rating (RMR) que varía de 0 a 100. Para aplicar la clasificación RMR, se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo a las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. Para calcular el índice RMR correspondiente a cada una de las zonas se sigue el procedimiento señalado en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10.- Clasificación Geomecánica RMR (*González de Vallejo, 2002*).

Parámetros		Rango de Valores						
Resistencia de la Roca Inalterada	Resistencia Carga Puntual (Mpa)	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Para estos valores bajos es preferible la prueba de compresión Simple		
	Resistencia a compresión Simple (Mpa)	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
Coeficiente		15	12	7	4	2	1	0
Índice de Calidad de la Roca (RQD %)		100 - 90	90 - 75	50 - 75	50 - 25	< 25		
Coeficiente		20	17	13	8	3		
Espaciamiento de las discontinuidades (m)		> 3	3 - 1	1 - 0.3	0.3 - 0.05	< 0.05		
Condiciones de las Discontinuidades	Longitud de la Discont. (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
	Coeficiente	6	4	2	1	0		
	Abertura (mm)	Nada	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5		
	Coeficiente	6	5	3	1	0		
	Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Ondulada	Suave		
	Coeficiente	6	5	3	1	0		
	Relleno (mm)	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5		
	Coeficiente	6	4	2	2	0		
	Alteración	Inalterada	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
	Coeficiente	6	5	3	1	0		
Agua en la Roca	Flujo por cada 10 en longitud del talud (1/min.)	Ninguna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Presión del agua en las fisuras	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Condición General	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Chorreando		
Coeficiente		15	10	7	4	0		

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades.

Se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso. Esta clasificación distingue cinco clases, cuyo significado geotécnico se expresa en la Tabla 3.11. A cada clase de macizo se le asigna una calidad y unas características geotécnicas (*Gonzales de Vallejo, 2002*).

Tabla 3.11.-Calidad del macizo rocoso con relación al índice RMR (*González de Vallejo, 2002*).

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

En la Tabla 3.12, se muestra una guía para la excavación y soporte en túneles, indica en qué clase está el macizo rocoso comparado con el sistema RMR, el tipo de excavación a realizar, y el avance que se recomienda aplicar durante la fase de construcción; también, si debe de llevar pernos (anclas), si el soporte deberá llevar concreto armado, y el uso de marcos metálicos.

Fortalezas y límites del sistema RMR: por un lado, es muy simple de usar, los parámetros de clasificación se pueden obtener a partir del análisis de núcleos de perforación o de los registros geomecánicos. Este procedimiento es aplicable y adaptable a muchas situaciones en la minería, para la estabilidad de las fundaciones, laderas y en túneles. La clasificación geomecánica es muy adecuada para su uso en sistemas expertos. Por otro lado, los resultados del método de clasificación RMR tienden a ser conservadores, lo que conduce principalmente a un sobredimensionamiento de medidas de apoyo. Esto se puede compensar mediante la monitorización continua durante el período de construcción, con el sistema de evaluación adaptándose a las condiciones locales (Maidl B., 2014).

Tabla 3.12.- Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante. (Maidl B., 2014)

Clase Macizo Rocosos	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro, inyectados)	Soporte con concreto armado	Marcos Metálicos
I. Roca Muy Buena RMR: 100 - 81	A sección completa, 3 m de avance	Generalmente no se requiere	Ninguno	Ninguno
II.- Roca Buena RMR: 80 - 61	A sección completa, 1 - 1.5 m de avance. Soporte completo a 20 m del frente.	Pernos en la corona de 3 m de longitud espaciados a 2.5 m, malla ocasional.	50 mm en la corona donde se requiere.	Ninguno
III.- Roca Regular RMR: 60 - 41	Frente superior, 1.5 - 3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistematicos, 4 m de longitud, espaciados 1.5 - 2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados.	Ninguno
IV.- Roca Pobre RMR: 40 - 21	Frente superior, 1 - 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m de frente.	Pernos sistemáticos, 4 - 5 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales.	100 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados.	Marcos Metálicos ligeros a medios espaciados 1.5 m a donde se requiera.
V.- Roca Muy Pobre RMR: < 20	Múltiples galerías, 0.5 - 1.5 m de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5 - 6 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150 - 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente.	Marcos Metálicos medianos a resistentes, espaciados a 0.75 m con planchas de acero y tablaestacas si se requiere.

3.7.- RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS Q Y RMR

Del trabajo de más de 100 estudios de casos, se ha podido establecer una relación originalmente no deseada, empírica entre los sistemas RMR y Q. Para túneles, esto puede dar como se muestra en la Ecuación 3.6. (Maidl B., 2014)

$$RMR = 9 * \ln Q + 44 \quad o \quad Q = e^{\frac{(RMR-44)}{9}} \quad (3.6)$$

Barton ve la relación dada por la siguiente fórmula que se muestra en la Ecuación 3.7.

$$RMR = 15 * \log Q + 50 \quad o \quad Q = 10^{\frac{(RMR-50)}{15}} \quad (3.7)$$

La relación entre RMR y Q también es muy visible en la Figura 3.2. En la Horizontal se encuentra el valor de Q y en la Vertical los valores del RMR. En ésta se muestra una correlación entre RMR y log Q (o ln Q). Entre 1980 y 1990 numerosos autores propusieron diversas correlaciones a partir de estudios de un número limitado de casos concretos. Dichas

correlaciones son de estructura similar, pero no coinciden por que los bancos de datos utilizados corresponden en general a situaciones geológicas y técnicas constructivas diferentes (Tabla 3.13).

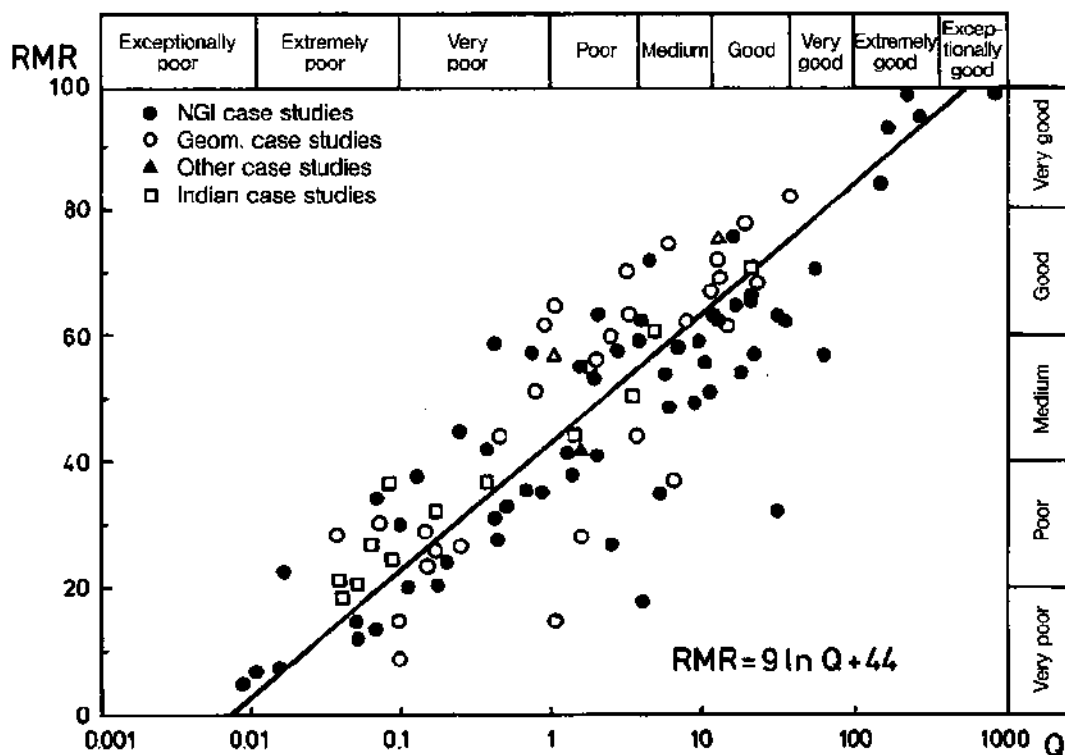


Figura 3.2.- Relación entre los sistemas RMR y Q. (Maidl B., 2014)

No puede esperarse un índice alto de correlación entre los sistemas RMR y Q ya que la estructura de ambos sistemas es diferente, sin embargo, en términos generales, existe coincidencia entre ambas valoraciones (Romana, 2013). La única correlación frecuentemente usada es la propuesta por Bieniawski (1989), basada en casos propios y en casos publicados por Jethwa (1983) (Ecuación 3.6).

Tabla 3.13.- Diversas correlaciones propuestas entre RMR y Q (Romana, 2013).

Autor	Fórmula	Coefficiente de Correlación
Bieniawski (1989)	$RMR = 9 \ln Q + 44$	0.77
Rutledge y Preston (1978)	$RMR = 5.9 \ln Q + 43$	0.81
Moreno Tallón (1980)	$RMR = 5.4 \ln Q + 55.2$	0.55
Cameron Clark y Budavari (1981)	$RMR = 5 \ln Q + 60.8$	Gran Variación
Abad et al (1984)	$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$	0.66

3.8.- SOPORTE

3.8.1.- GENERAL

El revestimiento de un túnel nunca es cargado por los esfuerzos que prevalecen en el suelo. Por suerte, el esfuerzo inicial (o primario) es reducido por la deformación del suelo que ocurre durante la excavación, pero siempre después de la instalación del revestimiento (se comprende “revestimiento” como la cáscara de concreto lanzado, que es colocado tan pronto como es posible después de la excavación). Lo que haremos es considerar importante el fenómeno de la deformación del suelo (suelo o roca), el cual implica una reducción de los esfuerzos primarios; esto es un manifiesto de arqueo. Ya que la deformación del suelo es conectada con la deformación del revestimiento, se deduce que la carga que actúa sobre el revestimiento depende de su propia deformación. Este es el caso con la interacción suelo-estructura, el cual constituye una dificultad inherente para el diseño ya que la carga no es una variable independiente. Así, la cuestión no es “que la presión actúa sobre el revestimiento”, sino “que es la relación entre presión y deformación” (Kolymbas, 2008).

La consideración de deformación en túneles es un mérito de NATM (por sus siglas en inglés, Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles) y es esquematizado como se muestra en la Figura 3.3. La roca es representada simbólicamente por una viga. La excavación e instalación del revestimiento es representado por la eliminación del centro de la columna y reemplazado por una columna corta. En otras palabras, la columna central (que simboliza el revestimiento) es desplazado hacia abajo y, por lo tanto, recibe una carga baja. Por supuesto, el principio “presión es reducida por la deformación” es de aplicarse con cautela. La deformación exagerada puede llegar a ser contraproducente (Figura 3.3 (c)) ya que conduce a un fuerte incremento de presión sobre el soporte de construcción (Kolymbas, 2008).

Por tradición, los ingenieros civiles distinguen la diferencia entre deformación y falla (colapso) de una estructura. Sin embargo, es imposible encontrar una diferencia genuina entre estas dos nociones. Una falla no es más que una excesiva deformación larga; De todos modos, las deformaciones largas deben ser evitadas.

Para esto, nos cuestionamos ¿cómo puede ser esto logrado en un túnel? En este aspecto, existen dos maneras: ya sea, el pronto apoyo y rígido (que no es económico) o tratar de mantener el tamaño de las pequeñas cavidades excavadas, esta última opción es perseguida en túneles. Para ello se presentan dos maneras para lograrlo:

- Excavaciones parciales en lugar de la cara completa excavada.
- Pequeños pasos de avance.

Por supuesto, las excavaciones demasiado pequeñas no resultarían económicas. Así, el arte de los túneles consiste en mantener la excavación en pasos tan largos como sea posible y explotar las fuerzas del suelo (Kolymbas, 2008).

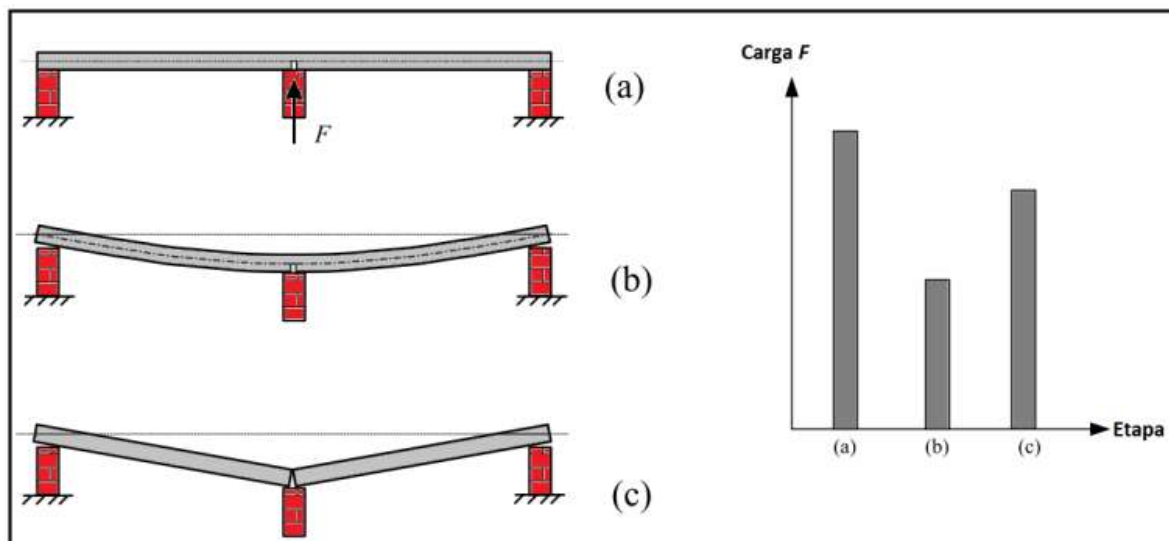


Figura 3.3.- Explicación de los soportes principales. El incremento de la carga en la transición de (b) a (c) es debido a la pérdida de la fuerza (ruptura) de la viga (Kolymbas, 2008).

3.8.2.- CONCRETO LANZADO

Lo que se distingue del concreto lanzado (también conocido como “concreto rociado”) del concreto echado es que el producto final no es la fuerza, sino es el proceso de su colocación. En túneles, el concreto lanzado es aplicado: (I) para sellar superficies recién descubiertas (en espesores de 3 a 5 cm) y (II) para el soporte de cavidades (Kolymbas, 2008).

Las características del concreto lanzado (concreto rociado) son siempre las mismas que las del concreto habitual. Sin embargo, el módulo de Young es algo menor que con el concreto usual.

La rigidez y la fuerza del concreto lanzado, se desarrollan aproximadamente hasta la edad de 28 días como lo hacen con el concreto echado. Después, la fuerza con suficiente humedad se incrementa considerablemente debido a la post-hidratación. Hasta la edad de 2 años aumenta hasta un 50%. La fuerza de rápido fraguado del concreto lanzado se incrementa con el tiempo, como se muestra en la Tabla 3.17 (Kolymbas, 2008).

Tabla 3.17.- Edad y Resistencia del concreto lanzado (Kolymbas, 2008).

Edad	Resistencia (N/mm ²)
6 minutos	0.2 - 0.5
1 hora	0.5 - 1
24 horas	8 - 20
7 días	30 - 35

Existen dos métodos para el concreto lanzado:

Mezcla Seca: Cemento seco y agregados son transportados neumáticamente, así como el agua es agregada en la boquilla (Figura 3.4).

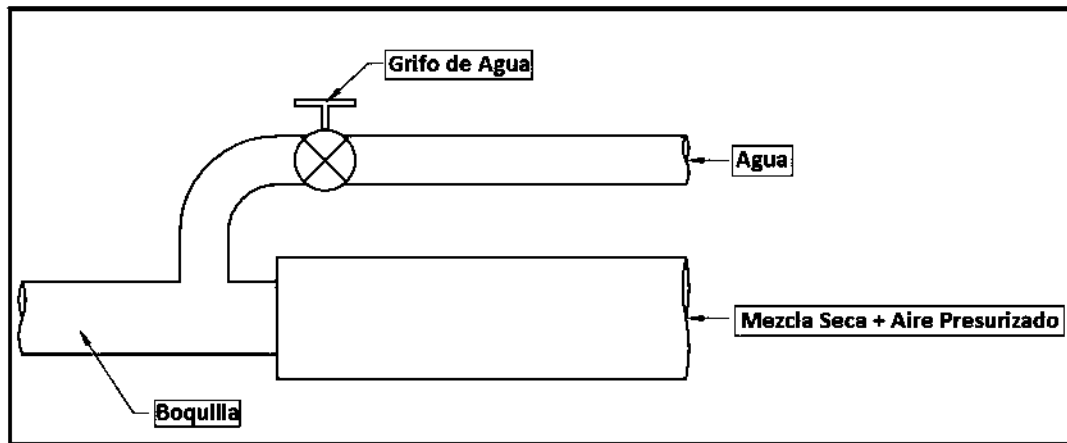


Figura 3.4.- Boquilla de Mezcla Seca. (Kolymbas, 2008)

Ventajas de una mezcla seca:

- Las máquinas son pequeñas y económicas.
- Bajos costos de limpieza y mantenimiento.

- Reinicio y parado de disparo de concreto es simple.
- Distancias largas de transporte (hasta 150 m).
- Más precisión de dosis de aditivos.
- Mejor concreto (bombeo de mezcla húmeda, requiere un alto contenido de agua).
- Contenido de agua puede ser manualmente reducido.

Mezcla Húmeda: Concreto premezclado se bombea hacia la boquilla, donde es conducido por aire comprimido. Debido al incremento del peso de la boquilla, una mezcla húmeda es mejor rociada con robots (Figura 3.5). (Kolymbas, 2008)



Figura 3.5.- Concreto rociado – Modo Mezcla Húmeda. (Kolymbas, 2008)

Ventajas de una mezcla húmeda:

- Reducción de la producción de polvo.
- Reduce rebote.
- Reduce la dispersión de las propiedades del concreto.
- Mayor capacidad.

Dependiendo de la descarga, el concreto lanzado es rociado desde una distancia de 0.5 a 2 m, tan perpendicular a la pared como sea posible, en capas de hasta 4 cm (paredes verticales) y un espesor de 2 a 3 cm (en el techo). Se debe tener cuidado al disparar el concreto más allá del reforzamiento. Como la velocidad de impacto es alta (20 – 30 m/s), el rebote en general asciende a 15-30 % para paredes verticales y 25-40% para el techo y se

compone principalmente de grano grueso. Los agregados de concreto proyectado son $d \leq 16$ mm, y su diámetro no debería exceder $1/3$ de la capa de espesor. El rebote puede ser reducido incrementando la proporción de granos finos. La superficie alta específica de este último atrae el agua y así reduce la consistencia del concreto lanzado. Aceleradores de fraguado (tal como silicato de sodio) también puede ayudar, pero el concreto resultante tiene una baja resistencia. Por lo tanto, la selección del acelerador debe ser afinado con respecto al cemento. Para lograr una unión suficiente, la capa previa de concreto lanzado debe ser apropiadamente limpia y humedecida, el cual es alcanzado por disparo de aire y/o agua (Kolymbas, 2008).

Aditivos usuales, tienen como objetivo reducir y personalizar la configuración, son alcalinos y por lo tanto peligrosos. Recientemente, han sido desarrollados aditivos no alcalinos. La producción de polvo, el rebote y la presencia de materiales de grabado de concreto lanzado son un duro trabajo: pueden ser mecanizados por el uso de robots y brazos de control remoto. Esto propicia acelerar considerablemente el encabezamiento (Kolymbas, 2008).

Fibra de acero reforzado con concreto lanzado (SFRS).

Añadiendo acero (recientemente, también sintético), las fibras incrementan la fuerza de tensión y la ductilidad del concreto lanzado. Así, el refuerzo de acero tradicional se convierte prescindible y se evitan sombras de pulverización. La longitud de las fibras no deberá exceder $2/3$ de diámetro mínimo de la manguera, y los tamaños usuales son: 45-50 mm de longitud, de diámetro 0.8-1.0 mm. El contenido de fibra de acero debe ser ≥ 30 kg/m³, mientras los agregados no deben ser tan gruesos de 8 mm. La proporción agua/cemento no debe exceder de 0.5. Si la superficie del concreto lanzado será cubierta con una membrana impermeable, por lo tanto una capa de concreto lanzado de fibra libre deberá ser aplicado primero si se hace lo contrario la membrana podría ser dañada (Kolymbas, 2008).

Evaluación de la calidad del concreto lanzado

Los siguientes controles ayudan a asegurar un control suficiente de calidad del concreto lanzado:

- Control de una composición apropiada, embalaje, designación y almacenamiento de los ingredientes.

- Control de la fuerza del concreto lanzado fresco. La extracción de muestras de núcleos no es posible para fuerzas compresivas $< 10 \text{ N/mm}^2$ y la proyección de concreto dentro de moldes no produce muestras representativas, por lo que varios métodos indirectos deben ser propuestos; deben estar basados en la penetración de patas o placas. Ultrasónico y pruebas de martillo son inapropiadas debido a la superficie áspera del concreto lanzado.
- Rigidez, fuerza y permeabilidad del concreto lanzado duro es probado en núcleos extraídos de 10 cm de diámetro. Para túneles, un concreto proyectado con edad de 28 días es usualmente requerido por tener una fuerza compresiva de 23 N/mm^2 .
- El rendimiento mecánico de las fibras de acero del concreto proyectado se prueba con la flexión de vigas. El contenido de fibras de acero es usualmente reducido y comparado con la mezcla inicial; se puede medir por la rotura de muestra de concreto lanzado y extracción de las fibras de acero con un imán.
- El espesor de concreto lanzado es medido en puntos aleatorios (aproximadamente una medición cada 100 m^2), ya sea con plantillas o por medio de extracción de muestras (Kolymbas, 2008).

3.8.3.- MALLA DE ACERO

Las mallas de acero (tamaño $\geq 100\text{mm}$, $d < 10\text{mm}$, cubierta del concreto $\geq 2 \text{ cm}$) están montadas manualmente y deben, por lo tanto, no ser demasiadas pesadas: su peso usual es de 5 Kg/m^2 . La instalación de la malla es una labor intensa y relativamente peligrosa, ya que el personal puede estar expuesto a caídas de rocas pequeñas. Cuando se realiza la perforación y la voladura, la malla que se encuentra adyacente a la cara (aproximadamente $< 1\text{m}$) puede ser dañada por la subsecuente voladura (Kolymbas, 2008).

3.8.4.- REFUERZO DE ROCA

Las propiedades mecánicas de las rocas (ya sea roca dura, roca suave o suelo) en términos de rigidez y fuerza puede mejorarse con la instalación de varios tipos de refuerzos. Las barras de acero pueden ser fijadas en sus extremos y pre tensionadas contra la roca. De este modo, la roca circundante es comprimida y, como consecuencia, su rigidez y fuerza incrementa. Tales barras de refuerzo son llamadas anclas o pernos. (Kolymbas, 2008)

Las anclas o pernos de anclaje son barras metálicas que se alojan en un barreno perforado en la pared o bóveda de una cavidad subterránea y se inyectan parcial o totalmente en su longitud, para estabilizar y proporcionar soporte al terreno natural desde antes, durante o después de la excavación en zonas inestables. Pueden colocarse en arreglos especiales, en función de los requerimientos de soporte o como elementos aislados para soportar algún bloque o cuña de suelo o roca potencialmente inestable. Se clasifican según su forma de fijación en:

Anclas de Fricción: son aquellas que se fijan mediante inyección de mortero o resina en toda la longitud del barreno.

Anclas de Tensión: son aquellas que se fijan solo en su extremo interior, ya sea mediante dispositivos de ranura y cuña, casquillos expansivos u otros dispositivos mecánicos, o mediante la inyección de resina o mortero en parte de su longitud. (SCT, 2000)

La resistencia, longitud y arreglo o distribución de las anclas en la cavidad del túnel en construcción serán los establecidos en el proyecto. Sin embargo, en tramos donde se presenten condiciones geológicas locales diferentes a las consideradas en el proyecto que pongan en riesgo la integridad de la excavación o donde se presenten deformaciones excesivas no tolerables, se podrá colocar anclas en un arreglo y densidad diferentes a las que se establezca en proyecto. El ancla se habilitará y se preparará con los dispositivos necesarios para su aplicación de acuerdo con los sistemas de anclaje a utilizar.

Para sujetar el ancla de tensión a la pared o bóveda de la excavación, se utilizará una tuerca hexagonal y una placa de asiento aplicada sobre un relieve de concreto u otro material de endurecimiento rápido (Figura 3.6). La longitud de la cuerda estándar de la barra debe ser al menos dos (2) veces el diámetro de esta. La placa metálica de asiento será cuadrada, de al menos 15 cm de lado y 1.27 cm de espesor.



Figura 3.6.- Ancla de Tensión (Kolymbas, 2008).

Para anclas de tres a seis metros de longitud se colocarán tres secciones de centradores soldadas al ancla en forma alternada con separación de 1.5 m.

Para anclas con longitud menor de 3 m se colocarán como mínimo tres secciones de centradores equidistantes soldados al ancla, la primera sección se colocará a 20 cm a partir del inicio del barreno y la última a 20 cm a partir de la punta de la varilla que va al fondo de la misma (SCT, 2000).

Enfilaje

Se trata de un conjunto de elementos estructurales lineales subhorizontales perforados en el terreno e inyectados, con un mortero, y que a su vez se encuentran apoyados sobre los marcos de soporte. Estos constituyen una pre bóveda formada por material resistente, cuya misión es proporcionar el autosostenimiento primario del terreno situado en la parte superior del túnel, siguiendo la geometría de este. Así mismo, se utiliza para soportar las deformaciones del terreno en algunos casos. El enfilaje se suele colocar antes de iniciar la excavación del talud frontal del Emportalamiento, para garantizar la estabilidad de este durante la excavación de los primeros metros del túnel (Figura 3.7). Un sistema de enfilaje es el método llamado “jaula de ardilla”, el cual consiste en barras de acero de 1” de diámetro y 4 m de longitud (Poon, 2013).

El paraguas es siempre una buena práctica y se recomienda prácticamente en todos los casos, aunque podría obviarse cuando la calidad del macizo rocoso es muy buena ($80 > \text{RMR}$). El paraguas ligero está constituido por bulones de diámetro de 32 mm de acero corrugado y de 6 a 9 metros de longitud, colocados dentro de una perforación. La distancia usual entre las perforaciones varía entre 0.5 a 1 m. El paraguas pesado puede estar constituido por micropilotes de tubo metálico de diámetro exterior superior a 90 mm y espesor superior a 7 mm, así como la distancia entre los ejes de micropilotes es menor de 50 cm. La longitud de los paraguas pesados es, como mínimo de 20 m y está limitada técnicamente por la capacidad para mantener el paralelismo entre perforaciones próximas. En terrenos sin cohesión el paraguas puede construirse mediante columnas de jet-grouting. La longitud de los paraguas de jet-grouting suele variar entre 12 y 20 m, en las columnas es conveniente introducir una armadura (Belandria, 2016).

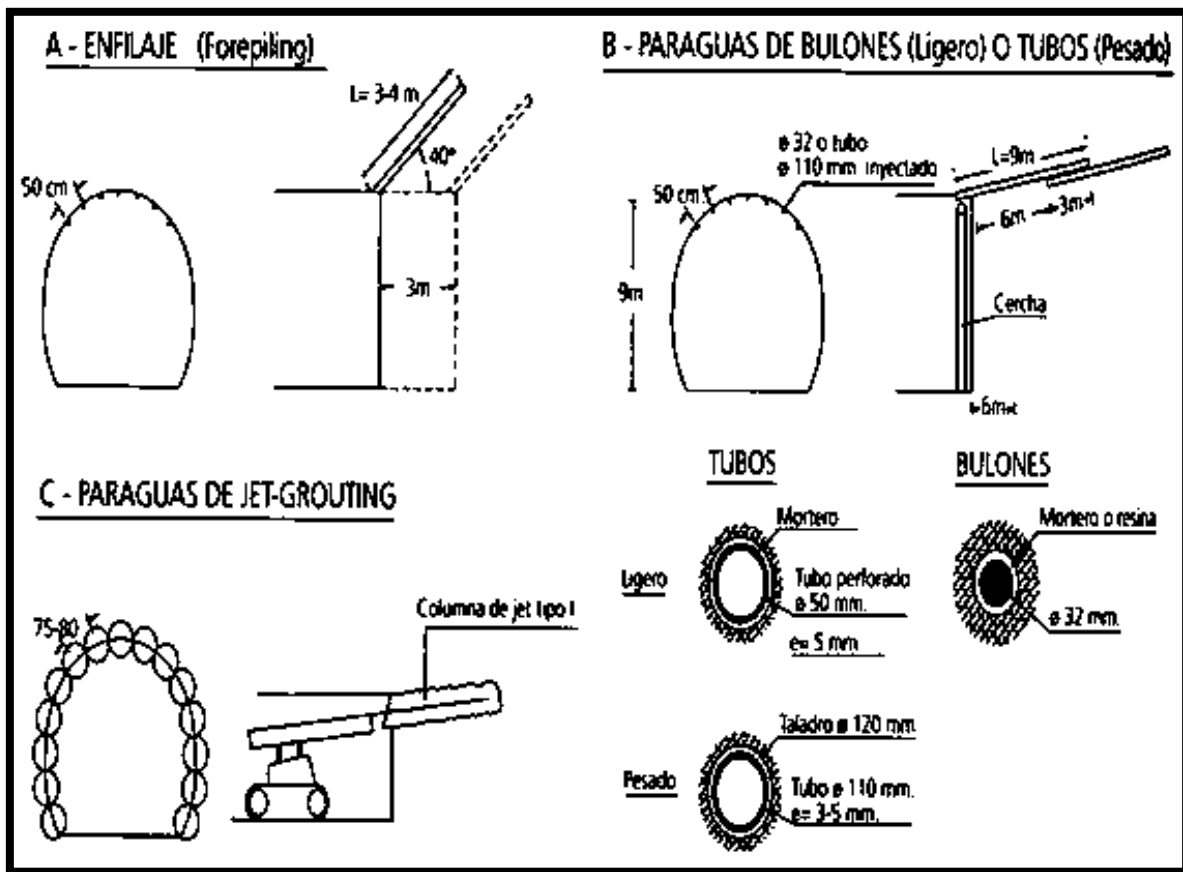


Figura 3.7.- Métodos de Enfilaje (Poon, 2013).

3.8.5.- MARCOS METÁLICOS

Los marcos metálicos son elementos compuestos por segmentos de viga de acero estructural tipo I o H, con placas metálicas soldadas en sus extremos y unidos entre sí con tornillos, para adaptarse a la sección del túnel y soportar las presiones ejercidas por el terreno circundante, transmitiendo las cargas al perfil metálico por medio de los elementos, o componentes muy juntos o apretados que forman bloques y cuñas de madera retacadas entre las paredes y bóvedas de la excavación y el marco metálico (SCT, 2000).

Arcos de Apoyo

Son compuestos de segmentos de perfiles de acero laminado o vigas de celosía (Figura 3.8) (Kolymbas, 2008).

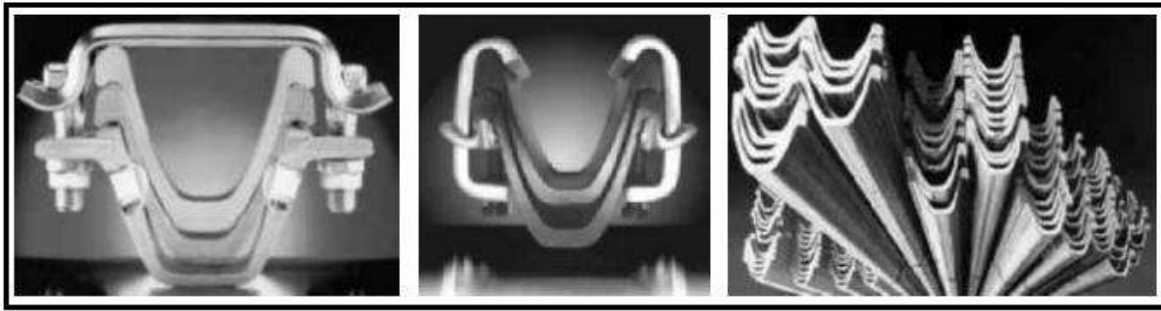


Figura 3.8.- Perfiles de Acero. (Kolymbas, 2008)

Los segmentos de arcos se colocan y montan juntos con articulaciones fijas o compatibles (para dar cabida a grandes convergencias). El contacto con la roca adyacente es alcanzado con cuñas de madera o envasado de bolsas (bolsas rellenas con mortero duro). Usualmente, los arcos son subsecuentemente cubiertos con concreto. Esto conduce a una superficie de concreto proyectado en forma de guirnalda, que sobresale de la cavidad en la locación de los arcos. Para lograr un buen contacto entre la superficie del concreto lanzado y una membrana geo sintética sellada, el hundimiento entre dos arcos adyacentes no deberá exceder $1/20$ del espaciamiento. Junto con su contribución de soporte, los arcos siempre ayudan a comprobar el perfil excavado. Claramente, los perfiles de acero laminado en forma: U , tienen mucha mayor capacidad de soportar vigas de celosía.

3.8.6.- SELLADO

El soporte de superficie puede ser concreto lanzado, actuando de dos maneras distintas (Figura 3.9): con convergencia uniforme sobre la roca, el soporte responde con un arqueado (movilización de empuje axial en el revestimiento).

En puntos locales de debilidad o de claves (en casos de rocas articuladas), los esfuerzos de tensión y cortante son movilizadas dentro del revestimiento. En una etapa inicial de esas deformaciones, un delgado revestimiento es suficiente para resistir pérdidas de la roca y un aumento relacionado de cargas. Esta acción de soporte es llamado sellado y puede ser obtenido con capas delgadas de concreto lanzado. Un desarrollo reciente es sellar con una capa gruesa de pulverización en líneas de polímeros de 3-6 mm. Los polímeros tienen un buen enlace adhesivo, son aplicados en roca limpia y desarrollan un buen funcionamiento en

tensión y esfuerzo cortante. Se debe hacer mención que la fluencia es todavía una cuestión abierta. En contraste con el concreto lanzado, la naturaleza compatible de líneas sintéticas permite que las líneas sintéticas continúen su función sobre un amplio rango de desplazamientos (Kolymbas, 2008).

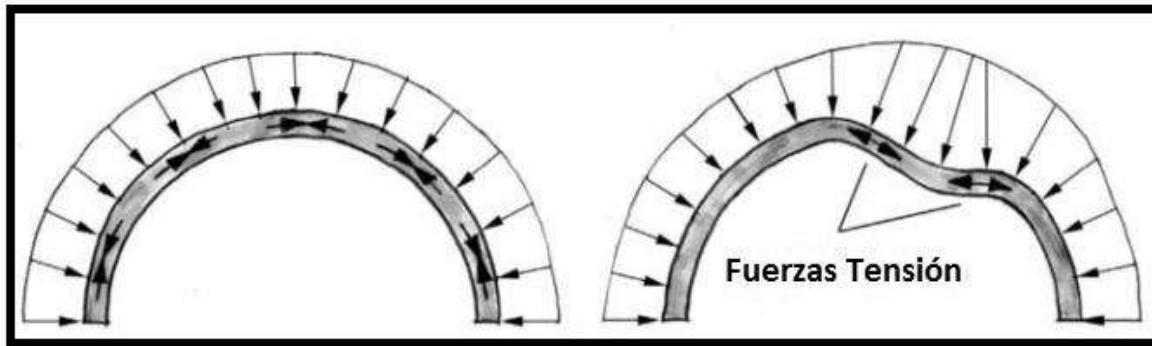


Figura 3.9.- Empuje axial en el soporte a la presión radial uniforme (Izquierda) y la flexión con la presión no uniforme (Derecha). (Kolymbas, 2008)

3.8.7.- REVESTIMIENTOS TEMPORALES Y PERMANENTES

En una roca suficientemente dura, no está previsto un revestimiento permanente. Por lo general, los túneles carreteros obtienen un revestimiento permanente (forro interior) de concreto colado además del revestimiento temporal de concreto (revestimiento exterior). La idea imperante es que las cargas ejercidas en el revestimiento de concreto proyectado se reduzcan inicialmente, debido al arqueado, pero luego aumenta lentamente. También, se cree que el revestimiento de concreto proyectado decae con el tiempo, de manera que un revestimiento interior de concreto lanzado se vuelve necesario, pero estas ideas nunca han sido confirmadas. Por supuesto, no hay duda que el revestimiento interior incrementa la seguridad. Así, hay algunos otros beneficios del revestimiento interior: una membrana sellada (si es necesario) puede ser montada entre el revestimiento interior y exterior. Además, una superficie lisa de la pared del túnel (si es el caso con el concreto lanzado) es ventajosa desde los puntos de vista de la aerodinámica (ventilación) e iluminación (Kolymbas, 2008).

3.8.8.- REVESTIMIENTOS PERMANENTES

El espesor usual de un revestimiento permanente es de al menos 25 cm. Para revestimientos reforzados e impermeables, el espesor mínimo es de 35 cm, el que se recomienda. Los bloques de 8 a 12 m de longitud son separados con juntas de extensión. El concreto más usado es C20/25. Los concretos de resistencias más altas desarrollan altas temperaturas durante el fraguado (fisuras) y son más frágiles.

Cuando el concreto es vertido dentro del encofrado rodante, es necesario que se compacte con vibradores en la solera y con vibradores en la corona (se recomienda un vibrador para 3 a 4 m²). Es difícil lograr un relleno completo en el espacio de la corona con concreto: la presión de bombeo deberá ser limitada, de otra manera el encofrado rodante puede ser destruido. Posiblemente, las partes sin llenar deberán re-enlecharse con presiones de ≤ 2 bar después de 56 días de colado. El uso de “concreto auto compactado” posiblemente puede ayudar a evitar un relleno incompleto del encofrado.

Dentro de 8 horas, el concreto deberá alcanzar una suficiente fuerza, de modo que el encofrado puede ser removido. Sin embargo, existen casos reportados donde el ajuste fue insuficiente y el revestimiento colapsó después de la eliminación temprana del encofrado (Kolymbas,2008).

Refuerzo del Revestimiento Permanente

Ya que las cargas actúan sobre el revestimiento interior, el requerimiento para este refuerzo no es muy conocido. También hay que considerar el obstáculo para el tráfico debido a trabajos de reparación de un revestimiento defectuoso. Aparte de las fuerzas ejercidas por el suelo circundante, el revestimiento permanente es expuesto a otras series de cargas:

- Su propio peso.
- Encogimiento.
- Diferencia entre temperaturas.
- Presión Aerodinámica.

La jaula de reforzamiento es fabricada *in situ*. Esto es problemático, especialmente en la parte de la corona, porque los trabajadores tendrán que construir la sobrecarga de la jaula.

En el túnel Engelberg, los encofrados donde se han aplicado, se hicieron posible la fabricación de la jaula en forma de paneles y luego la arrojaron a su posición final.

Los siguientes consejos de Directrices de la Asociación Internacional de Túneles (Por sus siglas en inglés, ITA) para el Diseño de Túneles, deberán tomarse en cuenta:

Espesor mínimo del revestimiento proyectado:

15 cm	para entrecruzamientos y pozos.
20 cm	para excavaciones de secciones transversales $\leq 50 \text{ m}^2$.
25 cm	para grandes secciones transversales.

Espesor mínimo de revestimiento de concreto lanzado:

20 cm	para revestimiento no reforzado.
25 cm	para revestimiento reforzado.
30 cm	para revestimiento hermético.

Cubierta mínima de reforzamiento:

3 cm	en la superficie externa (extrados), sino es protegido con una membrana.
5-6 cm	en la superficie externa, si es adyacente a aguas subterráneas.
4-5 cm	en la superficie interna (intradós).

3.8.9.- REVESTIMIENTO FINAL

Como ya se ha mencionado anteriormente, el revestimiento proyectado es visto como una medida temporal. A la larga, las cargas ejercidas por suelo circundante se espera que sean cargadas por el revestimiento interior. Sin embargo, la completa depreciación del revestimiento proyectado nunca ha sido probada. Hay una tendencia de diseñar y construir el revestimiento proyectado de tal manera de que pueda servir permanentemente o, al menos, que pueda ser integrado en lo permanente. Al hacerlo, el revestimiento total tiene un espesor reducido y es llamado revestimiento monocasco. El principal problema con revestimientos monocascos es el sellado contra el agua subterránea presurizada. El revestimiento proyectado es usualmente fisurado y permeable al agua. Un nuevo desarrollo es el de construir un revestimiento interior con concreto reforzado y fibras de acero, de modo que el revestimiento interior y exterior constituya un revestimiento de material compuesto (Kolymbas,2008).

CAPÍTULO 4. RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El proyecto de la construcción de los 61 túneles de la Autopista Durango–Mazatlán estuvo a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), quién asumió la responsabilidad de la obra y toma de decisiones, actuando con pertinencia y seguridad frente a las incertidumbres geotécnicas en el entorno geológico en que se construirían los 61 túneles, asesorada en todo momento por diferentes despachos de proyectistas altamente calificados en túneles carreteros.

Además, trabajó en relación directa con la Dirección General de Carreteras (DGC) principalmente en el análisis de los problemas constructivos, que se preveía se presentarían dada la complejidad del proyecto, razón por la cual se requería disponer de un apoyo técnico permanente durante la ejecución de las obras para dar asesoría y seguimiento técnico detallado de la construcción, para orientar con el mayor apego posible al proyecto, o en su caso, proponer y avalar los cambios o adecuaciones que resultaran pertinentes.

Para el seguimiento técnico a los proyectos se contrató a un consorcio de empresas especialistas en túneles, mismas que tenían la responsabilidad de vigilar que las obras se ejecutaran con apego a los proyectos de cada uno de los túneles y a las especificaciones generales y particulares contenidas en los mismos, asimismo ejecutaron el seguimiento de proyecto de los aspectos geológicos y geotécnicos (AMITOS, 2013).

Elaboración de los Planos “As Built”

Se llama planos “As Built” a los registros de obra terminada, es decir, documentación que refleja lo que realmente se ha construido, además en ellos deben figurar las modificaciones debidamente autorizadas que se hayan realizado, utilizando para ello copias al maduro de los Planos del Proyecto Original y/o plano en CAD, firmados por los responsable de la construcción. Los planos “As Built” permiten tener un registro real de los avances realizados de la obra y sirven a su vez, como importante acervo que puede contribuir a futuros proyectos relacionados o vinculados con esa información, la SCT es la responsable de conservar la información de los planos de obra ejecutada (planos “As Built”) y el resguardo de todas las obras de carácter federal.

Como parte del servicio de seguimiento técnico durante la construcción de los 61 túneles de la Autopista Durango–Mazatlán, se elaboraron planos “As Built” con los registros existentes que muestran como quedaron construidas las distintas partes que conformaron el proyecto de los túneles, entre estos trabajos de seguimiento técnico se encuentran: los planos de tajos de acceso, los métodos de estabilización, las secciones de excavación de los túneles, el sistemas de sostenimiento, la geología, geotecnia, revestimiento definitivo, por mencionar algunos.

Para la realización de esta tesis se contó con el valioso apoyo de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, la cual, brindo la posibilidad de analizar parte del acervo del registro de obra de los 61 túneles de la Autopista Durango-Mazatlán y obtener información solamente de 31 planos “As Built” para su revisión, mismos que conformaron nuestro universo de investigación, realizando una recopilación sistematizada de la información para el análisis de los resultados.

Los planos que se brindaron corresponden a los túneles que se muestran en la Tabla 4.1, y se ubican principalmente en el tramo carretero que corresponde al estado de Sinaloa, la dirección de los portales de entrada y salida de la Autopista Durango – Mazatlán que se menciona en este trabajo, fueron ubicados de la siguiente manera: todo vehículo con dirección de Durango hacia Mazatlán accederá por los portales de entrada, mientras que todo vehículo que vaya en dirección contraria entrará por los portales de salida, es decir, los portales de entrada tienen su ubicación con dirección hacia Mazatlán, mientras que el portal de salida su dirección es hacia Durango.

El análisis y observación de los planos “As Built” permitió realizar una descripción detallada de los trabajos ejecutados para la excavación de los 31 túneles por medio de tres importantes fases:

a) Cartografía geológica, litología y estructuras

En los planos se puede hacer un análisis de los trabajos tal como se han realizado, identificando las áreas donde se localizan los túneles y la morfología donde se muestra las

condiciones de inestabilidad general de la zona excavada, la composición y estructura de la roca, así como los sistemas de fracturamiento.

Tabla 4.1.- Nombre de los túneles de los cuales se tiene los planos “As Built”.

N° Túnel	Túnel	N° Túnel	Túnel	N° Túnel	Túnel
1	El Guineo	12	La Laguna I	23	Cerro Santa Lucía
2	El Varal	13	La Laguna II	24	Roblar de la Cueva
3	Los Otates	14	La Laguna III	25	Cerro de las Mesas
4	Guamúchil	15	Las Labores	26	El Nacaral
5	Los Morillos	16	Trópico de Cáncer	27	Cerro Las Palomas
6	El Carrizo I	17	Corte Alto	28	Pánuco
7	El Carrizo II	18	La Mina	29	Pánuco II
8	El Carrizo III	19	Chirimollos	30	Real Pánuco
9	La Piedra	20	Santa Lucía I	31	El Cantil
10	La Quemada	21	Santa Lucía II		
11	La Quemada II	22	Cerro de la Reforma		

b) Caracterización geotécnica

En los planos “As Built” se observa una serie de parámetros que exponen los resultados de los criterios empleados para realizar el análisis empírico del índice RQD, RMR Y Q, permitiendo analizar las características geotécnicas, el tipo de material empleado y la velocidad de onda compresional encontrados en los trabajos realizados en la obra.

c) Soporte primario y sostenimiento

Los planos permiten mostrar los diferentes tipos de soporte primario y sostenimiento que fueron empleados para garantizar la estabilidad de la excavación, las siguientes propuestas fueron empleadas durante el proceso constructivo del túnel: Anclas de fricción, Concreto lanzado, Marcos metálicos, Colado de marcos metálicos (en algunos casos se colocó un relleno entre el terreno natural y el marco metálico, el cual consistió de concreto hidráulico y casetón de poliestireno), Drenes de tubo, Anclaje local, Trabes de atado y Marcos armados.

La Figura 4.1 agrupa la información empleada para el estudio de los planos “As Built” referente a los trabajos realizados para la excavación de los 31 túneles que conformaron el universo investigación del presente trabajo de tesis.

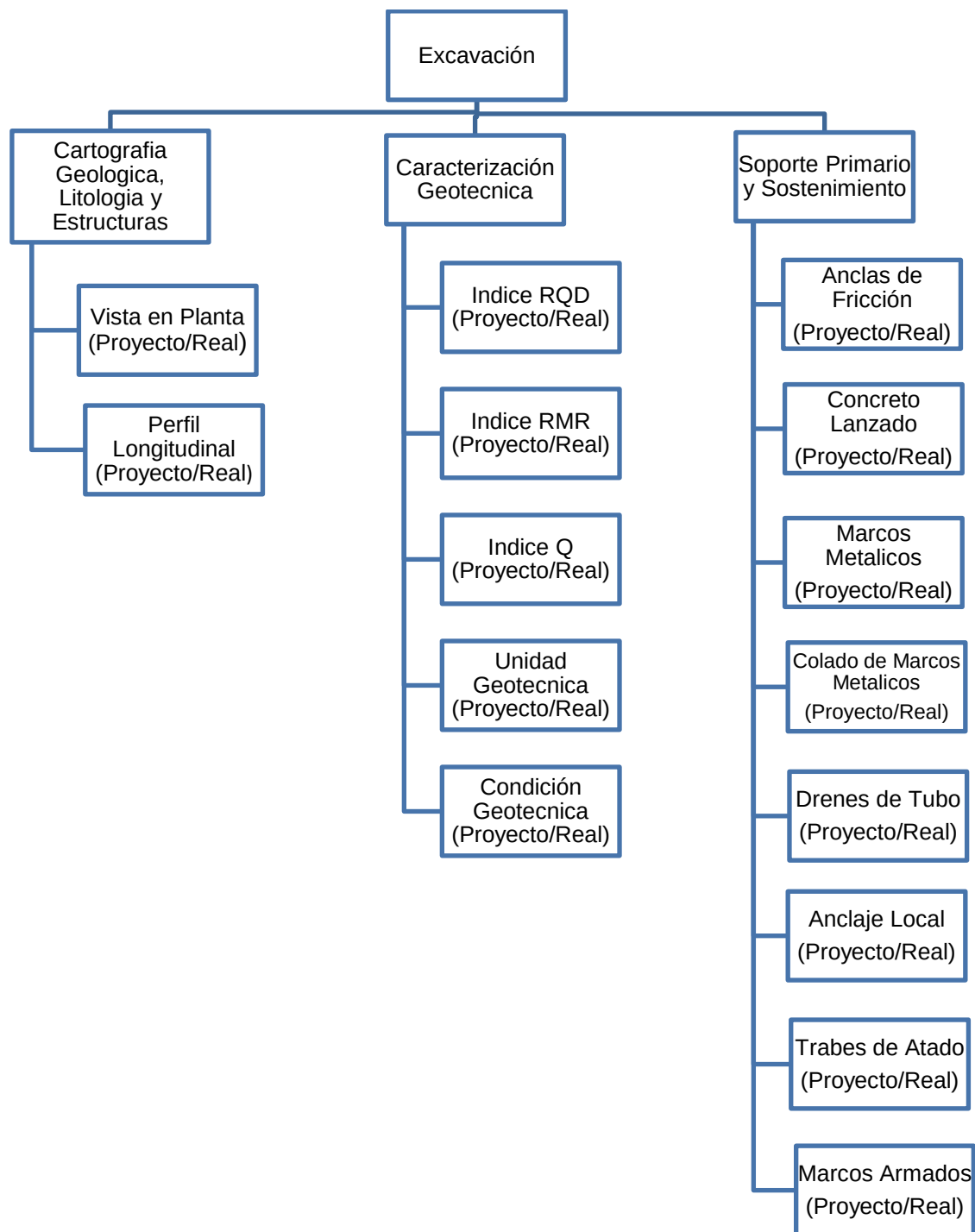


Figura 4.1.- Organigrama de los 31 Planos “As-Built” de la Autopista Durango – Mazatlán.

4.1.- PERFILES TOPOGRÁFICOS DE LOS 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO-MAZATLÁN

Para el estudio de los perfiles topográficos se realizó un análisis detallado de la información proporcionada por la SCT y de otras fuentes: literatura técnica, topografía restituída, fotografías aéreas, cartas topográficas y geológicas del INEGI, donde se encontró que fueron establecidos dos bancos de nivel, uno en cada portal de acceso a los túneles, de este modo se determinaron las elevaciones del terreno natural sobre el eje del proyecto, la nivelación diferencial de los puntos estacados a cada 20 m, los puntos principales del alineamiento horizontal y otros puntos intermedios de quiebre del terreno.

Toda la información topográfica de altimetría y planimetría levantada en campo, se plasmó en una planta que muestra la topografía del área con curvas de nivel a cada metro, así como el eje de trazo del camino principal y todos los detalles.

La información obtenida de los planos de la planta topográfica a escala 1:1,000, así como los plano de perfil topográfico por el eje de trazo a escala horizontal 1:2,000 y vertical 1:200 fueron revisados en los planos “As Built”, lo cual ayudó a realizar de una manera sistemática el análisis del perfil topográfico de 31 túneles de la Autopista Durango-Mazatlán.

4.2.- PERFILES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS DE 31 TÚNELES DE LA AUTOPISTA DURANGO-MAZATLÁN

Los trabajos de seguimiento se apoyaron principalmente en los estudios realizados previamente para el proyecto, los cuales consideraron los siguientes aspectos:

- Se verificó que la geología que se presentó al realizar las excavaciones de los túneles se encontrara dentro del marco geológico determinado en los estudios previos y, en caso de no ser así, se proporcionó en su lugar por parte del equipo de especialistas, las adecuaciones y/o modificaciones procedentes.
- Durante la construcción de los túneles, los ingenieros geólogos llevaron el control geológico y geotécnico de las obras para cada avance de las excavaciones, estos profesionales levantaron una cartografía o mapeo riguroso del terreno, incluyendo:

definición litológica de los materiales; levantamiento estructural de discontinuidades (fracturas, estratos, contactos, fallas, etc.) y determinación de sus propiedades físicas y de resistencia (espaciamiento, rugosidad, relleno, humedad, persistencia, etc.); clasificación geomecánica (índices de calidad del macizo); estimaciones de parámetros de resistencia; aforos de entrada de agua a las excavaciones; registro fotográfico; entre otros.

- Con base en estos datos se elaboraron las fichas geológico – geotécnicas en estaciones para avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentaron cambios litológicos; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad (AMITOS, 2013).
- No fue posible obtener para su revisión todos los perfiles geológicos de los 31 túneles en estudio que se obtuvieron en campo, sin embargo, si se contó con los perfiles longitudinales que se lograron realizar al momento de la excavación de cada uno de los túneles.

4.3.- PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO PARA CADA CASO

Una de las actividades fundamentales que se llevaron a cabo para la realización de la propuesta de sostenimiento de los 61 túnel, fue verificar que las excavaciones se realizaran conforme a lo establecido en los proyectos correspondientes, prestando especial cuidado en respetar su geometría en cada una de las fases y los avances de excavación especificados en proyecto, o en las adecuaciones efectuadas al mismo.

Con base en el seccionamiento realizado por la empresa de seguimiento de obra (supervisión), el consorcio de seguimiento de proyecto integro dicha información para compararla con la sección teórica de excavación del proyecto y verificar si la empresa contratista estaba sobre excavando o sub excavando y si las imprecisiones en el perfil excavado estaban dentro de los límites tolerables o en su defecto se sugirió hacer una mejora en las voladuras. Asimismo, una vez lanzado el concreto en el contorno de la excavación, se repitió la operación de seccionamiento para verificar que los espesores de concreto lanzado fuesen los adecuados.

En cuanto al control de sostenimientos, el equipo de técnicos que permanecieron en obra durante el tiempo en el que se realizó la construcción de los túneles, llevaron un control riguroso de la implementación de los distintos sistemas de soporte, estabilización y reforzamiento implementados en el túnel, además de llevar a cabo la verificación para que los marcos metálicos se implementaran en tiempo y forma y colocados adecuadamente para que cumplieran su función estructural; revisaron el proceso de lanzado de concreto para que su colocación fuera oportuna, además verificaron que los espesores lanzados fuesen los especificados y la mezcla la adecuada. Asimismo, verificaron el proceso de colocación de los anclajes, revisaron su oportuno desplazamiento, su separación, se verificó que la inyección fuera la adecuada, etc. De cada una de las actividades elaboraron reportes finales de la implementación de estos sistemas que se mencionarán en este trabajo.

4.4.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LOS 31 PLANOS “AS BUILT”

Para elaborar la descripción de cada uno de los túneles incluidos en este estudio, fue necesario realizar un análisis minucioso y detallado de los planos “As Built”, mismo que permitió agrupar la información para su observación en 3 grandes apartados, los cuales fungieron como columna vertebral de los trabajos realizados en la excavación :

- 1) Cartografía geológica, litológica y estructuras.
- 2) Caracterización geotécnica.
- 3) Sostenimiento primario.

Estos tres apartados ayudaron a determinar las estrategias que condujeron el seguimiento técnico realizado durante la construcción de los 31 túneles de la Autopista Durango– Mazatlán, además estos planos ayudaron a ampliar el registro existente de la construcción de las distintas partes que conformaron cada uno de los túneles en estudio.

Los planos “As-Built” no proporcionan un registro suficiente que permita conocer a detalle la información relacionada al número de sondeos geotécnicos que se hicieron durante el análisis preliminar de los 31 túneles, es por ello que se desconocen referencias que nos ayuden a describir los procedimientos empleados para la elaboración de los perfiles

geológicos – geotécnicos. A continuación se describen los treinta y un túneles de esta investigación:

Túnel El Guineo

En el Anexo 1, se muestra el perfil topográfico del túnel El Guineo, presentando los cadenamientos de los portales de entrada (de Durango a Mazatlán) y salida (de Mazatlán a Durango), así como la cobertura máxima del túnel, sus principales características muestran que en el eje de trazo la altura es de 45 m, la longitud total del túnel es de 223 m incluyendo los túneles falsos de ambos portales, tienen una longitud de 16 m en el portal de entrada y 40 m en el portal de salida, contando con 4 carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m (no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar) (AMITOS, 2014).

En el Anexo 2, se muestra el perfil longitudinal del túnel El Guineo, presentándose el proyecto de la geología y aplicado al túnel, mismo que consideró que a lo largo del trazo del túnel el material que sería excavado fuese una Ignimbrita (Tmi), sin embargo al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado fue de tres tipos, el material encontrado durante la excavación fue:

- a) Ignimbrita (Tmi)
- b) Andesita (Db)
- c) Riolita (Dc).

En los estudios preliminares se identificaron 20 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 18 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 2. La problemática que se presentó en el proceso de construcción de este túnel fue un colapso: la zona afectada fue donde ya se habían realizado las ampliaciones laterales; mientras que la parte donde únicamente se encontraba el túnel piloto central, no sufrió daños. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel.

Para el proyecto se tenían 4 zonas (Portal de Entrada, Tramo 1, Tramo 2 y Portal de Salida), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q

que se encontrarían en la zona de estudio, así como las caracterizaciones geotécnicas que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 2, se definen 40 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, en este caso no se dio a conocer el número de sondeos geotécnicos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía planeado usar las siguientes soluciones: tubería de enfilaje ranurada, concreto lanzado con fibras de acero y marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, concreto lanzado con fibras de acero, anclas de fricción, marcos metálicos y colado de marcos metálicos con concreto (aplicando un relleno entre el terreno natural y el marco metálico de casetón de poliestireno y concreto hidráulico),

Túnel El Varal

El alineamiento vertical del túnel El Varal se muestra en el Anexo 3, la información que se encontró fue insuficiente para la obtener las alturas de la cobertura del túnel, por lo cual no fue posible integrarlo a nuestro estudio. El Varal es un túnel con 4 carriles de circulación, entre los 31 túneles de nuestro estudio, éste representa la longitud más larga con una distancia total de 823.77 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, los cuales tienen una longitud de 15.77 m en el portal de entrada (Durango) y 81 m en el portal de salida (Mazatlán), la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo fue de 224 m. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; en esta ocasión no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 4 se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Ignimbrita (Tmb). Al realizar la excavación del túnel se presentaron complicaciones debido a la mala calidad de la roca, en los estudios preliminares se identificaron 30 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 57 fallas geológicas, mismas que se

muestran en el plano en planta (Anexo 4), y además que el material que se estaba excavando era de dos tipos:

- a) Ignimbrita (Tmi, Tmb)
- b) Andesita (An)

La información obtenida del perfil geotécnico del túnel para el proyecto mostró 4 zonas (Portal de Entrada, Tramo 1, Tramo 2, Portal de Salida), en la zona de estudio la calidad del tipo de material fue determinada de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q, considerando además las características geotécnicas que se presentaron a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 4, se definieron 143 registros por cada índice RQD, RMR y Q, que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no hubo reporte sobre los sondeos que se hicieron en la etapa preliminar.

Para el proyecto se tenía empleado usar las siguientes soluciones: Tubería de Enfilaje ranurada, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Anclas de fricción, Concreto lanzado con fibras de acero y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas a final de cuentas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos, utilizando relleno de concreto hidráulico y poliestireno entre el terreno natural y el marco.

Túnel Los Otates

El perfil topográfico del túnel se muestra en el Anexo 5, así como los cadenamientos de los portales de entrada, la cobertura máxima del túnel y el eje de trazo en donde la altura es de 49 m. Los Otates cuenta con 4 carriles de circulación, una longitud total de 107.5 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, el portal de entrada cuenta con una longitud de 5 m y el portal de salida cuenta con 17.5 m de longitud. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; faltó informe del número de sondeos que se realizaron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

El perfil longitudinal del túnel Los Otates se muestra en el Anexo 6, para el proyecto de geología del túnel se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que

sería excavado fuera una Ignimbrita Riolítica (Tmb). En los estudios preliminares se identificaron 7 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 12 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 6, además el material que se excavó fue de dos tipos:

- a) Ignimbrita (Tmi-2, Tmb)
- b) Andesita (CvBa).

El análisis del perfil geotécnico del túnel y el estudio del proyecto mostro que se tenían 3 zonas (Portal de Entrada, Túnel, Portal de Salida), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio y las características geotécnicas que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel; no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

De acuerdo a la información proporcionada, se definieron 17 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad.

Los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel para el proyecto tenían contemplado usar las siguientes soluciones: Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico en los huecos.

Túnel Guamúchil

En el Anexo 7, se representa el perfil topográfico del Túnel Guamúchil, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada (Durango) y salida (Mazatlán), así como del túnel excavado, la cobertura máxima sobre el túnel en el eje de trazo fue de 61 m. Este túnel cuenta con 4 carriles de circulación, su longitud total es de 205 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 12 m en el portal de entrada y 94 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; no reportaron la ejecución de sondeos hechos durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 8 se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Riolita (Ri). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material que se estaba excavando era el mismo que se había proyectado. En los estudios preliminares se identificaron 12 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 17 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel.

Para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica, donde se muestra la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada (Anexo 8), se definieron 18 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no reportan número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Drenes de tubo de PVC, Concreto lanzado con fibras de acero, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, los materiales empleados durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Los Morillos

En el Anexo 9, se muestra el perfil topográfico del túnel Los Morillos, integrando los cadenamamientos del inicio de los túneles falsos, así como del túnel excavado, la cobertura máxima sobre el túnel en el eje de trazo fue de 50 m, este túnel cuenta con 4 carriles de circulación y tiene una longitud total de 388 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales y una ventana intermedia (túnel falso) que une a los dos túneles, tiene una longitud de 26 m en el portal de entrada y una longitud de 92 m en la ventana intermedia y 42 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación es de 150 m; no se reportó cuantos sondeos realizaron en la fase preliminar (AMITOS, 2014).

El perfil longitudinal del túnel se muestra en el Anexo 10, así como el proyecto de geología del túnel, en el cual se contempló que, a lo largo del trazo del mismo, el material excavado fuera una Riolita (Ri). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material que se estaba excavando era el mismo que se había proyectado.

En los estudios preliminares se identificaron 25 fallas o fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 36 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta (Anexo 10). La problemática que se presentó fue de caídos en el túnel piloto, talud frontal y lateral.

El perfil geotécnico del túnel mostró en el proyecto que se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), en las cuales se consideraba la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se esperaba encontrar durante la excavación, así como la Unidad Geotécnica, donde se muestra la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, se definieron 57 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no reportaron el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

Para el proyecto se tenía considerado usar las siguientes soluciones: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico en zonas vacías.

Túnel El Carrizo I

El perfil topográfico del túnel El Carrizo I, expone los cadenamientos de los portales de entrada y salida, como se representa en el Anexo 11, la cobertura máxima del túnel y el eje de trazo, mismo que fueron de 83 m. Este túnel cuenta con 4 carriles de circulación, con una longitud total de 132.8 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales, los cuales presentan una longitud de 11.3 m en el portal de entrada (Durango) y 20.5 m en el portal de

salida (Mazatlán). La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; faltó el informe del número de sondeos realizados en la fase preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 12, se muestra el perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo, el material que sería excavado fuera una Andesita (An). En los estudios preliminares se identificaron 10 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 6 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta (Anexo 12). Además, el material que se excavó fue de cuatro tipos:

- a) Riolita (Ri)
- b) Brecha (ToBr)
- c) Ignimbrita (Ignm, La)
- d) Andesita (An)

Para el proyecto se tenía previsto excavar 3 zonas (Zona1, Zona 2 y Zona 3), contemplándose la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, además de la Unidad Geotécnica donde se muestra la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del mismo. De acuerdo a la información proporcionada, se definieron 17 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

El Anexo 12 también muestra los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel, donde se tenía considerado usar las siguientes soluciones: Drenes de tubo de PVC, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos.

Túnel El Carrizo II

En el Anexo 13, se observa el perfil topográfico del túnel El Carrizo II, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada y salida, así como de los túneles excavados, la cobertura máxima del túnel en el eje de trazo fue de 87 m. Este túnel cuenta con 4 carriles

de circulación. La longitud total fue de 438.5 m que incluye los túneles falsos de ambos portales y una ventana intermedia (túnel falso) que une a los túneles, cada túnel tienen una longitud de 128.5 m en el portal de entrada y 29 m en el portal de salida, la ventana intermedia cuenta con una longitud de 59 m. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m, además se menciona que no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 14, se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología se tenía contemplado que, a lo largo del trazo el material que sería excavado fuera una Riolita (Ri). En los estudios preliminares se identificaron 11 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 19 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta. Así mismo se encontró que el material que se estaba excavando era de tres tipos:

- a) Riolita (Ri)
- b) Brecha (ToBr)
- c) Andesita (An)

Además de mostrarse el perfil geotécnico del túnel y el proyecto, en donde se observan las 2 zonas (Túnel 1 y Túnel 2), también se puede observar los resultados del estudio de la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q encontrados en la zona, así como la Unidad Geotécnica donde se muestra la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del túnel, cabe recalcar que no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 12, se definieron 41 registros que representan los avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad.

También, se muestran en los anexos los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía considerado usar las siguientes soluciones: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleados durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de acuerdo a lo explicado anteriormente.

Túnel El Carrizo III

El Anexo 15 muestra el perfil topográfico del túnel El Carrizo III, exponiendo para su estudio los cadenamientos de los portales de entrada y salida y de los túneles excavados, también se puede ver la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo del túnel fue de 84 m. La longitud total de 452.22 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, los cuales tienen un longitud de 19 m en el portal de entrada y 34.22 en el portal de salida. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación es de 150 m, para este caso no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 16, se muestra el perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Riolita (Ri). Al realizar la excavación, se encontró que el material excavado fue de tres tipos:

- a) Ignimbrita (Igm)
- b) Riolita (Ri)
- c) Basalto (Igi).

En los estudios preliminares se identificaron 25 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 35 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 16.

Para el proyecto se tenían 2 zonas (Zona 1 y Zona 2), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, de la Unidad Geotécnica se obtuvo la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentó a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 16, se definieron 43 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no hubo información que reportara el número de sondeos durante el análisis preliminar.

En el Anexo 16 se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se propuso las siguientes soluciones: Drenes de tubo de PVC, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Anclaje local en bóveda. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico para rellenar huecos.

Túnel La Piedra

El perfil topográfico del túnel La Piedra se muestra en el Anexo 17 incluyendo sus cadenamientos, portales de entrada y salida, la cobertura máxima que se alcanza sobre el eje de trazo del túnel misma que fue de 75 m y la longitud total la cual cuenta con 290 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales, así como una ventana intermedia (túnel faso) que une a los túneles excavados, mismos que cuentan con una longitud de 17.75 m en el portal de entrada, 20.50 m en el portal de salida y 69.5 m en la ventana intermedia. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se contó con información sobre el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 18 se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Ignimbrita Riolítica (ToBr) y Basalto (Igi). En los estudios preliminares se identificaron 13 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 8 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta del Anexo 18, además que el material excavado fue de tres tipos:

- a) Ignimbrita Riolítica (ToBr)
- b) Ignimbrita (Igm)
- c) Basalto (Igi).

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel. Para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 18, se definieron 21 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reportó el número de sondeos que se hayan hecho durante el proceso preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se pretendía utilizar lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción perimetrales, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Drenes de tubo, Anclas de fricción perimetrales, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda y Colado de marcos metálicos aplicando relleno de concreto hidráulico.

Túnel La Quemada I

En el Anexo 19, se muestra el perfil topográfico del túnel La Quemada, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada y salida, la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo fue de 40 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel es de 126 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, tienen una longitud de 20.75 m en el portal de entrada y 20 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se dio a conocer el número de sondeos para el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 20, se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel se tenía contemplado que a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de dos tipos: Ignimbritas Rioltica (ToBr) y Basalto (lgi). Al realizar la excavación del túnel se encontró que el material que se estaba excavando era el mismo que se había proyectado.

En los estudios preliminares se identificaron 4 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 13 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 20. La problemática que se presentó fue, una interrupción en la excavación debido a que un portal no estaba todavía terminado.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel. Para el proyecto se tenían 2 zonas (Zona 1 y Zona 2), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica donde se muestra la velocidad de onda (V_p) y la Condición Geotécnica que se presentaría a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el mismo Anexo, se definieron 15 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representaban avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no hubo información del número de sondeos que se hayan hecho durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel, para el proyecto se tenía proyectado usar las siguientes soluciones: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo las soluciones empleadas durante el proceso constructivo sostenimiento del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel La Quemada II

En el Anexo 21, se muestra el perfil topográfico del túnel La Quemada II, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, los túneles excavados y la cobertura máxima del túnel, la cual presenta en el eje de trazo 44 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total fue de 143 m, que incluye a los túneles fasos de ambos portales, que tienen una longitud de 18 m en el portal de entrada y 20 m en el portal de salida. No se encontró información que ayude a calcular la longitud de perforación en roca; no contando con información sobre el número de sondeos.

Por su parte el Anexo 22 muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Riolita (TbBr). Sin embargo lo que se muestra en el perfil geotécnico del túnel y la excavación realizada en el mismo son los hallazgos encontrados; en los estudios preliminares se identificaron 11 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 16

fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta, y que el material excavado fue de dos tipos:

- a) Basalto (Igi)
- b) Riolita (TbBr)

Para el proyecto se tenían 4 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, además de la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica donde se muestra la velocidad de onda (Vp) que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 22, se definieron 15 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos y colocando un relleno de concreto hidráulico.

Túnel La Laguna I

El perfil topográfico del túnel se muestra en el Anexo 23, incluyendo los cadenamientos de los portales de entrada y salida, la cobertura máxima del túnel y el túnel excavado donde el eje del trazo, la altura fue de 82 m, se encontró además que la longitud total del túnel es de 222 m, el cual incluye a los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 33.5 m en el portal de entrada (lado Durango) y 20 m en el portal de salida (Mazatlán). Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La información analizada permite encontrar que la longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no reportaron el número de sondeos realizados durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 24 se puede observar el perfil longitudinal y el perfil geotécnico del túnel. Para el proyecto de geología del túnel se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Andesita (An2). En los estudios preliminares se identificaron 3 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 4 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta, además que el material que se estaba excavando era de dos tipos:

- a) Andesita (An2)
- b) Ignimbrita y Riolita (ToBr)

Para el proyecto se tenían consideradas 3 zonas de excavación (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica donde se muestra la velocidad de onda (V_p), que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 24, se definieron 17 registros por cada índice RQD, RMR y Q, que representaban avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no teniendo conocimiento del número de sondeos aplicados durante el análisis preliminar.

En el anexo también se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía considerado usar las siguientes soluciones: Drenes de tubo, Ancclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Ancclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Ancclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Ancclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos utilizando un relleno de concreto hidráulico para sellar espacios vacíos

Túnel La Laguna II

En el Anexo 25, se muestra el perfil topográfico del túnel, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada y salida, además los del túnel excavado, la cobertura máxima del túnel, misma que presenta en el eje de trazo 71 m. Este túnel cuenta con dos carriles de

circulación. La longitud total del túnel es de 250 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, los cuales tienen una longitud de 24 m en el portal de entrada y 50 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se dio a conocer el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

El Anexo 26 muestra el perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de dos tipos: Andesita (An) e Ignimbritas Riolítica (ToBr). Al realizar la excavación del túnel se encontró que el material que se estaba excavando era de un solo tipo: Ignimbrita Riolítica (ToBr).

En los estudios preliminares se identificaron 5 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 11 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta del Anexo 26.

Para el proyecto geotécnico se consideraron 4 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, de igual forma la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica muestran la velocidad de onda (V_p), presentada a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 26, se definieron 26 registros por cada índice RQD, RMR y Q, que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Anclaje local en bóveda. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda.

Túnel La Laguna III

El perfil topográfico del túnel La Lagunilla III muestra en el Anexo 27 los cadenamientos de los portales de entrada y salida, la cobertura máxima que se alcanza sobre el eje de trazo del túnel, misma que es de 85 m y la longitud total, la cual cuenta con 343 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales, así como una ventana intermedia (túnel falso) que une a los túneles excavados, mismos que cuentan con una longitud de 20 m en el portal de entrada, 20 m en el portal de salida y 24 m en la ventana intermedia. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; en este caso no se reportó cuantos sondeos se hicieron en esta etapa (AMITOS, 2014).

En el Anexo 28, se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Ignimbrita Riolítica (ToBr). Al realizar la excavación del túnel se encontró que el material que se estaba excavando era de dos tipos:

- a) Ignimbrita Riolítica (ToBr)
- b) Ignimbrita (Igm)

En los estudios preliminares se identificaron 9 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 8 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 28, una de las principales problemáticas del túnel fue que en el talud frontal se presentaron agrietamientos, también se muestra el perfil geotécnico del túnel y para el estudio de proyecto se contaba con una zona principal (Zona 1), que contemplaba la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 28, se definieron 37 registros por cada Índice RQD, RMR y Q, que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; hechos durante no hubo informe del número de sondeos su fase.

Los anexos muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel La Laguna III. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Anclaje local en bóveda. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda y Colado de marcos metálicos utilizando un relleno de concreto hidráulico para sellar irregularidades.

Túnel Las Labores

En el Anexo 29, se muestra el perfil topográfico del túnel Las Labores, donde se muestran cadenamamientos de los portales de entrada y salida, la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo fue de 43 m y la longitud total del túnel, misma que fue de 312.75 m que incluye a los túneles falsos de ambos portales, asimismo la ventana intermedia que une a los túneles excavados, tiene una longitud de 20 m en el portal de entrada, 19 m en el portal de salida y 40.4 m en la ventana intermedia. Este túnel, cuenta con dos carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; faltó información sobre la aplicación de sondeos en su etapa preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 30, se muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Riolita (Ri). En los estudios preliminares se identificaron 7 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 10 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 30, además el material excavado era de tres tipos:

- a) Riolita (Pri)
- b) Ignimbrita Rioltica (ToBr)
- c) Ignimbrita (ToBr3)

La principal problemática encontrada fue un colapso al comenzar la excavación subterránea, este se ubicaba en el talud frontal junto con los 10 primeros metros de excavación, la causa se presume fue debido a que los materiales previamente habían sido afectados por alteración hidrotermal. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel.

Para el proyecto se tenían 5 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4 y Zona 5), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 30, se definieron 47 registros por cada índice RQD, RMR y Q, que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Trópico de Cáncer

El perfil topográfico del túnel Trópico de Cáncer muestra en el Anexo 31 los cadenamientos de los portales de entrada y salida, la cobertura máxima que se alcanza sobre el eje de trazo del túnel que fue de 43 m y la longitud total del túnel de 182 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales, con longitud de 20 m en el portal de entrada (Durango) y 24 m en el portal de salida (Mazatlán). Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; no se dio a conocer información sobre el número de sondeos durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 32, se muestra el perfil longitudinal del túnel Trópico de Cáncer. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Andesita (An). Al realizar la excavación, se encontró que el material que se excavó fue: Riolita (T).

En los estudios preliminares se identificaron 4 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 5 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo

32. La principal problemática que se presentó fueron las condiciones desfavorables de un contacto geológico paralelo al relieve topográfico entre un suelo residual formado por arcillas, limos y suelos y una roca de mala calidad.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona I, Zona II y Zona III), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, se definieron 16 registros por cada índice de RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía pensado usar las siguientes soluciones: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Corte Alto

El perfil topográfico del túnel Corte Alto se muestra en el Anexo 33 al igual que los cadenamamientos de los portales de los túneles falsos, en donde la cobertura máxima sobre el túnel en el eje del trazo alcanza los 54 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación y una longitud total de 214.59 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, mismos que cuentan con una longitud de 85.00 m en el portal de entrada y 14.59 en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; faltó reporte del número de sondeos hechos durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

Por su parte en el Anexo 34 muestra el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que

sería excavado fuera de un solo tipo: Metagranodiorita (Met gd). Al realizar la excavación del túnel se encontró que, el material excavado era de un solo tipo: Ignimbrita Riolítica (ToBr).

En los estudios preliminares se identificaron 20 pseudoestratificación, y al momento de la excavación se encontraron 4 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 34. La principal problemática que se presentó fueron agrietamientos en la parte superior de la ladera norte y un deslizamiento de roca y suelo de más de 180000 metros cúbicos.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel. Para el proyecto se tenían 3 zonas (D (-), B y D(+)), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 34, se definieron 9 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se pensó usar lo siguiente: Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos colocando un relleno de concreto hidráulico.

Túnel La Mina

El perfil topográfico del túnel La Mina se muestra en el Anexo 35 al igual que los cadenamamientos de los portales de entrada y salida y el túnel excavado, donde la cobertura máxima sobre el túnel en el eje del trazo alcanza los 71 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación y una longitud total de 209.04 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, mismos que cuentan con una longitud de 16.67 m en el portal de entrada y 19.29 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se reportó los sondeos realizados durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 36, se muestra el perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del mismo, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Metatoba Andesítica (Met tb). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material que se estaba excavando era una Ignimbrita (ToBr).

En los estudios preliminares se identificaron 14 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 8 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 36. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel. Para el proyecto se tenían 2 zonas (D (+) y C(+)), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 36, se definieron 16 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representaban avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentara algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se usaría lo siguiente: Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Chirimollos

En el Anexo 37, se muestra el perfil topográfico del túnel Chirimollos, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado, así como la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo de 73 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel de 228.14 m, que incluye los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 13.58 m en el portal de entrada y 14.56 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; se desconoce el número de sondeos hechos en esta etapa (AMITOS, 2014).

En el Anexo 38, se muestra el perfil longitudinal del túnel Chirimollos, para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera uno solo: Metatoba Andesítica (Met tb and). Al realizar la excavación se encontró que el materia excavado era: Andesita (T and).

En los estudios preliminares se identificaron 25 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 12 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 38. La principal problemática que se presentó fue de una zona intensamente fracturada, que en una zona existió un derrumbe dentro del túnel.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 5 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4 y Zona 5), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada se definieron 24 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó cuantos sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se usaría las siguientes soluciones: Drenes de tubo, Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos aplicando un relleno de concreto hidráulico para cerrar irregularidades del terreno.

Túnel Santa Lucía I

El perfil topográfico del túnel Santa Lucia I se muestra en el Anexo 39 al igual que los cadenamientos de los portales de entrada y salida y el túnel excavado, en donde la cobertura máxima sobre el túnel en el eje del trazo alcanza los 15 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación y su longitud total fue de 204 m, incluye a los túneles falsos de ambos portales, mismos que cuentan con una longitud de 19.62 m en el portal de entrada y 20.12

en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; faltó integrar el número de sondeos realizados durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

La problemática presentada durante la etapa de construcción, es que el proyecto original se sustituyó por un túnel falso. El material que se encontró era suelo residual formado por arcillas y arenas arcillosas, y existía poca cobertura vegetal con espesor de 15 m, en este sitio además se ubican algunas casas y el panteón de la comunidad de Santa Lucia. Por lo tanto, se optó por construir un túnel falso colado in situ y finalmente se rellenó para restituir la superficie del terreno original. El enfilaje del túnel estaba considerado para todo el túnel, debido a dos factores, el primero que el material por excavar era suelo residual formado por arcillas y arenas arcillosas, y el segundo por la problemática de los asentamientos humanos de la comunidad Santa Lucia. El terreno fue excavado a cielo abierto, con talud vertical en el lado del panteón, para lo cual se realizó una pantalla de 51 pilotes colados in situ, sostenida con 162 anclas de tensión distribuidas en 4 niveles, y malla electrosoldada y concreto lanzado para recubrir toda la pantalla de pilotes (AMITOS, 2014).

Túnel Santa Lucía II

El perfil topográfico del túnel Santa Lucia II se muestra en el Anexo 40 al igual que los cadenamientos de los portales de entrada (lado de Durango) y salida (dirección Mazatlán) y el túnel excavado, en donde la cobertura máxima sobre el túnel en el eje del trazo alcanzaba 38 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación y una longitud total de 135 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, mismos que cuentan con una longitud de 20 m en el portal de entrada y 24 en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; no se conoció el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 41, se muestra el perfil longitudinal del túnel Santa Lucia II. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo Andesita (An). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado era una Ignimbrita Riolítica (ToBr).

En los estudios preliminares se identificaron 5 fracturas, y al momento de la excavación no se tiene reporte de que se hayan encontrado fallas o fracturas, mismas que se muestran en el plano en planta. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel.

Para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 41, se definieron 12 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reporta el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se pensó usar lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Anclaje local en bóveda. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda y Colado de marcos metálicos aplicando un relleno de concreto hidráulico.

Túnel Cerro de la Reforma

En el Anexo 42, se representa el perfil topográfico del túnel Cerro La Reforma, mostrando los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado, así como la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo con 54 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 183.26 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, longitud de 44.04 m en el portal de entrada y 14.22 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; faltó dar a conocer el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 43, se muestra el perfil longitudinal del túnel Cerro La Reforma. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que

sería excavado fuera de un solo tipo: Riolita Altamente Intemperizada (TR). Al realizar la excavación se encontró que el material que se estaba excavando era Riolita (Tt BR).

En los estudios preliminares no se identificaron fallas o fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 3 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 43.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, en el proyecto se tenían 4 zonas (Zona Portal, Zona Central, Zona Central y Zona Portal), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 43, se definieron 16 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no hubo reporte del número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Cerro Santa Lucía

El perfil topográfico del túnel Cerro Santa Lucía se muestra en el Anexo 44 al igual que los cadenamamientos de los portales de entrada y salida y el túnel excavado, donde la cobertura máxima sobre el túnel en el eje del trazo alcanzaba 63 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación y una longitud total de 146.2 m, que incluye a los túneles falsos de ambos portales, mismos que cuentan con una longitud de 17 m en el portal de entrada y 16.2 en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación es de 150 m; no se hubo reporte del número de sondeos realizados durante el proceso preliminar (AMITOS, 2014).

Por su parte el Anexo 45, muestra el perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel Cerro Santa Lucia, para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo Ignimbritas Riolítica (To Br), al realizar la excavación del túnel se encontró que el material excavado era el mismo que se había proyectado.

En los estudios preliminares no se identificaron fallas o fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 6 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 45.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 4 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada se definieron 17 registros por cada índice RQD, RMR y Q, que representaban avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reportó el número de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía usaría las siguientes soluciones: Trabes de atado, Anclas de fricción, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Trabes de atado, Anclas de fricción en portales, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda y Colado de marcos metálicos y con un relleno de concreto hidráulico.

Túnel Roblar de la Cueva

El perfil topográfico del túnel Roblar de la Cueva, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado y la cobertura máxima del túnel, misma que en el eje de trazo fue de 39 m, se muestran en el Anexo 46. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 119 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 20 m en el portal de entrada (Durango) y 24 m en el portal de salida (Mazatlán). La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue

de 150 m, no se reportó número de sondeos ejecutados en la etapa preliminar (AMITOS, 2014).

El perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel Roblar de la Cueva se muestran en el Anexo 47. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Riolita Porfídica (Tri). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado era una Ignimbrita Riolítica (Tigr).

En los estudios preliminares no se identificaron fallas o fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 2 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 47.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 4 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 47, se definieron 15 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no hubo información del número de sondeos ejecutados.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto usaría lo siguiente: Drenes de tubo, Anclas de fricción, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con concreto hidráulico. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción, Concreto lanzado, Anclas de fricción (Enfilaje Ligero), Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico en sitios vacíos.

Túnel Cerro de las Mesas

El perfil topográfico del túnel Cerro de las Mesas, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado y la cobertura máxima del túnel, misma que en

el eje de trazo fue de 54 m, se muestra en el Anexo 48. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 233.95 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, con longitud de 23.95 m en el portal de entrada y 24 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m, no se presentó informe del número de sondeos realizados en la período preliminar (AMITOS, 2014).

El perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel Cerro de las Mesas se muestran en el Anexo 49. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo el material que sería excavado fuera de un solo tipo Riolita (Tri). Al realizar la excavación del túnel se encontró que el material excavado era una Ignimbrita (Tigr).

En los estudios preliminares no se identificaron fallas o fracturas, y al momento de la excavación no se tiene reporte de fallas geológicas o fracturas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 49.

Además, se muestra en el perfil geotécnico del túnel que para el proyecto se tenían 6 zonas (Zona I, Zona II, Zona III, Zona IV y Zona V), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 49, se definieron 18 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; faltó reporte de sondeos que se hicieron durante el análisis preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía empleado usar lo siguiente: Jaula de ardilla en cortes frontales, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Jaula de ardilla en cortes frontales, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Anclas de fricción “Jaula de Ardilla”, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de poliestireno y concreto hidráulico en zonas huecas.

Túnel El Nacaral

En el Anexo 50, se muestra el perfil topográfico del túnel El Nacaral, mostrando los cadenamamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado, así como la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo con 64 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 226.81 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, longitud de 21.07 m en el portal de entrada y 64.74 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se contó con el número de sondeos hechos durante el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 51, se muestra el perfil longitudinal del túnel El Nacaral, para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Ignimbrita Riólítica (To Br). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado era una Ignimbrita Riolitica (Tgc, Riolitas).

En los estudios preliminares no se identificaron fallas o fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 5 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 51.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad de tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 51, se definieron 17 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos hechos.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto emplearía lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción tipo “Jaula de Ardilla”, Concreto

lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico en sitios que lo requirió.

Túnel Cerro Las Palomas

El perfil topográfico del túnel Cerro Las Palomas, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado y la cobertura máxima del túnel, misma que en el eje de trazo es de 77 m, se muestra en el Anexo 52. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 320.95 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 105.45 m en el portal de entrada y 38.5 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no hubo reporte del número de sondeos en el análisis preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 53, se muestra el perfil longitudinal del túnel Cerro Las Palomas. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera una Ignimbrita Riolítica (To Br). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material que se estaba excavando era el mismo tipo de material que se había proyectado.

En los estudios preliminares se identificaron 7 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 11 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta del Anexo 53.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona I, Zona II y Zona III), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los Índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 53, se definieron 26 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; faltó información del número de sondeos en el estudio preliminar.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se pretendía usar lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de

fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Ancclas de fricción tipo “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Ancclas de fricción, Marcos metálicos, Ancclas tipo “Jaula de Ardilla” y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Pánuco

En el Anexo 54, se muestra el perfil topográfico del túnel Pánuco, mostrando los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado, así como la cobertura máxima del túnel, en el eje de trazo fue de 61.0 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel de 162.0 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 55.0 m en el portal de entrada y 20.0 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 100 m; no se informó el número de sondeos en el estudio preliminar (AMITOS, 2014).

La problemática que se presentó en esta zona fue que, los Túneles Panuco I y Panuco II, eran originalmente dos proyectos independientes separados por un corte de terracería, el macizo rocoso formado por andesitas intensamente fracturadas, con numerosas fallas geológicas y fuerte alteración hidrotermal. Debido a lo cual se manifestaron serias condiciones de inestabilidad, formación de grietas y colapsos. La solución a esta problemática fue construir un túnel falso entre los dos que incluyó ventanas semicirculares.

El perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel Pánuco se muestran en el Anexo 55. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de dos tipos: Ignimbritas y Andesitas (U2, U1). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado era: Riolita (Tr) y Ignimbrita (Tig).

En los estudios preliminares se identificaron 7 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron con 8 fallas geológicas y 5 diques de basalto, mismas que se muestran en el plano vista en planta en el Anexo 55. Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel.

Para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad de tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona

de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 55, se definieron 14 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos en la fase preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se consideró lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico y poliestireno en zonas huecas del terreno natural.

Túnel Pánuco II

En el Anexo 56, se muestran el perfil topográfico del túnel Panuco II, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, así como la cobertura máxima del túnel, mismo que en el eje de trazo fue de 35.0 m. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 62.67 m que incluye los túneles falsos de ambos portales que tienen una longitud de 13.34 m en el portal de entrada (lado Durango) y 8 m en el portal de salida (Mazatán), además una ventana intermedia (túnel falso) que une a este túnel con el Túnel Panuco I. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 150 m; no se presentó informe de los sondeos realizados en la etapa preliminar (AMITOS, 2014).

En el Anexo 57, se muestra el perfil longitudinal del túnel Panuco II, para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Andesita (An). Al realizar la excavación del túnel se encontró que el material que se estaba excavando era una Ignimbrita Riolítica (Tigr).

En los estudios preliminares se identificaron 7 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 2 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 57.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3) que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada se definieron 9 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad, no se reportó información de sondeos hechos durante la parte preliminar.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se tenía pensado emplear lo siguiente: Drenes de tubo, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con concreto hidráulico. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclaje de fricción (Enfilaje Ligero), Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico.

Túnel Real del Pánuco

El perfil topográfico del túnel Real del Pánuco, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado y la cobertura máxima del túnel, misma que en el eje de trazo fue de 52.0 m, se muestra en el Anexo 58. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 129.81 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, que tienen una longitud de 11.52 m en el portal de entrada y 18.29 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación no estaba disponible; no hubo información del número de sondeos realizados (AMITOS, 2014).

El perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel Real del Pánuco se muestran en el Anexo 59. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de dos tipos: Ignimbritas y Andesitas (U2, U1). Al realizar la excavación del túnel, se encontró que el material excavado era: Riolita (Tr) y Ignimbrita (Tig).

En los estudios preliminares se identificaron 6 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron con 8 fallas geológicas y 5 diques de basalto, mismas que se muestran en el plano vista en planta en el Anexo 59.

Además, se muestra que en el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían consideradas 4 zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 59, se definieron 14 registros por cada Índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó el número de sondeos que se hicieron.

También, se muestran los reportes finales del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se usaría lo siguiente: Concreto lanzado, Anclas de fricción y Marcos metálicos. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción tipo “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico en sitios necesarios.

Túnel El Cantil

El perfil topográfico del túnel El Cantil, los cadenamientos de los portales de entrada y salida, además del túnel excavado y la cobertura máxima del túnel, misma que en el eje de trazo fue de 39.0 m, se muestra en el Anexo 60. Este túnel cuenta con dos carriles de circulación. La longitud total del túnel fue de 245.0 m que incluye los túneles falsos de ambos portales, con longitud de 11.52 m en el portal de entrada y 18.29 m en el portal de salida. La longitud de perforación en roca indicada en la licitación fue de 120 m; faltó reporte del número de sondeos efectuados en la fase preliminar (AMITOS, 2014).

El perfil geotécnico y el perfil longitudinal del túnel El Cantil se muestran en el Anexo 61. Para el proyecto de geología del túnel, se tenía contemplado que, a lo largo del trazo del túnel, el material que sería excavado fuera de un solo tipo: Andesita (An). Al realizar la

excavación del túnel, se encontró que el material que se estaba excavando era el mismo que se había proyectado. En los estudios preliminares se identificaron 16 fracturas, y al momento de la excavación se encontraron 2 fallas geológicas, mismas que se muestran en el plano en planta en el Anexo 61.

Además, se muestra el perfil geotécnico del túnel, para el proyecto se tenían 3 zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3), que contemplaban la calidad del tipo de material de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q que se encontrarían en la zona de estudio, así como la Unidad Geotécnica y la Condición Geotécnica, que se presentarían a lo largo del eje de trazo del túnel.

De acuerdo a la información proporcionada, en el Anexo 61, se definieron 38 registros por cada índice RQD, RMR y Q que representan avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presentó algún cambio litológico; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad; no se reportó número de sondeos realizados.

También, se muestran los reportes finales del sostenimiento que se empleó en el túnel. Para el proyecto se planteó usar las siguientes soluciones: Drenes de tubo, Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos y Anclaje local en bóveda. Sin embargo, las soluciones empleadas durante el proceso constructivo del túnel fueron: Anclas de fricción en “Jaula de Ardilla”, Concreto lanzado, Anclas de fricción, Marcos metálicos, Anclaje local en bóveda y Colado de marcos metálicos con relleno de concreto hidráulico y utilización de poliestireno en los huecos entre el marco y el terreno natural.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS 31 TÚNELES

La observación y análisis realizados a los planos (As-Built), permitió conocer la información relacionada a los planos de excavación, observaciones y rendimientos, así como los planos topográficos donde se obtuvo la información geométrica de los túneles, mismos que corresponden a la Autopista Durango - Mazatlán, y están ubicados en el estado de Sinaloa. De esta manera, la información proporcionada ayudó a determinar un total de 40 características distintivas de los túneles de interés para este estudio. Los túneles que presentaron mayor registro e información son: El Guineo, El Carrizo II, La Quemada II, Las Labores y Chirimollos; por el contrario, el túnel que presenta menor información es El Cantil.

A continuación, se realizará una descripción detallada de las características y aspectos más relevantes que se encontraron luego del análisis realizado a los 31 planos “As-Built”; si se requiere una mayor información, será necesario consultar el Anexo 62.

Los tipos de túneles que se encontraron en el análisis de los planos “As - Built”, se muestran en la Figura 5.1. En el primer caso, incluye los túneles falsos en ambos portales y el túnel excavado, en el segundo tipo de túnel, se encuentra una ventana intermedia entre los dos túneles excavados y sus respectivos túneles falsos en ambos portales. Durante el levantamiento topográfico a detalle que se realizó por parte de la SCT, en cinco túneles se observó que, existían pendientes abruptas en la zona central y que disminuía considerablemente su cobertura vertical, o posiblemente la cobertura lateral era muy pequeña, por encontrarse muy cerca de cantiles de roca. En estos casos, los proyectistas solucionaron la falta de cobertura con la excavación de ventanas a cielo abierto. El proyecto incluía la construcción de un túnel falso intermedio para ligar con los dos túneles excavados en roca, ambos lados de los túneles, estos se dividieron en Túnel 1 y Túnel 2, estos túneles son: Los Morillos, El Carrizo II, La Piedra, La Laguna III, Las Labores. La ventana intermedia más grande es la de Los Morillos con una longitud de 92 m, y la más corta es la de La Laguna III con 24 m.

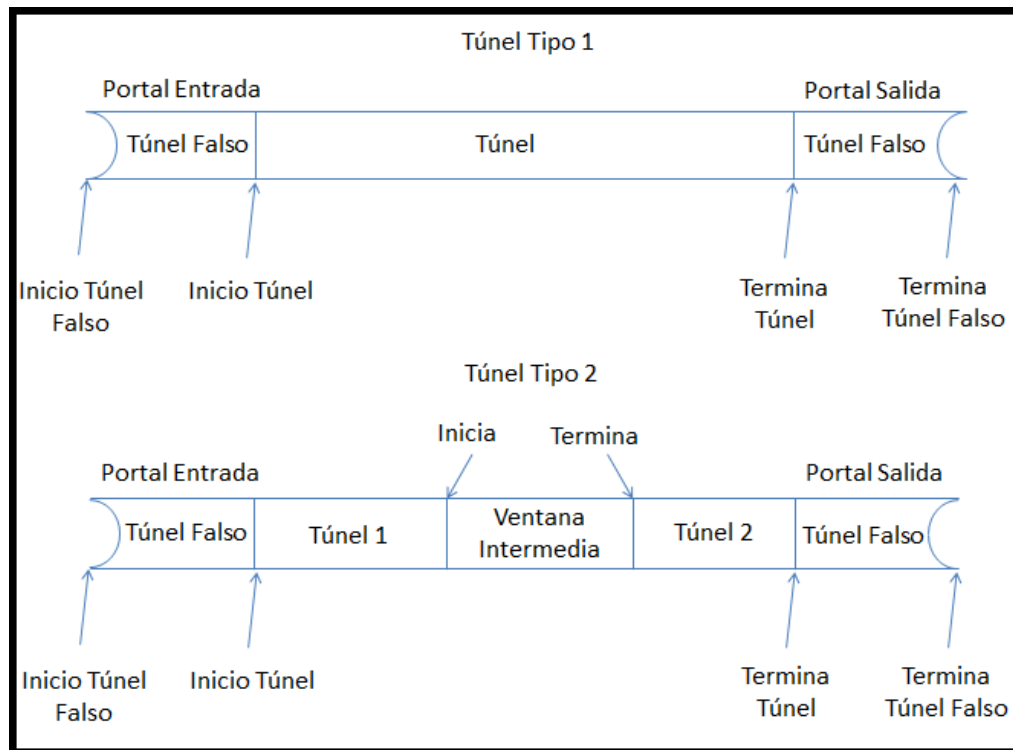


Figura 5.1.- Tipos de Túneles encontrados en la zona en estudio.

La longitud total de un túnel se puede dividir en longitudes de los túneles falsos, longitud excavada, y longitud de la ventana intermedia. En los túneles falsos, el más largo es El Carrizo II con 128.5 m de longitud; el más corto, es Los Otates con 5 m. La longitud excavada, más larga, fue la del túnel El Varal con 727 metros excavados, siendo el más largo en nuestro estudio; y el de menor longitud excavada es el Panuco II con una longitud excavada de 41.33 metros. El túnel con la ventana intermedia más larga es Los Morillos, con una longitud de 92 m; y el más corto con 24 m, es, La Laguna III.

5.2.- LONGITUD DE EXCAVACIÓN

Al analizar la información de los túneles, se encontró con dos tipos de aspectos relacionados a los túneles: el túnel con una longitud total (incluyen los portales de entrada y salida, con la excavación del túnel) y el túnel excavado (excavación que se realiza sin incluir los portales de entrada y salida, entendidos como túneles falsos).

Para el estudio, fue necesario analizar las diferencias entre la longitud total y la longitud excavada. En este sentido, se obtuvo el porcentaje de excavación correspondiente a los 31

túneles (mostrándose los detalles en la Tabla 5.1, donde se aprecia los tramos de carretera donde se encuentran, así como en 5 túneles, donde se tienen dos distancias en longitud excavada, esto es porque existe dos túneles, que están unidos por una ventana intermedia. El porcentaje indica lo excavado contra la longitud total del mismo. Encontrándose que hay variaciones en cuanto a este porcentaje de excavación, el mayor es de 88% (Túnel El Varal); y el menor es de 48 % de excavación (Túnel El Guamúchil). Sin embargo, no es posible manejar la longitud total excavada del túnel, ya que existe una variación entre la longitud de los túneles excavados y de los túneles falsos.

Tabla 5.1.- Porcentajes de excavación de los 31 túneles en estudio.

	No.	Túnel	Longitud Total	Longitud Excavado		% Excavación
Tramo II	1	El Carrizo I	132.80	101		76.05
	2	EL carrizo II	438.50	129	93	50.63
	3	El Carrizo III	452.22	399		88.23
	4	El Guineo	223.00	167		74.89
	5	El Varal	823.77	727		88.25
	6	El Guamúchil	205.00	99		48.29
	7	La Laguna I	222.00	170		76.58
	8	La Laguna II	250.00	176		70.40
	9	La Laguna III	343.00	99	181.5	81.78
	10	La Piedra	290	52.75	129.5	62.84
	11	La Quemada II	143	105		73.43
	12	La Quemada	126	85.25		67.66
	13	Las Labores	312.75	67.60	165.75	74.61
	14	Los Morillos	388	154.5	73.5	58.76
	15	Los Otates	107.5	85		79.07
Tramo III	16	Cerro La Reforma	183.26	125		68.21
	17	Cerro Santa Lucia	146.2	113		77.29
	18	Chirimollos	228.14	200		87.67
	19	Corte Alto	214.59	115		53.59
	20	La Mina	209.04	155		74.15
	21	Las Mesas	233.95	186		79.50
	22	Las Palomas	320.95	177		55.15
	23	Nacaral	226.81	141		62.17
	24	Panuco I	162	87		53.70
	25	Panuco II	62.67	41.33		65.95
	26	Real de Panuco	129.81	100		77.04
	27	Roblar de la Cueva	119	75		63.03
	28	Santa Lucia I	204	164.27		80.52
	29	Santa Lucia II	135	90		66.67
	30	Trópico de Cáncer	182	138		75.82
Tramo IV	31	El Cantil	245	205		83.67

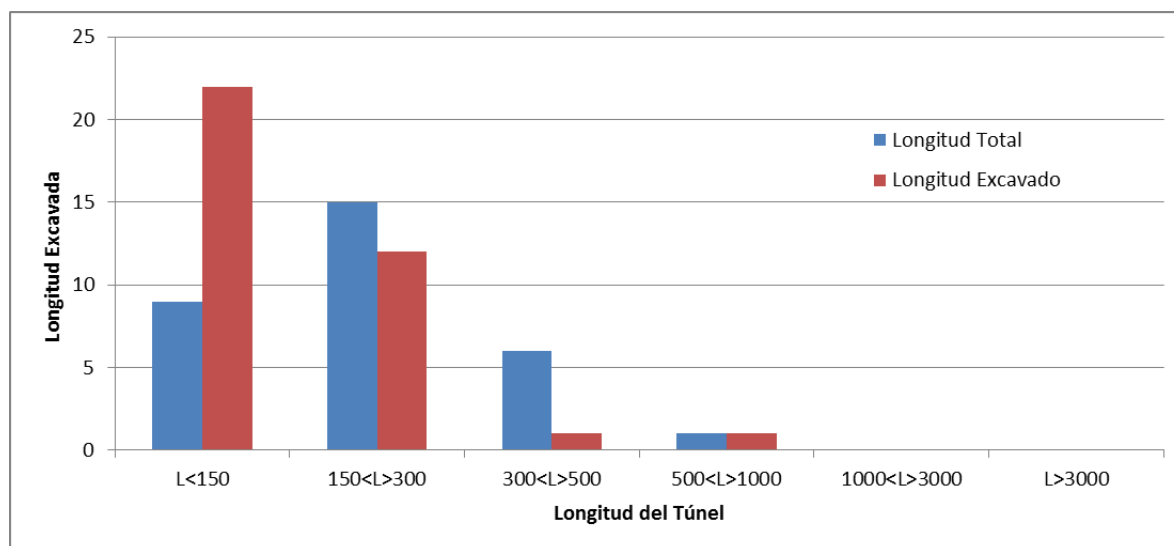
Para analizar más detalladamente, se procedió a dividir los túneles por su longitud; y, se manejaron 6 categorías que se muestran en la Tabla 5.2. Se encontraron diferencias entre la longitud total de los 31 Túneles y la excavada con 36 Túneles, esta diferencia se debe a que algunos túneles tienen ventanas intermedias, lo que hace que incremente el número de túneles. En este sentido, se encontró una mayor diferencia en los túneles menores de 150 metros ya que, de tener 9 túneles de longitud total, se identificaron 22 túneles excavados. Estas diferencias localizadas, nos indican que los túneles excavados son de menor tamaño en comparación con la longitud total del túnel. En conclusión, se debe tomar en consideración el túnel excavado y los portales del mismo, ya que es en estas zonas donde se presentan problemas como fallas geológicas, problemas con plegamientos, discontinuidades etc., además de agua en la masa de roca. Asimismo, se deben tener presente los túneles falsos, ya que son los que brindan protección al usuario.

Para este caso, tenemos como ejemplo el Túnel El Guamúchil, en el cual solamente se tiene excavado un 48% de 205 m. Por ende, esto incentiva a realizar estudios en zonas menos problemáticas y dejar otras zonas sin posibilidad de que se necesiten estudios especializados.

Tabla 5.2.-Comparación entre Longitud (L) Total y Excavada.

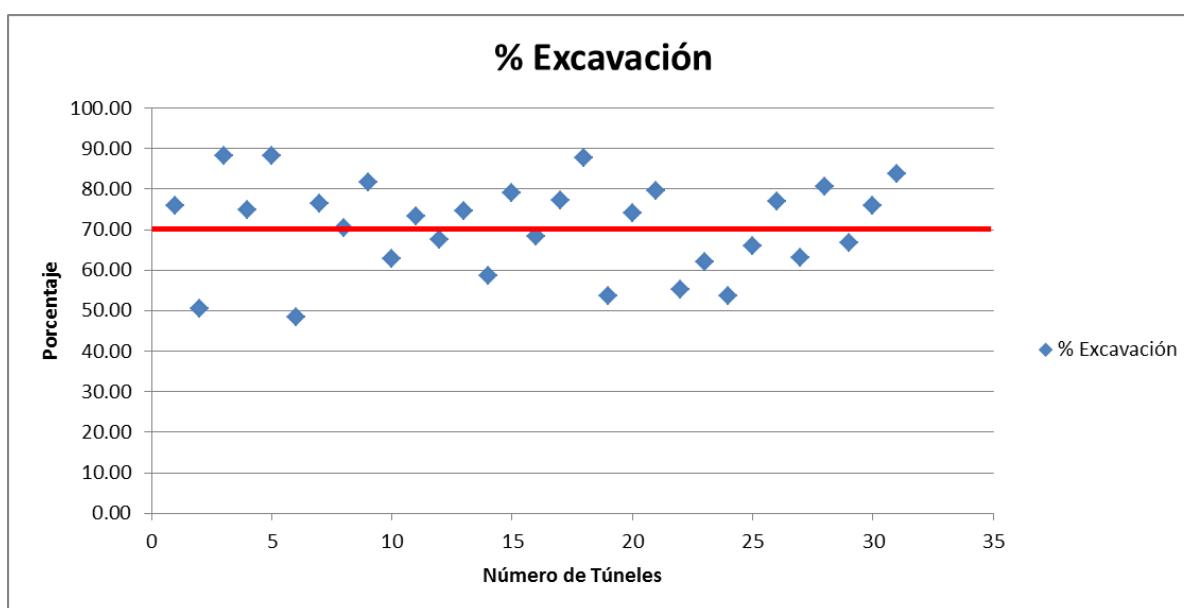
Longitud Total		Longitud Excavado	
L<150	9	L<150	22
150<L>300	15.00	150<L>300	12.00
300<L>500	6.00	300<L>500	1.00
500<L>1000	1.00	500<L>1000	1.00
1000<L>3000	0.00	1000<L>3000	0.00
L>3000	0	L>3000	0

En la Gráfica 5.1, se hace la comparación entre los túneles de la longitud total y los de longitud excavada, conociendo la diferencia entre los túneles menores de 150 m.



Gráfica 5.1.- Histograma correspondiente a 31 túneles de longitud total y 36 túneles de longitud excavada.

La Gráfica 5.2 muestra los datos de porcentaje de excavación; además, ilustra la interpretación de la media muestral de 70%, debido a que ésta se presenta en la parte media de los datos, donde se concentran las observaciones. En este aspecto, se presenta que aproximadamente el 30% de la longitud correspondería a los túneles falsos; y el 70% al túnel excavado.



Gráfica 5.2.- Media muestral de porcentaje de excavación de los 31 Túneles.

5.3.- PERFIL TOPOGRÁFICO “TIPO”

Para hacer una ejemplificación de los datos, se optó por tomar 7 túneles que representaran nuestra población (31 túneles). Para esto, se tomó en cuenta el número mínimo de elementos de una muestra que está dada por la regla de Sturges (Ecuación 5.1).

$$c = 1 + 3.322 * \text{Log}N \quad (5.1)$$

donde el valor de c es el número de clases; y N la cantidad de datos.

Para tomar una muestra representativa de una población, dado que el número total de túneles es 31, concluimos que una muestra de 7 túneles representa de forma satisfactoria nuestra población.

Estos 7 túneles que se analizaron, presentaron problemáticas durante su etapa de construcción, las cuales fueron analizadas y resueltas con éxito los cuales son los siguientes: El Guineo, El Varal, Las Labores, Trópico de Cáncer, Corte Alto, Pánuco y Pánuco II.

Para la realización del análisis del perfil topográfico, se tomó como referente la altura de la cobertura natural de los túneles con respecto al eje de trazo, que fueron tomadas en cada 5 metros de distancia (Tabla 5.3 y en el Anexo 63 se encuentra la distancia de los demás túneles). Esta distancia fue establecida debido a que no existía un gran cambio en la topografía. Después de haber obtenido el perfil de cada túnel, se calculó el promedio general con el fin de obtener un perfil topográfico “tipo” de los 30 túneles. Es importante mencionar que el túnel El Varal no cuenta con un perfil topográfico, ya que en los planos proporcionados para este estudio no se encontró dicha información. De igual manera, se tienen los casos de túneles A y B, ya que estos cuentan con una ventana intermedia.

Después de obtener el promedio de cada distancia, se obtuvo un perfil tipo que representaría la cobertura donde atravesaría nuestro túnel. De esta manera, interpretamos estos datos de una forma que permitan manejarlos con facilidad. Algunos datos se presentan pobremente mediante una línea recta. Para nuestro caso, es recomendable realizar una curva para analizarlos, por lo que nuestra alternativa es ajustar a polinomios, utilizando regresión polinómica.

Tabla 5.3.-Distancias y coberturas de los perfiles topográficos de 6 túneles.

	Pánuco II	Las Labores-A	Pánuco	Trópico de Cáncer	El Guineo
Distancia	Altura	Altura	Altura	Altura	Altura
0	22.922	18.549	45.963	34.426	22.416
5	25.931	20.913	50.277	33.782	24.249
10	28.19	23.173	53.025	34.808	25.23
15	30.418	25.332	55.792	36.651	26.091
20	32.616	27.695	58.533	38.494	27.048
25	33.61	30.009	61.189	40.319	28.849
30	33.363	31.103	60.108	41.24	30.874
35	34.374	32.278	58.767	42.109	32.796
40	35.145	32.359	57.246	42.664	34.534
45	35.771	32.197	55.927	43.611	34.725
50	30.417	30.82	51.911	42.927	35.044
55	25.216	29.204	47.56	42.373	35.315
60	19.63	29.001	43.254	41.873	35.666
65		28.92	39.05	41.346	38.169
70			35.221	39.872	40.394
75			31.568	38.261	42.898
80			27.732	36.84	45.133
85			24.031	35.313	43.929
90				34.172	42.946
95				32.908	41.963
100				31.671	41.041
105				30.455	40.169
110				28.323	39.218
115				26.296	38.172
120				24.084	37.252
125				23.288	36.344
130				22.261	35.251
135				19.523	33.856
140					33.174
145					32.619
150					33.031
155					33.824
160					34.869
165					34.283

Como se observa en la Gráfica 5.3, el comportamiento de los datos se encuentra lejos de ser lineal, por lo que se propone un polinomio de cuarto orden. La ecuación de cuarto grado que representa el conjunto de datos, es mostrada en la Ecuación 5.2.

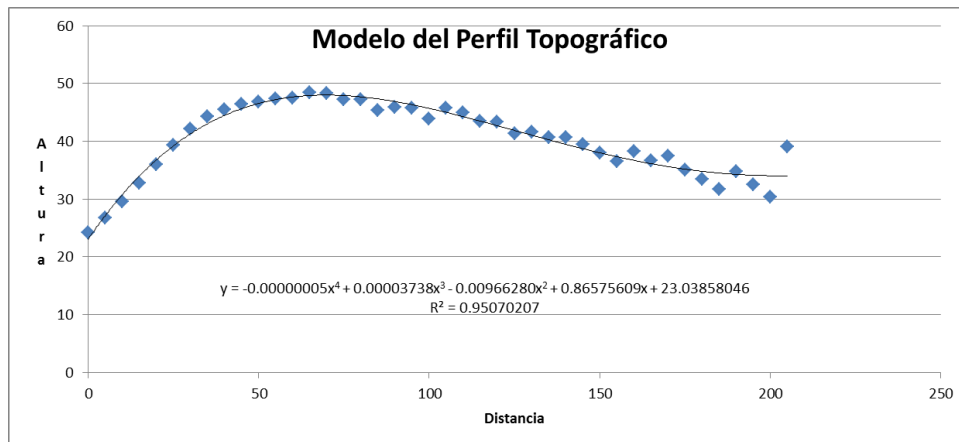
$$y = -0.00000005x^4 + 0.00003738x^3 - 0.00966280x^2 + 0.86575609x + 23.03858046 \quad (5.2)$$

Al aplicar la Ecuación 5.2, se obtiene el coeficiente de correlación (R^2):

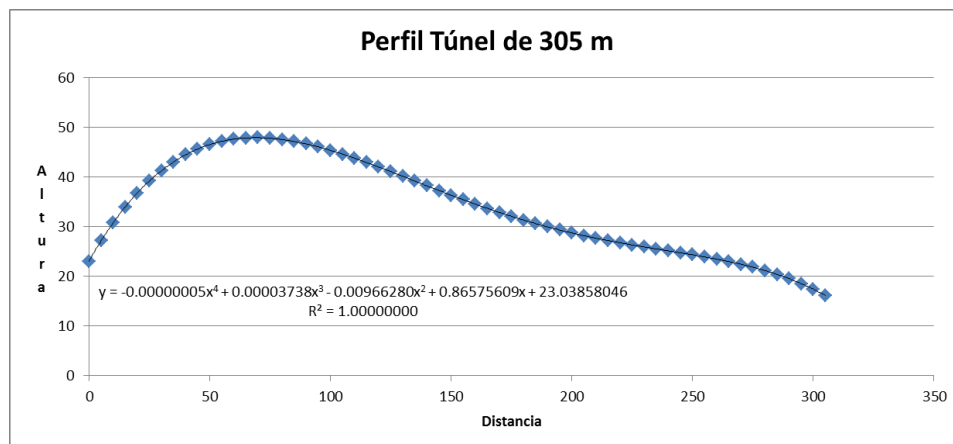
$$R^2 = 0.95070207$$

El valor del coeficiente de correlación indica un buen ajuste, ya que es lo suficientemente cercano a 1, por lo que se procede a modelar usando la ecuación 5.2. En la Gráfica 5.4, se muestra el modelo que se obtiene. Para nuestro caso, usamos una distancia de cada 5 m,

llevando a crear una cobertura natural para el túnel de 305 m; después de esta distancia, la tendencia se vuelve negativa. Para hacer un modelo más largo de cobertura natural, se necesitaría que existiera información de túneles que sobrepasen los 200 m de longitud.



Gráfica 5.3.- Modelo del perfil topográfico tipo.



Gráfica 5.4.- Modelo del perfil topográfico tipo, usando el polinomio de cuarto orden.

Para comprobar que el modelo cumpliera con el objetivo planteado, que es el de proporcionar los metros de perforación necesarios para la exploración directa, se llevó a cabo el análisis de los túneles para corroborar que el modelo cumpliera con dichos requerimientos. Para esto, se procedió a comparar nuestro modelo de cada túnel con la distancia establecida de 5 m, esto es si se perforara a cada 5 m. A continuación, se muestran los resultados de dicha comparación (Tabla 5.4) (en el Anexo 64 se muestran los resultados de la comparación de los 30 túneles).

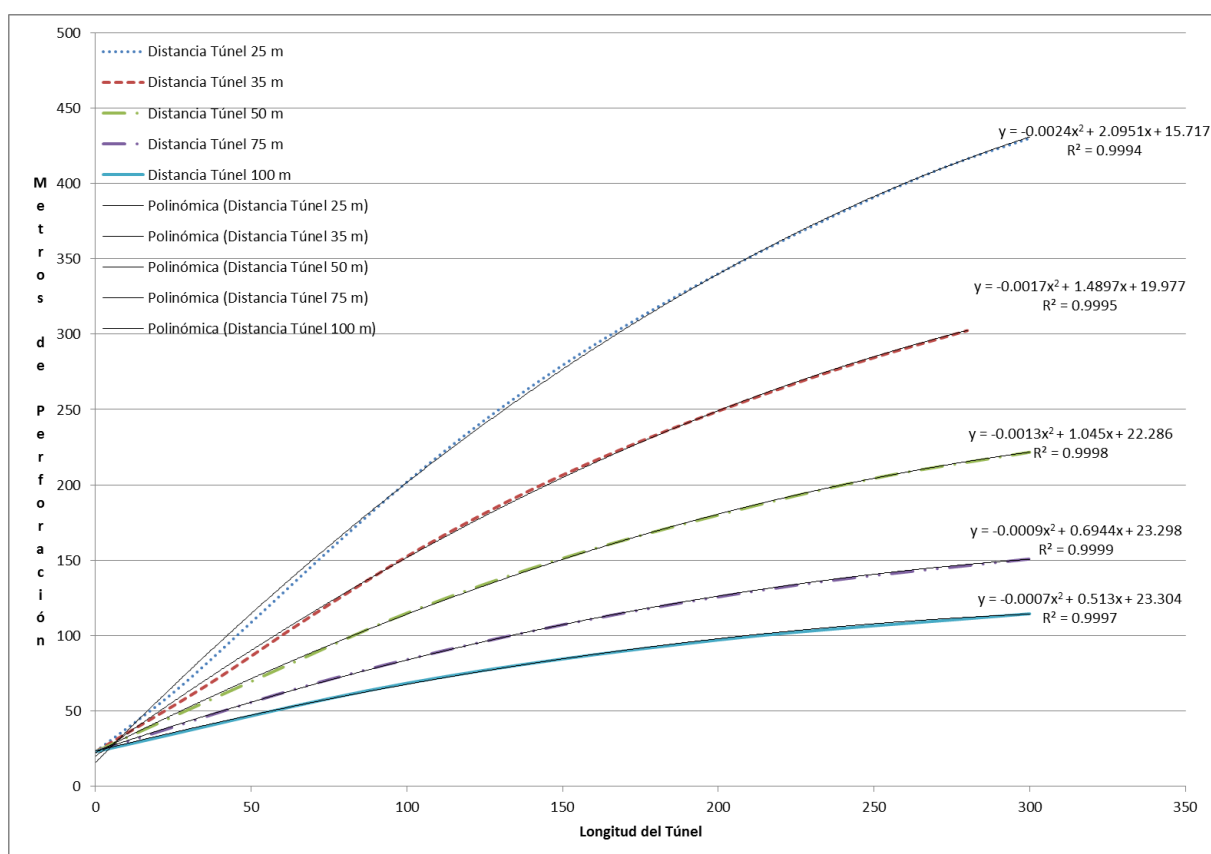
En los resultados obtenidos de la comparación, se encontraron que en 20 casos el valor era mayor (sobrepasa el modelo); y 13 casos donde el valor era menor (menor que, el modelo). Para el valor mayor, el máximo error que se encontró fue de 101% (Santa Lucia I, Longitud = 165 m); y el menor de 3% (Guamúchil, Longitud = 100 m). Para el valor menor, el máximo error fue de 37% (Carrizo III, Longitud = 205 m); y el menor de 3.2 % (Las Mesas, Longitud = 185 m).

Tabla 5.4.- Comparación de modelo tipo vs perfil topográfico.

Distancia	Pánuco II		Las Labores-A		Pánuco		Corte Alto		Trópico de Cáncer		El Guineo	
	Altura en		Altura en		Altura en		Altura en		Altura en		Altura en	
	Campo	Modelo	Campo	Modelo	Campo	Modelo	Campo	Modelo	Campo	Modelo	Campo	Modelo
0	22.92	23.04	18.55	23.04	45.96	23.04	34.17	23.04	34.43	23.04	22.42	23.04
5	25.93	27.13	20.91	27.13	50.28	27.13	29.92	27.13	33.78	27.13	24.25	27.13
10	28.19	30.77	23.17	30.77	53.03	30.77	25.79	30.77	34.81	30.77	25.23	30.77
15	30.42	33.97	25.33	33.97	55.79	33.97	31.87	33.97	36.65	33.97	26.09	33.97
20	32.62	36.78	27.70	36.78	58.53	36.78	37.87	36.78	38.49	36.78	27.05	36.78
25	33.61	39.21	30.01	39.21	61.19	39.21	44.43	39.21	40.32	39.21	28.85	39.21
30	33.36	41.28	31.10	41.28	60.11	41.28	52.93	41.28	41.24	41.28	30.87	41.28
35	34.37	43.03	32.28	43.03	58.77	43.03	54.14	43.03	42.11	43.03	32.80	43.03
40	35.15	44.47	32.36	44.47	57.25	44.47	54.29	44.47	42.66	44.47	34.53	44.47
45	35.77	45.63	32.20	45.63	55.93	45.63	51.27	45.63	43.61	45.63	34.73	45.63
50	30.42	46.53	30.82	46.53	51.91	46.53	48.64	46.53	42.93	46.53	35.04	46.53
55	25.22	47.19	29.20	47.19	47.56	47.19	45.01	47.19	42.37	47.19	35.32	47.19
60	19.63	47.62	29.00	47.62	43.25	47.62	41.37	47.62	41.87	47.62	35.67	47.62
65	Suma de Altura		28.92	47.86	39.05	47.86	37.74	47.86	41.35	47.86	38.17	47.86
70	387.60	506.66	Suma de Altura		35.22	47.91	34.16	47.91	39.87	47.91	40.39	47.91
75	Porcentaje de error		391.55	554.52	31.57	47.80	31.99	47.80	38.26	47.80	42.90	47.80
80	30.72		Porcentaje de error		27.73	47.55	30.01	47.55	36.84	47.55	45.13	47.55
85			41.62		24.03	47.16	27.89	47.16	35.31	47.16	43.93	47.16
90					Suma de Altura		25.82	46.66	34.17	46.66	42.95	46.66
95					857.15	744.94	22.49	46.05	32.91	46.05	41.96	46.05
100					Porcentaje de error		19.16	45.37	31.67	45.37	41.04	45.37
105					-13.09		16.57	44.61	30.46	44.61	40.17	44.61
110							14.10	43.78	28.32	43.78	39.22	43.78
115							10.874	42.91528	26.296	42.91528	38.17	42.92
120							Suma de Altura		24.084	42.00963	37.25	42.01
125							822.522	1014.327	23.288	41.07762	36.34	41.08
130							Porcentaje de error		22.261	40.12891	35.25	40.13
135							23.32		19.523	39.17241	33.86	39.17
140									Suma de Altura		33.17	38.22
145									979.89	1176.715	32.62	37.27
150									Porcentaje de error		33.03	36.33
155									20.09		33.82	35.42
160											34.87	34.53
165											34.28	33.67
170											Suma de Altura	
175											1191.372	1392.16
180											Porcentaje de error	
185											16.85	

5.4.-METROS DE PERFORACIÓN

Para los metros de perforación se estableció que los espaciamientos de las perforaciones fueran a cada 25, 35, 50, 75 y 100 m, de acuerdo con las recomendaciones de espaciamiento entre sondeos de los diferentes autores consultados. Usando la Ecuación 5.2, se realizó la Gráfica 5.5, en donde se hizo el ajuste por regresión polinómica, mostrando las ecuaciones de segundo grado obtenidas para espaciamiento. Con estas ecuaciones, podemos determinar cuántos metros de perforaciones son necesarios para un determinado espaciamiento.



Gráfica 5.5.- Ajuste por regresión polinómica.

Para un espaciamiento de 25 m, se muestra la ecuación de segundo orden (Ecuación 5.3) que representa el conjunto de datos. El valor del coeficiente de correlación (R^2) indica un buen ajuste, ya que es lo más cercano a 1.

$$y = -0.0024x^2 + 2.0951x + 15.717 \quad (5.3)$$

$$R^2 = 0.9994$$

Para un espaciamiento de 35 m, se muestra la ecuación de segundo orden (Ecuación 5.4), que representa el conjunto de datos. El valor del coeficiente de correlación (R^2) indica un buen ajuste, ya que es lo más cercano a 1.

$$y = -0.0017x^2 + 1.4897x + 19.977 \quad (5.4)$$

$$R^2 = 0.9995$$

Para un espaciamiento de 50 m, se muestra la ecuación de segundo orden (Ecuación 5.5), que representa el conjunto de datos. El valor del coeficiente de correlación (R^2) indica un buen ajuste, ya que es lo más cercano a 1.

$$y = -0.0013x^2 + 1.045x + 22.286 \quad (5.5)$$

$$R^2 = 0.9998$$

Para un espaciamiento de 75 m, se muestra la ecuación de segundo orden (Ecuación 5.6), que representa el conjunto de datos. El valor del coeficiente de correlación (R^2) indica un buen ajuste, ya que es lo más cercano a 1.

$$y = -0.0009x^2 + 0.6944x + 23.298 \quad (5.6)$$

$$R^2 = 0.9999$$

Para un espaciamiento de 100 m, se muestra la ecuación de segundo orden (Ecuación 5.7), que representa el conjunto de datos. El valor del coeficiente de correlación (R^2) indica un buen ajuste, ya que es lo más cercano a 1.

$$y = -0.0007x^2 + 0.513x + 23.304 \quad (5.7)$$

$$R^2 = 0.9997$$

Estas ecuaciones fueron usadas para hacer las Tablas 5.5 a 5.7, que nos indican cuál es la ecuación que se debe usar para tres casos particulares. Estos casos dependen de las perforaciones que se realicen, para túneles de 100, 150 y 200 m de longitud. En algunos casos se utilizó un solo modelo y en otros dos. Para esto, se hicieron varias propuestas, con el fin de que los metros de perforación sean más cercanos a lo real. Para nuestro estudio, tratamos de obtener dos soluciones: los metros necesarios de perforación donde se tenga el

menor error; y donde los metros de perforaciones fueran de la longitud menor con un error mínimo. Dichas propuestas se realizaron debido al alto costo de las perforaciones.

Las siguientes tres propuestas son usadas para la solución, en donde se busca el menor número de metros de perforación y el menor error posible.

Para el caso de Túneles de hasta 100 m, se tiene la propuesta de realizar 2, 3 y 4 perforaciones. Para el caso de 2 perforaciones, se obtuvo un solo modelo. Para el caso de 3 perforaciones, resultaron 5 opciones de modelo, en el que se hace una adición de otro modelo para obtener un mejor valor. En estos casos, en el primer modelo, el valor debe ser fijo, se resta a la longitud del túnel y se aplica para el siguiente modelo. Al tener estos dos valores, se hace una suma de cada modelo para obtener un promedio de las 5 opciones. Para el modelo de 4 perforaciones, se tiene dos opciones de modelo. Estos dos modelos se aplican igual que lo anterior (Tabla 5.5).

Tabla 5.5.- Modelos para Túneles de 100 m.

Túneles hasta 100 m			Longitud del Túnel											
N° Perforaciones	Modelo	Longitud	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
2	100	Total	23.3	28.4	33.3	38.1	42.7	47.2	51.6	55.8	59.9	63.8	67.6	
3	25	0	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	
	75	Diferencia	23.3	30.2	36.8	43.3	49.6	55.8	61.7	67.5	73.1	78.5	83.7	
	Total		39.0	45.9	52.5	59.0	65.4	71.5	77.4	83.2	88.8	94.2	99.5	
	25	8	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	
	100	Diferencia	19.2	24.3	29.4	34.3	39.0	43.6	48.1	52.4	56.6	60.7	64.6	
	Total		51.5	56.7	61.7	66.6	71.3	75.9	80.4	84.7	88.9	93.0	96.9	
	35	8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	
	100	Diferencia	19.2	24.3	29.4	34.3	39.0	43.6	48.1	52.4	56.6	60.7	64.6	
	Total		50.9	56.1	61.1	66.0	70.8	75.4	79.9	84.2	88.4	92.4	96.4	
	50	10	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	
	100	Diferencia	18.1	23.3	28.4	33.3	38.1	42.7	47.2	51.6	55.8	59.9	63.8	
	Total		50.7	55.9	61.0	65.9	70.7	75.3	79.8	84.2	88.4	92.5	96.4	
	75	19	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	
	100	Diferencia	13.3	18.6	23.8	28.9	33.8	38.5	43.2	47.6	52.0	56.2	60.3	
	Total		49.5	54.8	60.0	65.0	69.9	74.7	79.3	83.8	88.2	92.4	96.4	
Promedio		48.3	53.9	59.3	64.5	69.6	74.6	79.4	84.0	88.5	92.9	97.1		
4	35	25	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	
	50	Diferencia	-4.7	6.3	17.0	27.5	37.7	47.6	57.3	66.7	75.8	84.7	93.3	
	Total		51.5	62.5	73.2	83.6	93.8	103.8	113.4	122.8	132.0	140.9	149.5	
	35	52	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	
	100	Diferencia	-5.3	0.5	6.2	11.7	17.0	22.3	27.4	32.3	37.1	41.8	46.3	
	Total		87.6	93.4	99.0	104.5	109.9	115.1	120.2	125.2	130.0	134.6	139.2	
	Promedio		69.5	77.9	86.1	94.1	101.9	109.4	116.8	124.0	131.0	137.8	144.3	

Para el caso de Túneles de hasta 150 m, se tiene la propuesta de realizar 3, 4 y 5 perforaciones. Para el caso de 3 perforaciones, se obtuvieron 3 opciones de modelo, donde se hace una adición de otro modelo para obtener un mejor valor. En estos casos, en el primer modelo, el valor debe ser fijo, se resta a la longitud del túnel y se aplica para el siguiente modelo. Al tener estos dos valores, se hace una suma de cada modelo para obtener un promedio de las 3 opciones. Para el modelo de 4 perforaciones, se tienen 3 opciones de modelo. Estos dos modelos se aplican igual que lo anterior. Para 5 perforaciones, se tienen 2 opciones y se realiza lo mismo que en los modelos anteriores (Tabla 5.6).

Tabla 5.6.- Modelos para Túneles de 150 m.

Túneles hasta 150 m			Longitud del Túnel															
N° Perforaciones	Modelo	Valor	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
3	25	5	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
	75	Diferencia	19.8	26.7	33.5	40.1	46.5	52.7	58.8	64.6	70.3	75.8	81.1	86.3	91.3	96.0	100.6	105.1
	Total		45.9	52.9	59.6	66.2	72.6	78.9	84.9	90.8	96.4	102.0	107.3	112.4	117.4	122.2	126.8	131.2
	50	30	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
	100	Diferencia	7.3	12.8	18.1	23.3	28.4	33.3	38.1	42.7	47.2	51.6	55.8	59.9	63.8	67.6	71.3	74.8
	Total		59.8	65.2	70.6	75.8	80.8	85.8	90.5	95.2	99.7	104.0	108.3	112.3	116.3	120.1	123.7	127.3
	75	95	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
	100	Diferencia	-31.7	-25.4	-19.1	-13.0	-7.0	-1.2	4.5	10.0	15.5	20.7	25.9	30.8	35.7	40.4	45.0	49.4
	Total		49.4	55.8	62.0	68.1	74.1	79.9	85.6	91.2	96.6	101.9	107.0	112.0	116.8	121.5	126.1	130.5
	Promedio		51.7	58.0	64.1	70.0	75.9	81.5	87.0	92.4	97.6	102.6	107.5	112.2	116.8	121.3	125.5	129.7
4	25	15	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6	46.6
	50	Diferencia	6.3	17.0	27.5	37.7	47.6	57.3	66.7	75.8	84.7	93.3	101.7	109.8	117.7	125.3	132.6	139.7
	Total		52.9	63.6	74.1	84.3	94.2	103.9	113.3	122.4	131.3	140.0	148.3	156.4	164.3	171.9	179.2	186.3
	25	45	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1	105.1
	100	Diferencia	-1.2	4.5	10.0	15.5	20.7	25.9	30.8	35.7	40.4	45.0	49.4	53.7	57.8	61.9	65.7	69.5
	Total		103.9	109.6	115.2	120.6	125.9	131.0	136.0	140.8	145.5	150.1	154.5	158.8	163.0	167.0	170.9	174.6
	35	25	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2
	50	Diferencia	-4.7	6.3	17.0	27.5	37.7	47.6	57.3	66.7	75.8	84.7	93.3	101.7	109.8	117.7	125.3	132.6
	Total		51.5	62.5	73.2	83.6	93.8	103.8	113.4	122.8	132.0	140.9	149.5	157.9	166.0	173.8	181.4	188.8
	Promedio		69.5	78.6	87.5	96.2	104.6	112.9	120.9	128.7	136.3	143.6	150.8	157.7	164.4	170.9	177.2	183.2
5	25	75	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3	159.3
	75	Diferencia	-33.8	-25.6	-17.6	-9.8	-2.1	5.4	12.7	19.8	26.7	33.5	40.1	46.5	52.7	58.8	64.6	70.3
	Total		125.5	133.7	141.7	149.6	157.2	164.7	172.0	179.2	186.1	192.9	199.4	205.8	212.1	218.1	224.0	229.7
	25	81	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7	169.7
	100	Diferencia	-22.8	-16.6	-10.6	-4.7	1.1	6.7	12.2	17.6	22.8	27.9	32.8	37.6	42.2	46.8	51.1	55.4
	Total		146.8	153.0	159.1	165.0	170.8	176.4	181.9	187.3	192.5	197.5	202.5	207.3	211.9	216.4	220.8	225.0
	Promedio		136.2	143.4	150.4	157.3	164.0	170.6	177.0	183.2	189.3	195.2	201.0	206.6	212.0	217.3	222.4	227.4

Para el caso de Túneles de hasta 200 m, se tiene la propuesta de realizar 4, 5 y 6 perforaciones. Para el caso de 4 perforaciones se obtuvieron 3 opciones de modelo, donde se hace una adición de otro modelo para obtener un mejor valor. En estos casos, en el

primer modelo, el valor debe ser fijo, se resta a la longitud del túnel y se aplica para el siguiente modelo. Al tener estos dos valores, se hace una suma de cada modelo para obtener un promedio de las 3 opciones. Para el modelo de 5 perforaciones, se tienen 2 opciones de modelo. Estos dos modelos se aplican igual que lo anterior. Para 6 perforaciones se tienen 3 opciones y se realiza lo mismo que en los modelos anteriores (Tabla 5.7).

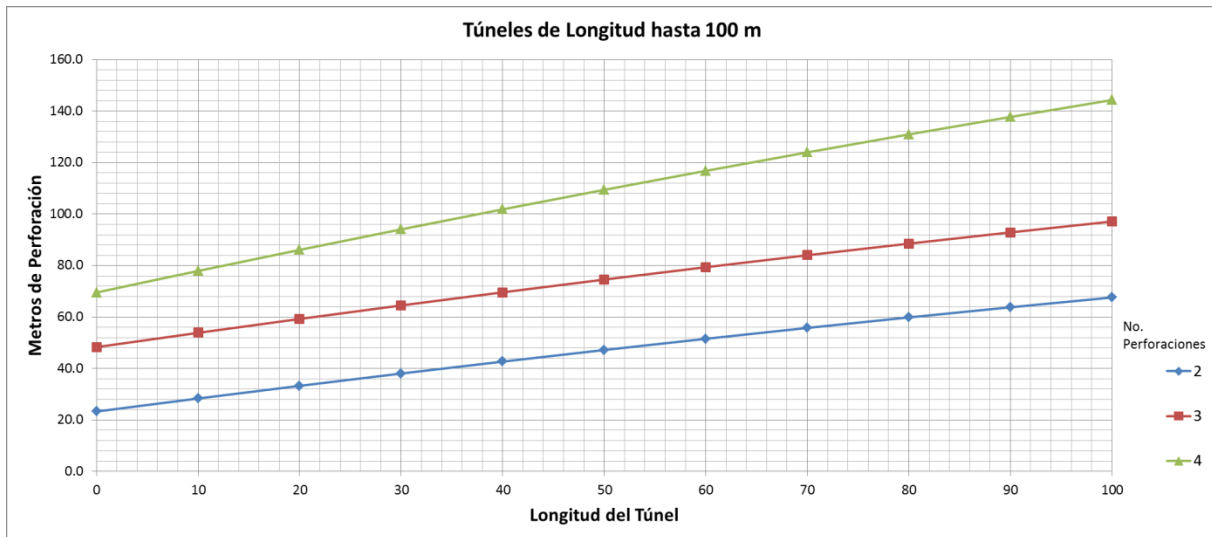
Tabla 5.7.- Modelos para Túneles de 200 m.

Túneles 200 m			Longitud del Túnel																				
N° Perforaciones	Modelo	Valor	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
4	35	20	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1
	75	Diferencia	9.1	16.3	23.3	30.2	36.8	43.3	49.6	55.8	61.7	67.5	73.1	78.5	83.7	88.8	93.7	98.4	102.9	107.2	111.4	115.3	119.1
	Total		58.1	65.4	72.4	79.2	85.9	92.4	98.7	104.9	110.8	116.6	122.2	127.6	132.8	137.9	142.8	147.5	152.0	156.3	160.5	164.4	168.2
	35	41	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2	78.2
	100	Diferencia	1.1	6.7	12.2	17.6	22.8	27.9	32.8	37.6	42.2	46.8	51.1	55.4	59.5	63.4	67.2	70.9	74.4	77.8	81.1	84.2	87.2
	Total		79.3	84.9	90.4	95.8	101.0	106.1	111.0	115.8	120.4	125.0	129.3	133.6	137.7	141.6	145.4	149.1	152.6	156.0	159.3	162.4	165.4
	50	65	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7
	100	Diferencia	-13.0	-7.0	-1.2	4.5	10.0	15.5	20.7	25.9	30.8	35.7	40.4	45.0	49.4	53.7	57.8	61.9	65.7	69.5	73.0	76.5	79.8
	Total		71.7	77.7	83.5	89.2	94.8	100.2	105.4	110.6	115.6	120.4	125.1	129.7	134.1	138.4	142.6	146.6	150.4	154.2	157.8	161.2	164.5
	Promedio		69.7	76.0	82.1	88.1	93.9	99.5	105.1	110.4	115.6	120.7	125.5	130.3	134.9	139.3	143.6	147.7	151.7	155.5	159.2	162.7	166.0
5	25	57	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3	127.3
	100	Diferencia	-8.2	-2.4	3.4	8.9	14.4	19.7	24.8	29.9	34.7	39.5	44.1	48.5	52.8	57.0	61.1	65.0	68.7	72.3	75.8	79.2	82.3
	Total		119.1	125.0	130.7	136.3	141.7	147.0	152.2	157.2	162.1	166.8	171.4	175.9	180.2	184.4	188.4	192.3	196.1	199.7	203.2	206.5	209.7
	35	20	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1
	50	Diferencia	0.9	11.7	22.3	32.6	42.7	52.5	62.0	71.3	80.3	89.1	97.6	105.8	113.8	121.5	129.0	136.2	143.1	149.8	156.2	162.4	168.3
	Total		50.0	60.8	71.4	81.7	91.8	101.6	111.1	120.4	129.4	138.2	146.7	154.9	162.9	170.6	178.1	185.3	192.2	198.9	205.3	211.5	217.4
	Promedio		84.5	92.9	101.0	109.0	116.7	124.3	131.6	138.8	145.7	152.5	159.0	165.4	171.5	177.5	183.2	188.8	194.1	199.3	204.2	209.0	213.5
6	25	20	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7
	35	Diferencia	-10.5	4.9	20.0	34.7	49.1	63.1	76.8	90.2	103.2	115.9	128.3	140.3	151.9	163.3	174.3	184.9	195.2	205.2	214.8	224.1	233.0
	Total		46.2	61.6	76.6	91.4	105.8	119.8	133.5	146.9	159.9	172.6	184.9	196.9	208.6	219.9	230.9	241.6	251.9	261.8	271.5	280.8	289.7
	25	68	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1	147.1
	50	Diferencia	-33.2	-21.6	-10.2	0.9	11.7	22.3	32.6	42.7	52.5	62.0	71.3	80.3	89.1	97.6	105.8	113.8	121.5	129.0	136.2	143.1	149.8
	Total		113.9	125.5	136.9	148.0	158.8	169.4	179.7	189.8	199.6	209.1	218.4	227.4	236.2	244.7	252.9	260.9	268.6	276.1	283.3	290.2	296.9
	25	95	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1	193.1
	75	Diferencia	-50.8	-42.2	-33.8	-25.6	-17.6	-9.8	-2.1	5.4	12.7	19.8	26.7	33.5	40.1	46.5	52.7	58.8	64.6	70.3	75.8	81.1	86.3
	Total		142.3	150.9	159.2	167.5	175.5	183.3	191.0	198.5	205.8	212.9	219.8	226.6	233.2	239.6	245.8	251.9	257.7	263.4	268.9	274.2	279.4
	25	105	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2	209.2
	100	Diferencia	-38.3	-31.7	-25.4	-19.1	-13.0	-7.0	-1.2	4.5	10.0	15.5	20.7	25.9	30.8	35.7	40.4	45.0	49.4	53.7	57.8	61.9	65.7
	Total		171.0	177.5	183.9	190.1	196.2	202.2	208.0	213.7	219.3	224.7	230.0	235.1	240.1	244.9	249.6	254.2	258.6	262.9	267.1	271.1	275.0
	Promedio		118.3	128.9	139.2	149.2	159.1	168.7	178.1	187.2	196.1	204.8	213.3	221.5	229.5	237.3	244.8	252.1	259.2	266.1	272.7	279.1	285.2

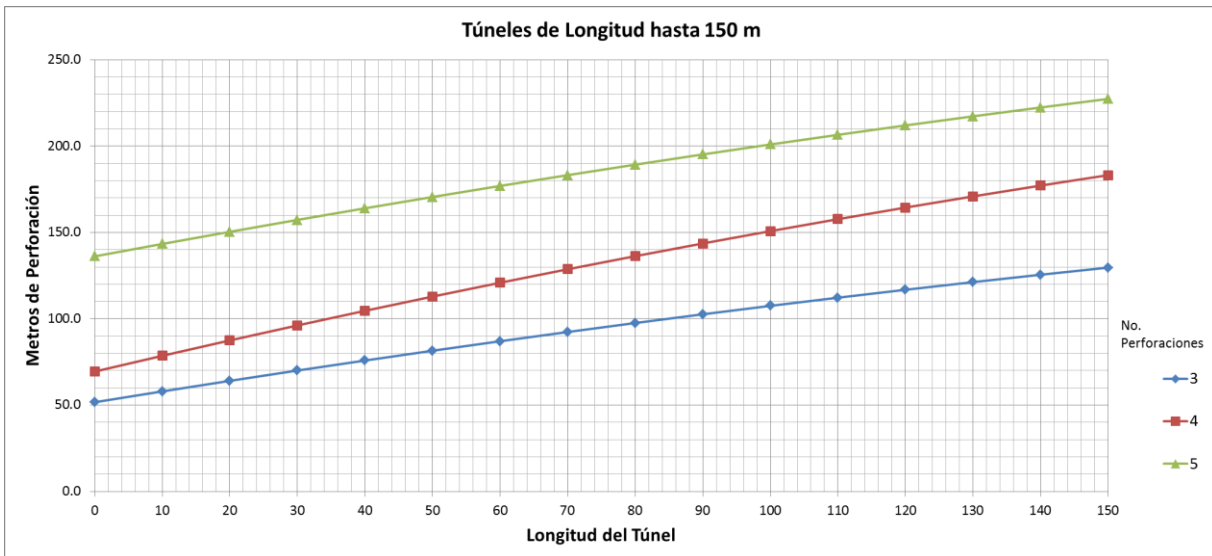
Después de realizar los modelos, se obtuvieron las siguientes gráficas que representan los metros de perforación para las diferentes longitudes de túneles. Para ver el proceso de la adición de cada modelo, se pueden revisar los Anexos del 65 al 73.

En la Gráfica 5.6, se obtienen los metros de perforación, dependiendo de los números de perforación que se requieran para túneles de longitud de hasta 100 m.

En la Gráfica 5.7, se obtienen los metros de perforación, dependiendo de los números de perforación que se requieran para túneles de longitud de hasta 150 m.



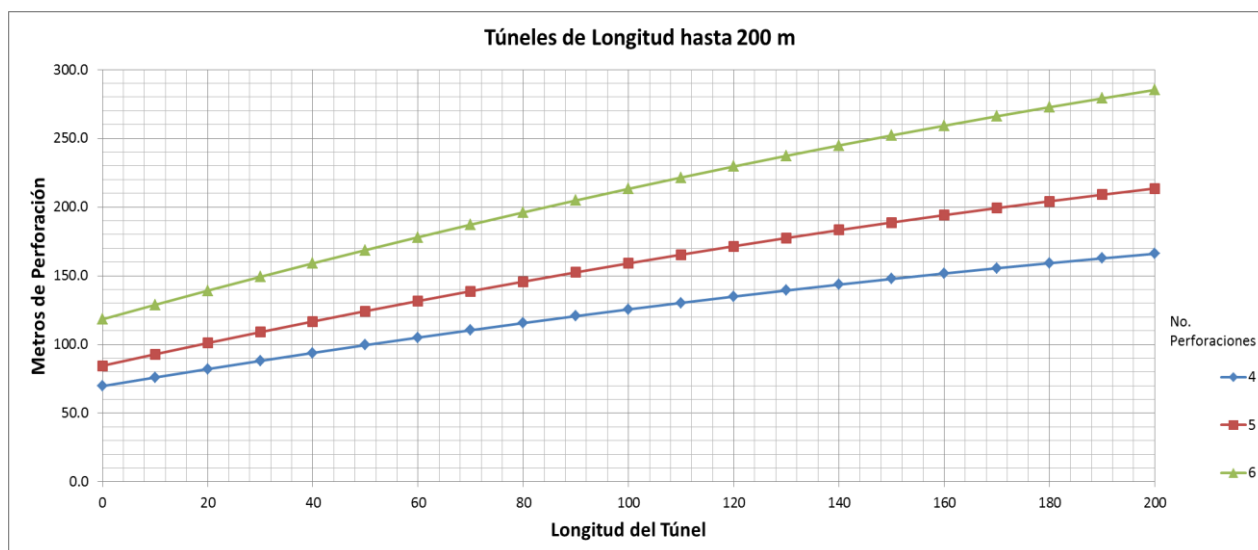
Gráfica 5.6.- Metros de perforación para túneles de hasta 100m.



Gráfica 5.7.- Metros de perforación para túneles de hasta 150m.

En la Gráfica 5.8, se obtienen los metros de perforación, dependiendo de los números de perforación que se requieran para túneles de longitud de hasta 200 m.

Con las gráficas se obtuvo una tabla de comparación para los diferentes longitudes de túneles, donde se manejan dos tipos de errores: el + (positivo) y – (negativo). El primero es cuando se excede a los metros de perforación necesarios; y el segundo es cuando no se perfora lo que realmente se necesita.



Gráfica 5.8.- Metros de perforación para túneles de hasta 200m.

Cuando tenemos un error (+), tratamos de que sea el menor, esto es para tener un mayor ahorro en la inversión, ya que el dinero invertido puede ser usado en otro estudio o en algún punto que sea crítico. Cuando tenemos un error (–), se trata que sea lo menor posible. Esto permite que las perforaciones tengan los metros necesarios y no se queden cortos. En la Tabla 5.8, se muestra que el error tanto (+) como (–) es de 16.9 % entre las perforaciones. En la Tabla 5.9, se muestra lo que se licitó para los túneles, presentado un error de 49.4 %. Para nuestro caso, podemos decir que nuestro modelo tiene un ajuste bueno y puede predecir los metros de perforación necesarios. No obstante es necesario comprobar nuestro modelo con otros túneles de diferentes zonas y recabar más datos para que el modelo empiece a tener un mejor ajuste.

Tabla 5.8.- Promedio de porcentaje de Error para nuestro modelo.

Túneles hasta 100 m				Túneles hasta 150 m				Túneles hasta 200 m			
No. Perforaciones				No. Perforaciones				No. Perforaciones			
2	3	4		3	4	5		4	5	6	
N° Túneles	12	12	12	N° Túneles	10	10	10	N° Túneles	12	12	12
Suma Alturas	630.0	1065.0	1482.0	Suma Alturas	1121.0	1591.0	2041.0	Suma Alturas	1724.0	2249.0	2886.0
% Altura	52.5	88.8	123.5	% Altura	112.1	159.1	204.1	% Altura	143.7	187.4	240.5
Metros + Modelo	109	66	147	Metros + Modelo	110	155	209	Metros + Modelo	247	296	419
Metros - Modelo	19	67	55	Metros - Modelo	66	107	133	Metros - Modelo	85	126	114
Error + Modelo	9.1	5.5	12.3	Error + Modelo	11.0	15.5	20.9	Error + Modelo	20.6	24.7	34.9
Error - Modelo	1.6	5.6	4.6	Error - Modelo	6.6	10.7	13.3	Error - Modelo	7.1	10.5	9.5
% Error (+)	17.3	6.2	9.9	% Error (+)	9.8	9.7	10.2	% Error (+)	14.3	13.2	14.5
% Error (-)	3.0	6.3	3.7	% Error (-)	5.9	6.7	6.5	% Error (-)	4.9	5.6	4.0
% Error (Total)	20.3	12.5	13.6	% Error (Total)	15.7	16.5	16.8	% Error (Total)	19.3	18.8	18.5
Promedio de % Error			16.9								

Tabla 5.9.- Promedio de porcentaje de Error para la licitación.

Túneles hasta 100 m				Túneles hasta 150 m				Túneles hasta 200 m			
No. Perforaciones				No. Perforaciones				No. Perforaciones			
2	3	4		3	4	5		4	5	6	
Metros + Licitación	598	288	107	Metros + Licitación	217	43	0	Metros + Licitación	101	49	28
Metros - Licitación	2.5	128	364	Metros - Licitación	263	559	966	Metros - Licitación	605	1078	1694
Error + Licitación	49.8	24.0	8.9	Error + Licitación	21.7	4.3	0.0	Error + Licitación	8.4	4.1	2.3
Error - Licitación	0.2	10.7	30.3	Error - Licitación	26.3	55.9	96.6	Error - Licitación	50.4	89.8	141.2
% Error (+)	94.9	27.0	7.2	% Error (+)	19.4	2.7	0.0	% Error (+)	5.9	2.2	1.0
% Error (-)	0.4	12.0	24.6	% Error (-)	23.5	35.1	47.3	% Error (-)	35.1	47.9	58.7
% Error (Total)	95.3	39.1	31.8	% Error (Total)	42.8	37.8	47.3	% Error (Total)	41.0	50.1	59.7
Promedio de % Error				49.4							

En la Tabla 5.10 se analizaron los 34 túneles, comprobando el error (+) o (-) en los metros de perforación reales de cada túnel.

Tabla 5.10.-Tabla de comparación de 7 túneles.

Túneles hasta 100m		N° Perforaciones usando el Modelo			Metros de Perforación Reales			Error por Perforaciones		
Túnel	Longitud	2	3	4	2	3	4	2	3	4
La Piedra-A	52.8	47.7	75.2	110.5	52.5	89.0	122.4	-4.7	-13.8	-11.9
Pánuco II	60.0	50.9	78.7	115.9	51.1	75.9	110.3	-0.2	2.8	5.6
Las Labores-A	67.6	54.3	82.4	121.6	49.9	78.6	107.4	4.4	3.8	14.2
Los Morillos-B	73.5	56.9	85.3	126.0	54.6	97.0	129.8	2.3	-11.7	-3.7
Roblar de la Cueva	75.0	57.6	86.0	127.1	54.2	86.7	124.0	3.4	-0.7	3.2
Los Otates	85.0	62.0	90.9	134.6	41.1	81.6	109.8	20.9	9.3	24.9
La Quemada	85.3	62.1	91.0	134.8	52.8	82.7	111.0	9.3	8.4	23.8
Pánuco	87.0	62.9	91.9	136.1	78.0	127.2	174.4	-15.1	-35.4	-38.3
Santa Lucía II	90.0	64.2	93.3	138.4	50.4	84.2	117.7	13.9	9.2	20.6
El Carrizo II-B	93.0	65.6	94.8	140.6	55.9	96.6	136.9	9.6	-1.8	3.7
Guamúchil	99.0	68.2	97.7	145.1	47.5	101.1	141.4	20.7	-3.4	3.7
La Laguna III-A	99.0	68.2	97.7	145.1	41.5	64.1	97.0	26.7	33.6	48.1

Túneles hasta 150m		N° Perforaciones usando el Modelo			Metros de Perforación Reales			Error por Perforaciones		
Túnel	Longitud	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Real Pánuco	100	106.4	149.1	199.8	89.8	122.1	164.4	16.6	27.0	35.4
El Carrizo I	101	106.9	149.9	200.4	130.1	198.2	244.7	-23.2	-48.3	-44.3
La Quemada II	105	109.0	152.9	202.8	90.7	131.0	169.7	18.2	21.9	33.1
Cerro Santa Lucía	113	113.1	159.0	207.7	127.1	171.7	217.0	-13.9	-12.7	-9.3
Corte Alto	115	114.2	160.5	208.9	86.4	131.3	162.4	27.7	29.2	46.5
El Carrizo II-A	129	121.4	171.1	217.4	131.8	207.7	276.8	-10.4	-36.6	-59.4
Cerro La Reforma	125	119.4	168.1	215.0	105.0	144.1	183.5	14.4	24.0	31.5
La Piedra-B	129.5	121.7	171.5	217.7	135.4	180.8	238.5	-13.7	-9.3	-20.8
Trópico de Cáncer	138	126.1	178.0	222.9	93.8	131.7	166.4	32.3	46.2	56.5
El Nacaral	141	127.7	180.2	224.7	130.9	172.6	218.1	-3.2	7.7	6.6

Túneles hasta 200m		N° Perforaciones usando el Modelo			Metros de Perforación Reales			Error por Perforaciones		
Túnel	Longitud	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Los Morillos-A	154.5	149.0	190.5	254.5	139.8	182.9	227.4	9.2	7.6	27.1
La Mina	155.0	149.2	190.8	255.0	150.0	188.8	247.3	-0.7	2.0	7.7
El Guineo	167.0	155.0	198.6	265.0	131.2	173.6	206.0	23.8	25.0	59.0
Las Labores-B	165.8	154.4	197.8	263.9	140.8	182.1	223.8	13.6	15.7	40.1
Santa Lucía I	164.3	153.7	196.8	262.7	79.1	100.7	121.8	74.6	96.1	140.9
La Laguna I	170.0	156.4	200.5	267.5	194.8	250.3	307.5	-38.3	-49.8	-40.0
La Laguna II	176.0	159.3	204.4	272.5	175.9	234.5	288.6	-16.6	-30.1	-16.1
Cerro Las Palomas	177.0	159.8	205.0	273.3	184.7	245.1	303.6	-24.8	-40.0	-30.3
La Laguna III-B	181.5	162.0	207.9	277.1	152.6	197.2	248.2	9.4	10.7	28.8
Cerro Las Mesas	186.0	164.2	210.8	280.8	141.1	184.0	232.6	23.0	26.8	48.2
Chirimollos	200.0	170.9	219.9	292.5	135.8	187.1	284.3	35.1	32.8	8.2
El Cantil	205.0	173.3	223.1	296.7	98.6	122.8	176.3	74.7	100.3	120.4

5.5.- ÍNDICES RQD, RMR y Q

Del análisis hecho a los perfiles geológicos – geotécnicos, se recopiló la información de los valores de RQD, RMR y Q de dos formas: el marco geológico se determinó en los estudios previos (lo que se proyectó), y de lo encontrado al momento de realizar las excavaciones (lo real) dentro de la bóveda del túnel.

Se obtuvieron 815 registros de los valores de RQD, RMR y Q, de los cuales se encontraron diferentes tipos de materiales. Para tener una mejor relación, fue necesario agruparlos en cuatro grupos que a continuación se mencionan:

- 1) Ignimbrita y Riolita 681 Registros
- 2) Andesita y Brecha 107 Registros
- 3) Basalto 17 Registros
- 4) Depósitos de Talud 10 Registros

En los siguientes túneles, se analizan los porcentajes de comparación de la geología encontrada que tomamos como prototipo de la población, los cuales muestran el tipo de material, los valores del RQD, RMR y Q; así como los valores de proyecto y los valores reales.

La información analizada correspondiente a los túneles que no fueron tomados como ejemplo, se encuentra en el apartado de los Anexos 75 al 97 como consulta para el lector. Dichos túneles fueron considerados solamente como fuente de información, ya que los túneles que fueron tomados como ejemplo son los que tienen mayor información.

Túnel El Guineo

De acuerdo a los resultados obtenidos de los planos de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel El Guineo, se obtuvieron 40 registros por cada valor de RQD, RMR y Q, esto corresponde a 3 zonas, estas fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.11 se muestran los valores del proyecto, así como lo real, que fueron obtenidos durante la fase de excavación, incluso el tipo de material y la zona donde se encontraban.

Al realizar la comparación de los registros obtenidos del valor de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, lo que indicó la

proximidad entre lo que se proyectó y lo construido, con ello se obtuvo la suma de porcentajes que se encontraron, que fueron de tres tipos: mayor, menor o igual. En la Tabla 5.12 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

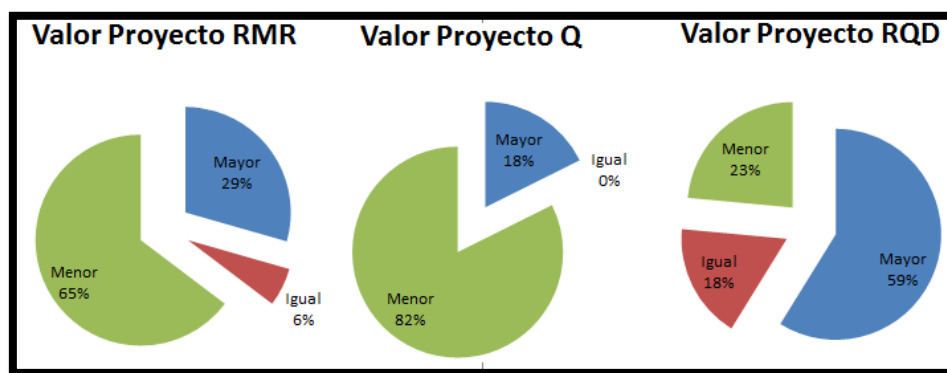
Tabla 5.11.- Tipo de material y valores de proyecto y valores reales del Túnel El Guineo.

Túnel: El Guineo	Zona	RMR		Q		RQD	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	50	36	4.4	2.13	66	36
Ignimbrita y Riolita	2	50	44	4.1333	4.5	62	45
Andesita y Brecha		44	44	1.2378	4.5	57	45
Andesita y Brecha	3	39	26	0.79	0.25	49	7
Ignimbrita y Riolita		45	26	0.65	0.25	52	7

Tabla 5.12.- Comparación entre lo proyectado y lo real del Túnel El Guineo en por ciento.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	1	0	0	40	1	100	0	0	100
Zona 2	9	0	3		12	75	0	25	100
Zona 3	27	0	0		27	100	0	0	100
Suma de Registros	37	0	3		40	92.5	0	7.5	100
Valor Proyecto Q	Valor Real Q			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	1	0	0	40	1	100	0	0	100
Zona 2	1	0	11		12	8.3333	0	91.667	100
Zona 3	25	0	2		27	92.593	0	7.4074	100
Suma de Registros	27	0	13		40	67.5	0	32.5	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RQD			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	1	0	0	40	1	100	0	0	100
Zona 2	10	0	2		12	83.333	0	16.667	100
Zona 3	27	0	0		27	100	0	0	100
Suma de Registros	38	0	2		40	95	0	5	100

En la Gráfica 5.9, se muestran los porcentajes obtenidos de los resultados de cada zona, donde se muestran en forma de pastel el RQD, RMR y Q. Para el valor de proyecto de RMR, se encontró que lo proyectado fue menor en un 65% de los registros, de lo que se encontró cuando se excavó. Para el valor de proyecto Q, se encontró con un 82% menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD, se encontró que fue mayor con un valor de 59% de lo que se encontró al realizar la excavación.



Gráfica 5.9.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel El Guineo.

Túnel El Varal

De acuerdo a los resultados obtenidos de los planos de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel El Varal, se obtuvieron 143 registros por cada valor de RQD, RMR y Q, lo que se dividió en 3 zonas, que fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.13 se muestran los valores de proyecto y real, que fueron obtenidos durante la fase de excavación, así como el tipo de material y la zona donde se encontraban.

Al realizar la comparación de los registros obtenidos del valor de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, esto es que tanta proximidad existió entre lo que se proyectó y lo real. Con ello, se obtuvo la suma de porcentajes que se encontraron, que fueron de tres formas mayor, menor o igual. En la Tabla 5.14 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

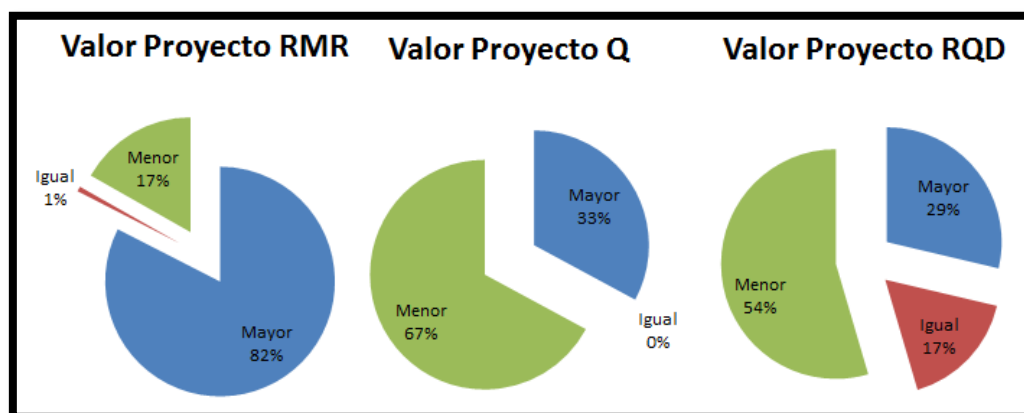
Tabla 5.13.- Tipo de material y valores de proyecto y valores reales del Túnel El Varal (Para ver la tabla completa revisa el Anexo 74).

Túnel: El Varal Tipo de Material	Zona	RMR		Q		RQD	
		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	35	27	0.88	1.00	37	15
Ignimbrita y Riolita	2	53	47	3.99	6.80	62	68
Andesita y Brecha		31	47	0.47	6.80	30	68
Ignimbrita y Riolita	3	45	21	1.47	0.00	22	0

Tabla 5.14.- Comparación entre lo proyectado y los valores reales del Túnel El Varal.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	19	0	6		25		76	0	24	100
Zona 2	63	1	18		82		76.829	1.2195	21.951	100
Zona 3	36	0	0		36		100	0	0	100
Suma de Registros	118	1	24		143		82.517	0.6993	16.783	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	20		25		20	0	80	100
Zona 2	6	0	76		82		7.3171	0	92.683	100
Zona 3	36	0	0		36		100	0	0	100
Suma de Registros	47	0	96		143		32.867	0	67.133	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	25	0	0		25		100	0	0	100
Zona 2	0	4	78		82		0	4.878	95.122	100
Zona 3	16	20	0		36		44.444	55.556	0	100
Suma de Registros	41	24	78		143		28.671	16.783	54.545	100

En la Gráfica 5.10 se muestran los porcentajes de los resultados obtenidos de cada zona, donde se muestran en forma de pastel los valores de RQD, RMR y Q. Para el valor de proyecto de RMR se encontró que lo que se proyecto fue mayor de 82%, a lo que se encontró cuando se excavó. Para el valor de proyecto de Q fue de 67% menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD fue menor a 54% de lo que se encontró al realizar la excavación.



Gráfica 5.10.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel El Varal.

Túnel Las Labores

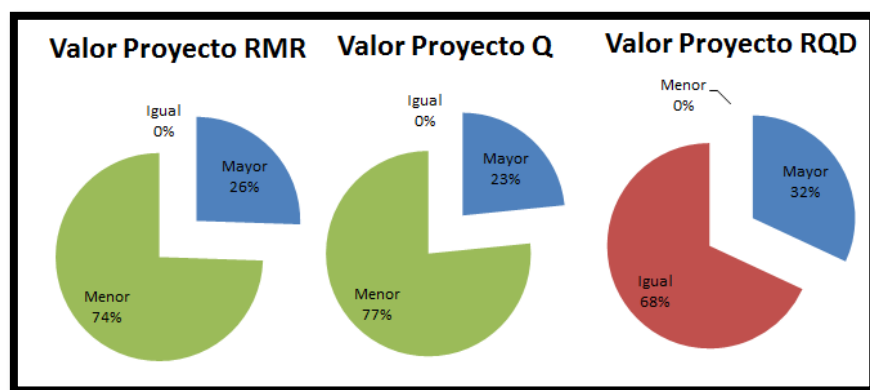
De acuerdo a los resultados obtenidos de los planos de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel Las Labores se obtuvieron 47 registros por cada valor de RQD, RMR y Q en 4 zonas, que fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.15 se muestran los valores del proyecto y así como del proyecto real, estos fueron obtenidos durante la fase de excavación, así como el tipo de material excavado y la zona donde se encontraban.

Tabla 5.15.- Tipo de material y valores de proyecto y de los valores reales del Túnel Las Labores.

Túnel: Las Labores	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	34	39	0.41	0.42	30	0	25
Ignimbrita y Riolita	2	50	24	1.57	0.08	84	0	25
Ignimbrita y Riolita	3	28	39	0.371	0.42	18	0	25
Depósitos de Talud		21	39	0.06	0.42	0	0	25
Ignimbrita y Riolita	4	39	24	0.04	0.08	0	0	25

Al realizar la comparación de los registros obtenidos del valor de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, para conocer la proximidad entre lo que se proyectó y lo real, con ello se obtuvo la suma de porcentajes que se encontraron, que se agrupo de tres formas mayor, menor o igual. En la Tabla 5.16 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

En la Gráfica 5.11 se muestran los porcentajes de los resultados obtenidos de cada zona, donde se muestran en forma de pastel los valores de RQD, RMR y Q. Para el valor de proyecto de RMR se tenía que fue menor del 74%, a lo que se encontró cuando se excavo. Para el valor de proyecto de Q se proyectó el 77% menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD era a 68% de lo que se encontró al realizar la excavación.



Gráfica 5.11.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Las Labores.

Tabla 5.16.- Comparación entre lo proyectado y lo real del Túnel Las Labores.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	9	47	12		25	0	75	100
Zona 2	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 3	4	0	26		30		13.333	0	86.667	100
Zona 4	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	12	0	35		47		25.532	0	74.468	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	9	47	12		25	0	75	100
Zona 2	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 3	6	0	24		30		20	0	80	100
Zona 4	0	0	3		3		0	0	100	100
Suma de Registros	11	0	36		47		23.404	0	76.596	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	7	5	0	47	12		58.333	41.667	0	100
Zona 2	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 3	6	24	0		30		20	80	0	100
Zona 4	0	3	0		3		0	100	0	100
Suma de Registros	15	32	0		47		31.915	68.085	0	100

Túnel Trópico de Cáncer

De acuerdo a los resultados obtenidos de los planos de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel Trópico de Cáncer donde se obtuvieron 16 registros por cada valor de RQD, RMR y Q en 3 zonas, que fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.17 se muestran los valores de proyecto y de lo real, que se obtuvieron durante la fase de excavación.

Tabla 5.17.- Tipo de material y valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Trópico de Cáncer.

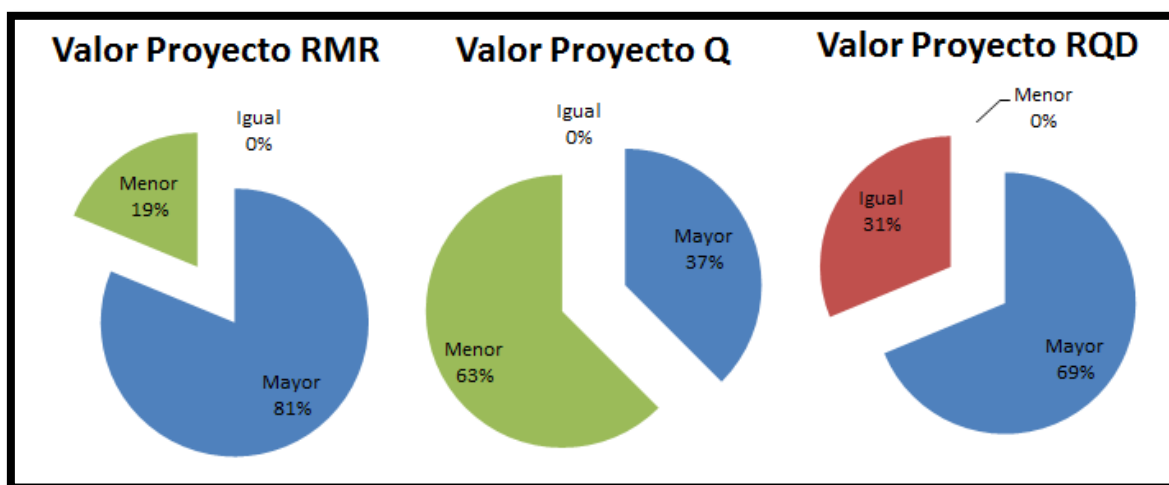
Túnel: Trópico de Cáncer	Zona	RMR		Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	58	31	2.51	0.31		58	10	
Ignimbrita y Riolita	2	60	56	3.08	7.5		60	30	60
Ignimbrita y Riolita	3	60	29	1.23	0.33		49	0	10

Al realizar la comparación de los registros del valor de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, para conocer la proximidad entre lo que se proyectó y lo encontrado en la realidad, con ello se obtuvo la suma de porcentajes que se encontraron, agrupándolos de tres formas mayor, menor o igual. En la Tabla 5.18 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

Tabla 5.18.- Comparación entre lo proyectado y lo encontrado en el Túnel Trópico de Cáncer.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	7	0	3		10		70	0	30	100
Zona 3	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	13	0	3		16		81.25	0	18.75	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 3	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	6	0	10		16		37.5	0	62.5	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	5	5	0		10		50	50	0	100
Zona 3	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	11	5	0		16		68.75	31.25	0	100

En la Gráfica 5.12 se muestran los porcentajes de los resultados obtenidos de cada zona, donde se muestran los valores de RQD, RMR y Q. Para el valor de proyecto de RMR se proyectó de 81% lo que se encontró cuando se excavo. Para el valor de proyecto de Q se valoró con un 63% menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD fue de 69% de lo que se encontró al realizar la excavación.



Gráfica 5.12.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Trópico de Cáncer.

Túnel Corte Alto

De acuerdo a los resultados obtenidos de los planos de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel Corte Alto se obtuvieron 9 registros por cada valor de RQD, RMR y Q en 2 zonas, que fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.19 se muestran los valores de proyecto y los valores reales, que fueron obtenidos durante la fase de excavación, así como el tipo de material y la zona donde se ubicaron.

Tabla 5.19.- Tipo de material con sus valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Corte Alto.

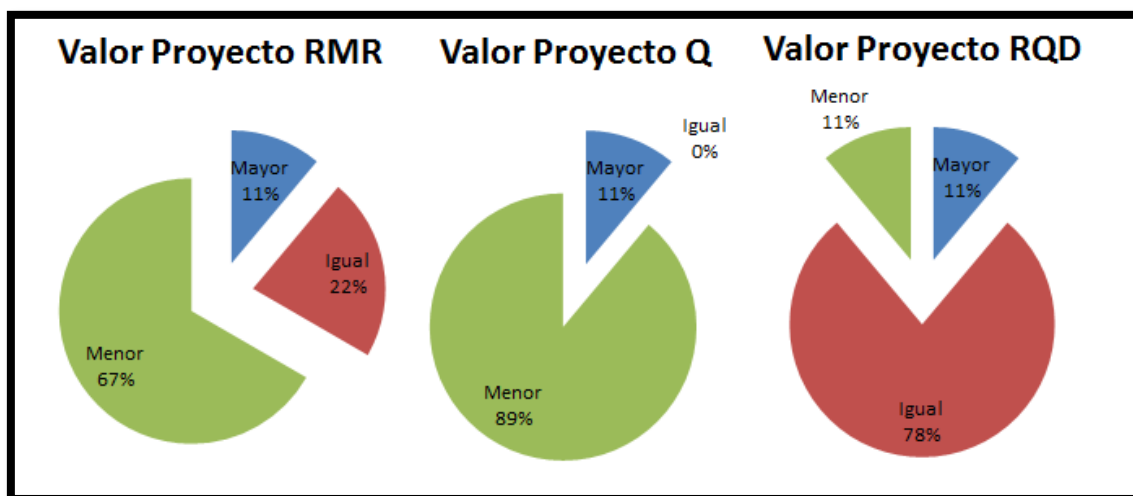
Túnel: Corte Alto	Zona	RMR			Q			RQD		
		Real	Proyecto		Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	59	65	85	2.32	33	36	69	50	100
Ignimbrita y Riolita	2	59	28	52	3.51	2.5		79	25	75

Al realizar la comparación de los registros obtenidos del valor de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada sitio, haciendo referencia a la proximidad entre lo que se proyectó y lo que se hizo, con ello se obtuvo la suma de porcentajes, que fueron agrupados en tres, mayor, menor o igual. En la Tabla 5.20 se muestran los porcentajes de las comparaciones.

Tabla 5.20.- Comparación entre lo proyectado y lo realizado en el Túnel Corte Alto.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	2	6		8		0	25	75	100
Zona 2	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	1	2	6		9		11.111	22.222	66.667	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	8		8		0	0	100	100
Zona 2	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	1	0	8		9		11.111	0	88.889	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	7	1		8		0	87.5	12.5	100
Zona 2	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	1	7	1		9		11.111	77.778	11.111	100

En la Gráfica 5.13 se muestran los porcentajes de los resultados obtenidos de cada zona, donde se muestran los valores de RQD, RMR y Q. Para el valor de proyecto de RMR lo que se propuso fue menor en un 67%, lo que se encontró cuando se excavó. Para el valor de proyecto de Q se encontró con un 89% menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD fue igual, a 78% de lo excavado.



Gráfica 5.13.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Corte Alto.

Túnel Pánuco

De acuerdo a los resultados de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel Pánuco se obtuvieron 14 registros por cada caso de RQD, RMR y Q en 3 zonas de acuerdo a su división, que fueron propuestas cuando se realizan los estudios de campo. En la Tabla 5.21 se muestran los valores de proyecto y lo encontrado, que fueron obtenidos durante la fase de excavación, así como el tipo de material y la zona donde se localizó.

Tabla 5.21.- Tipo de material y valores de proyecto y lo observado en el Túnel Pánuco.

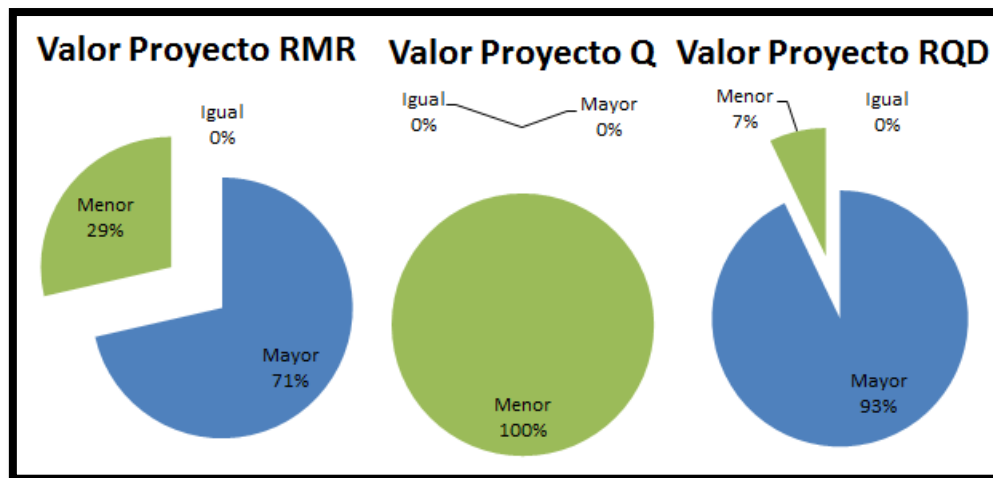
Túnel: Pánuco	Zona	RMR			Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	32	65		0.51	20	36	0	24
Ignimbrita y Riolita	2	46	6	8	2	25	46	16	32
Ignimbrita y Riolita	3	39	55		1.02	10	46	0	21

Al realizar la comparación de los registros obtenidos de RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, de acuerdo a su proximidad entre lo que se proyectó y lo observado, obteniéndose la suma de porcentajes que se encontraron, que fueron de tres tipos mayor, menor o igual. En la Tabla 5.22 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

Tabla 5.22.- Comparación entre lo proyectado y lo encontrado Túnel Pánuco.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	2		2		0	0	100	100
Zona 2	10	0	0		10		100	0	0	100
Zona 3	0	0	2		2		0	0	100	100
Suma de Registros	10	0	4		14		71.429	0	28.571	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	2		2		0	0	100	100
Zona 2	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 3	0	0	2		2		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	14		14		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(% Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 2	9	0	1		10		90	0	10	100
Zona 3	2	0	0		2		100	0	0	100
Suma de Registros	13	0	1		14		92.857	0	7.1429	100

En la Gráfica 5.14 se muestran los resultados de cada zona, donde se muestran los valores de RQD, RMR y Q. Para el valor de RMR se encontró que lo que se proyectó fue mayor en un 71%, de lo que se encontró cuando se excavó. En cambio para el Q se encontró con un 100%, es decir menor a lo que se encontró al realizar la excavación. Para el valor de proyecto de RQD se encontró que fue mayor, con un valor de 93% de lo que se encontró al realizar la excavación.



Gráfica 5.14.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Pánuco.

Túnel Pánuco II

De acuerdo a los resultados de los perfiles geológicos – geotécnicos del Túnel Pánuco II se obtuvieron 9 registros por cada valor de RQD, RMR y Q en 1 zona, que fue propuesta cuando se realizaban los estudios de campo. En la Tabla 5.23 se muestran los valores que fueron obtenidos durante la fase de excavación, así como el tipo de material y la zona donde se encontraron.

Tabla 5.23.- Tipo de material y valores de proyecto y lo encontrado en el Túnel Pánuco II.

Túnel: Pánuco II	Zona	RMR		Q		RQD	
		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	45	72	1.4967	21	52	85

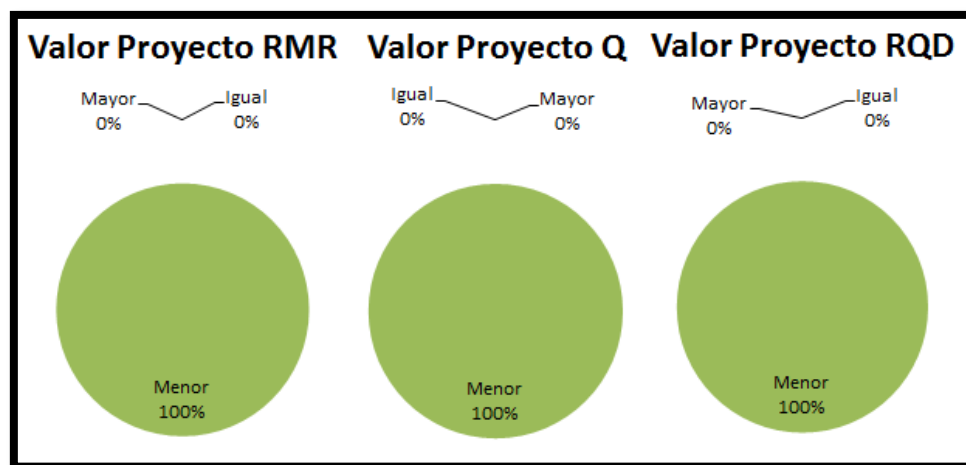
Al realizar la comparación de los valores de proyecto RQD, RMR y Q contra el valor real, se obtuvo el porcentaje de comparación de cada zona, esto es que tanta proximidad existió

entre lo que se proyectó y lo que se encontró, obteniéndose la suma de porcentajes que se encontraron, que fueron de tres formas mayor, menor o igual. En la Tabla 5.24 se muestra los porcentajes de las comparaciones.

Tabla 5.24.- Comparación entre lo proyectado y lo observado en el Túnel Pánuco II.

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	9	9		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	9	9		0	0	100	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	9	9		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	9	9		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros		(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor			Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	9	9		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	9	9		0	0	100	100

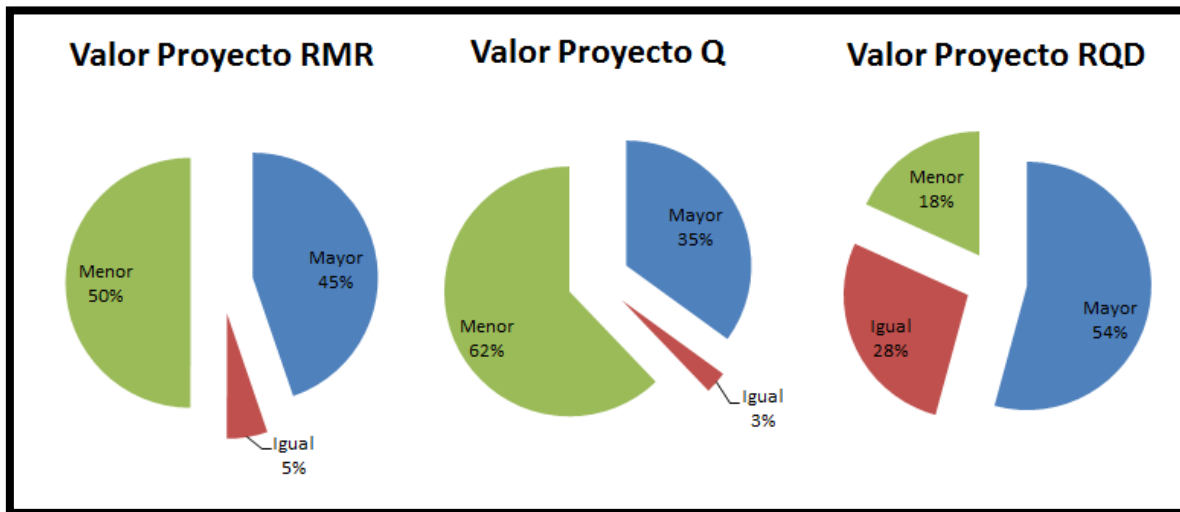
En la Gráfica 5.15 se muestran los porcentajes obtenidos de cada zona. Para el valor de proyecto de RMR, Q y RQD se encontró que los registros en los 3 casos fue menor en un 100% comparado con lo que se observó en la excavación.



Gráfica 5.15.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del Túnel Pánuco II.

Al analizar los planos geológico – geotécnicos de los 31 túneles, se encontró que, el valor de proyecto RMR fue menor al 50%, mayor en un 45% e igual en un 5%; el valor de proyecto Q fue menor en un 62%, mayor en un 35% e igual en un 3%; por último, el valor de proyecto de RQD fue mayor en un 54%, menor en un 18% e igual en un 28%. En la Gráfica 5.16, se

muestran los resultados obtenidos después de analizar los valores de RQD, RMR y Q para los 31 túneles. Se observa que el valor igual en los tres proyectos debería ser el más alto; no obstante, los resultados indican que los valores de RMR y de Q son bajos a comparación de RQD. De manera general, esto demuestra qué porcentaje de error existe en cada valor de proyecto.



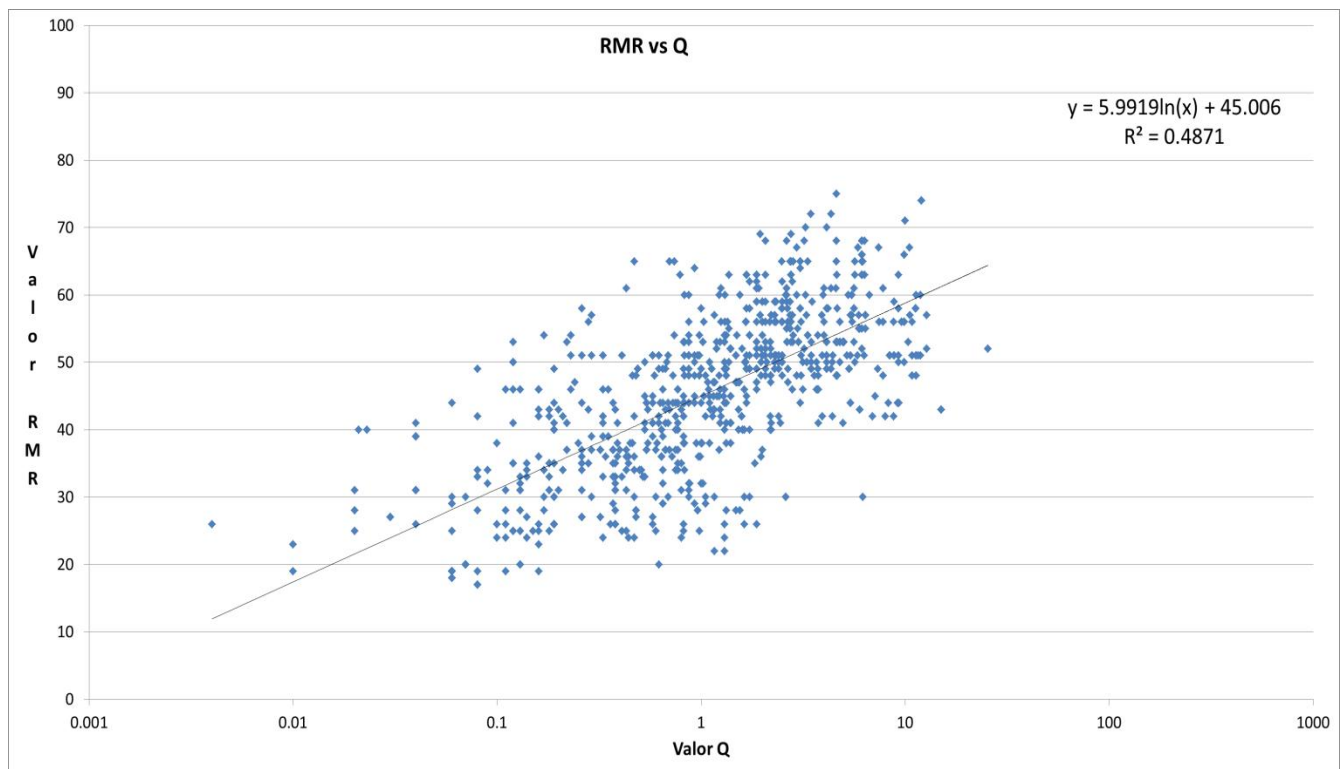
Gráfica 5.16.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD de los 31 túneles.

5.6.- CORRELACIÓN ENTRE RMR Y Q

La relación entre los sistemas RMR y Q es visible en la Gráfica 5.17. En la horizontal, se encuentra el valor de Q y en la vertical los valores del RMR. Esta gráfica muestra una correlación de los valores encontrados en los 31 túneles que se han estudiado. Los valores de RMR y Q que se usaron corresponde a los 3 tipos de materiales que se encontraron: Ignimbritas y Riolitas, Andesitas y Brechas, y Basalto. Los depósitos de Talud no fueron considerados en el presente estudio, ya que estos análisis solamente se presentan a fragmentos de roca, motivo por lo que no aparecerá nada. Al concluir el análisis se expresa que se obtuvieron 805 valores que representan (al Q y al, RMR), de donde se obtuvo el resultado de la Ecuación 5.8 para la regresión logarítmica.

$$y = 5.9919 \ln(x) + 45.006 \quad (5.8)$$

$$R^2 = 0.4871$$



Gráfica 5.17.- Datos recopilados de los 31 túneles, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación ya expresados.

En la Tabla 5.25 se muestra una comparación de resultados de las correlaciones que se han publicado a nivel mundial, entre los sistemas RMR y Q. Existe una proximidad en los valores de R^2 entre estas ecuaciones, estas tienen valores de rango entre 0.30 a 0.66, cuando nuestro valor de R^2 es de 0.48. Esto permite encontrar una buena relación entre las correlaciones, con los valores de los autores propuestos. La Ecuación 5.8 debe ser usada con extrema prudencia, siendo cuidadosa con el origen y compatibilidad con la información obtenida.

Tabla 5.25.- Diversas correlaciones propuestas entre RMR y Q.

Autor	Fórmula	Coefficiente de Correlación
Bieniawski (1989)	$RMR = 9 \ln Q + 44$	0.59
Rutledge y Preston (1978)	$RMR = 5.9 \ln Q + 43$	0.66
Moreno Tallón (1980)	$RMR = 5.4 \ln Q + 55.2$	0.30
Cameron Clark y Budavari (1981)	$RMR = 5 \ln Q + 60.8$	Gran Variación
Abad et al (1984)	$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$	0.44
León (2016)	$RMR = 5.9 \ln Q + 45$	0.48

5.7.- MATERIALES ENCONTRADOS EN EL ÁREA EN ESTUDIO

Al realizar el análisis a los planos geológico – geotécnicos se encontraron 4 tipos diferentes de materiales como son:

- 1) Ignimbritas y Riolitas
- 2) Andesitas y Brechas
- 3) Basalto
- 4) Depósitos de Talud

A continuación se hace una explicación breve de cada tipo de material y un análisis de los registros que se obtuvieron de cada material, de acuerdo a los índices RQD, RMR y Q. Los Depósitos de Talud no fueron considerados en el presente estudio, ya que estos análisis solamente se presentan a fragmentos de roca, motivo por lo que no aparecerá nada.

5.7.1.- IGNIMBRITAS Y RIOLITAS

Al realizar el análisis geológico – geotécnico en la sección de la caracterización geotécnica, se encontraron 681 registros que correspondían al tipo de material Ignimbritas y Riolitas, donde se analizó la frecuencia de distribución, así como los porcentajes de los valores de proyecto RQD, RMR y Q, y la correlación entre RMR y Q.

La Ignimbrita es una roca que se puede presentar en varios colores, como en negro, gris, pardo, rojo, entre otros. Con una textura muy compacta y fábrica clástica, compuesta por fragmentos del tamaño de ceniza y en algunos casos por bloques, estos fragmentos son generalmente cristales de cuarzo, pómez, feldespato alcalino (sanidino, albita), biotita, feldespatoideos; fragmentos de roca y astillas de vidrio, los cuales generalmente están alargados y orientados en alguna dirección. Esta roca está asociada a zonas de actividad volcánica y en general poseen una composición química intermedia – ácida.

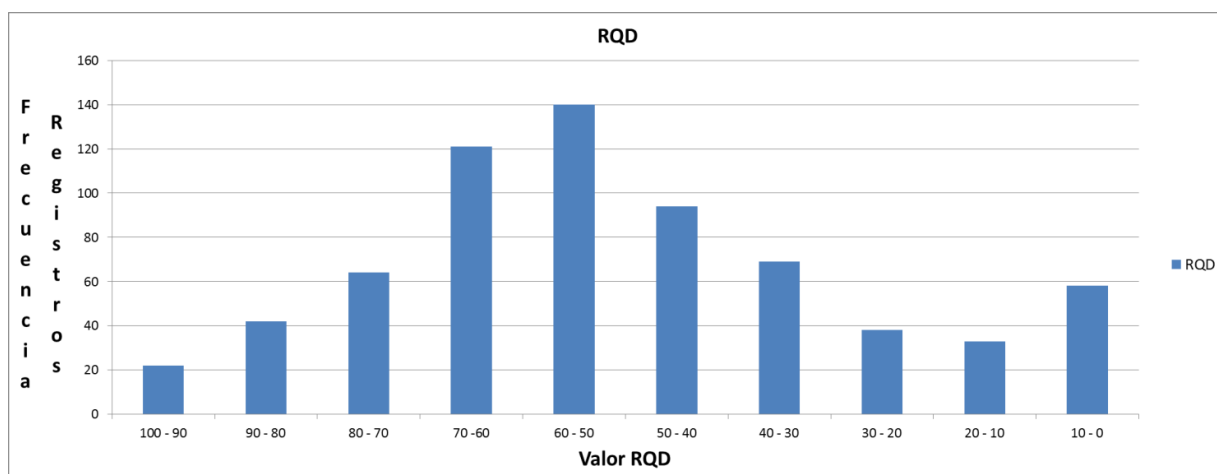
La Riolita es el equivalente extrusivo del granito y, está esencialmente compuesto por silicatos claros. Este hecho explica su color, que suele ser marrón claro a rosa o, a veces, un gris muy claro. La Riolita es afanítica y contiene frecuentemente vítreos y huecos que indican un rápido enfriamiento en un ambiente superficial. Cuando la Riolita contiene fenocristales, son normalmente pequeños y están compuestos por cuarzo o por feldespato potásico.

En la Tabla 5.26, se presenta la distribución de frecuencias para los valores de RQD, RMR y Q, obteniéndose un total de 681 observaciones, que corresponden a los túneles donde se encontró este material.

Tabla 5.26.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q

Valor RQD	Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Valor RMR	Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Valor Q	Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)
	100 - 90	22	3		100 - 90	0	0		1000 - 400	0	0
	90 - 80	42	6		90 - 80	0	0		400 - 100	0	0
	80 - 70	64	9		80 - 70	8	1		100 - 40	0	0
	70 - 60	121	18		70 - 60	74	11		40 - 10	24	4
	60 - 50	140	21		60 - 50	215	32		10 - 4	118	17
	50 - 40	94	14		50 - 40	182	27		4 - 1	274	40
	40 - 30	69	10		40 - 30	115	17		1 - 0.1	224	33
	30 - 20	38	6		30 - 20	72	11		0.1 - 0.01	41	6
	20 - 10	33	5		20 - 10	15	2		0.01 - 0.001	0	0
	10 - 0	58	9		10 - 0	0	0		Total	681	100
	Total	681	100		Total	681	100				

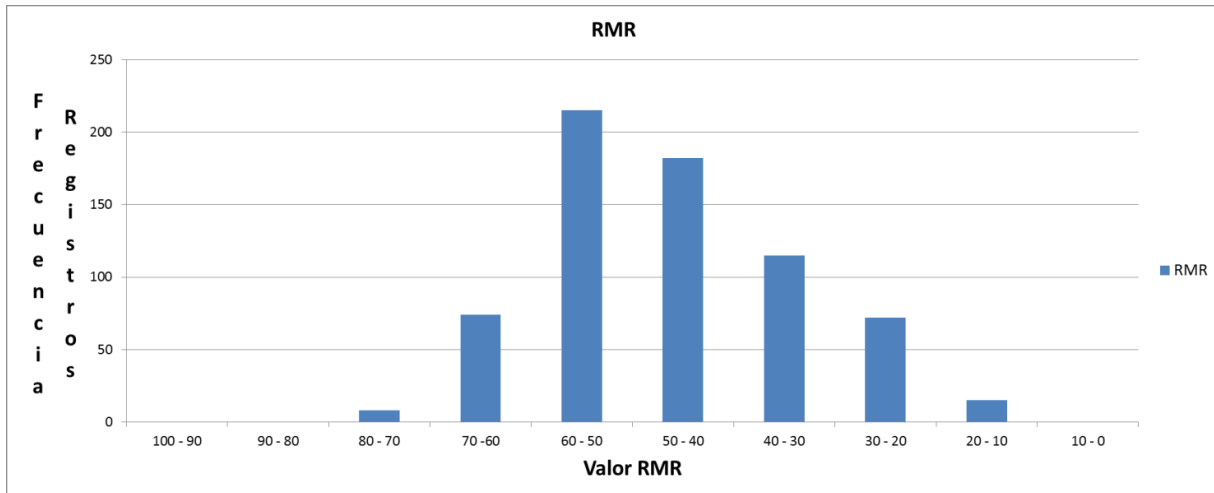
La Gráfica 5.18 presenta un histograma de los registros de RQD con diez clases, comenzando en 0 y terminando en 100. En esta gráfica, la altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presenta el valor de RQD en este material; muestra además que los valores de RQD se distribuyen en forma simétrica, con respecto a la clase de mayor frecuencia, que comprenden los valores de 60 a 50; la mayoría de los valores están entre 70 y 40 (acumulación o tendencia).



Gráfica 5.18.- Histograma de los valores de RQD del material Ignimbrita y Riolita.

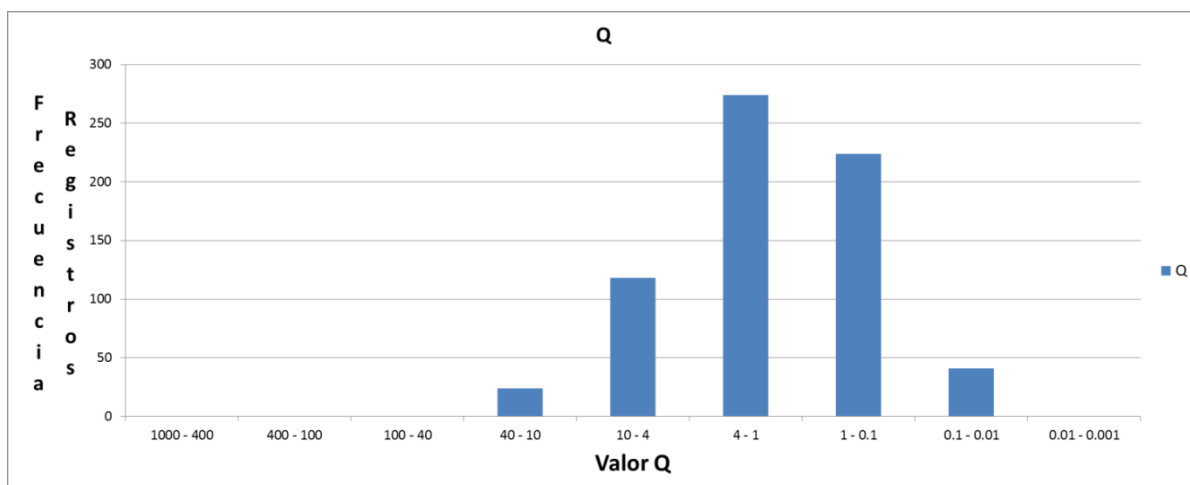
La Gráfica 5.19 muestra un histograma de los registros del valor RMR con diez clases, comenzando en 0 y terminando en 100. En esta gráfica, la altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presenta el valor de RMR; muestra además una distribución con una cola larga a la izquierda. La mayoría de los valores obtuvieron un puntaje de regular a

muy mala, como lo muestra la acumulación de los valores de RMR en la parte derecha y muy baja densidad en la parte izquierda. Esto se puede deber a varias razones, como por ejemplo, la calidad del macizo rocoso.



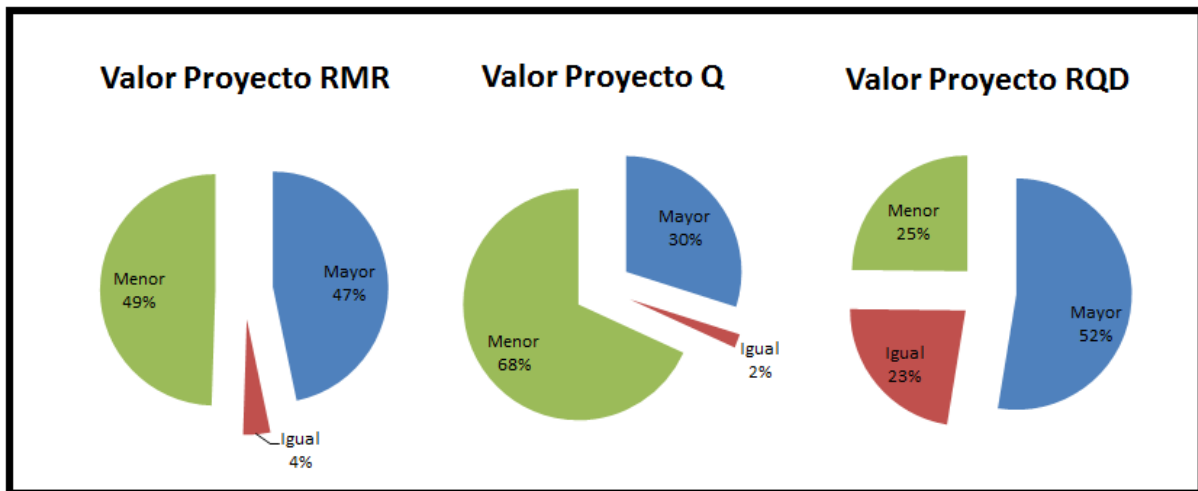
Gráfica 5.19.- Histograma de los valores de RMR de Ignimbrita y Riolita.

La Gráfica 5.20 presenta un histograma de los registros del Sistema Q con nueve clases, comenzando en 0.001 y terminando en 1000. En esta gráfica, la altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presentó el valor de Q; muestra además una distribución con una cola larga a la izquierda. La mayoría de los valores obtuvieron un puntaje malo, como lo muestra la acumulación de los valores de RMR en la parte derecha y muy baja densidad en la parte izquierda. Esto se puede deber a que la calidad del macizo rocoso, que para este caso es de mala calidad.



Gráfica 5.20.- Histograma de los valores de Q del material Ignimbrita y Riolita.

En la Gráfica 5.21 se muestra la comparación de los valores de obtenidos del proyecto contra los valores encontrados en campo, del material “Ignimbritas y Riolitas”. Lo que permitió definir el error que se tiene al realizar los estudios de campo. Esto debido a los pocos sondeos que se realizaron, las interpretaciones de las muestras de campo, la valorización de los datos de campo, así como los parámetros que debían ser considerados para las características que se presentaron. Esto nos lleva a que se debería tener un mayor cuidado al realizar los estudios preliminares, para así obtener un mejor modelo que pueda ser representativo como fuente de análisis.

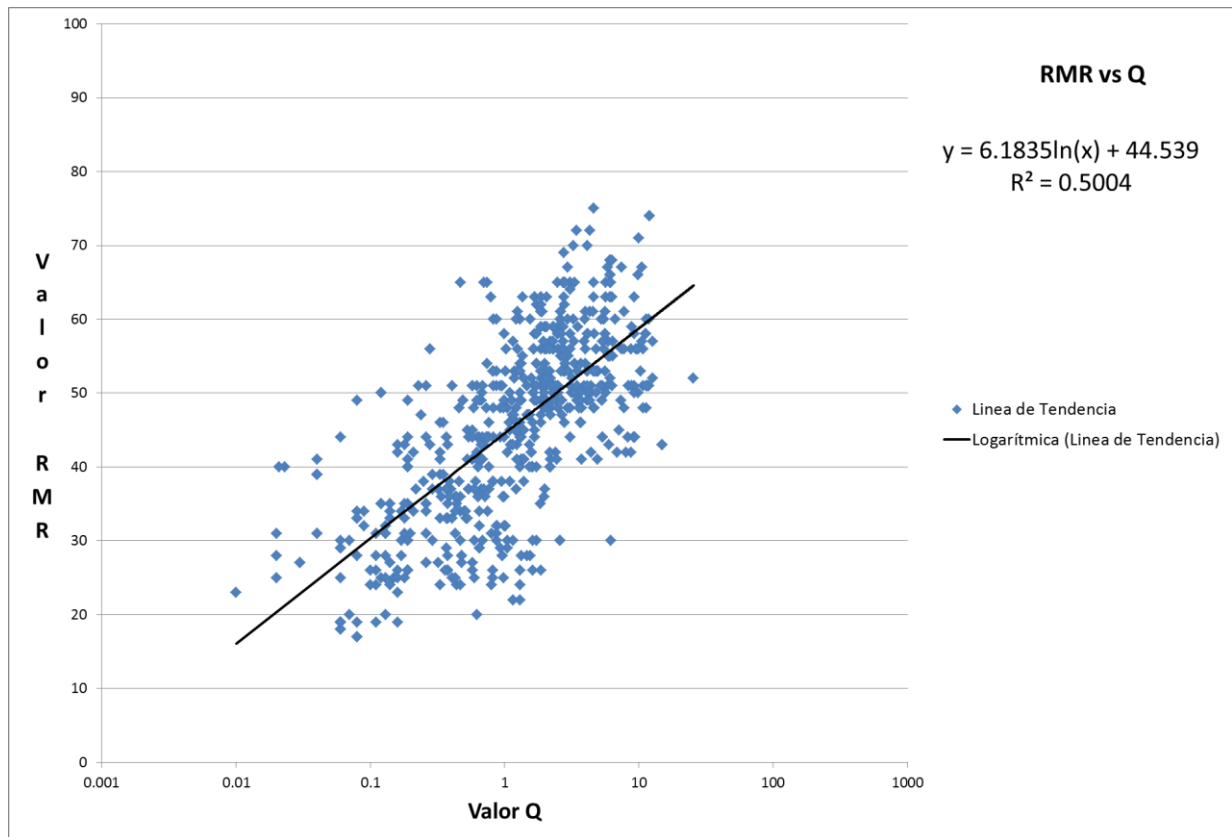


Grafica 5.21.- Valores de proyecto de RMR, Q y RQD del tipo de material “Ignimbritas y Riolitas”.

Además se analizó si existía una correlación entre los valores de RMR y Q, usando este tipo de material como base del estudio. En la Gráfica 5.22 se muestra la correlación que resultó, y se muestra la Ecuación 5.9 que representa la línea de tendencia y el valor del coeficiente de correlación (R^2) que indica un ajuste regular. Las variables de la correlación, están relacionadas en el sentido de que el cambio en cualquier variable estará acompañado por un cambio en la otra variable. Por lo tanto, podemos decir que el valor RMR y Q están correlacionados. Una desventaja es que solamente miden una relación lineal; y el valor del coeficiente de correlación no nos dice si RMR influencia a Q o al revés.

$$y = 6.1835 \ln(x) + 44.539 \quad (5.9)$$

$$R^2 = 0.5004$$



Gráfica 5.22.- Datos recopilados del material tipo “Ignimbritas y Riolitas”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación.

5.7.2.- ANDESITA Y BRECHA

Al realizar el análisis geológico – geotécnicos de la sección de caracterización geotécnica, se encontraron 107 registros que corresponden al material Andesita y Brechas, en la cual se analizó la frecuencia de distribución, así como los porcentajes de los valores de proyecto RQD, RMR y Q, y la correlación entre RMR y Q.

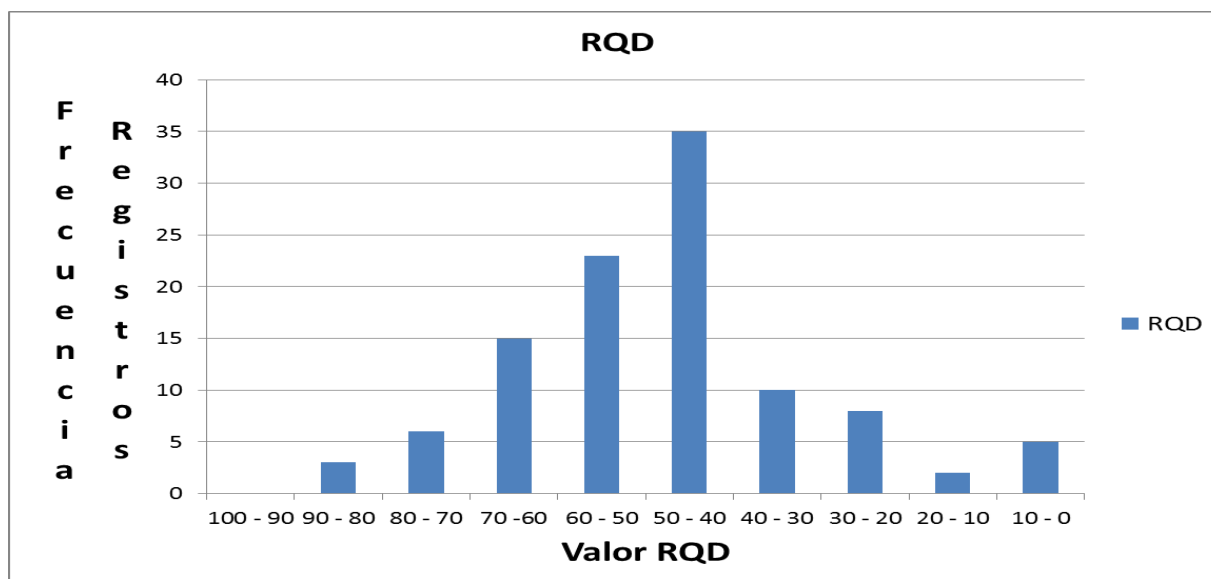
La andesita es una roca de color gris medio, de grano fino y de origen volcánico. La andesita muestra frecuentemente una textura porfídica. Cuando este es el caso, los fenocristales suelen ser cristales claros y rectangulares de plagioclasas, o cristales negros y alargados de anfíbol. La andesita se parece a menudo a la riolita, de modo que su identificación suele requerir el examen microscópico para verificar la abundancia, o la falta, de cristales de cuarzo. La andesita contiene cantidades pequeñas de cuarzo, mientras que la riolita está compuesta por más del 25 por ciento de cuarzo.

Las brechas volcánicas; están constituidas por derrubios de rocas volcánicas que han sido cimentadas por la lava de las erupciones. En la Tabla 5.27 se presenta la distribución de frecuencias para los valores de RQD, RMR y Q, de la “Andesita y Brecha”, obteniéndose un total de 107 observaciones, que comprenden a los túneles donde se encontró este material.

Tabla 5.27.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q.

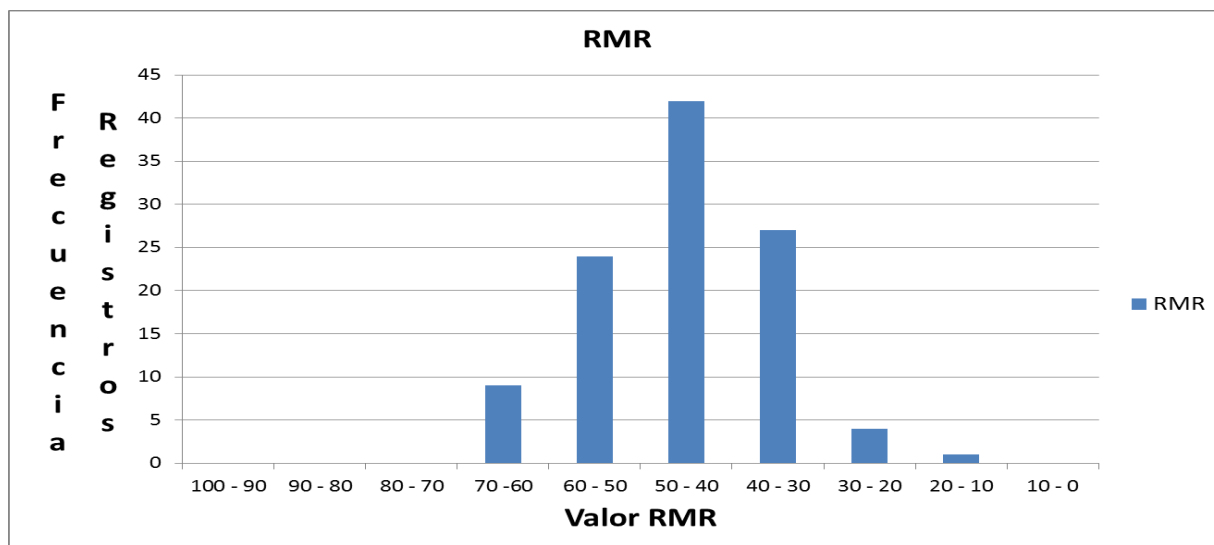
	Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)		Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)		Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)
Valor RQD	100 - 90	0	0	Valor RMR	100 - 90	0	0	Valor Q	1000 - 400	0	0
	90 - 80	3	3		90 - 80	0	0		400 - 100	0	0
	80 - 70	6	6		80 - 70	0	0		100 - 40	0	0
	70 - 60	15	14		70 - 60	9	8		40 - 10	0	0
	60 - 50	23	21		60 - 50	24	22		10 - 4	3	3
	50 - 40	35	33		50 - 40	42	39		4 - 1	31	29
	40 - 30	10	9		40 - 30	27	25		1 - 0.1	70	65
	30 - 20	8	7		30 - 20	4	4		0.1 - 0.01	2	2
	20 - 10	2	2		20 - 10	1	1		0.01 - 0.001	1	1
	10 - 0	5	5		10 - 0	0	0		Total	107	100
	Total	107	100		Total	107	100				

La Gráfica 5.23 presenta los registros del valor RQD con diez clases, comenzando en 0 y terminando en 100. La altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presenta el valor de RQD; muestra que los valores de RQD se distribuyen en forma aproximadamente simétrica, con respecto a la clase de mayor frecuencia, que comprenden los valores de 50 a 40; la mayoría de los valores están entre 60 y 30 (acumulación o tendencia). Esto indica que al realizar una perforación y se encuentre este tipo de material es probable que sus valores tiendan a estar en el rango de 50 a 40.



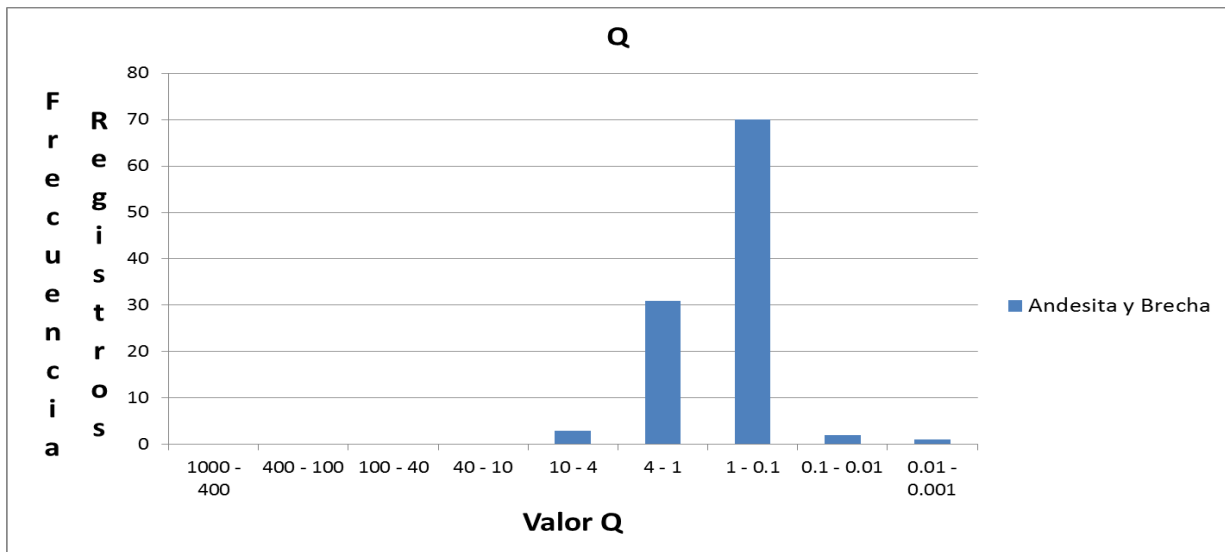
Gráfica 5.23.- Histograma de los valores de RQD del material Andesita y Brecha.

La Gráfica 5.24 presenta el histograma de los registros de RMR. Donde la altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presenta el valor de RMR; estos valores muestran una distribución con una cola larga a la izquierda; esto nos dice que los valores obtenidos son de regular a mala, como lo muestra la acumulación de los valores en la parte derecha de la gráfica y muy baja densidad en la parte izquierda. Lo que indica que la Andesita y Brecha presentarían valores de regulares a malos.



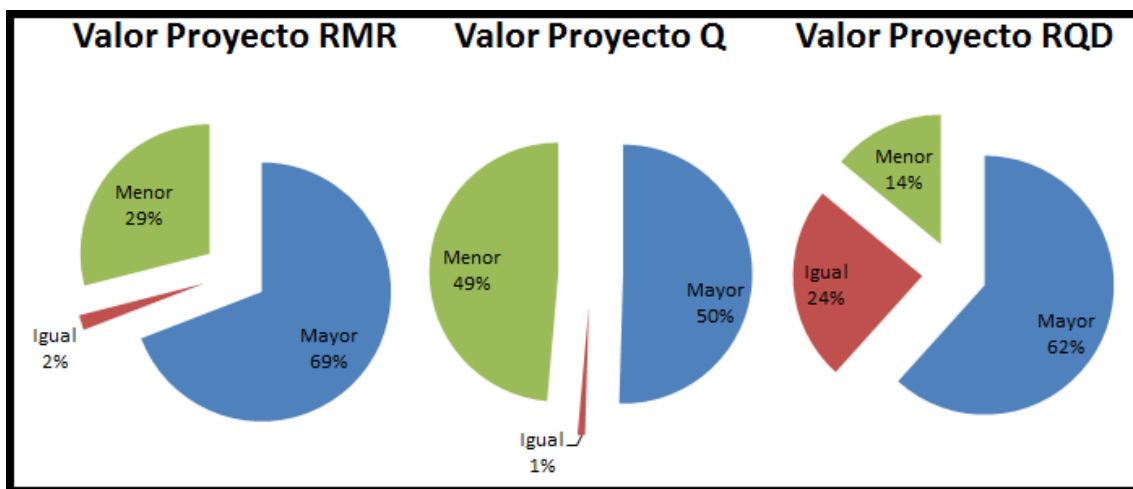
Gráfica 5.24.- Histograma de los valores de RMR de la Andesita y Brecha.

La Gráfica 5.25 presenta los registros de Q con nueve clases, comenzando en 0.001 y terminando en 1000. La altura de cada barra representa, la frecuencia con que se presenta el valor de Q; esta muestra una distribución con una cola larga a la izquierda; los registros de Q obtuvieron valores malos a muy malos, como lo muestra la acumulación de las calificaciones en la parte derecha de la gráfica y muy baja densidad en la parte izquierda. Esto nos indica que para la Andesita y Brecha los valores que se registren serán malos.



Gráfica 5.25.- Histograma de los valores de Q del material Andesita y Brecha.

En la Gráfica 5.26 se muestra la comparación de los valores de proyecto contra el valor real de RQD, RMR y Q, de la Andesita y Brecha. Esto permite definir el error que se tiene al realizar los estudios de campo para este tipo de material, y tener un mayor cuidado al realizar los estudios que sean necesarios.



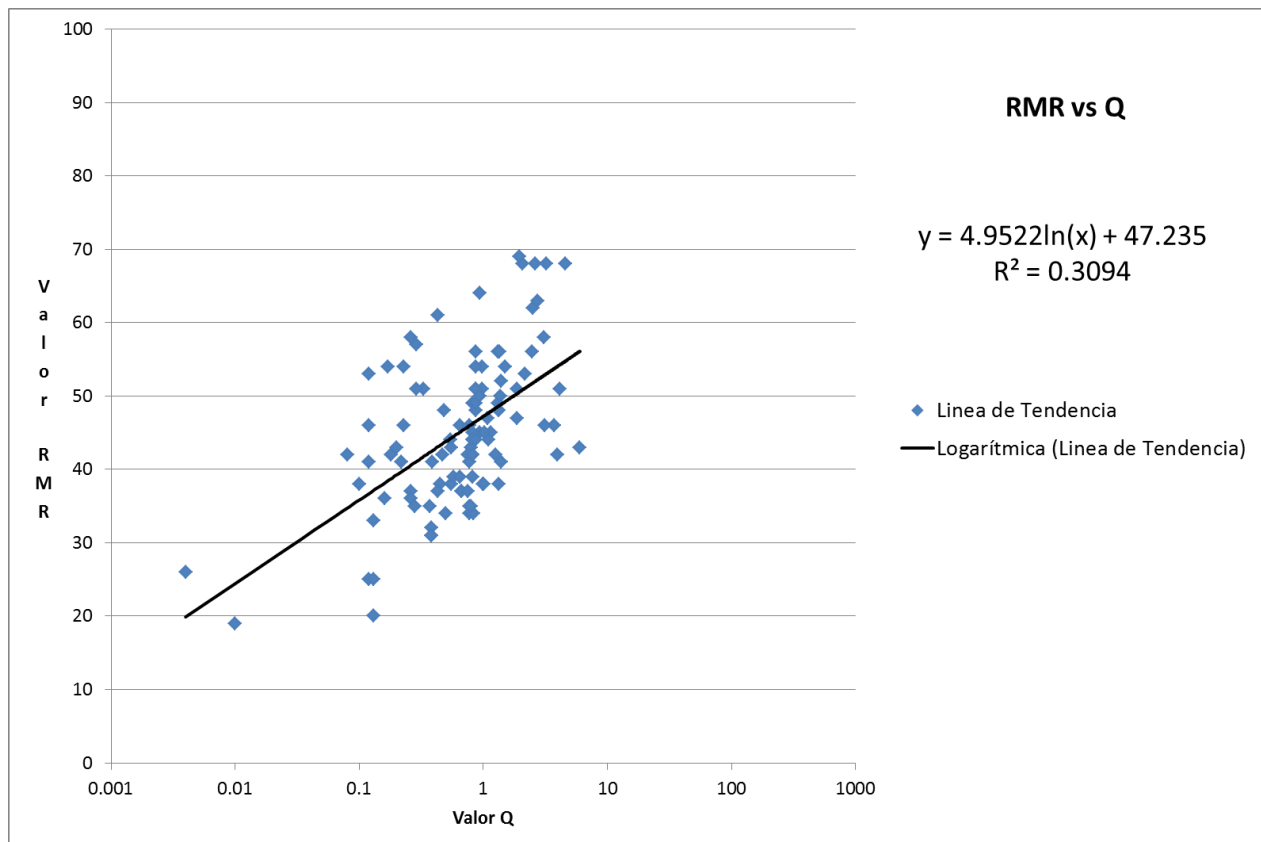
Gráfica 5.26.- Porcentajes de valores de proyecto de RMR, Q y RQD del tipo de material "Andesitas y Brecha".

Además, se analizó la correlación entre los valores de RMR y Q, donde en la Gráfica 5.27 se muestra lo correspondiente a las correlaciones obtenidas, así como se muestra la Ecuación 5.10 que representa la línea de tendencia y el valor de coeficiente de correlación (R^2) que

indica un ajuste malo. Esto indica que se necesitan más datos para poder hacer una correlación que nos pueda ayudar en un futuro en la obtención de los valores.

$$y = 4.9522 \ln(x) + 44.235 \quad (5.10)$$

$$R^2 = 0.3094$$



Gráfica 5.27.- Datos recopilados del material tipo “Andesita y Brecha”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de correlación.

5.7.3.- BASALTO

Al realizar el análisis geológico – geotécnicos se encontró con 17 registros que corresponden al Basalto, en la cual se analizó la frecuencia de distribución, así como los porcentajes de los valores de proyecto RQD, RMR y Q, y la correlación entre RMR y Q.

El basalto es una roca volcánica de grano fino y de color verde oscuro a negro, compuesta fundamentalmente por piroxeno y plagioclasa rica en calcio con cantidades menores de

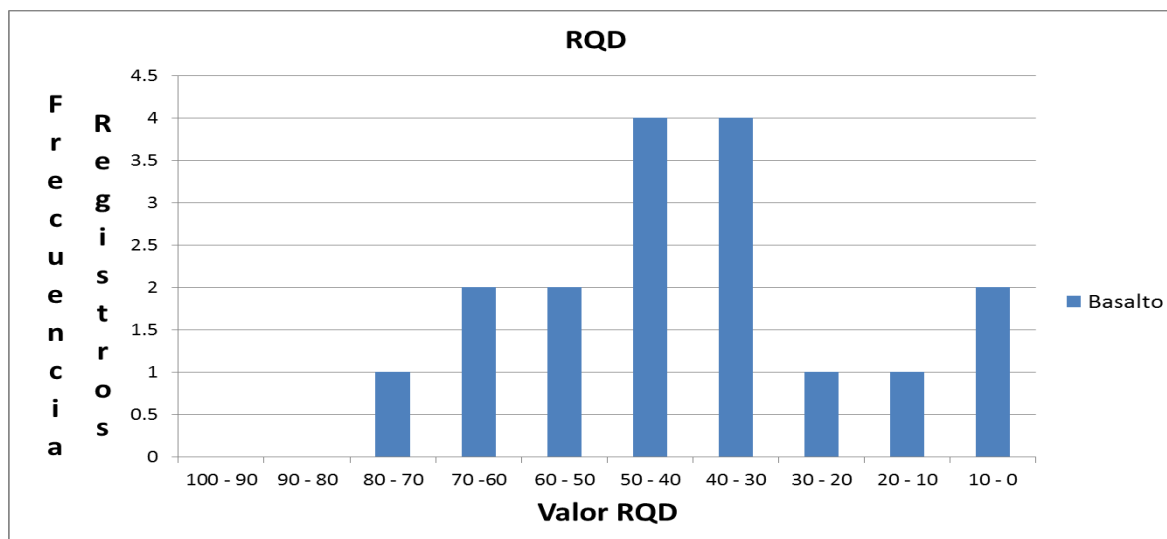
olivino y anfíbol. Cuando es porfídico, el basalto contiene comúnmente fenocristales pequeños de plagioclasas de colores claros o fenocristales de olivino de aspectos vítreo, embebidos en una pasta oscura. El basalto es la roca ígnea extrusiva más común.

En la Tabla 5.28 se presenta la distribución de frecuencias para RQD, RMR y Q, del “Basalto”, obteniéndose un total de 17 lecturas, que comprenden a los túneles donde se encontró este material.

Tabla 5.28.- Distribución de frecuencias relativas de los valores de RQD, RMR y Q.

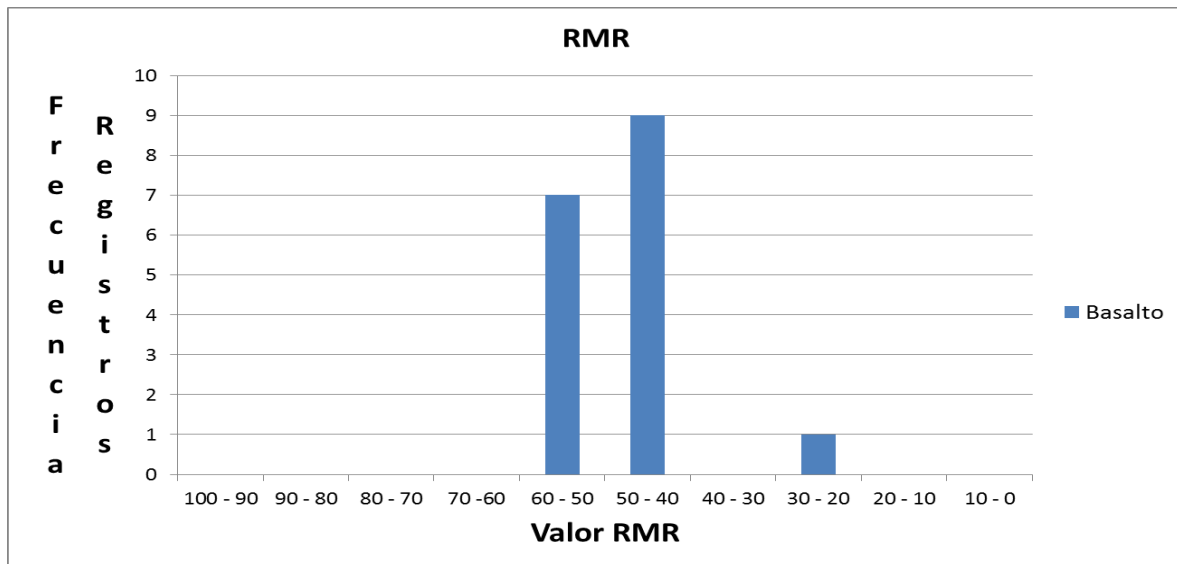
	Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)		Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)		Intervalo de Clase	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)
Valor RQD	100 - 90	0	0	Valor RMR	100 - 90	0	0	Valor Q	1000 - 400	0	0
	90 - 80	0	0		90 - 80	0	0		400 - 100	0	0
	80 - 70	1	6		80 - 70	0	0		100 - 40	0	0
	70 - 60	2	12		70 - 60	0	0		40 - 10	0	0
	60 - 50	2	12		60 - 50	7	41		10 - 4	1	6
	50 - 40	4	24		50 - 40	9	53		4 - 1	6	35
	40 - 30	4	24		40 - 30	0	0		1 - 0.1	9	53
	30 - 20	1	6		30 - 20	1	6		0.1 - 0.01	1	6
	20 - 10	1	6		20 - 10	0	0		0.01 - 0.001	0	0
	10 - 0	2	12		10 - 0	0	0		Total	17	100
	Total	17	100		Total	17	100				

En la Gráfica 5.28 se presentan los registros de RQD con diez clases, que va de 0 a 100. La altura de cada barra representa la frecuencia de RQD; los valores muestran una distribución uniforme con altos y bajos alternándose, sugiere la existencia de datos de varios procesos diferentes (tipo de material) o se han producido errores de medición.



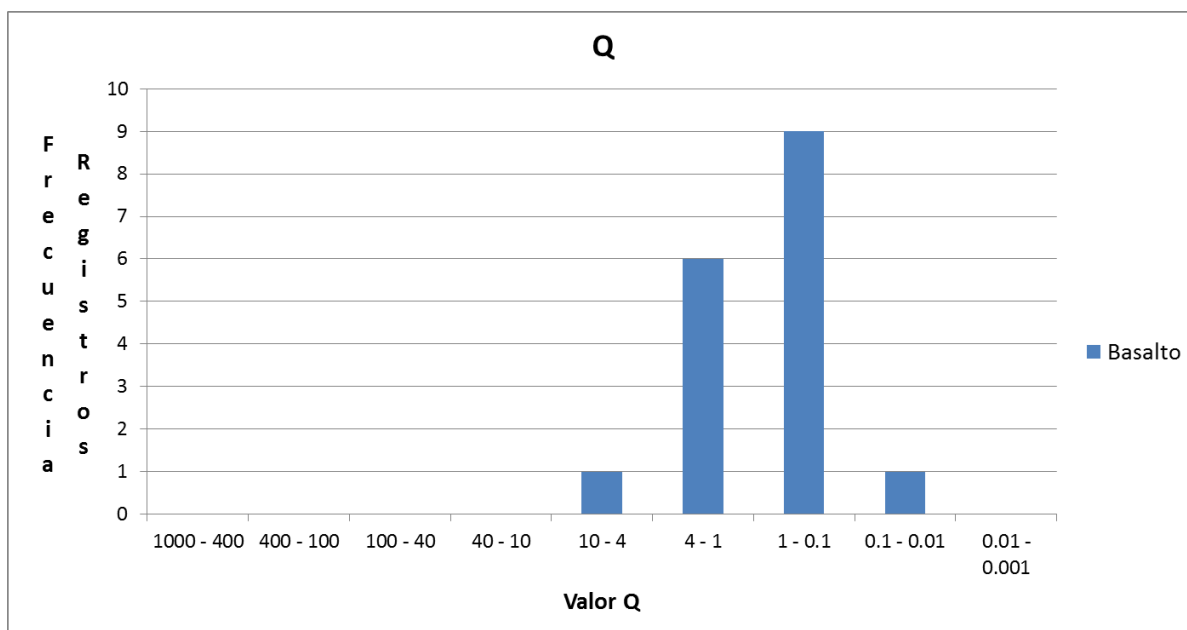
Gráfica 5.28.- Histograma de los valores de RQD del Basalto.

La Gráfica 5.29 se presenta los registros del valor RMR con diez clases, que va de 0 a 100. La altura de cada barra representa, la frecuencia de RMR; se muestra que los valores se distribuyen en dos clases que comprenden de 60 a 40 donde ocurre la acumulación o tendencia, además existe un grupo de datos pequeño separado, esto indica alguna anomalía del proceso, algo que no ocurre de forma regular



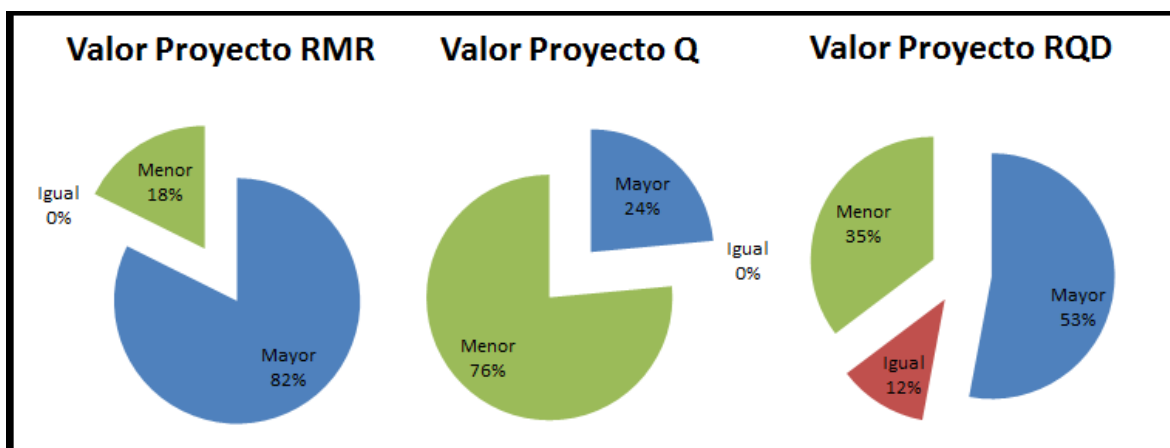
Gráfica 5.29.- Histograma de los valores de RMR del Basalto.

En la Gráfica 5.30 se ve un histograma de los registros del valor Q con nueve clases, comenzando en 0.001 y terminando en 1000. La altura de cada barra representa, la frecuencia de Q, donde se muestra que los valores se distribuyen en forma aproximadamente asimétrica con el pico descentrado respecto al rango de datos y la curva termina bruscamente en un lado y suavemente en el otro, esto puede ser debido a que los valores de la clase 1 - 0.1, se han ajustado demasiado.



Gráfica 5.30.- Histograma de los valores de Q del material Basalto.

En la Gráfica 5.31 se muestra la comparación de los valores de proyecto contra los valores reales, de RQD, RMR y Q, del “Basalto”. En el valor RQD se tiene un porcentaje bajo, esto debido a que en los estudios de campo hubo discrepancias, también se muestra que los valores de RMR y Q, no hubo un acierto entre el proyecto y lo real. Estos errores producen que se hagan estudios con una baja asertividad.

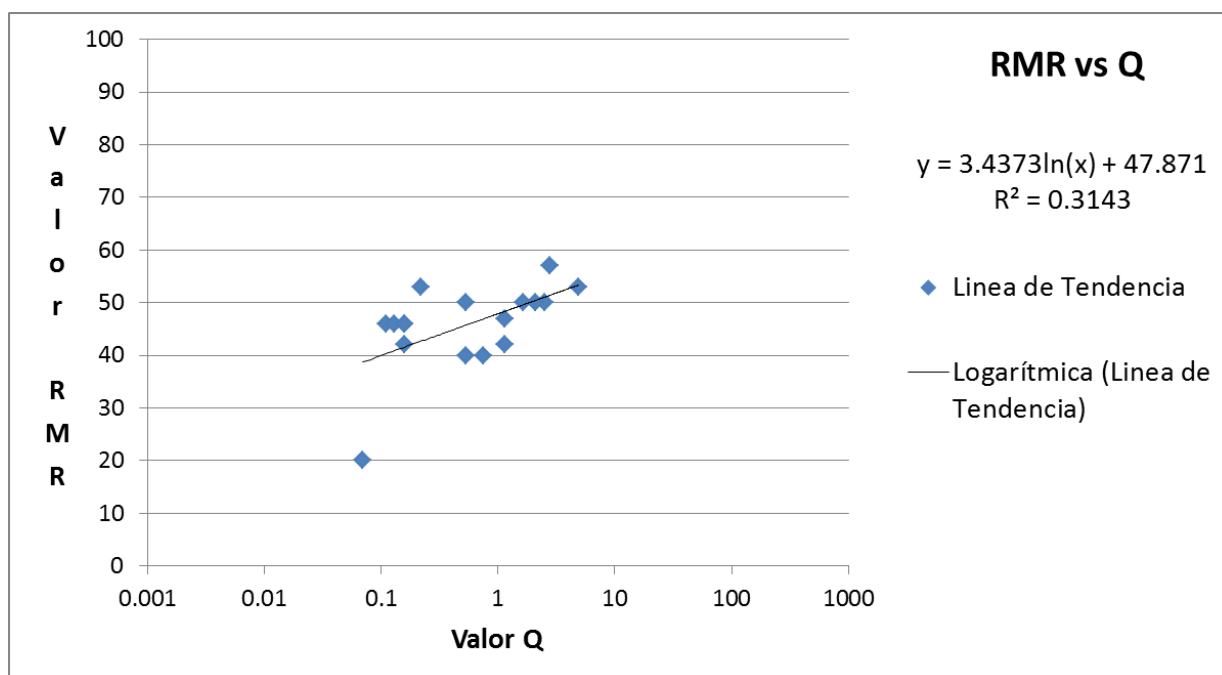


Gráfica 5.31.- Porcentajes de valores de proyecto de RMR, Q y RQD del “Basalto”.

Se analizó si existía una correlación entre los valores de RMR y Q, obteniendo los resultados que se presentan en la Gráfica 5.32, así mismo muestra la Ecuación 5.11 que representa la línea de tendencia y el valor de coeficiente de correlación (R^2) que indica un ajuste malo. No existe una buena correlación entre ambas variables, por lo tanto las estimaciones que se puedan realizar no ofrecerán alguna confianza.

$$y = 3.4373 \ln(x) + 47.871 \quad (5.11)$$

$$R^2 = 0.3143$$



Gráfica 5.32.- Datos recopilados del material tipo “Basalto”, con la ecuación logarítmica y el coeficiente de-correlación.

Al realizar el análisis de los materiales de las frecuencias de los registros de RQD, RMR y Q, permitió obtener valores estimativos que se presentaran para futuros estudios, esto permite que los valores no sean diferentes para las características que se presentaron en estos estudios. Esto llevará a tener una mejor aproximación de los datos y tener un mejor control de los valores. Al realizar las correlaciones de RMR y Q, con la idea de obtener valores que ayuden al diseño y control de futuros trabajos, cabe mencionar que estos datos son válidos para las caracterizas que se presentaron.

5.8.- RQD vs Q

El valor del parámetro RQD se obtiene directamente de las mediciones que se realizan tomando muestras de núcleos del macizo rocoso. Por otro lado, Q es un parámetro que se calcula a partir de una función de RQD y de los parámetros de caracterización del macizo rocoso, J_r , J_w , J_n , J_a y SRF , y está dado por la ecuación 5.13

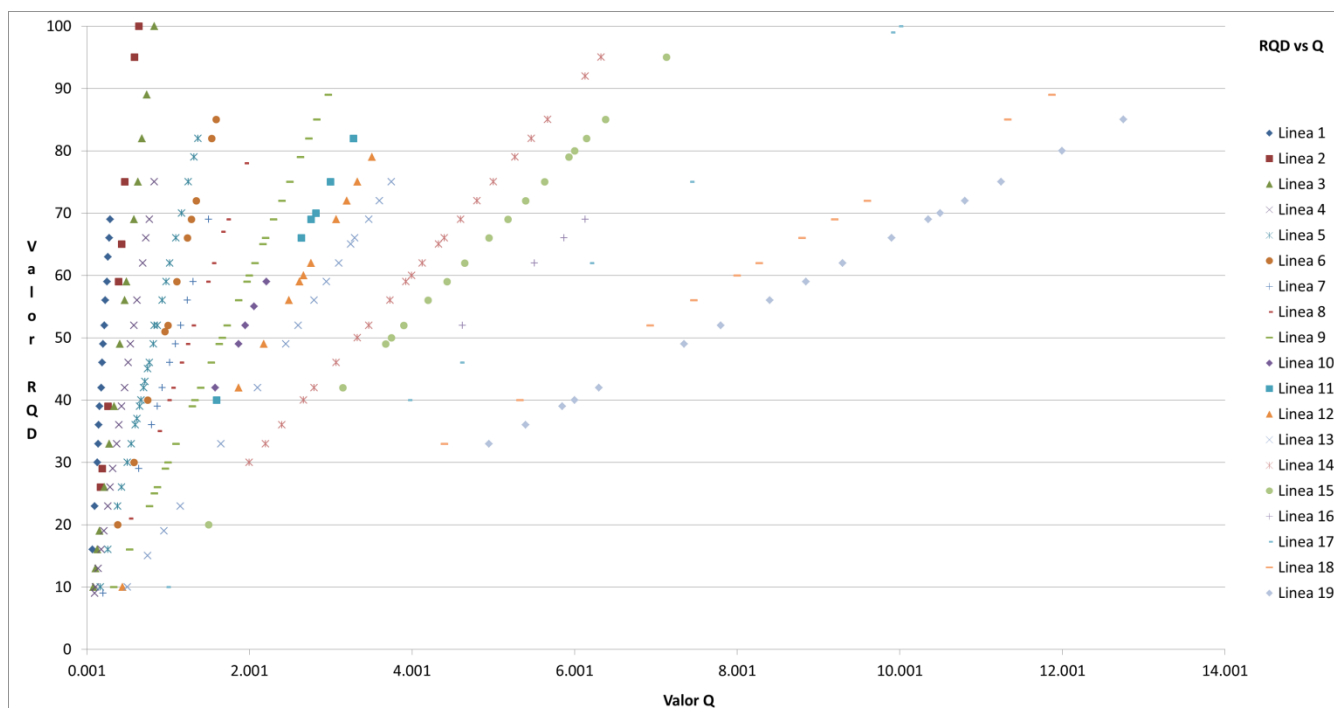
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (5.13)$$

De la ecuación (5.13), notamos que Q es directamente proporcional a RQD , por lo tanto cuando este último parámetro se anula también lo hará Q . La ecuación (5.13) se puede expresar de una manera más compacta si agrupamos los parámetros de caracterización del macizo rocoso en un solo parámetro, m , como se muestra en la ecuación (5.14).

$$Q = m \cdot RQD \quad (5.14)$$

De tal forma que, cuando se gráfica Q como función de RQD , tendremos líneas rectas que pasan por el origen y que su pendiente es precisamente m (ver Gráfica 5.33). Esta relación lineal entre las dos variables no requiere que se tengan que modificar los ejes de las gráficas (ej. ejes logarítmicos, etc.), por lo que una representación normal es suficiente.

Una vez que medimos de forma independiente el valor de la pendiente, m , obtenemos el producto de los parámetros de caracterización del macizo rocoso (ver ecuación 5.13). De las mediciones que se obtuvieron, se puede notar que la valoración está en el rango de 6.7 y 239 (ver Gráfica 5.33 y Tabla 5.29). Se puede concluir que, dentro de los túneles estudiados los parámetros de caracterización del macizo rocoso, se encuentran restringidos de tal forma que su resultado oscilara entre los valores mencionados.



Gráfica 5.33.- Líneas de Valores de RQD vs Q.

Tabla 5.29.- Ecuaciones de las líneas encontradas en la Gráfica 5.38

Línea	Ecuación	Línea	Ecuación
1	$y = 238.611 \cdot RQD$	11	$y = 24.968 \cdot RQD$
2	$y = 156.284 \cdot RQD$	12	$y = 22.493 \cdot RQD$
3	$y = 119.708 \cdot RQD$	13	$y = 19.987 \cdot RQD$
4	$y = 90.065 \cdot RQD$	14	$y = 15.001 \cdot RQD$
5	$y = 60.091 \cdot RQD$	15	$y = 13.327 \cdot RQD$
6	$y = 53.178 \cdot RQD$	16	$y = 11.251 \cdot RQD$
7	$y = 45.213 \cdot RQD$	17	$y = 10.021 \cdot RQD$
8	$y = 39.992 \cdot RQD$	18	$y = 7.499 \cdot RQD$
9	$y = 30.008 \cdot RQD$	19	$y = 6.667 \cdot RQD$
10	$y = 26.584 \cdot RQD$		

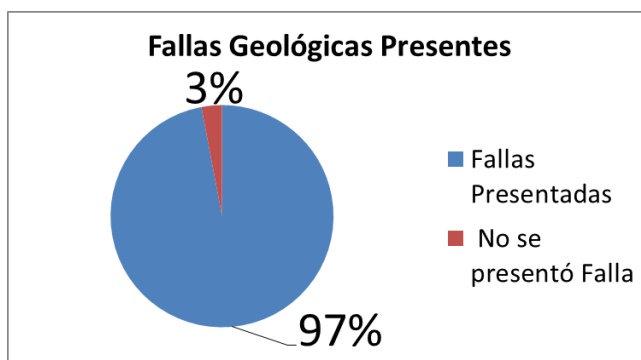
5.9.- SOLUCIONES DE SOSTENIMIENTO EN LOS TÚNELES

Se realizó un análisis de los planos “As-Built”, de la parte de Soporte Primario y Sostenimiento donde se presentaron dos casos, lo que se proyectó y lo que se encontró (lo real). Se llevó a cabo una comparación de los 30 túneles de las fallas geológicas, soporte primario y sostenimiento.

A continuación, se mencionan 7 túneles de los 30 (por contar con más información). Para ver los resultados de los otros túneles, estos se encuentran en los Anexos 98 al 127.

El Guineo

En el Anexo 98, se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.34, se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron, de 40 registros que se obtuvieron del túnel, el 97% tiene fallas geológicas presentes (de 1 a 5 fallas por registro).



Gráfica 5.34.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel El Guineo.

En la Tabla 5.30 se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 98, de los cuales se obtuvo los porcentajes de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. De esta manera, se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo. Asimismo, se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue menor a lo que realmente fue colocado. De las soluciones en el proyecto, se tenían contempladas tres; en lo real fueron usadas cinco y solamente dos del

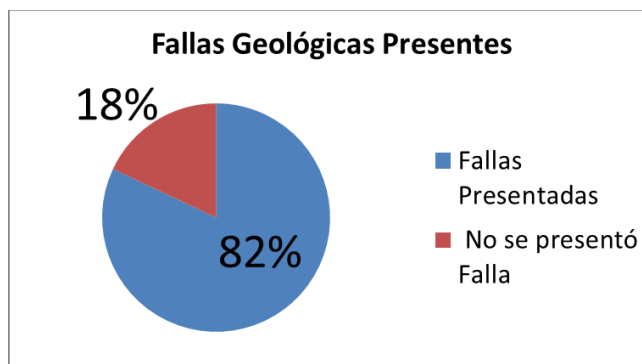
proyecto fueron empleadas. En el proyecto, se tenía que un 86.99% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, aunque en lo real fue un 82.6 %, esto es un poco menor a lo que se tenía proyectado.

Tabla 5.30.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel El Guineo.

Túnel - El Guineo	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Tubería de Enfilaje	67	22.3311	33	10.9989	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	88	17.6	12	2.4
Concreto Lanzado	97	32.3301	3	0.999	95	19	5	1
Anclas de Fricción	-	-	-	-	100	20	0	0
Marcos Metálicos	97	32.3301	3	0.9999	88	17.6	12	2.4
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	42	8.4	58	11.6
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	86.9913	3	12.9978	5	82.6	5	17.4

El Varal

En el Anexo 99, se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.35, se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron en el túnel El Varal. De 143 registros que se obtuvieron del túnel, el 82% cuentan con fallas geológicas presentes (de 1 a 4 fallas por registro).



Gráfica 5.35.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel El Varal.

En la Tabla 5.31, se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 99, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. Se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; de igual forma, se

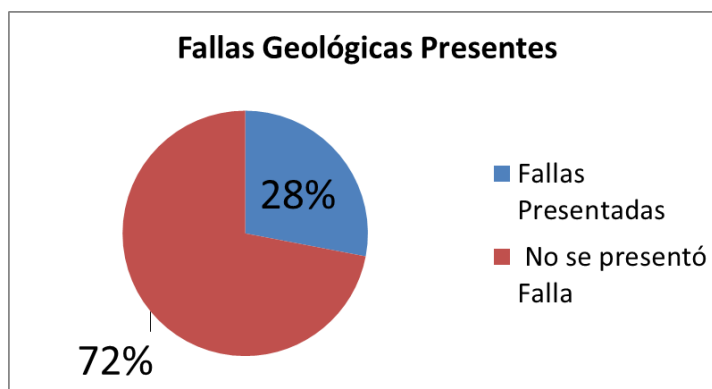
muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue igual. De las soluciones que se tenían en el proyecto, solamente fueron usadas cuatro. En el proyecto se tenía que un 56.6% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, empero en lo real fue un 47.2 %, esto es menor a lo que se tenía proyectado.

Tabla 5.31.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel El Varal.

Túnel - El Varal	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Tubería de Enfilaje	43	8.6	57	11.4	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	41	8.2	59	11.8	26	5.2	74	14.8
Concreto Lanzado	99	19.8	1	0.2	99	19.8	1	0.2
Anclas de Fricción	57	11.4	43	8.6	74	14.8	26	5.2
Marcos Metálicos	43	8.6	57	11.4	28	5.6	72	14.4
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	9	1.8	91	18.2
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	56.6	5	43.4	5	47.2	5	52.8

Las Labores

En el Anexo 112 se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.36, se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron en el túnel Las Labores. De 47 registros que se obtuvieron del túnel, el 28% cuenta con fallas geológicas presentes (de 1 a 4 fallas por registro).



Gráfica 5.36.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel Las Labores.

En la Tabla 5.32 se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 112, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. En este aspecto, se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; también se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue igual. De las soluciones que se tenían en el proyecto, solamente fueron usadas cuatro. En el proyecto se tenía que un 81.8% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, aunque en lo real fue un 70.4 %. Esto es menor a lo que se tenía proyectado.

Tabla 5.32.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Las Labores.

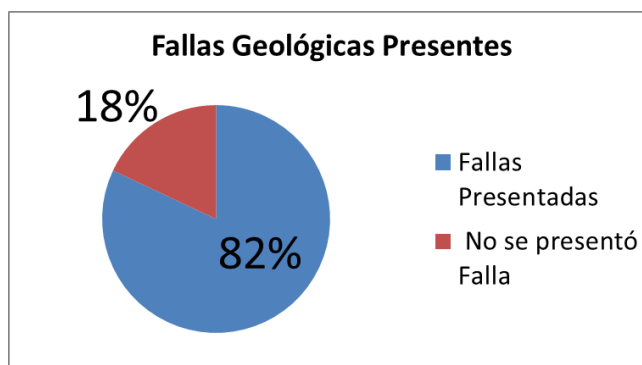
Túnel - Las Labores	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	98	19.6	2	0.4	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	19	3.8	81	16.2	85	17	15	3
Concreto Lanzado	98	19.6	2	0.4	96	19.2	4	0.8
Anclas de Fricción	98	19.6	2	0.4	13	2.6	87	17.4
Marcos Metálicos	96	19.2	4	0.8	96	19.2	4	0.8
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	62	12.4	38	7.6
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	81.8	5	18.2	5	70.4	5	29.6

Trópico de Cáncer

En el Anexo 113, se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.37 se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron en el túnel Trópico de Cáncer. De 16 registros que se obtuvieron del túnel, el 82% cuenta con fallas geológicas presentes (de 1 a 2 fallas por registro).

En la Tabla 5.33, se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 113, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. De esta forma, se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; asimismo, se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una

comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue igual. De las soluciones que se tenían en el proyecto, todas fueron empleadas. En el proyecto se tenía que un 47.6% de las soluciones se iba a emplear a lo largo del túnel, aunque en lo real fue un 50.2 %. Esto es un poco mayor a lo que se tenía proyectado.



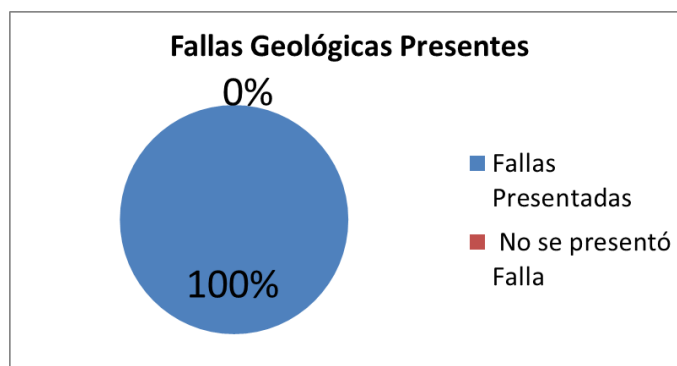
Gráfica 5.37.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Trópico de Cáncer.

Tabla 5.33.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Trópico de Cáncer.

Túnel - Trópico de Cáncer	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	12	2.4	88	17.6	19	3.8	81	16.2
Concreto Lanzado	100	20	0	0	100	20	0	0
Anclas de Fricción	63	12.6	37	7.4	63	12.6	37	7.4
Marcos Metálicos	44	8.8	56	11.2	44	8.8	56	11.2
Colado de Marcos Metálicos	19	3.8	81	16.2	25	5	75	15
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	47.6	5	52.4	5	50.2	5	49.8

Corte Alto

En el Anexo 114, se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.38 se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron en el túnel Corte Alto. De 9 registros que se obtuvieron del túnel, el 100% cuenta con fallas geológicas presentes (1 a 4 fallas por registro).



Gráfica 5.38.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Corte Alto.

En la Tabla 5.34 se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 114, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. De esta manera, se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; también, se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue de cuatro; mientras que para lo real fue de cinco. De las soluciones que se tenían en el proyecto, solamente fueron usadas cuatro. En el proyecto se tenía que un 55.5% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, empero en lo real fue un 57.8 %. Esto es un poco mayor a lo que se tenía proyectado.

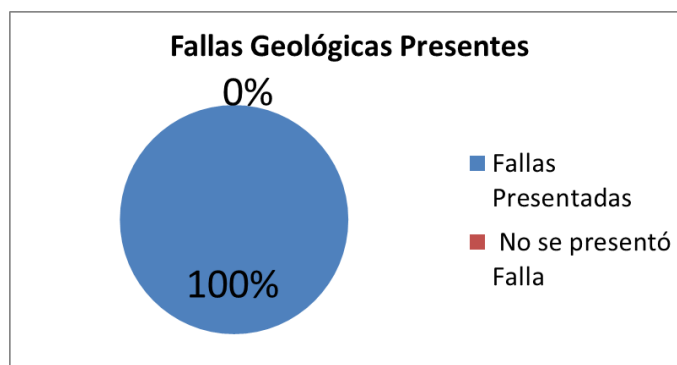
Tabla 5.34.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Corte Alto.

Túnel - Corte Alto	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	44	8.8	56	11.2
Concreto Lanzado	100	25	0	0	89	17.8	11	2.2
Anclas de Fricción	89	22.25	11	2.75	78	15.6	22	4.4
Marcos Metálicos	22	5.5	78	19.5	67	13.4	33	6.6
Colado de Marcos Metálicos	11	2.75	89	22.25	11	2.2	89	17.8
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	55.5	4	44.5	5	57.8	5	42.2

Pánuco

En el Anexo 124 se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.39, se muestran los porcentajes de

fallas que se encontraron en el túnel Pánuco. De 14 registros que se obtuvieron del túnel, el 100% cuenta con fallas geológicas presentes (de 1 a 3 fallas por registro).



Gráfica 5.39.- Fallas geológicas presentes en el Túnel Pánuco.

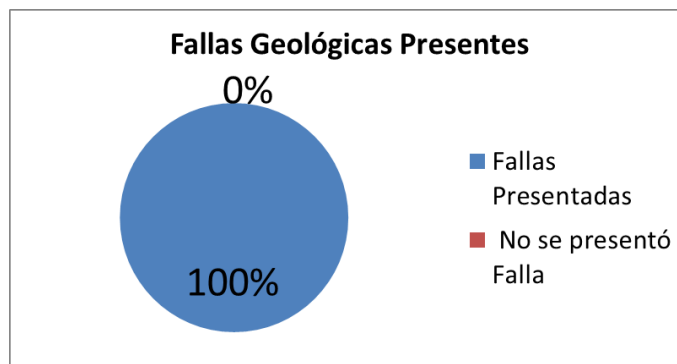
En la Tabla 5.35, se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 124, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. Se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; asimismo, se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue de cuatro; mientras que para lo real fue de cinco. De las soluciones que se tenían en el proyecto, solamente fueron usadas tres. En el proyecto se tenía que un 76.75% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, empero en lo real fue un 71.4 %. Esto es menor a lo que se tenía proyectado.

Tabla 5.35.- Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Pánuco.

Túnel - Pánuco	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	100	25	0	0	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	100	20	0	0
Concreto Lanzado	100	25	0	0	100	20	0	0
Anclas de Fricción	71	17.75	29	7.25	71	14.2	29	5.8
Marcos Metálicos	36	9	64	16	57	11.4	43	8.6
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	29	5.8	71	14.2
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	76.75	4	23.25	5	71.4	5	28.6

Pánuco II

En el Anexo 125 se muestra la información de las fallas, así como del soporte primario y sostenimiento que se empleó en el túnel. En la Gráfica 5.40, se muestran los porcentajes de fallas que se encontraron en el túnel Pánuco II. De 9 registros que se obtuvieron del túnel, el 100% cuenta con fallas geológicas (de 1 a 3 fallas por registro).



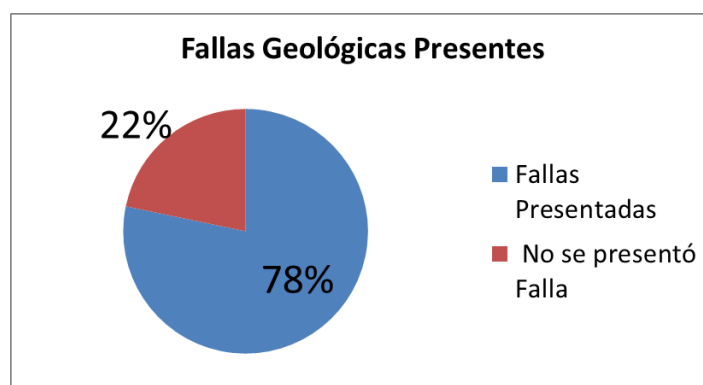
Gráfica 5.40.- Fallas Geológicas Presentes en el Túnel Pánuco II.

En la Tabla 5.36 se muestra un resumen de los datos obtenidos del Anexo 125, de los cuales se obtuvo los porcentajes, de los métodos de solución del soporte primario y sostenimiento para el túnel, es decir de lo que se empleó y de lo que no se empleó. De esta forma, se hace una comparación entre lo que se proyectó y lo que se colocó real en campo; asimismo, se muestra un porcentaje representativo de cada solución para hacer una comparación final de lo proyectado contra lo real; esto es, de la solución que se tiene, cuánto porcentaje es lo que se va a emplear a lo largo del túnel. La información muestra que el número de soluciones en el proyecto fue de cuatro, mientras que para lo real fue de cinco. De las soluciones que se tenían en el proyecto, solamente fueron usadas tres. En el proyecto se tenía que un 72.25% de las soluciones se iban a emplear a lo largo del túnel, empero en lo real fue un 84.6 %. Esto es mayor a lo que se tenía proyectado.

Tabla 5.36.-Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento del Túnel Pánuco II.

Túnel - Pánuco II	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	89	22.25	11	2.75	-	-	-	-
Anclas de Fricción Enfilaje Ligero	-	-	-	-	78	15.6	22	4.4
Concreto Lanzado	89	22.25	11	2.75	89	17.8	11	2.2
Anclas de Fricción	89	22.25	11	2.75	56	11.2	44	8.8
Marcos Metálicos	22	5.5	78	19.5	100	20	0	0
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	100	20	0	0
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	72.25	4	27.75	5	84.6	5	15.4

Al realizar el análisis de los 30 túneles se encontró que aproximadamente el 78% de la longitud del túnel presentara fallas como lo muestra la Grafica 5.41. Esto permite poder tener una valoración de las fallas que se encontraran en túneles con las mismas características y así poder identificar problemas futuros o diseñar con una idea de los problemas que se pueden encontrar.



Gráfica 5.41.- Fallas Geológicas Presentes en los 30 túneles.

Como conclusión de las propuestas hechas para los soportes primarios y para los sostenimientos se puede decir que para el proyecto de excavación de los túneles se encontraron 4 soluciones generales, de las cuales solamente en el 66 % se emplearon. Ahora para las excavaciones reales de los mismos se encontró que se usaron 5 propuestas generales, de estas solamente se emplearon el 57%, lo que indica que se sobre proyectó (posiblemente por factor miedo) y se empleó una solución más segura. Con estos resultados podemos observar que es necesario hacer un mejor modelo que cumpla con las características adecuadas y que sea lo más aproximado a la realidad (Tabla 5.37).

Tabla 5.37.-Porcentajes de las soluciones del soporte primario y sostenimiento de los 30 túneles.

Proyecto				Real			
Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
4	66	4	34	5	57	5	42

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones identificadas en el trabajo de investigación, basado en un recorrido histórico, donde se demostró el desarrollo de los túneles en México, los cuales solamente eran usados para obras hidráulicas. Sin embargo, con el auge del Ferrocarril se impulsó el uso de los túneles con un fin de comunicación y transporte. Esto llevó a que los túneles carreteros no tuvieron gran apogeo en la segunda mitad del siglo veinte en nuestro país, hasta hace una década con la construcción de la autopista Durango – Mazatlán, considerada como una obra magna en la actualidad.

Después de la revisión metodológica, consideramos que en los estudios vigentes faltan temas que no se profundizan, por lo cual al realizar los estudios de campo nos percatamos que se encuentran bastantes deficiencias.

Una de las aportaciones de la tesis, fue la utilización de los planos “As - Built” que brindaron información completa de los procesos que se llevaron a cabo, desde los trabajos preliminares, hasta los resultados obtenidos en el momento de las excavaciones. Gracias a estos planos, se obtienen todos los valores que permitieron crear modelos de gran utilidad en proyectos futuros.

Ante la falta de investigaciones del área de estudio, se debe contemplar una base de datos que contenga las características geométricas, así como los perfiles topográficos, longitudinales, geológico, geofísico y geomecánica, todo esto con el fin que esta información esté disponible para futuros proyectos de investigación. El proyecto es un modelo para desarrollar una base de datos que pueda ser usada con fines académicos.

Otro aporte de nuestro trabajo, fue la creación de un perfil topográfico “tipo” capaz de predecir los metros de perforación necesarios para túneles de hasta 200 m de longitud. Encontramos que para excavar túneles de 100 m de longitud es suficiente hacer 3 sondeos exploratorios que tendrían una profundidad máxima total de 97 m; para los túneles de 150 m de longitud, se requieren de 4 sondeos exploratorios con de profundidad máxima total de 183 m; y para los túneles de 200 m de longitud se proponen 6 sondeos exploratorios que tendrían una profundidad máxima total de 285.2 m. Este modelo permite tener un error de

16.9%; en cambio, los metros de perforación que fueron usados para la licitación tuvieron un error de 49.4% de error. Esto indica que nuestro modelo puede ser utilizado para futuras licitaciones con su debida precaución.

Los valores de los índices RQD, RMR y Q en el proyecto se compararon con lo que se demostró en el estudio, arrojando que el valor mayor predominó, es decir se sobreproyectó; el valor menor se subproyectó y el valor igual obtuvo resultados bajos anteriormente considerado como que el debió tener un valor predominante. Esto probablemente se debió a que los sondeos del estudio no eran los adecuados, la geología y cartografía de superficie, así como la sísmica de refracción para interpolar en la falta de sondeos.

Así, se elaboró una correlación entre RMR y Q, que brindó una relación lineal con un buen ajuste, que apoyó para hacer una comparación con diferentes materiales que se encuentren en futuros proyectos, y que esta puede ser usada en México.

De igual forma, se realizaron histogramas para cada tipo de material, de los cuales se encontraron tendencias de cómo se comportan los materiales. Esto ayuda para hacer comparaciones o prever cómo se encontrarán en otros lugares las calidades de estos materiales.

Por último, se graficaron los valores de RQD y Q, donde se encontró que existen parámetros de caracterización del macizo rocoso, a su vez tienen una relación. Esto quedará para un análisis futuro, ya que es necesario profundizar en los valores que se obtuvieron para encontrar el parámetro predominante.

De las soluciones de sostenimiento de los túneles, se encontraron 5 propuestas que se sugieren para realizar un mejoramiento en el futuro, como es encontrar una correlación que permita definir la utilización de cada propuesta en un determinado túnel.

RECOMENDACIONES

Una vez que se aplicó el método de trabajo y los resultados obtenidos, se dan las siguientes recomendaciones:

- A).- Que la SCT cree una base de datos y que la ponga a disposición de los contratistas interesados en túneles, con la finalidad de generar modelos que permitan construir túneles seguros y con menor costo. De igual manera, que la base de datos contemple todos los túneles del país.
- B).- Que se siga actualizando la información, para que los modelos ya establecidos se perfeccionen.
- C).- Que el modelo de metros de perforación se compare con futuros túneles, para que se siga ajustando y se vaya perfeccionando poco a poco, en beneficio de todos.
- D).- El modelo de la correlación propuesta entre RMR y Q, sea adaptado a las condiciones que se están presentando en México.
- E).- Que los estudios de campo posean una mayor asertividad, para que las propuestas que se tengan se adapten mejor y no sufran cambios inesperados, lo que conlleva a incrementar los costos.

BIBLIOGRAFÍA

AMIVTAC. (2015). *“Soluciones adoptadas durante la construcción de túneles en la Autopista Durango - Mazatlán”*. Revista Vías Terrestres, Vol. 36, páginas 44.

AMITOS. (2013). *“Seguimiento Técnico durante la construcción de los túneles de la Carretera Durango - Mazatlán”*. Revista Amitos, Vol. 89, páginas 52.

AMITOS. (Ed.) (2012). *“Túneles en México”*. México, DF., páginas 201.

AMITOS. (Ed.)(2014). *“Memorias IV Congreso Mexicano de Ingeniería en Túneles y Obras Subterráneas 2014”*. México, DF., pp. 65 – 76.

Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR) (2011). *“Manual de Túneles de Carretera de la AIPCR”*. France., pp. 15 – 31.

Blyth, & Freitas. (1998). *“Geología para Ingenieros”*. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. pp. 135 – 191.

Castro D., Diego R., Ballester F. & Álvarez J. (2010) *“Correlación entre el Índice RMR de Bieniawski y el Índice Q de Barton en Suelos de Baja Calidad”*, Revista de la Construcción, 9, pp. 107 – 119.

Federal Highway Administration (FHWA) (2009). *“Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements”*. FHWA-NHI-10-034, Washington, D.C., pp. (1-1) – (3-38).

González de Vallejo, L. I., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C. (2002). *“Ingeniería Geológica”*. Madrid: Pearson Education., pp. 487 – 540.

Kolymbas D.. (2008). *“Tunnelling and Tunnel Mechanics”*. Berlin, Germany: Springer, pp. 57 - 72, 131 – 156.

Lunardi P. (2006). *“Design and Construction of Tunnels”*. Germany: Springer., pp. 121 – 237.

Maidl B., Thewes M., & Maidl U. (2014). *"Handbook of Tunnel Engineering"*. Volume I – II. Berlin, Germany : Wilhelm Ernst & Sohn., Volume I, pp. 9 – 142, Volume II, pp. 21 – 92.

Montgomery D., & Runger G. *"Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería"*. McGRAW-HILL., pp. 1 – 33.

Poon C. (2013). *"Innovaciones en el Diseño y Construcción de Túneles"*. México, DF., páginas 42.

Quintana P., Villalobos E., & Cornejo M. (2005). *"Métodos Numéricos con Aplicaciones en Excel"*. México: Editorial Reverté S.A., páginas 285.

Romana Ruiz M., (2013). *"Uso de clasificaciones geomecánicas en obras civiles subterráneas y en minería"*. México, D.F.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2000). *"N-CTR-CAR-1-05-007/00: Marcos Metálicos en Túneles"*. México, D.F., páginas 8.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2000). *"N-CTR-CAR-1-05-004/00: Anclas para Soporte en Túneles"*. México, D.F., páginas 11.

Soto P. (2004). *"Historia de los Túneles en Chile y el Mundo"*. En Tesis "Construcción de Túneles" (144). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil., pp. 2 – 12.

Tarback, E.j.; Lutgens, F.K., & Tasa, D. (2005). *"Ciencias de la Tierra"*. Madrid: Pearson Education S. A., pp. 107 – 201.

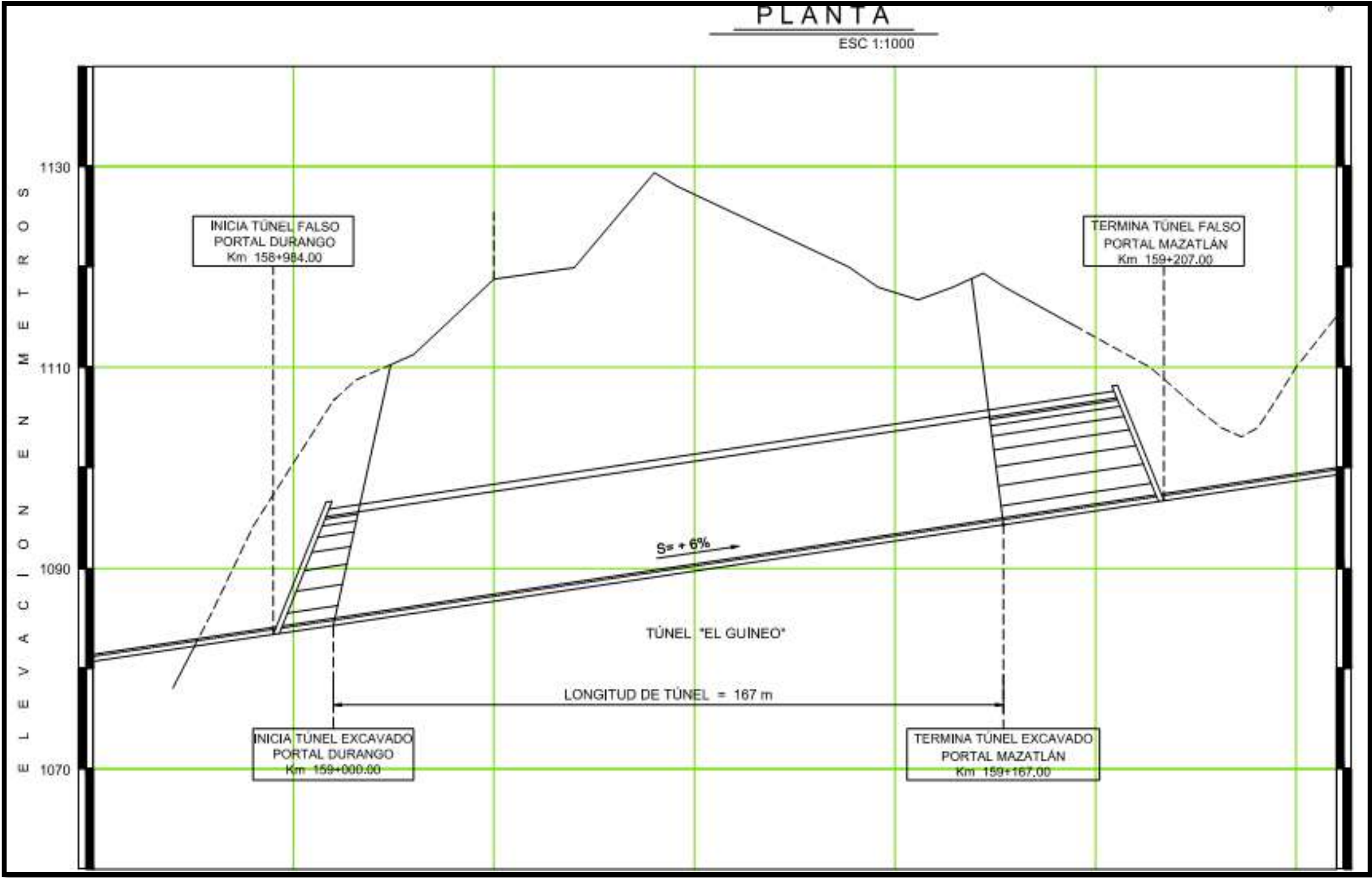
D'ANNA G. (1985) *"LEGGENDE E TRADIZIONI DELL'ANTICA ROMA"*. ARCHEO. N. 31, p. 40. Recuperado de <http://ancientrome.ru/art/artworken/img.htm?id=65>

U.P.C. (2012). *"Historia de los túneles y su evolución historia"*. Enero 20, 2016, de Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica Sitio web: <https://www.etcg.upc.edu/asg/TiMR/descargas/01Historia.pdf/view>.

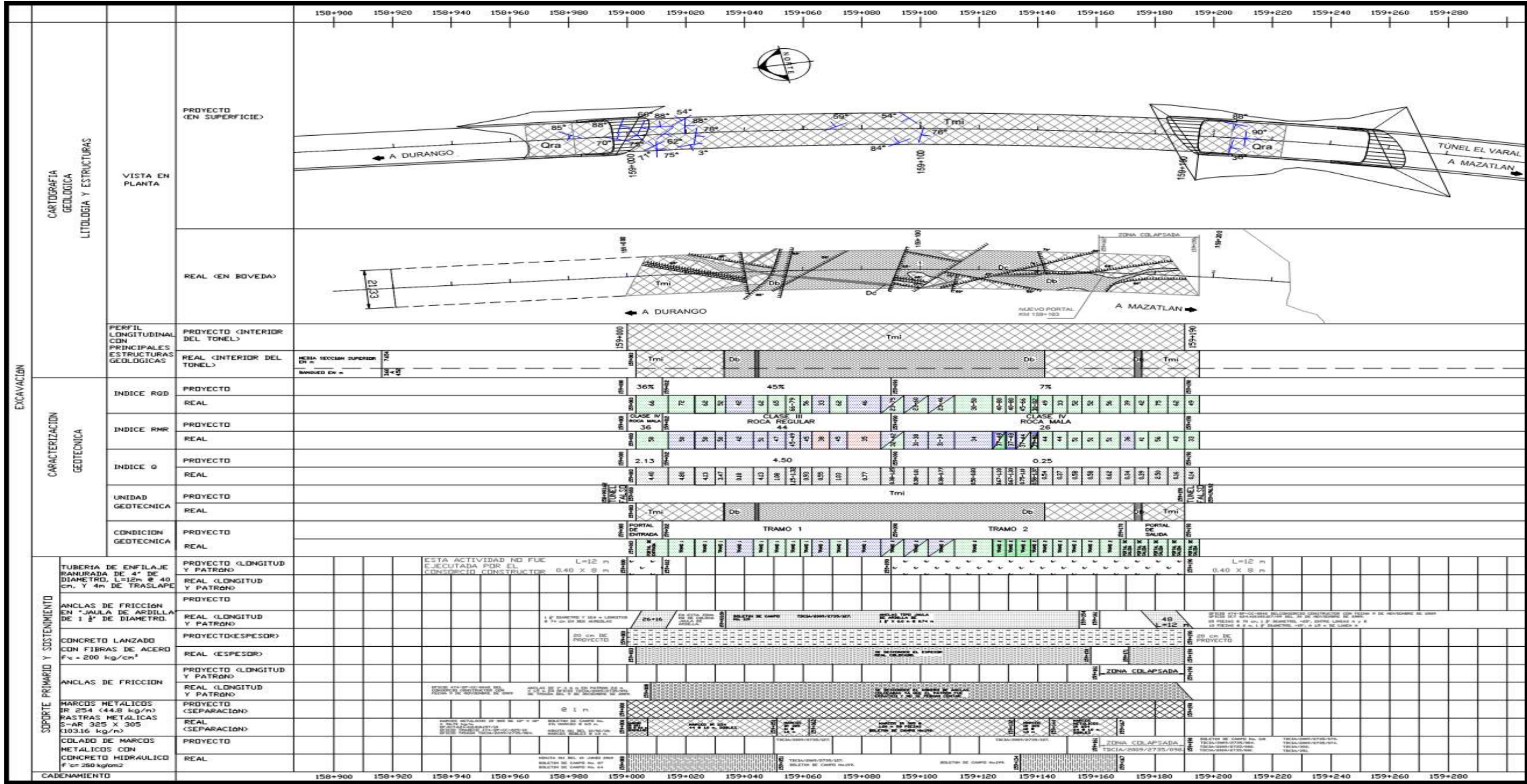
Belandria N. (2015). *"Excavación de túneles"*. Febrero 10, 2016, de Grupo de Investigación en Geología Aplicada Sitio web: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/disenio_de_tuneles_3.pdf

Anexo 1

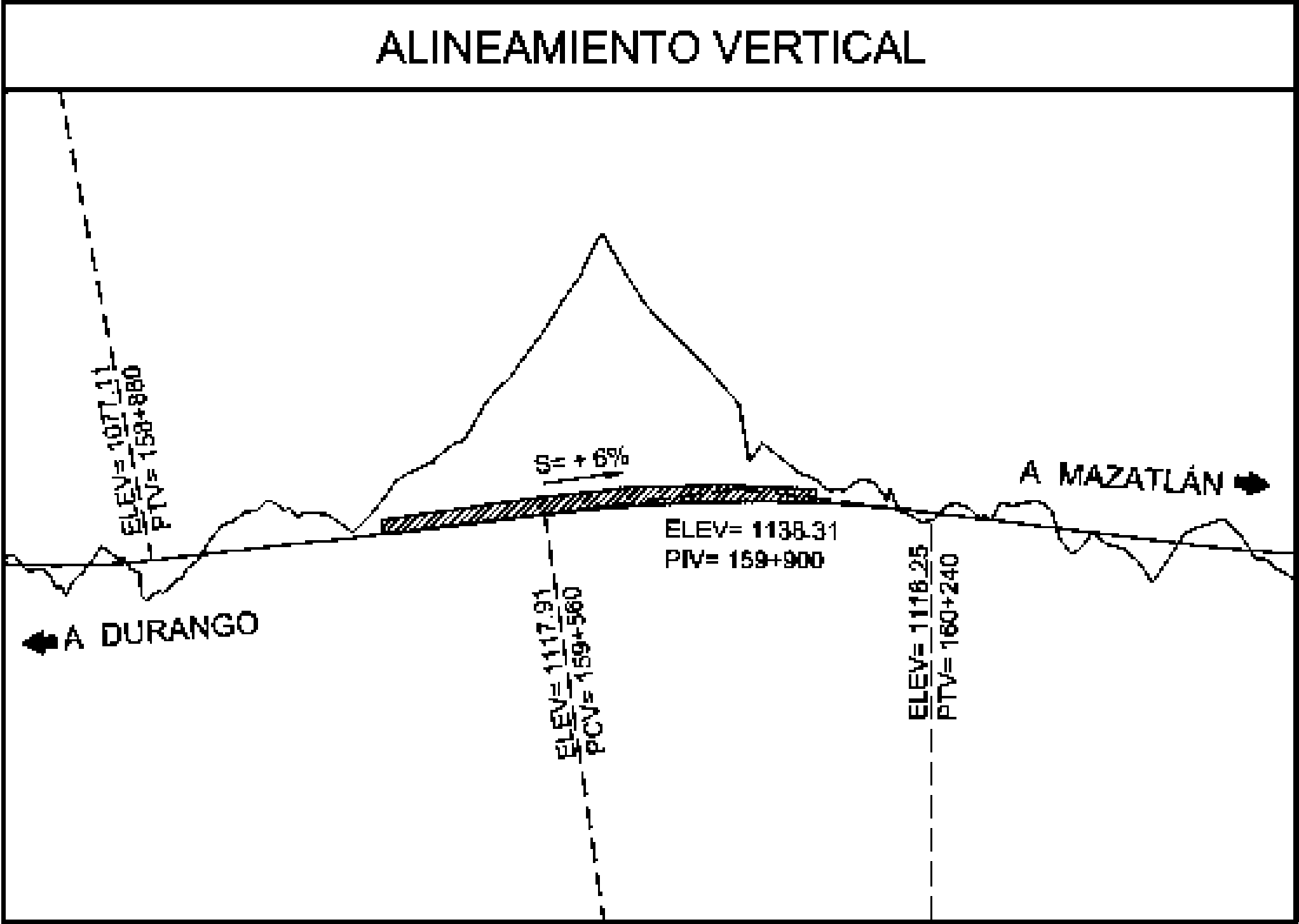
Perfil Topográfico del Túnel El Guineo



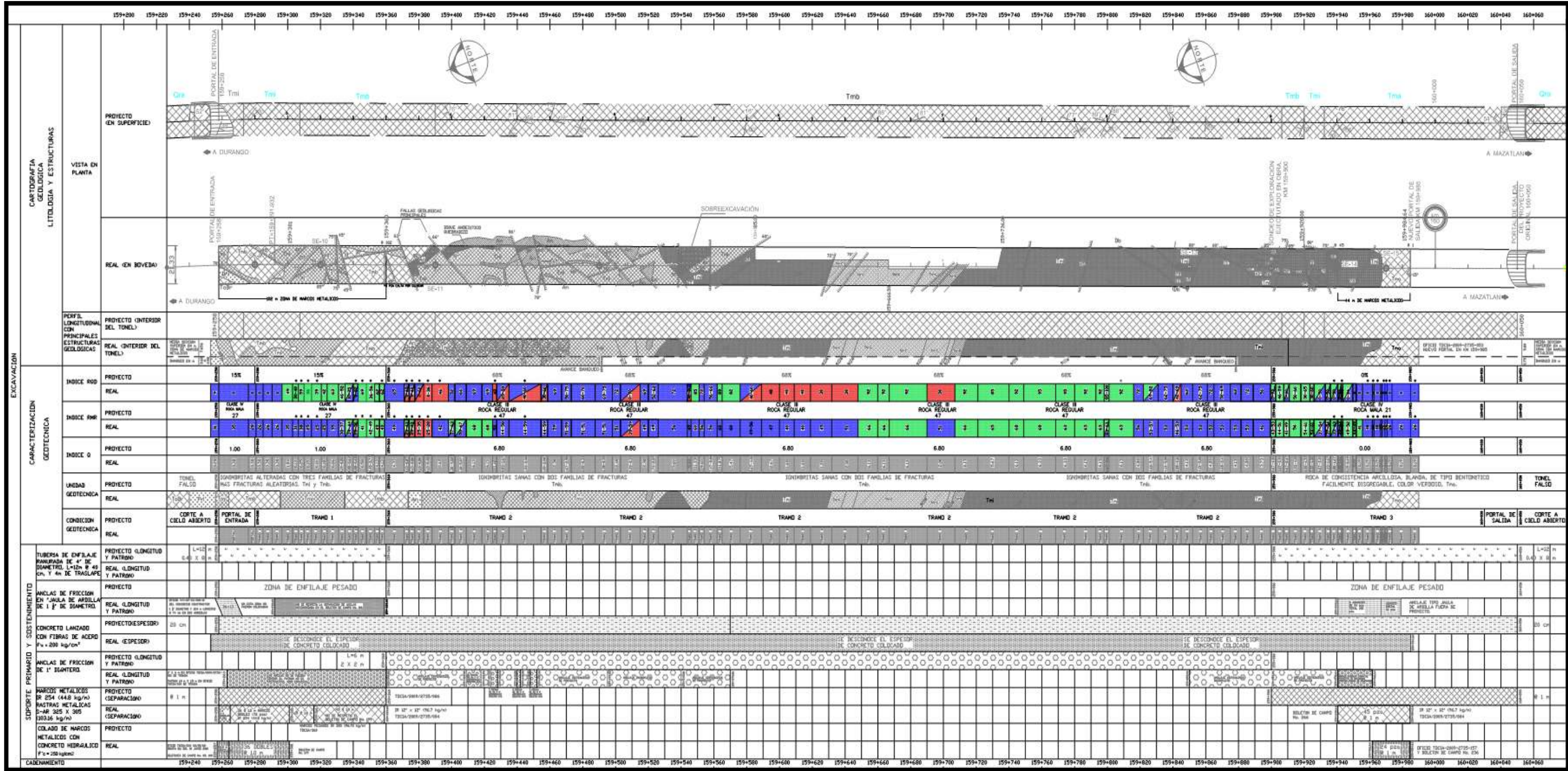
Anexo 2
Plano “As Built” del Túnel El Guineo



Anexo 3
Alineamiento Vertical del Túnel El Varal

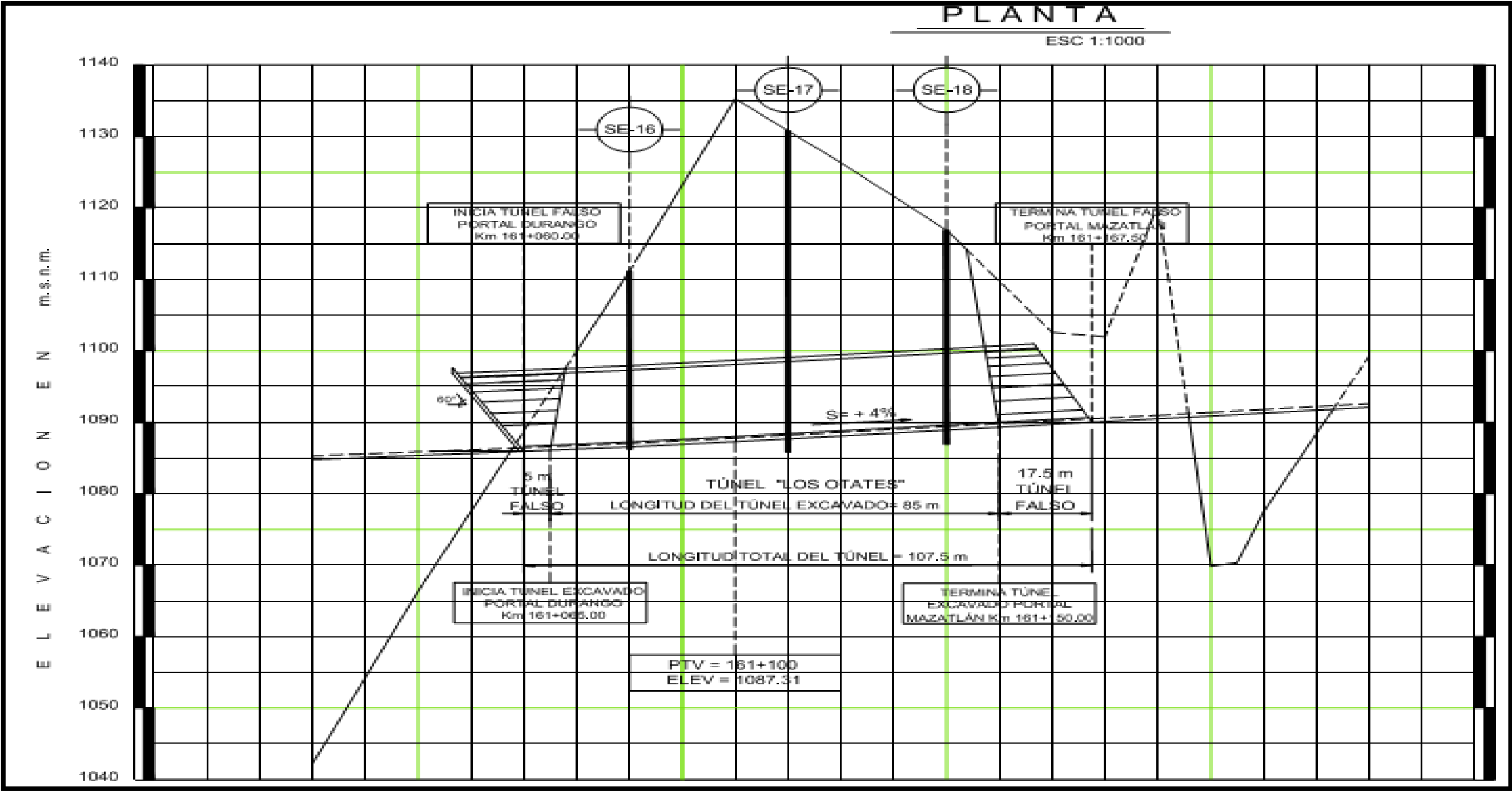


Anexo 4
Plano “As Built” del Túnel El Varal

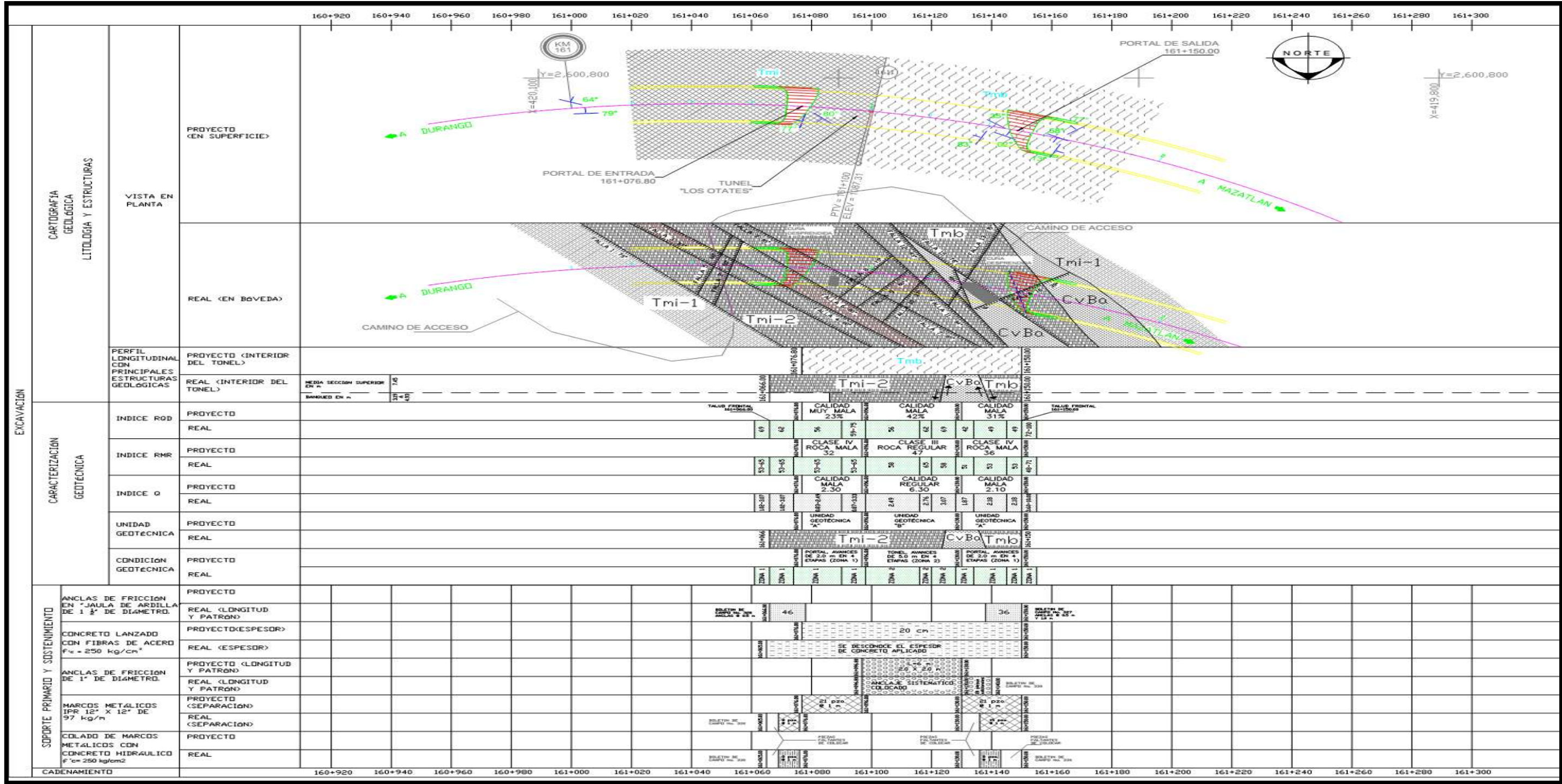


Anexo 5

Perfil Topográfico del Túnel Los Otates

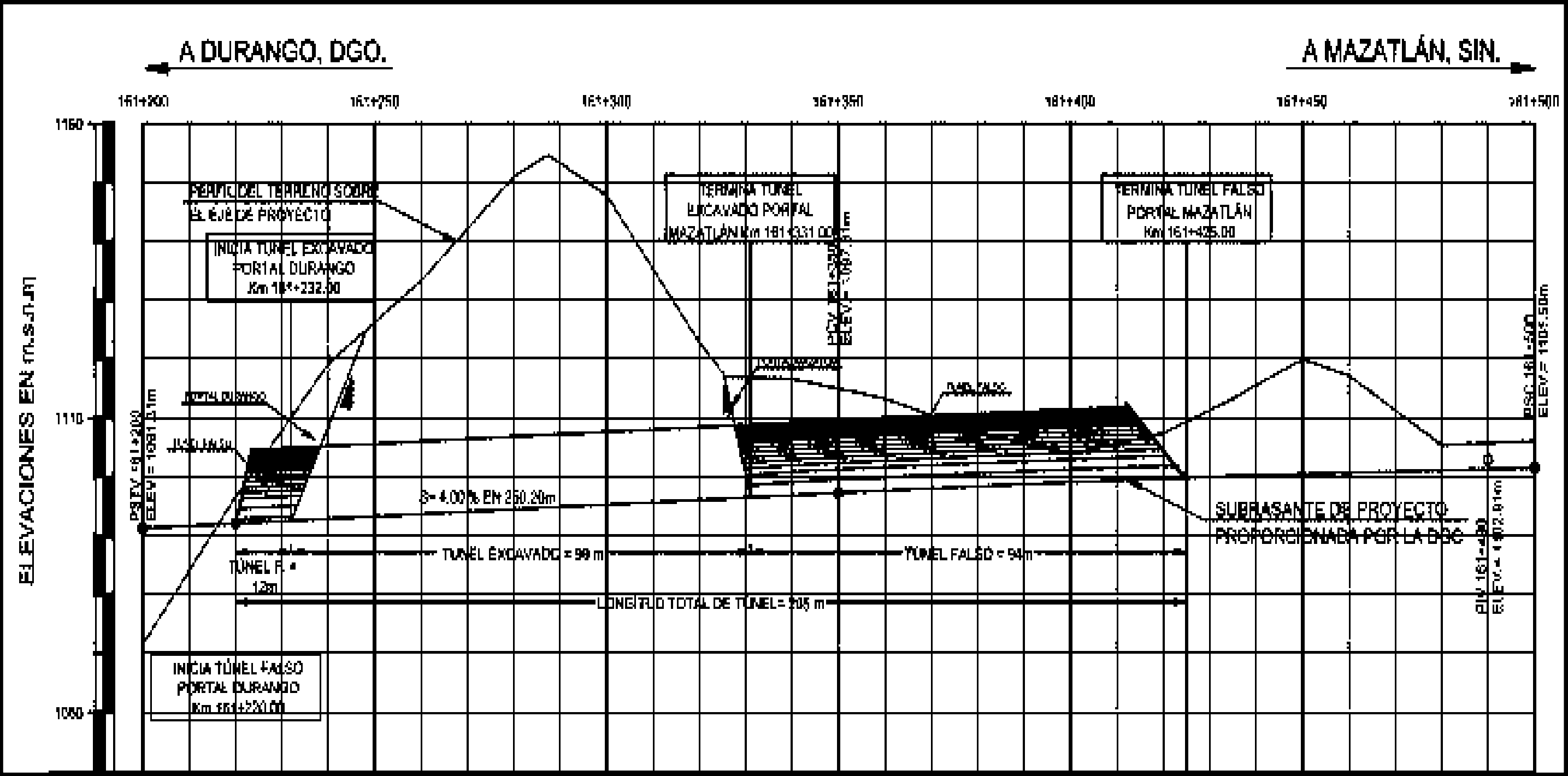


Anexo 6
Plano “As Built” del Túnel Los Otates

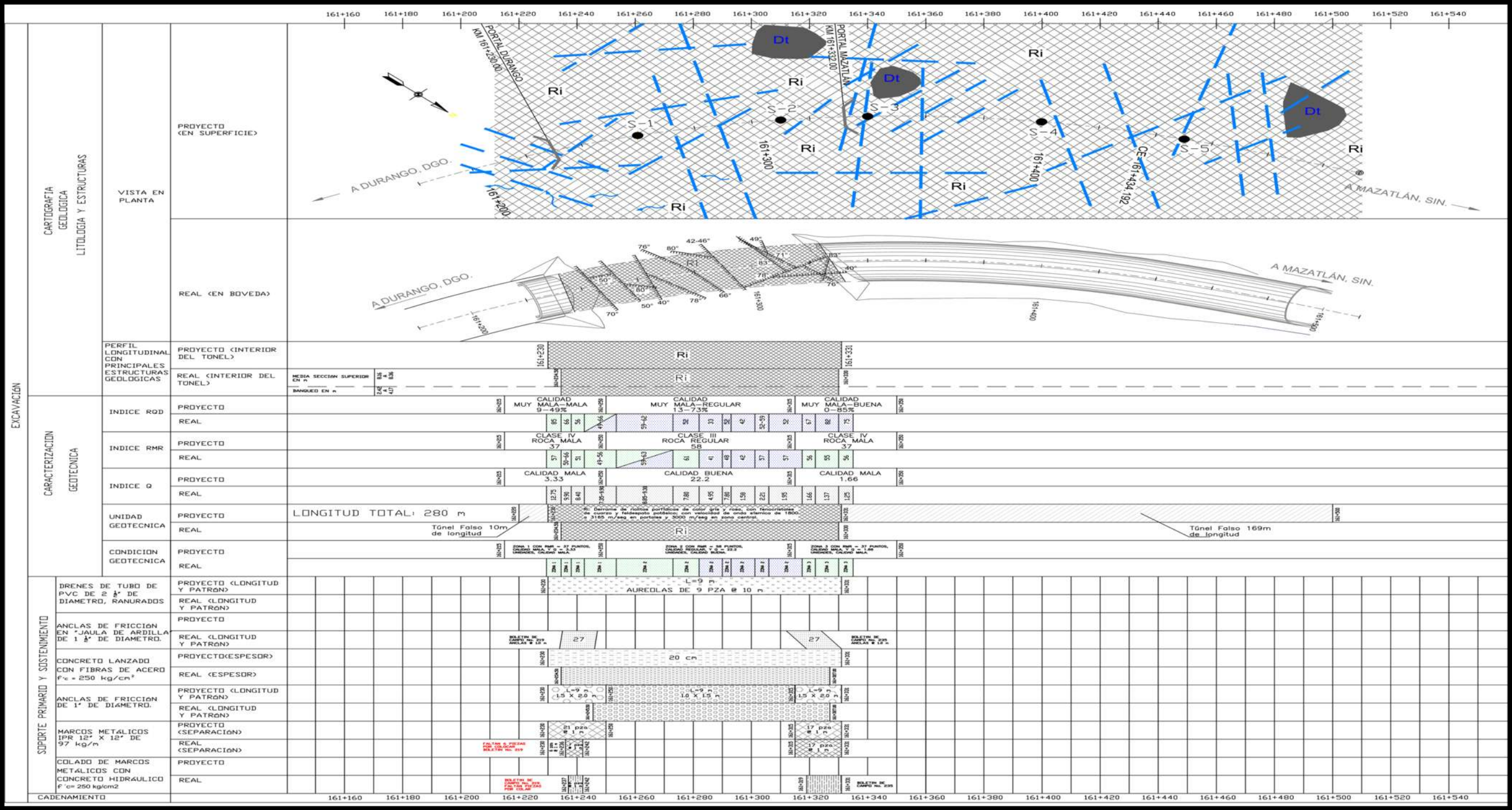


Anexo 7

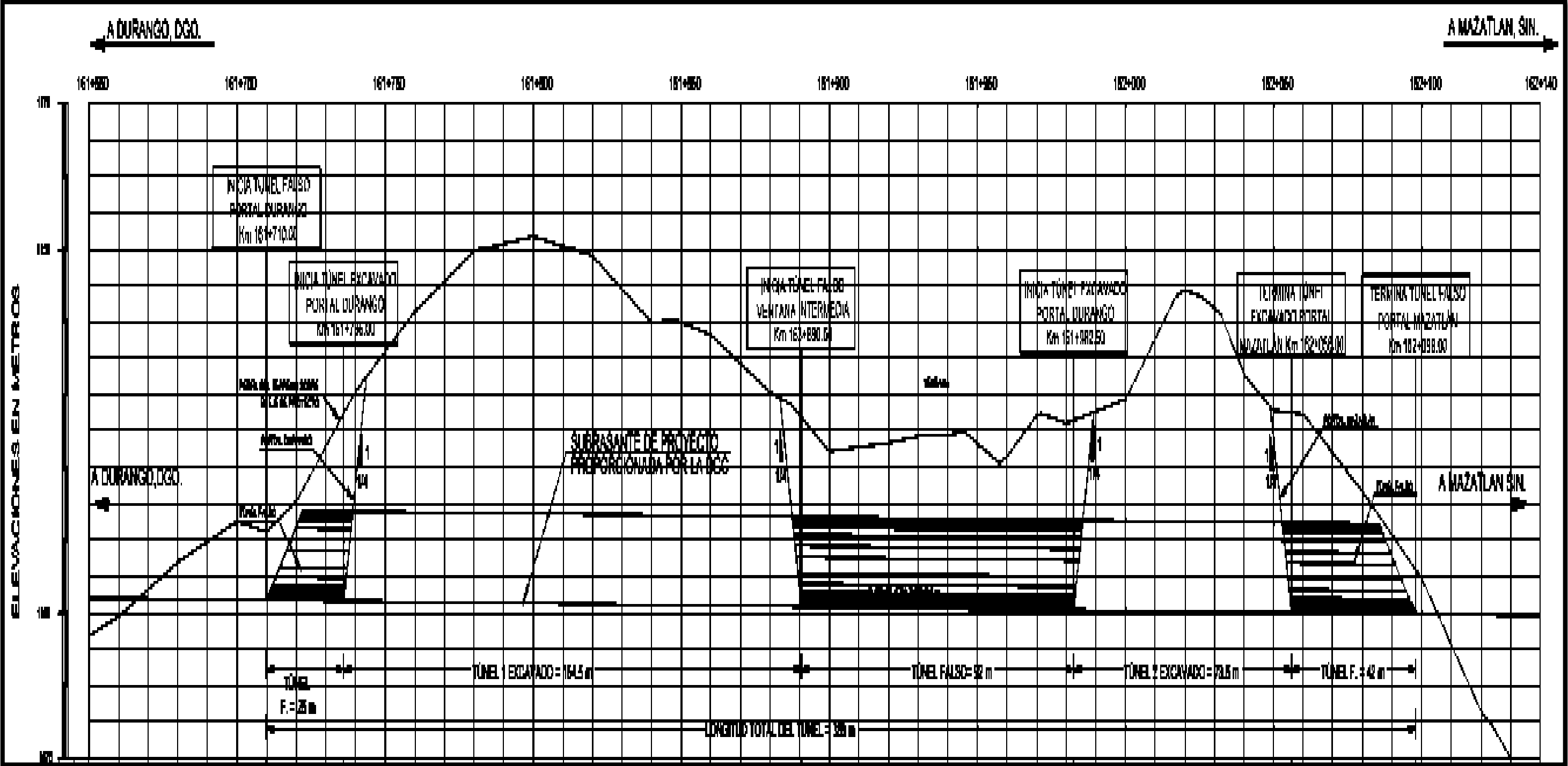
Perfil Topográfico del Túnel Guamúchil



Anexo 8
Plano “As Built” del Túnel Guamúchil

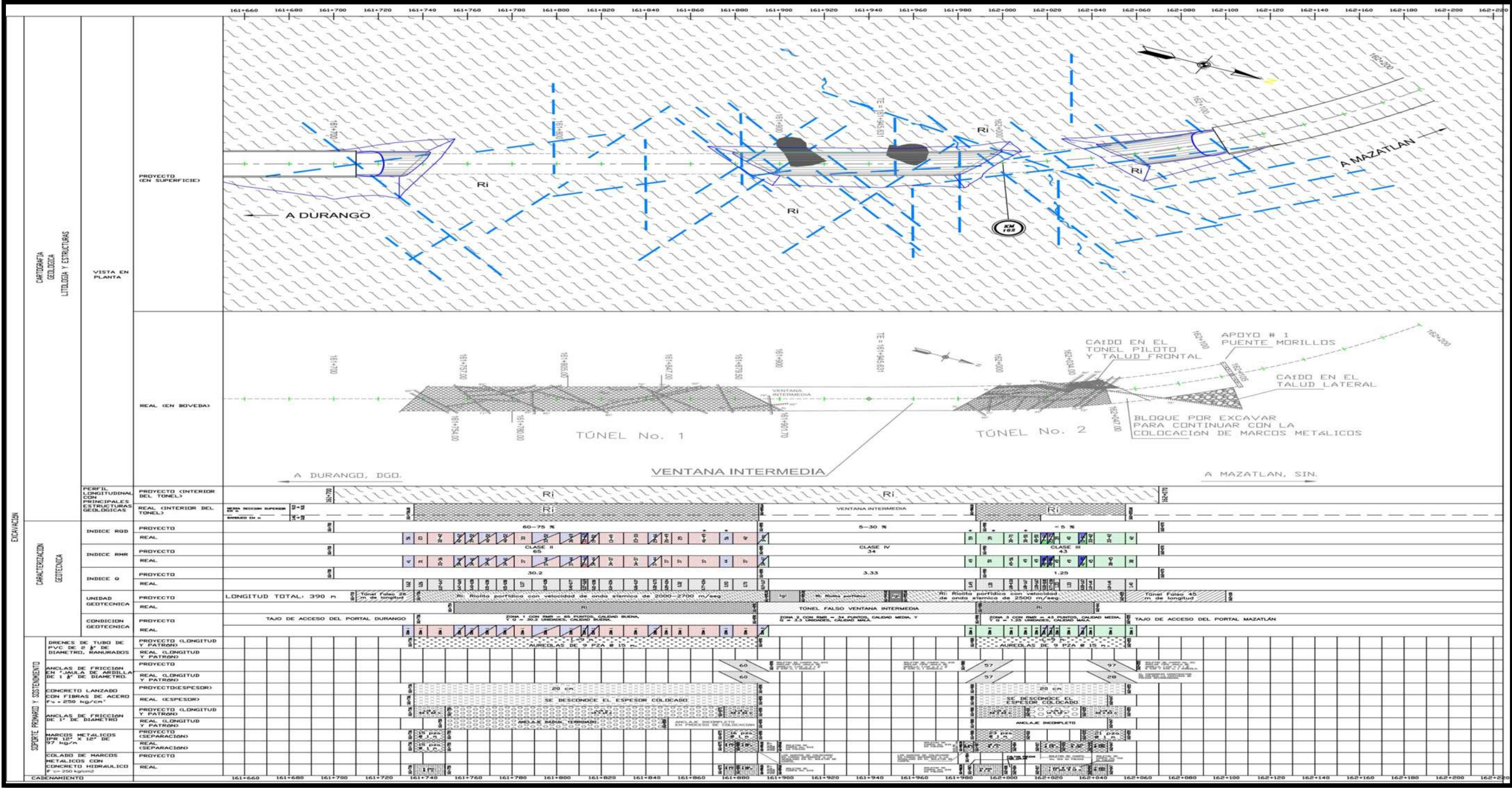


Anexo 9
Perfil Topográfico del Túnel Los Morillos



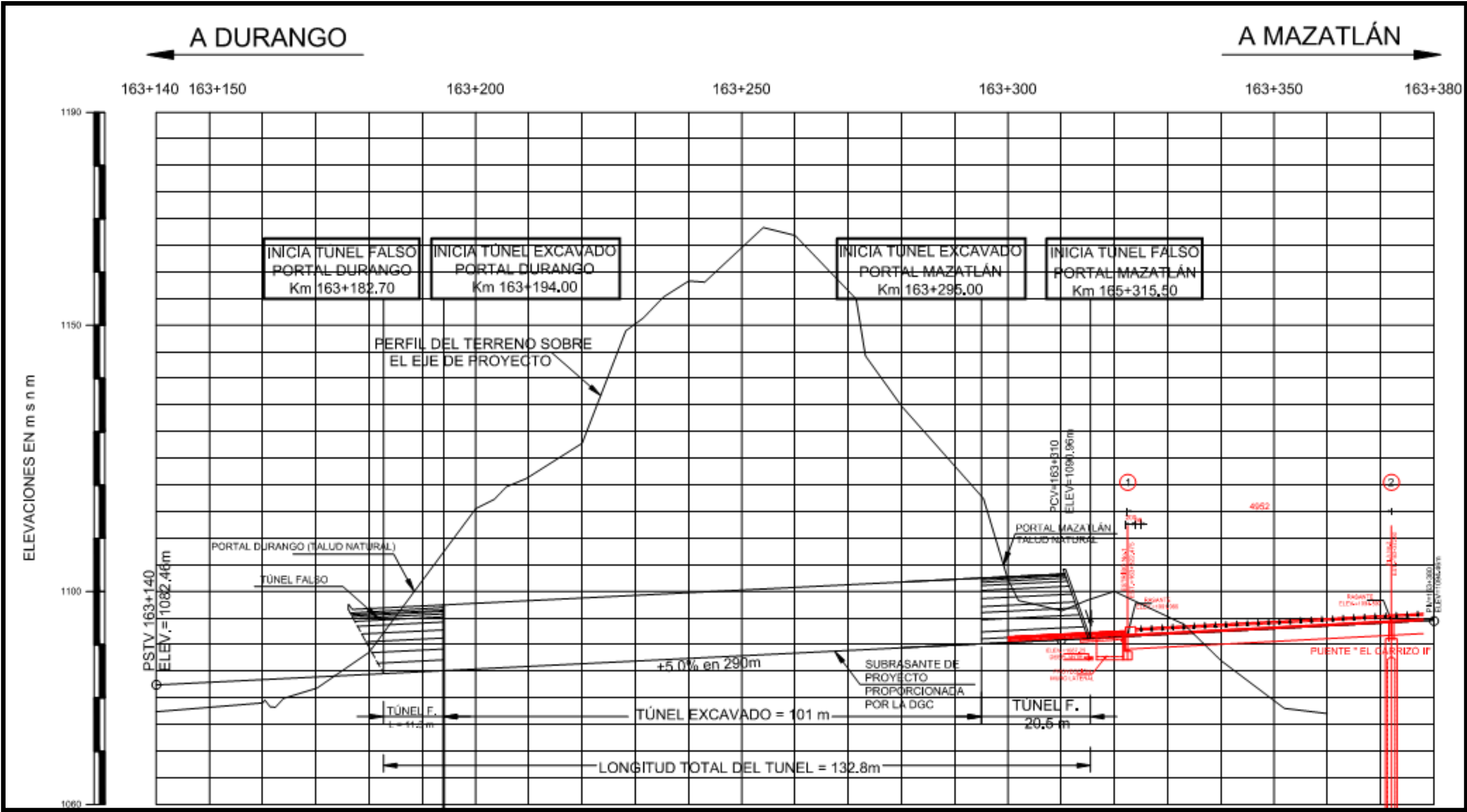
Anexo 10

Plano “As Built” del Túnel Los Morillos



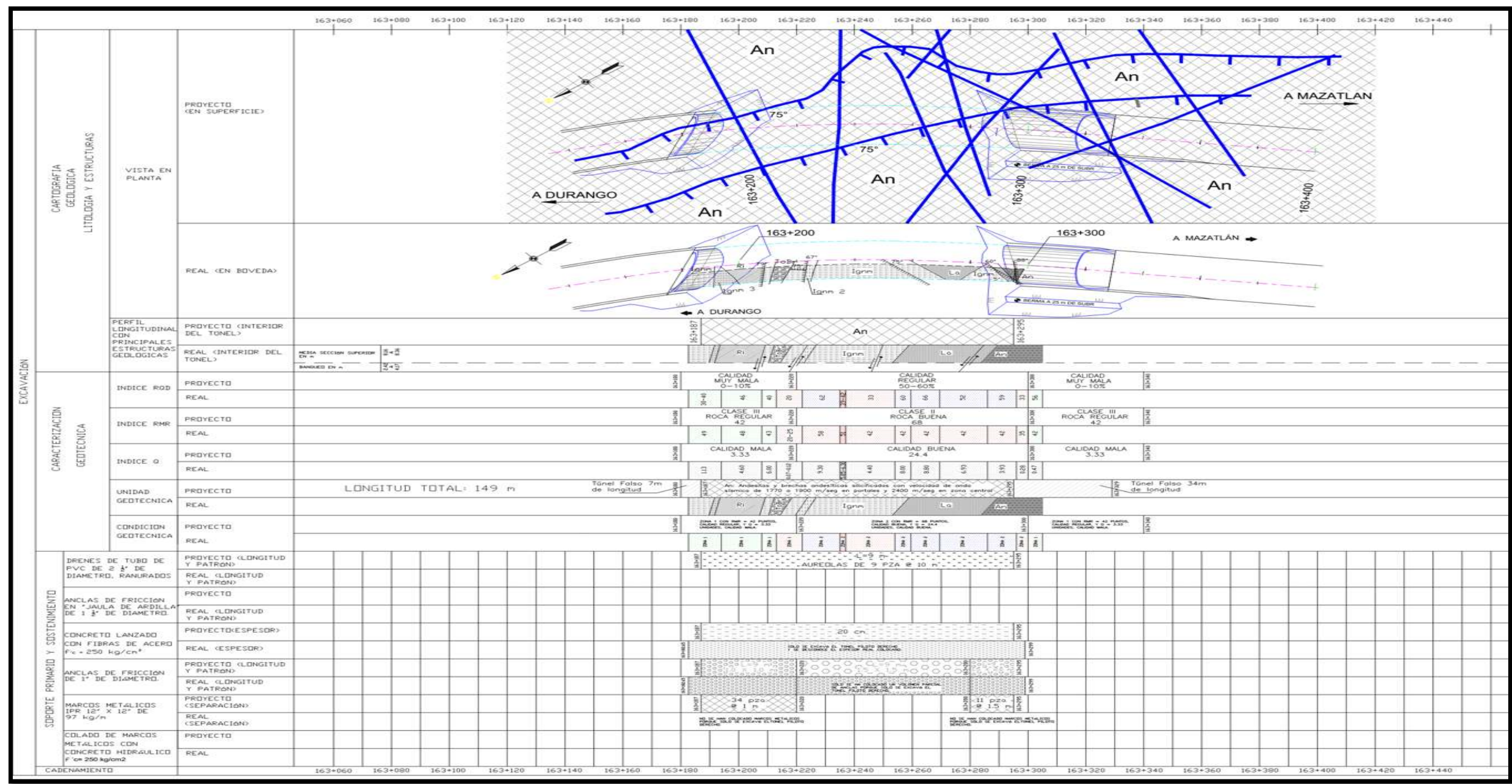
Anexo 11

Perfil Topográfico del Túnel El Carrizo I



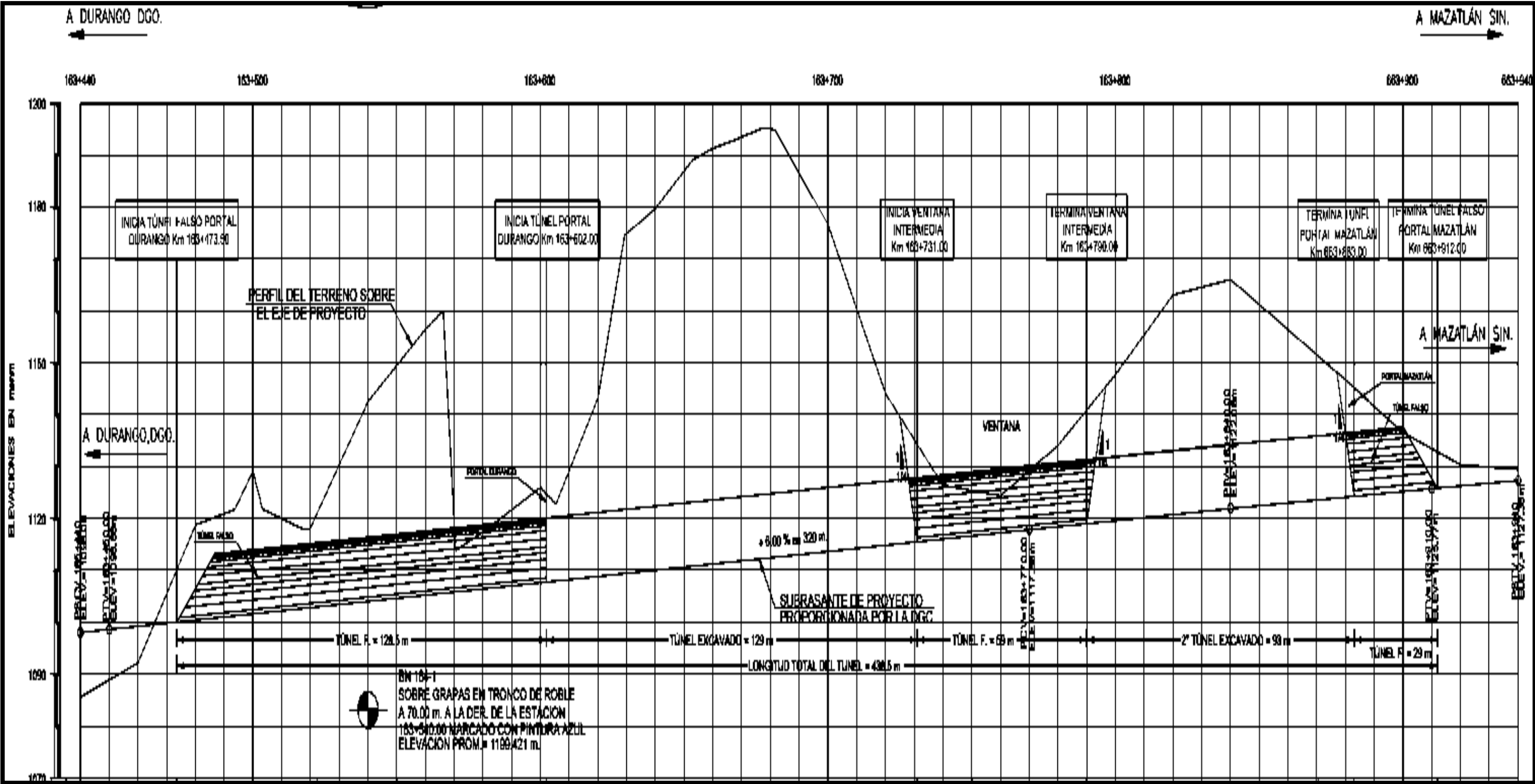
Anexo 12

Plano “As Built” del Túnel El Carrizo I



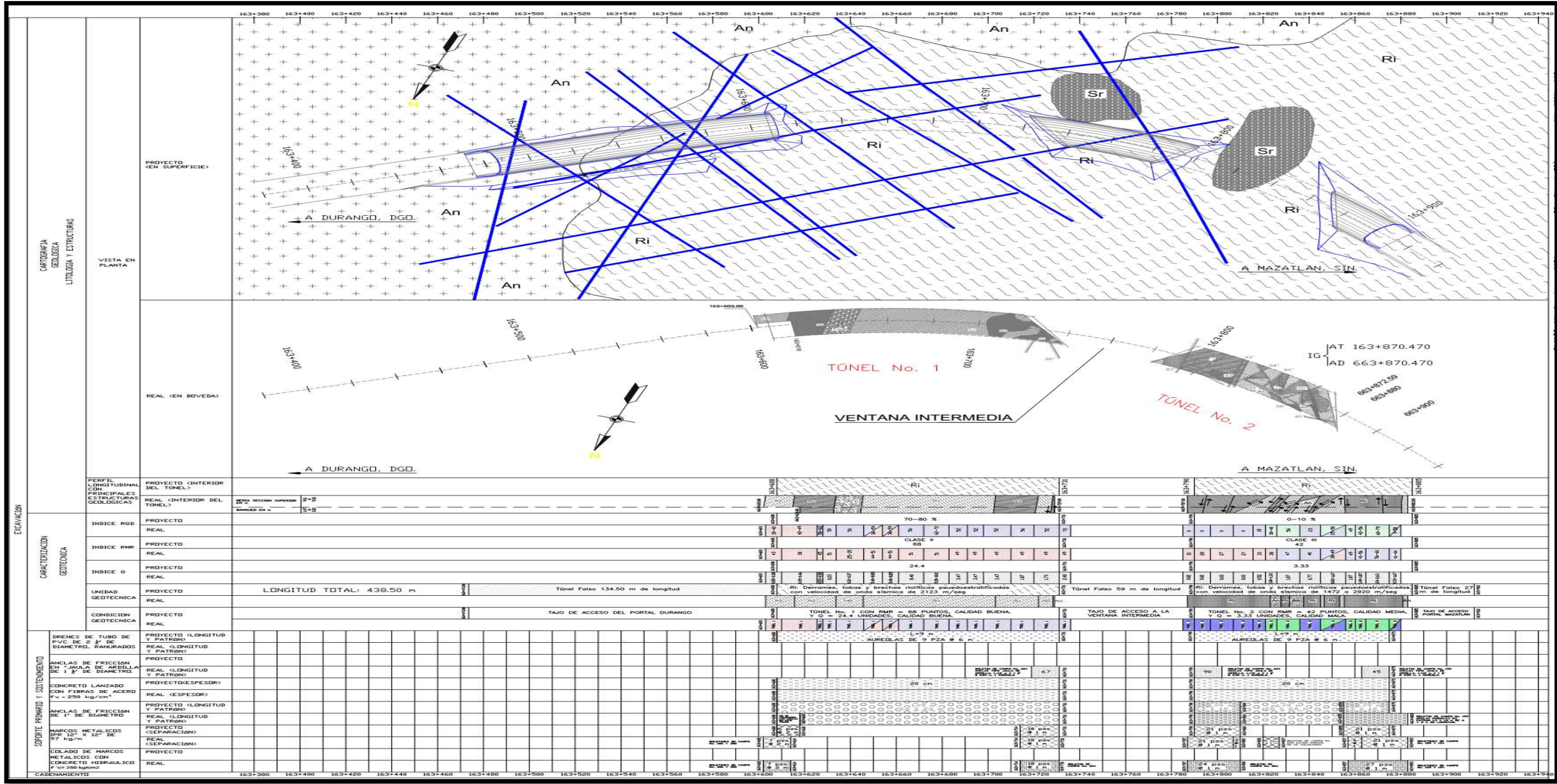
Anexo 13

Perfil Topográfico del Túnel El Carrizo II



Anexo 14

Plano “As Built” del Túnel El Carrizo II

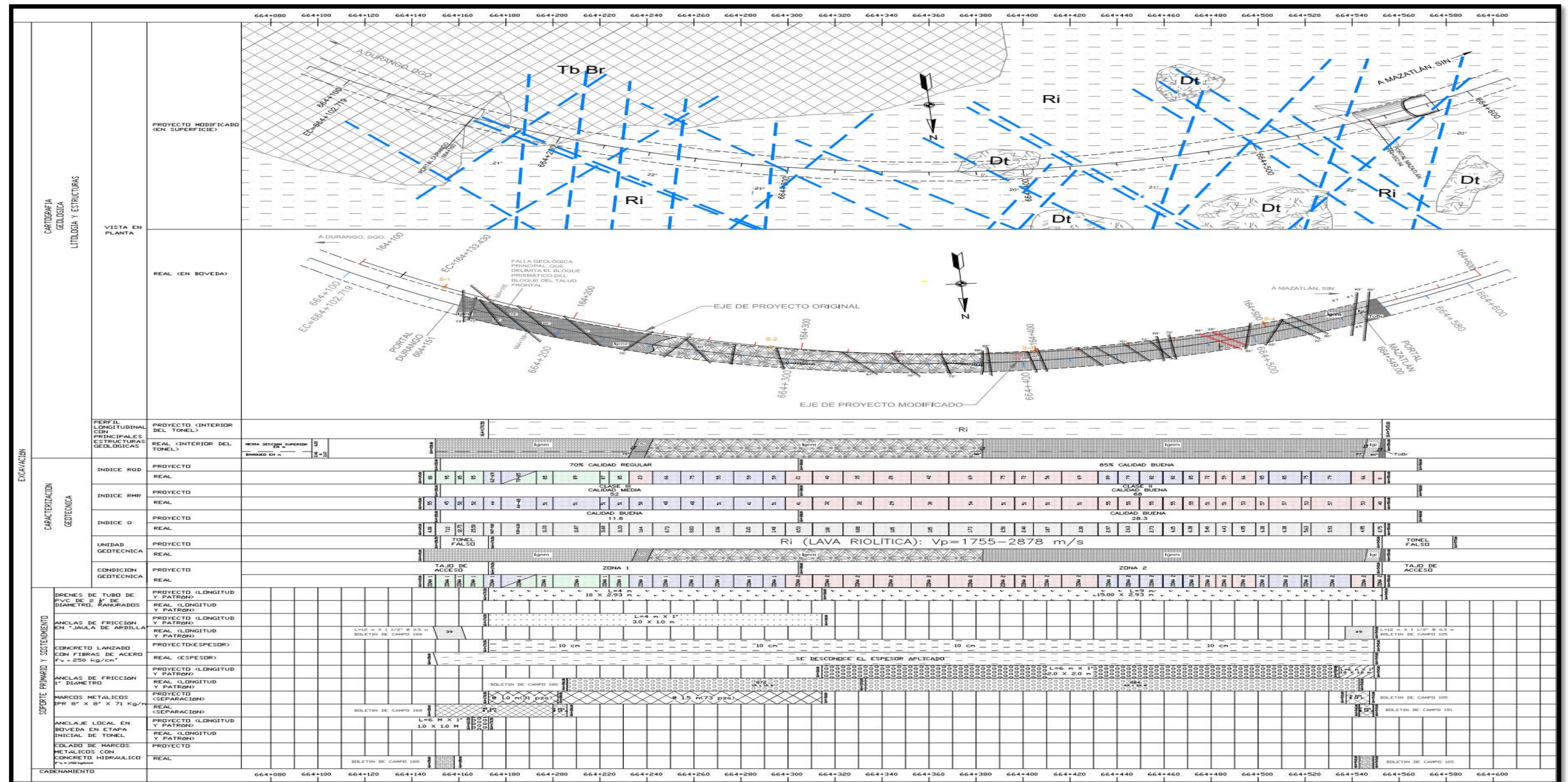


Perfil Topográfico del Túnel El Carrizo III



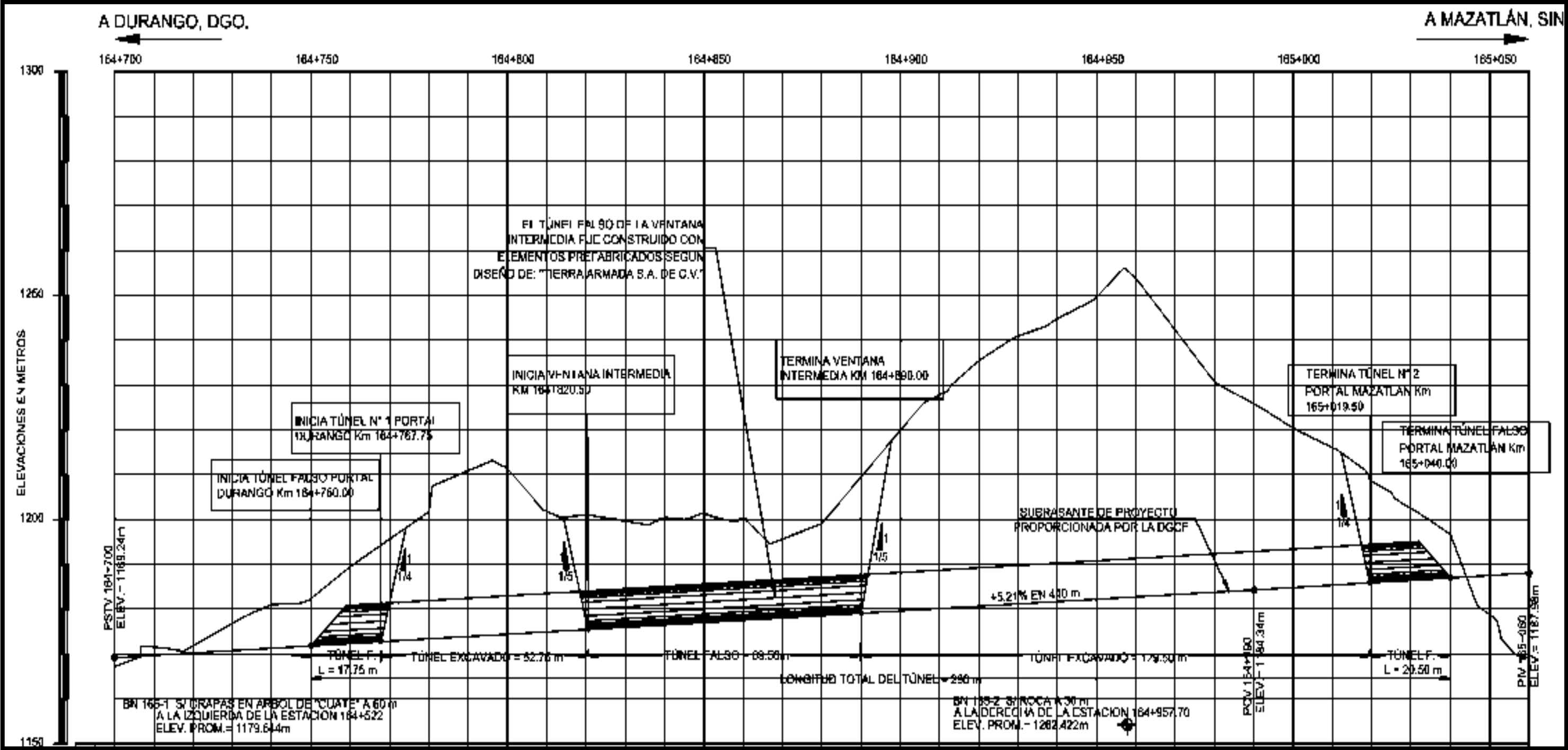
Anexo 16

Plano “As Built” del Túnel El Carrizo III



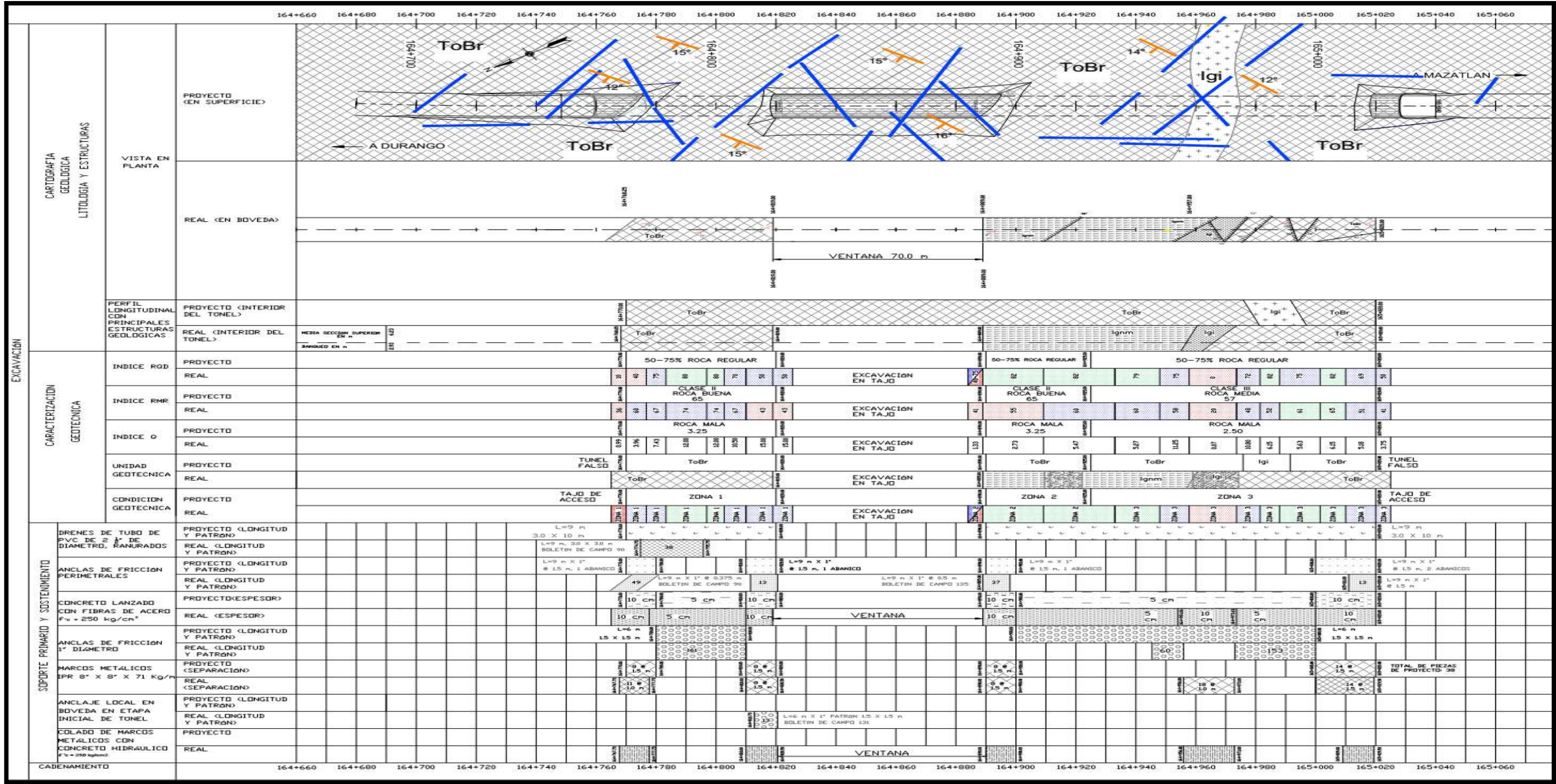
Anexo 17

Perfil Topográfico del Túnel La Piedra

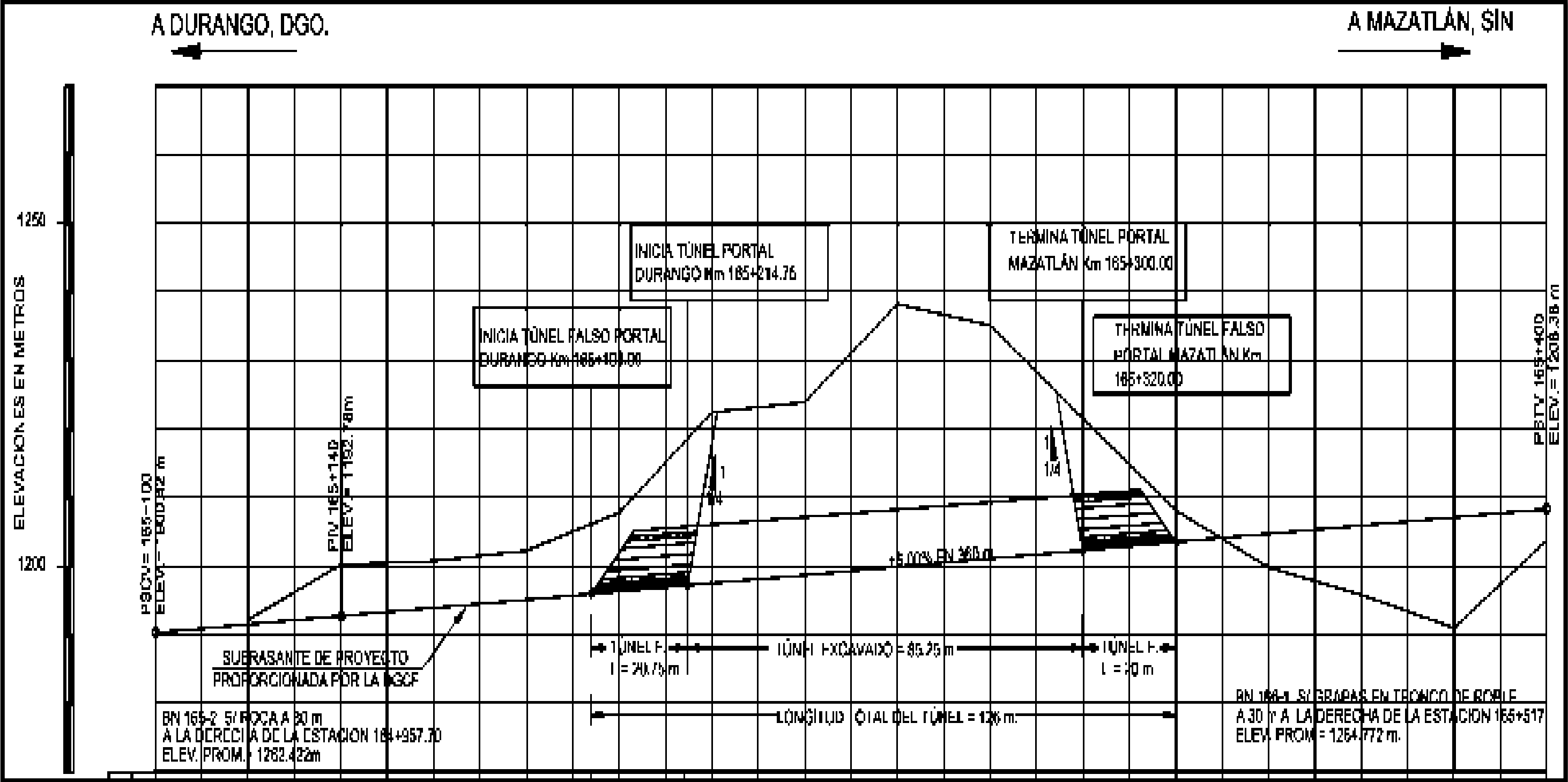


Anexo 18

Plano “As Built” del Túnel La Piedra

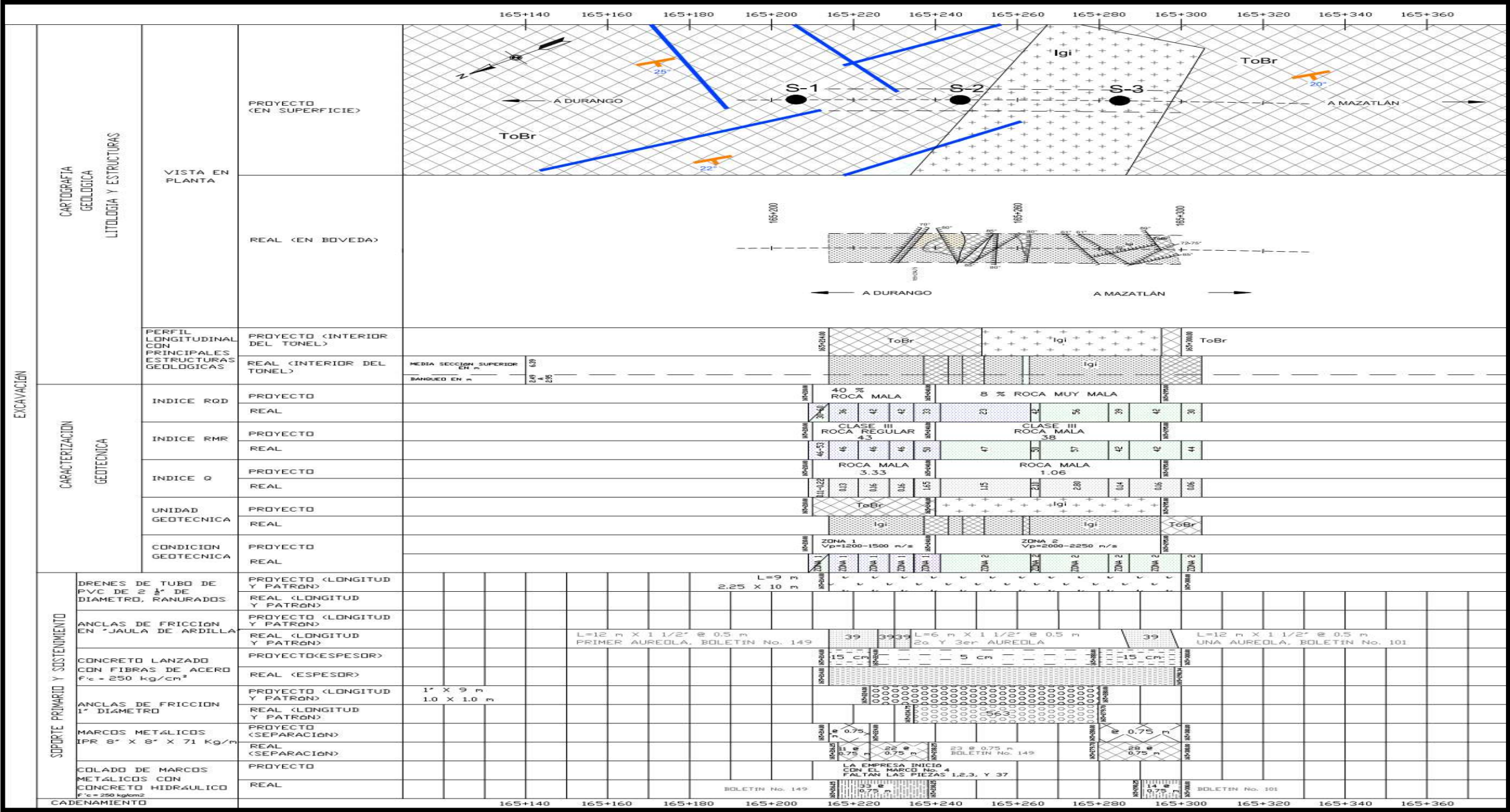


Anexo 19
Perfil Topográfico del Túnel La Quemada



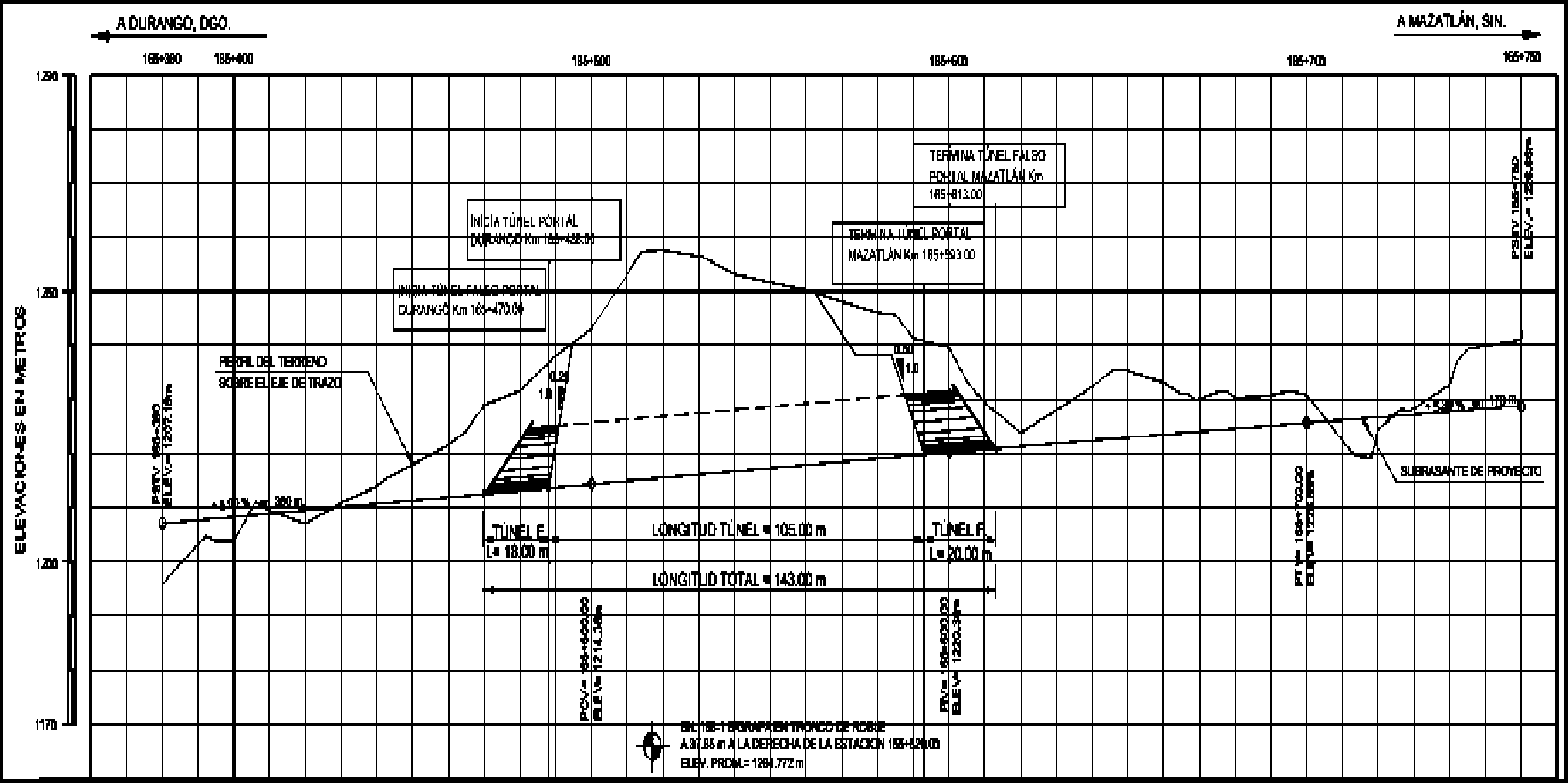
Anexo 20

Plano “As Built” del Túnel La Quemada



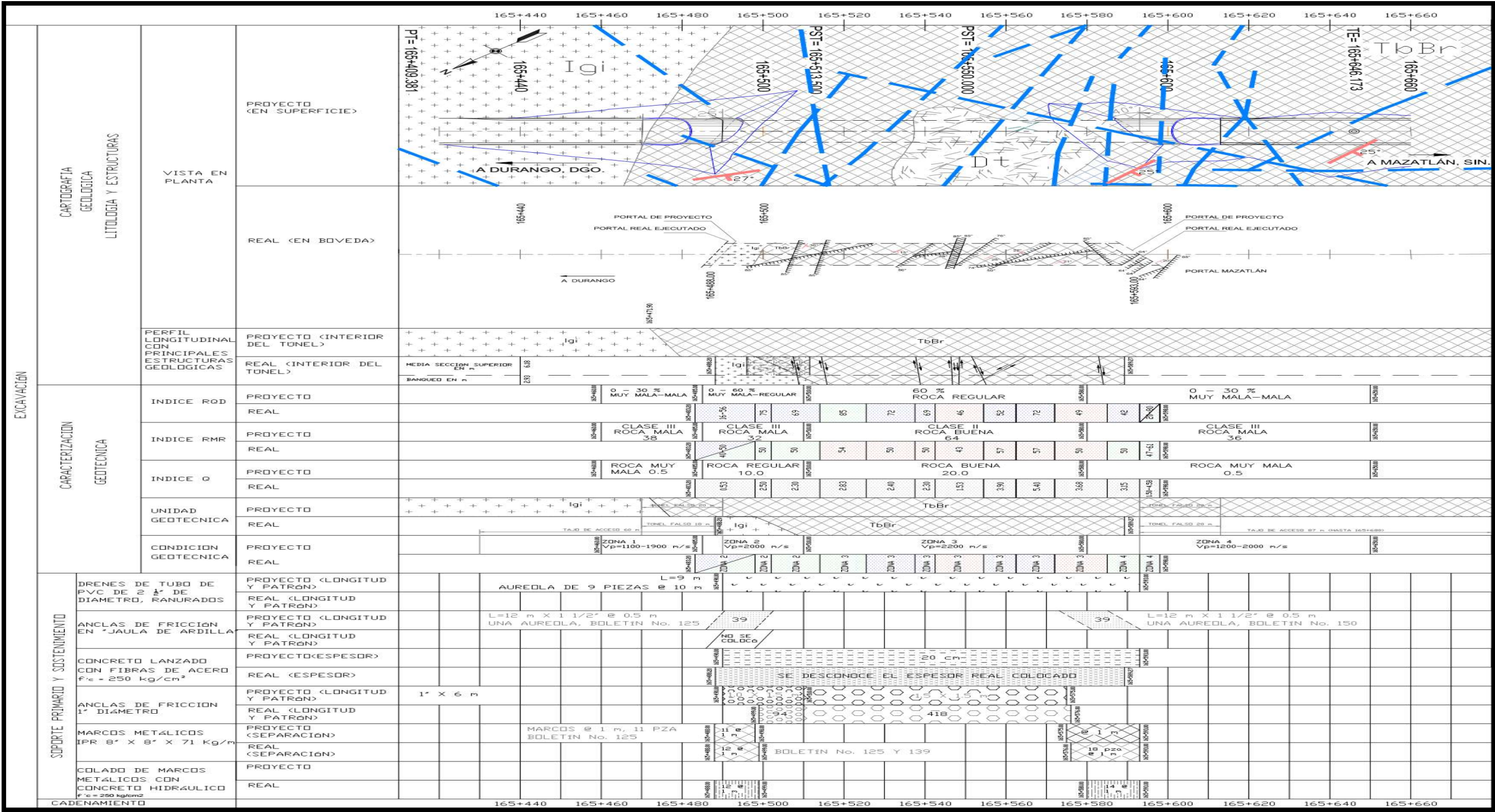
Anexo 21

Perfil Topográfico del Túnel La Quemada II

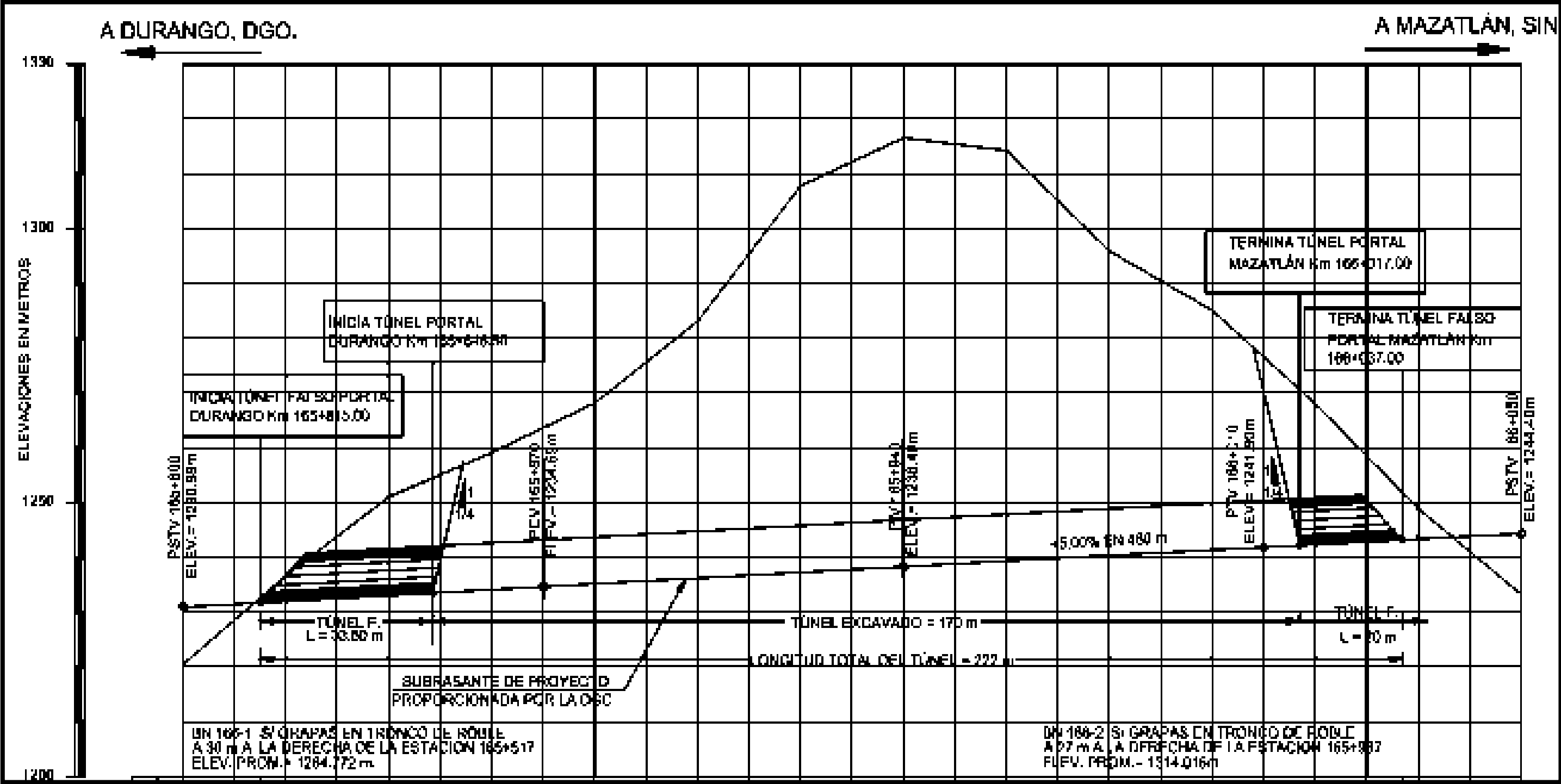


Anexo 22

Plano “As Built” del Túnel La Quemada II

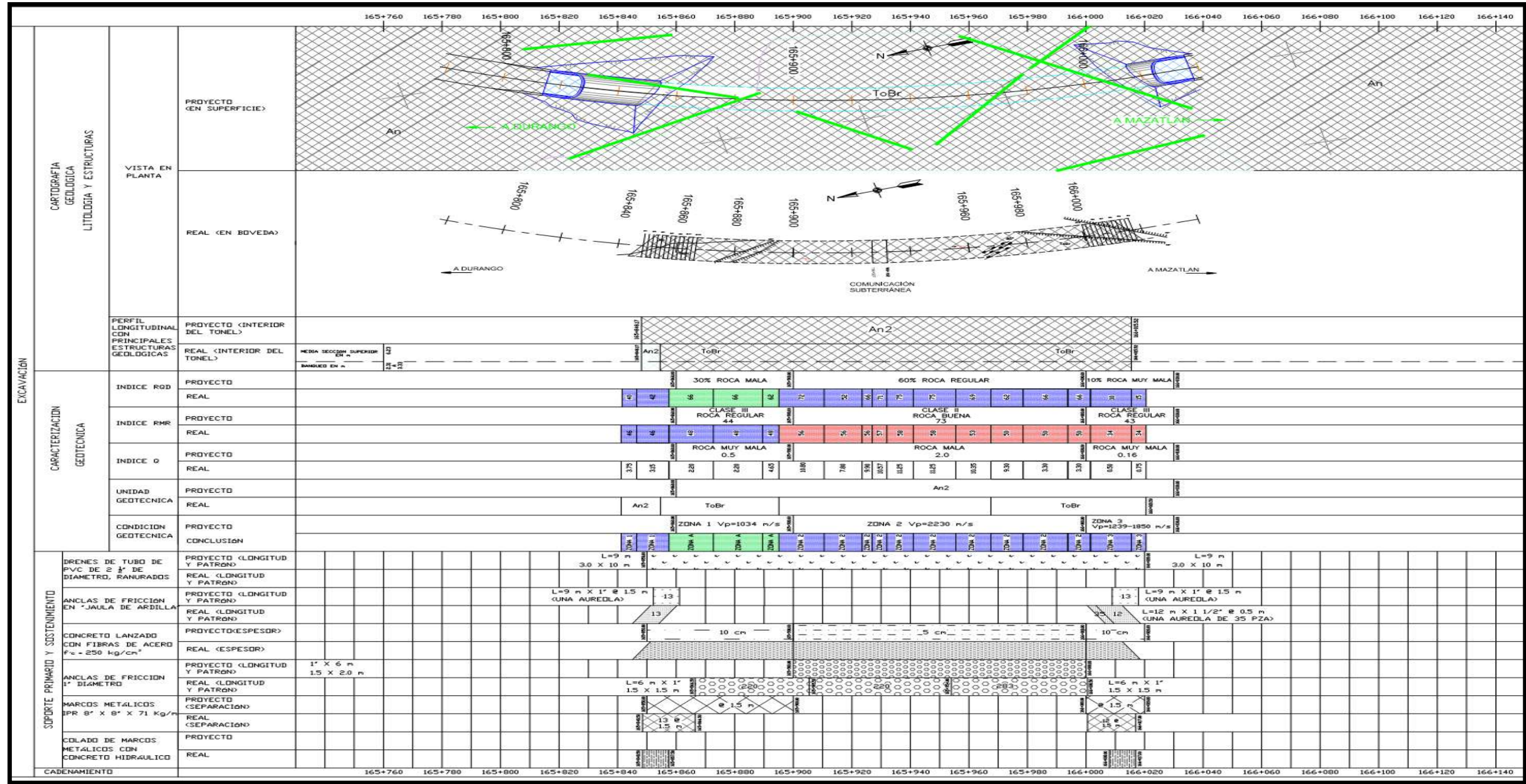


Anexo 23
Perfil Topográfico del Túnel La Laguna I



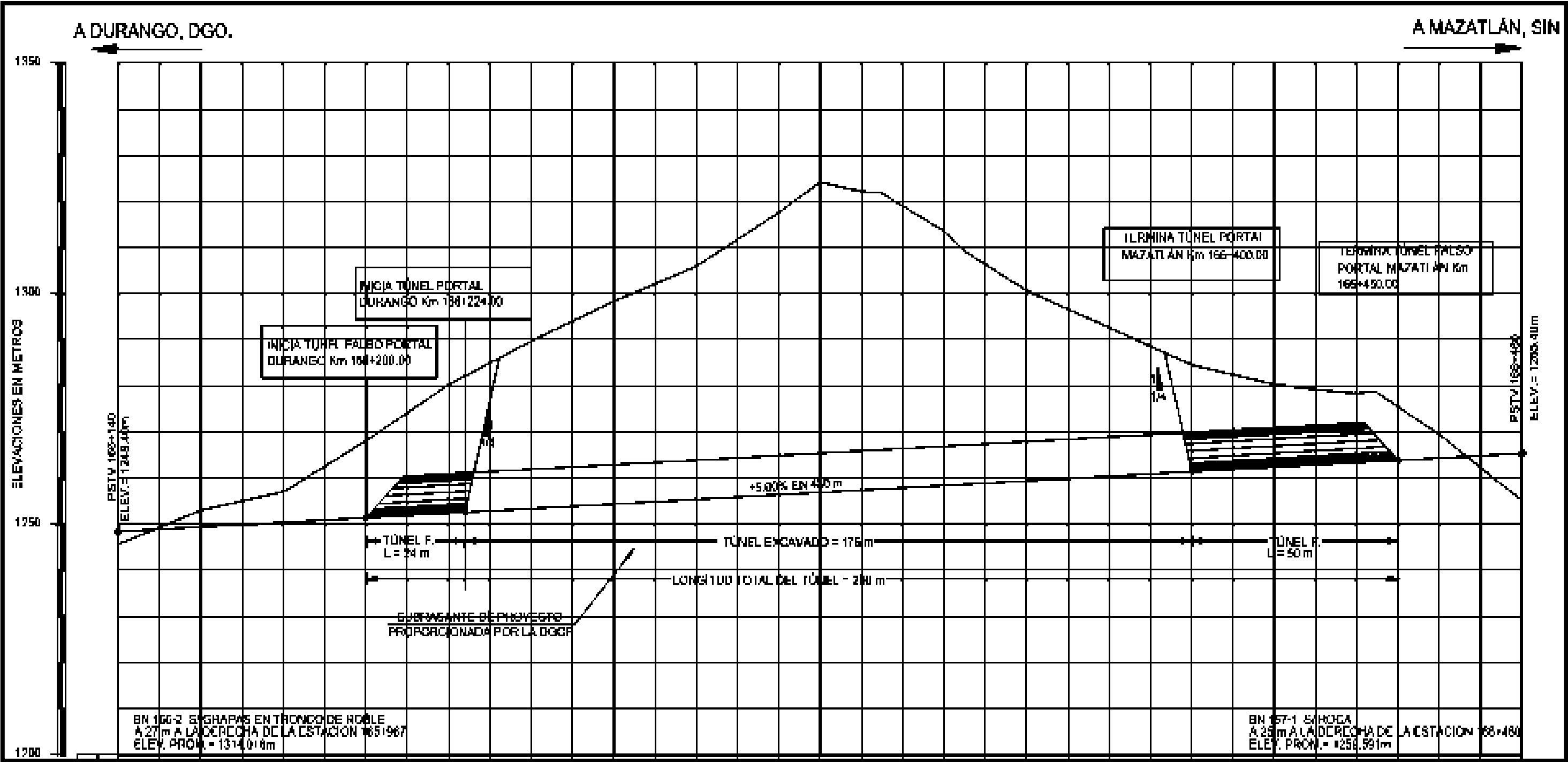
Anexo 24

Plano “As Built” del Túnel La Laguna I



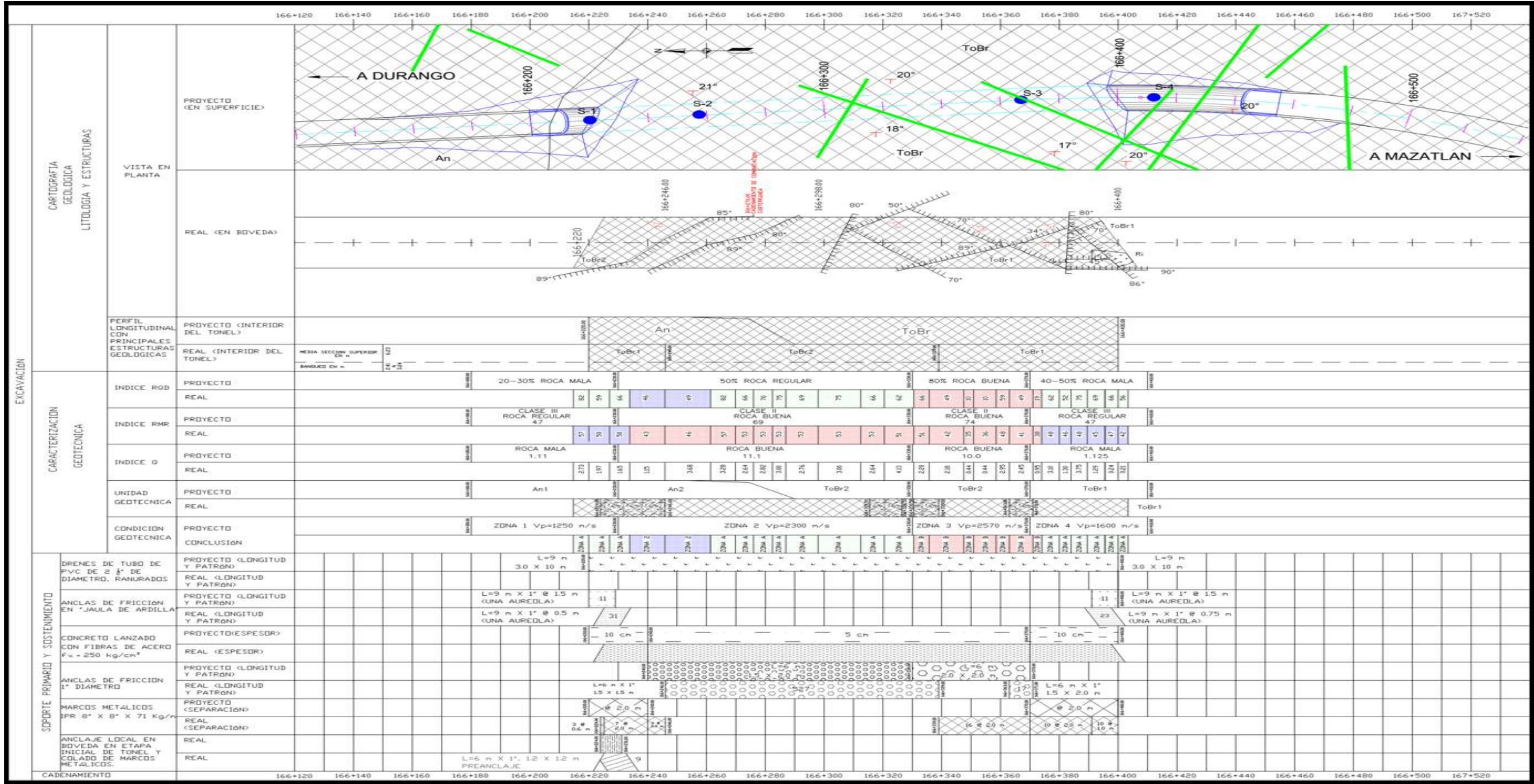
Anexo 25

Perfil Topográfico del Túnel La Laguna II



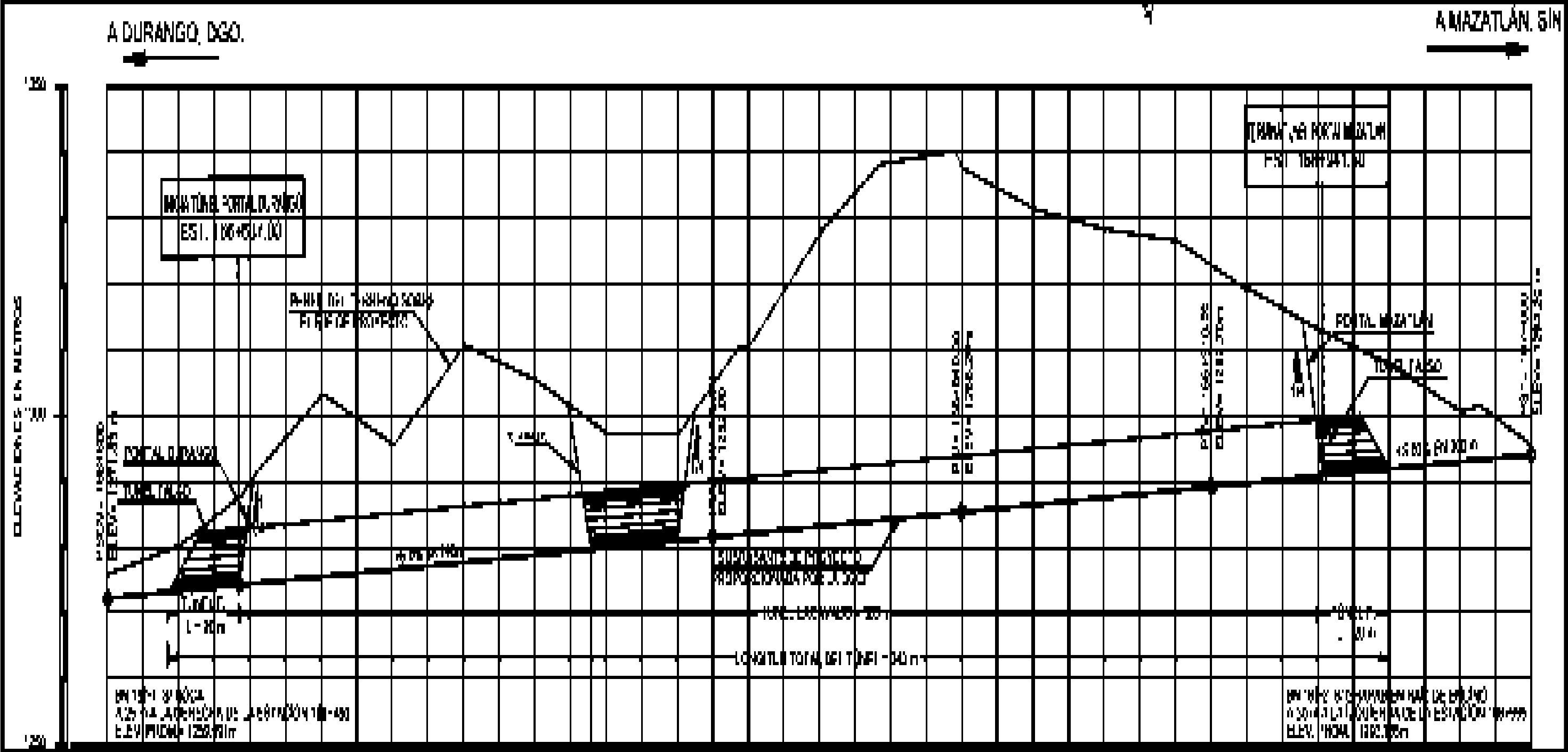
Anexo 26

Plano “As Built” Túnel La Laguna II

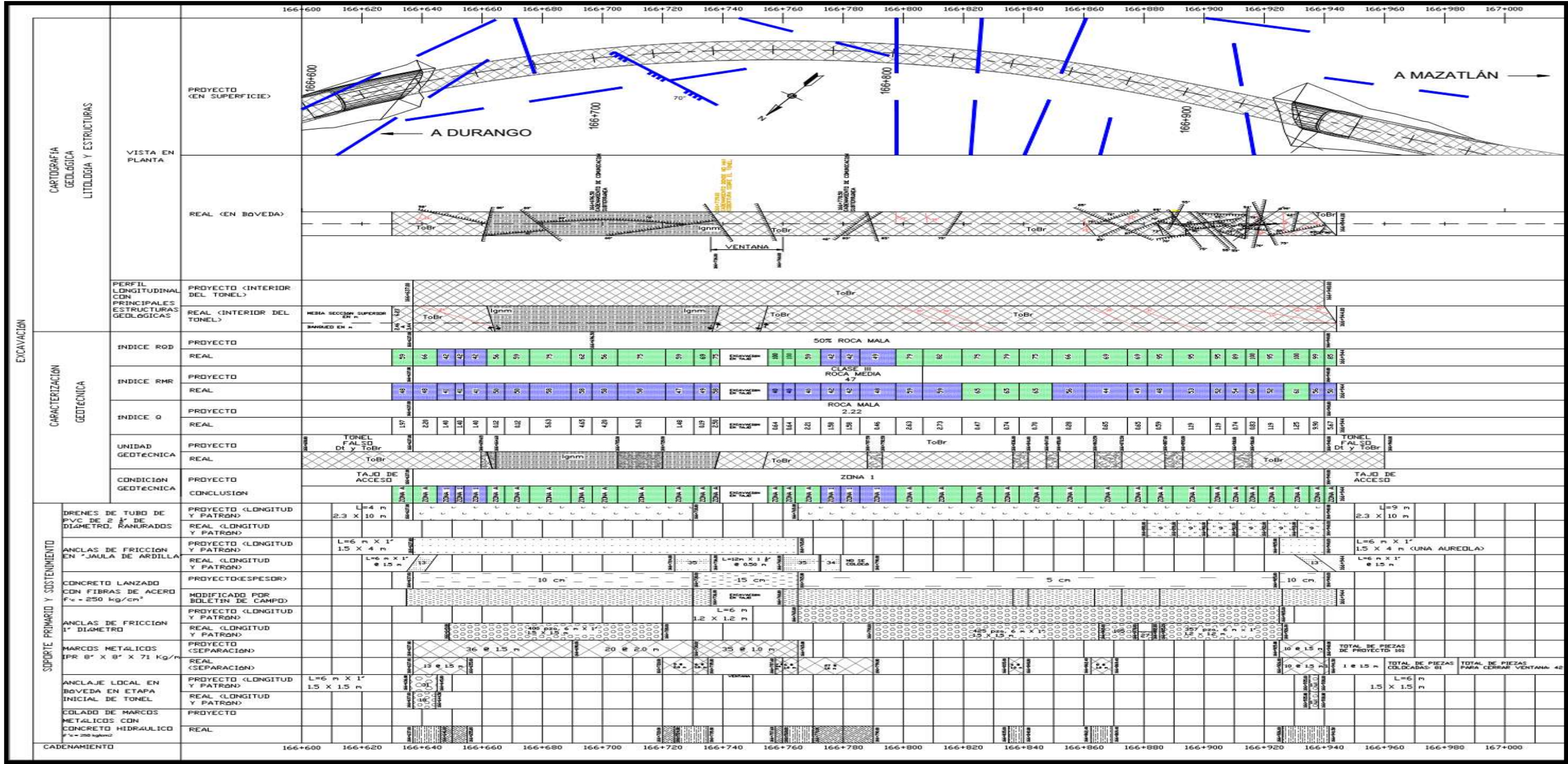


Anexo 27

Perfil Topográfico del Túnel La Laguna III

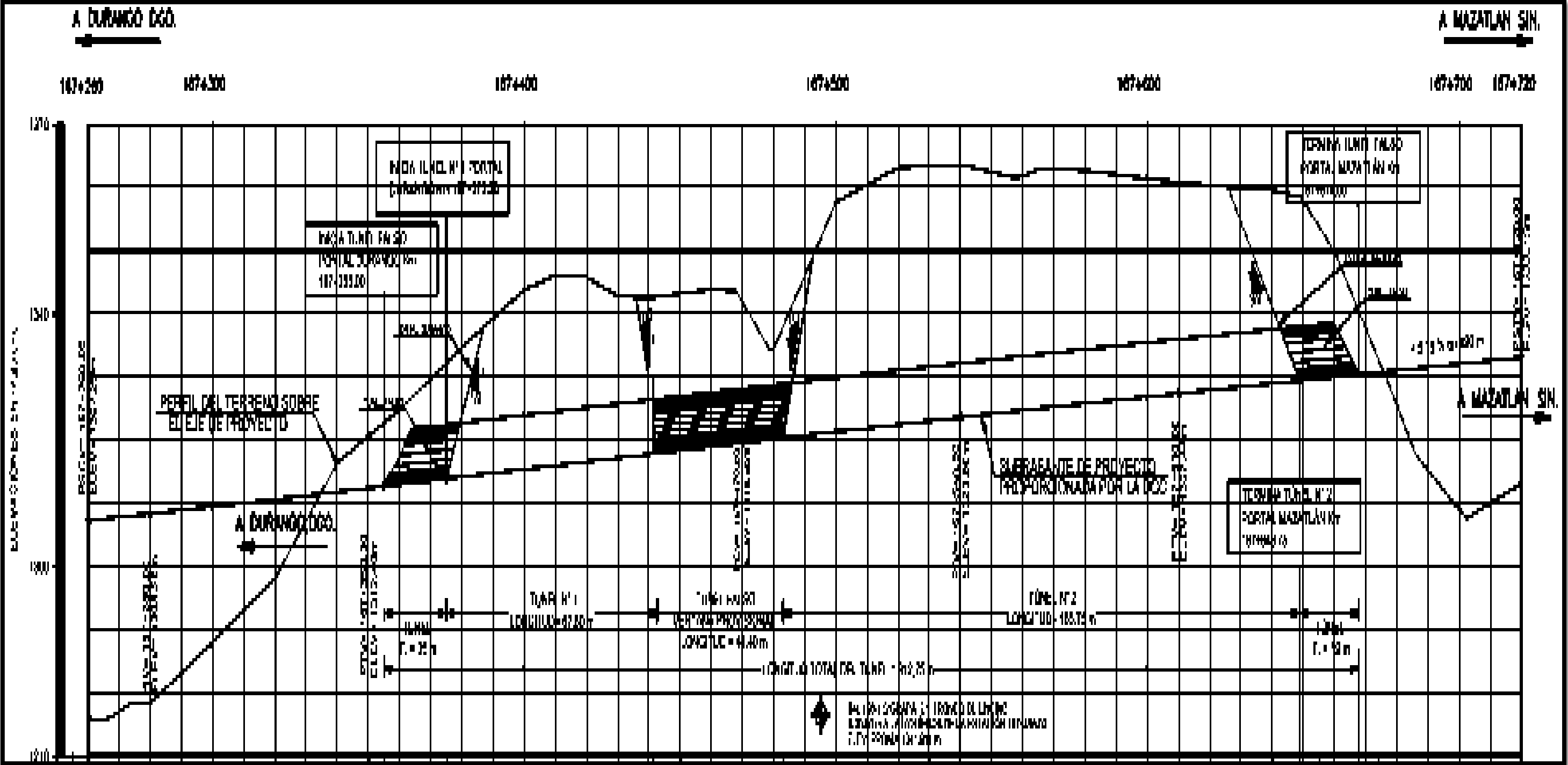


Anexo 28
Perfil Topográfico del Túnel La Laguna III



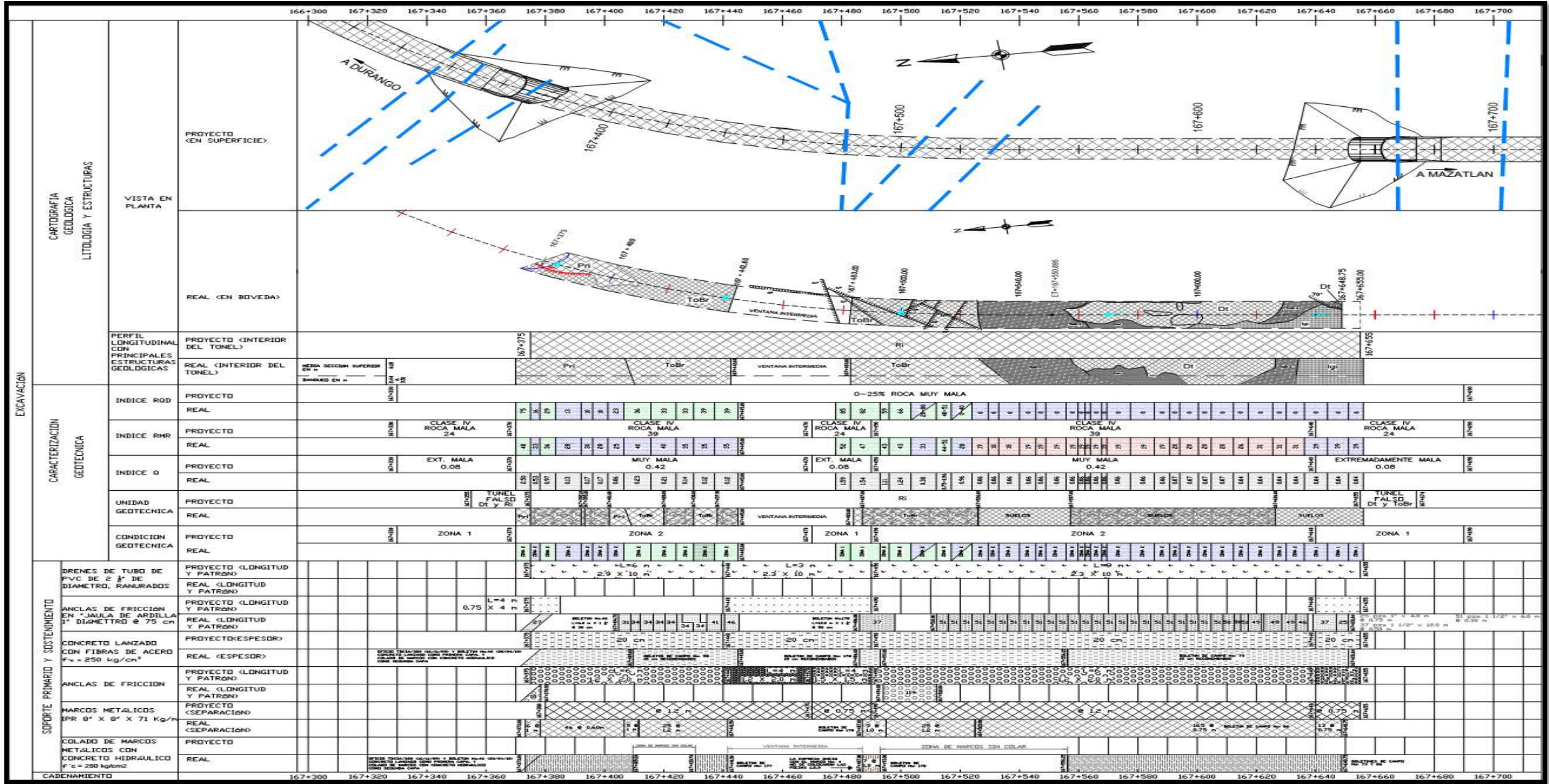
Anexo 29

Perfil Topográfico del Túnel Las Labores



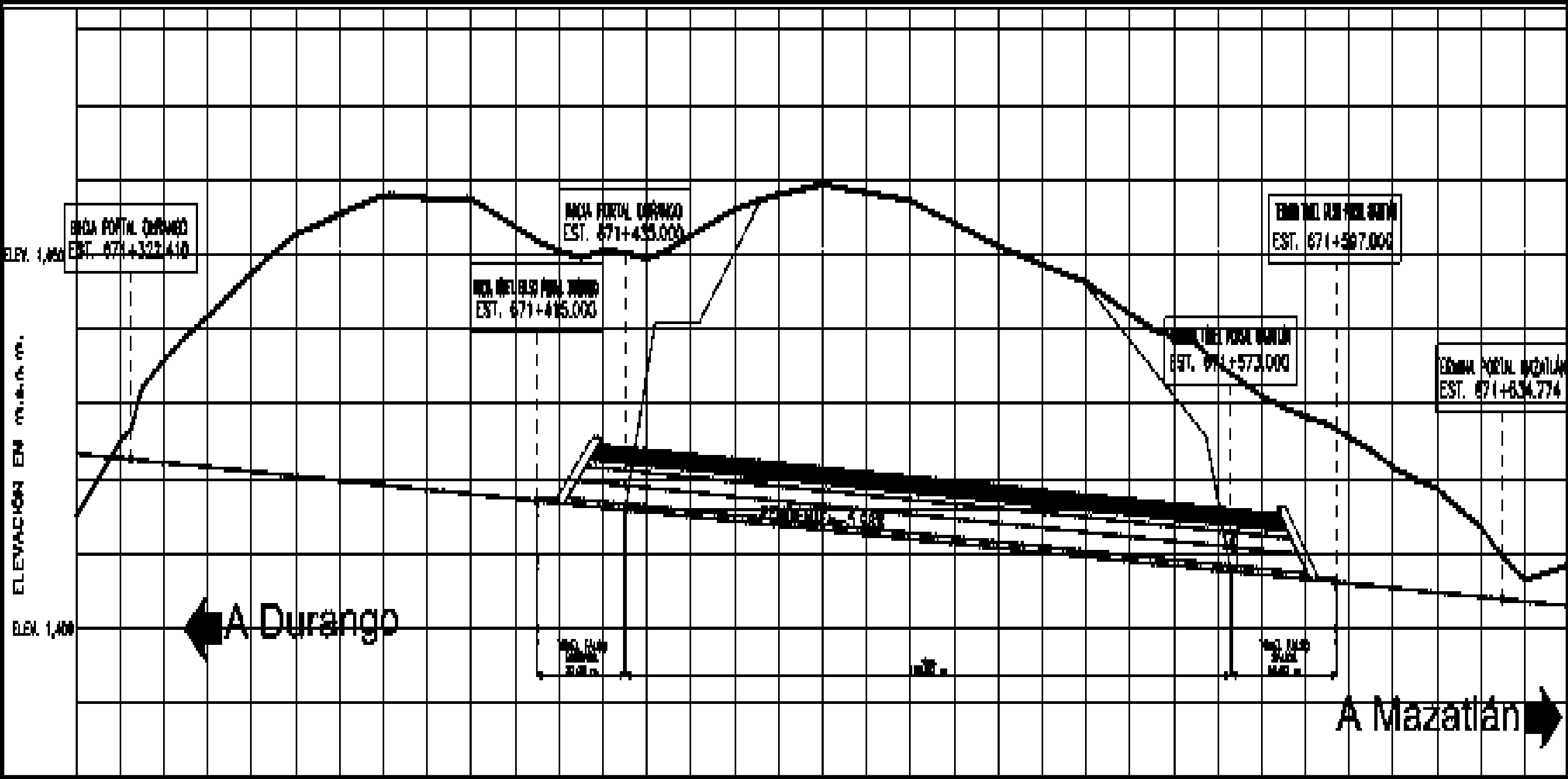
Anexo 30

Plano “As Built” del Túnel Las Labores



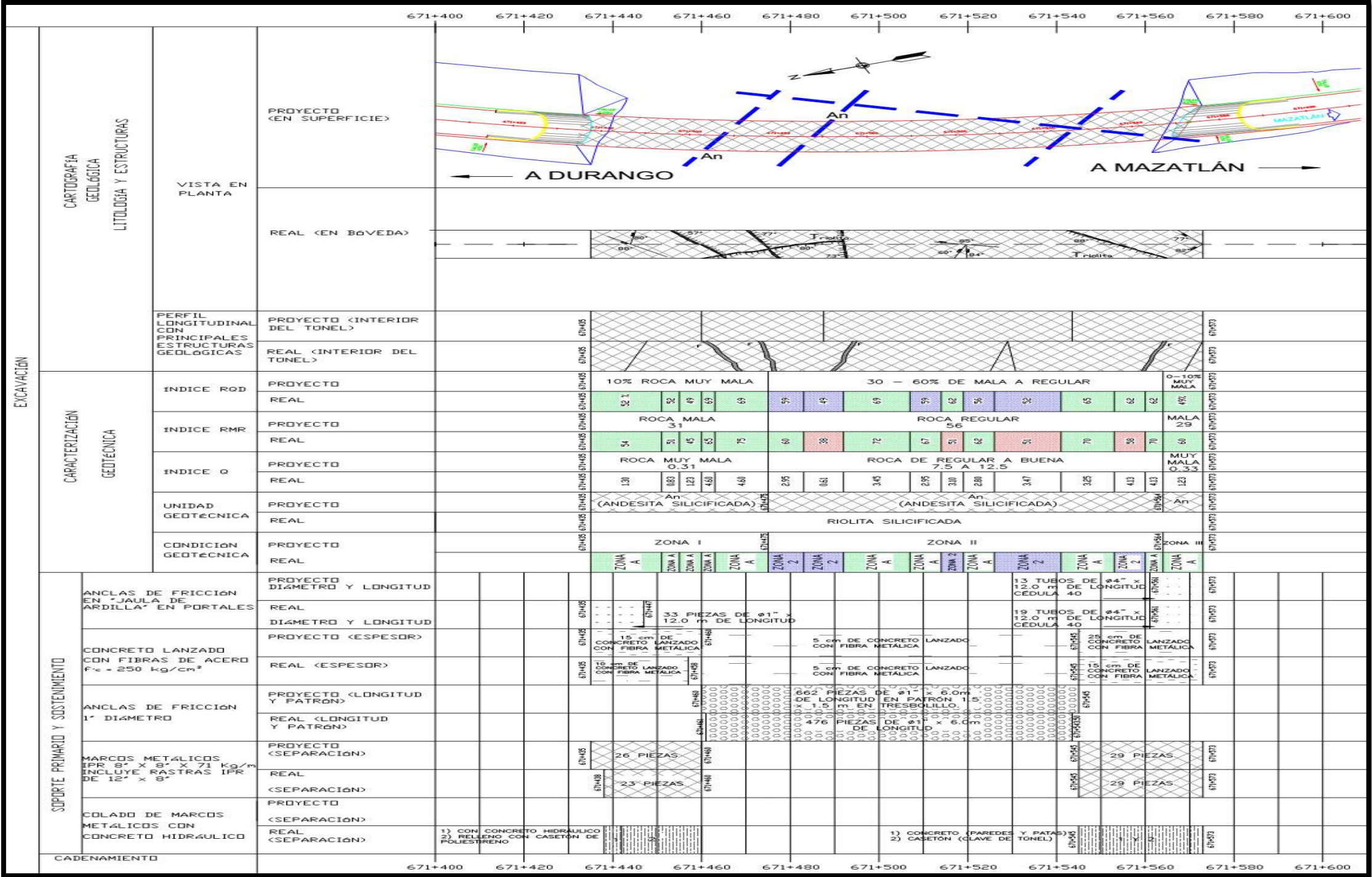
Anexo 31

Perfil Topográfico del Túnel Trópico de Cáncer



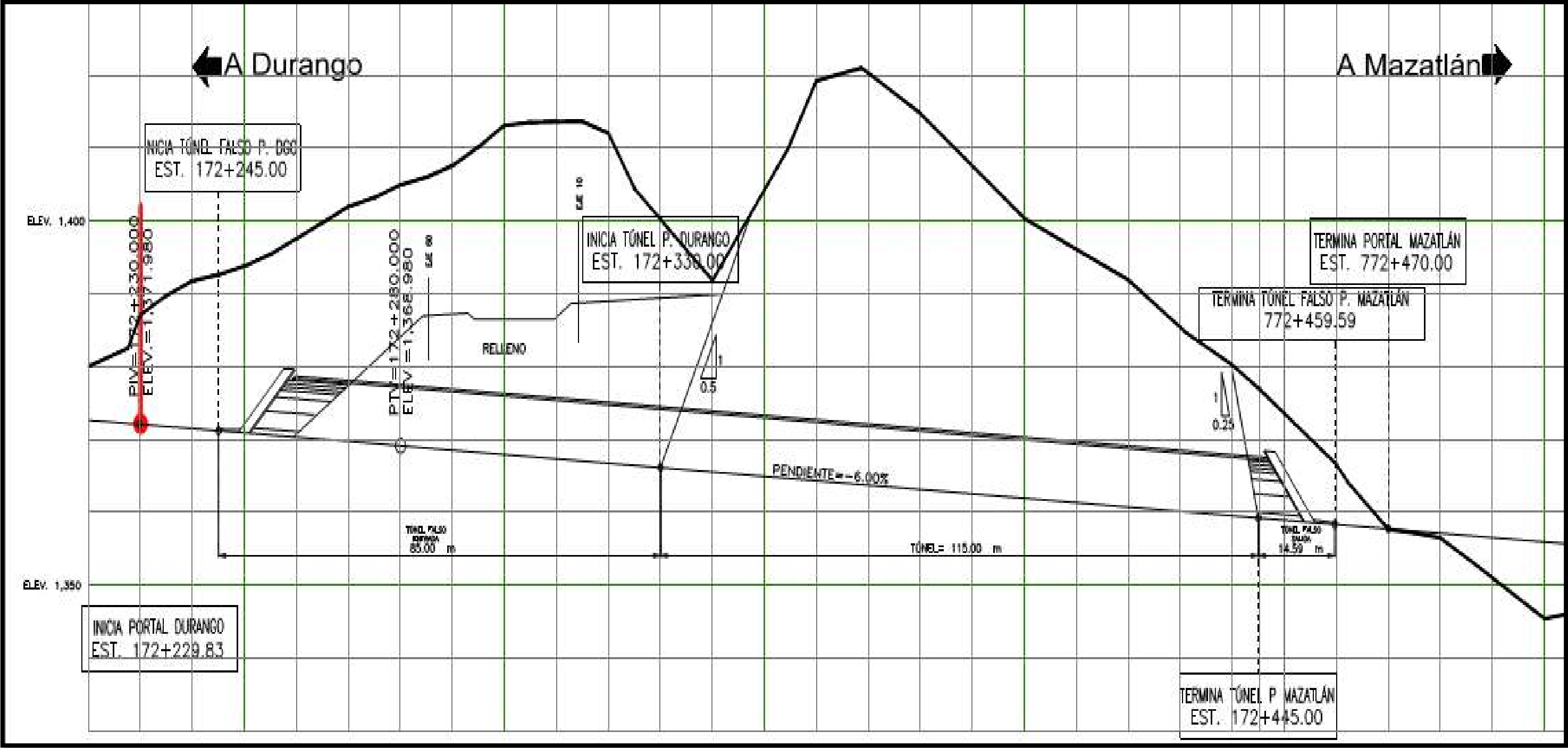
Anexo 32

Plano “As Built” del Túnel Trópico de Cáncer



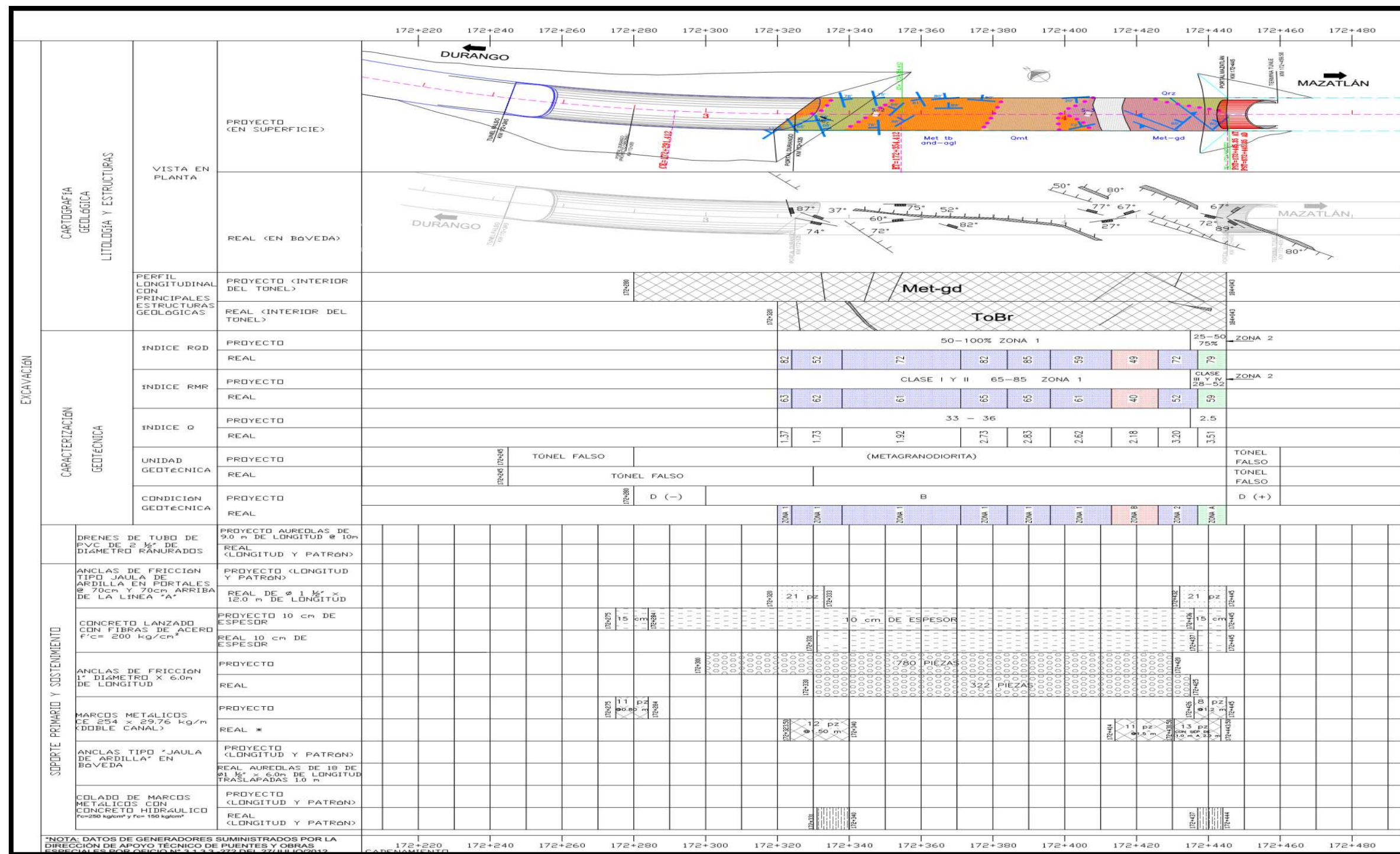
Anexo 33

Perfil Topográfico del Túnel Corte Alto



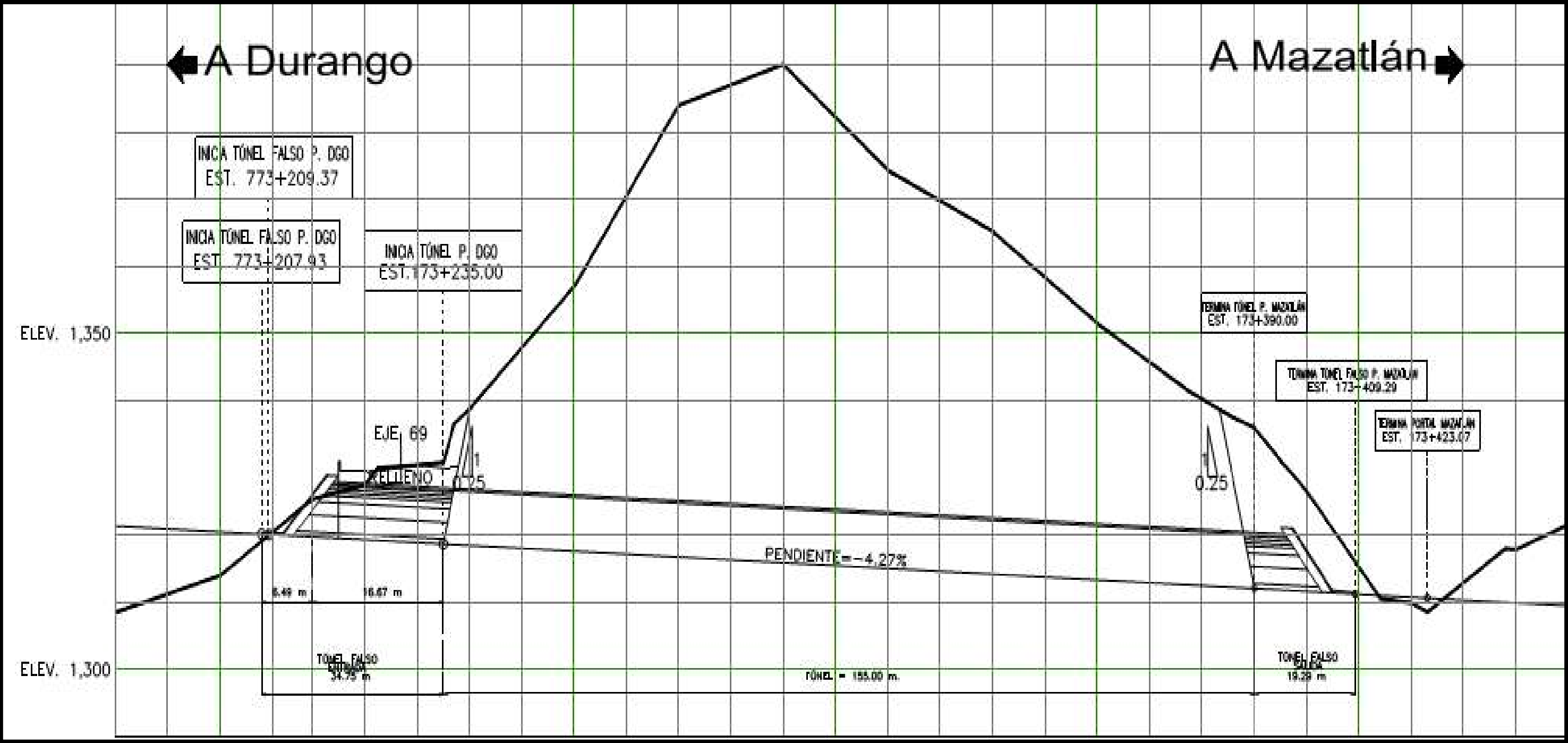
Anexo 34

Plano “As Built” del Túnel Corte Alto

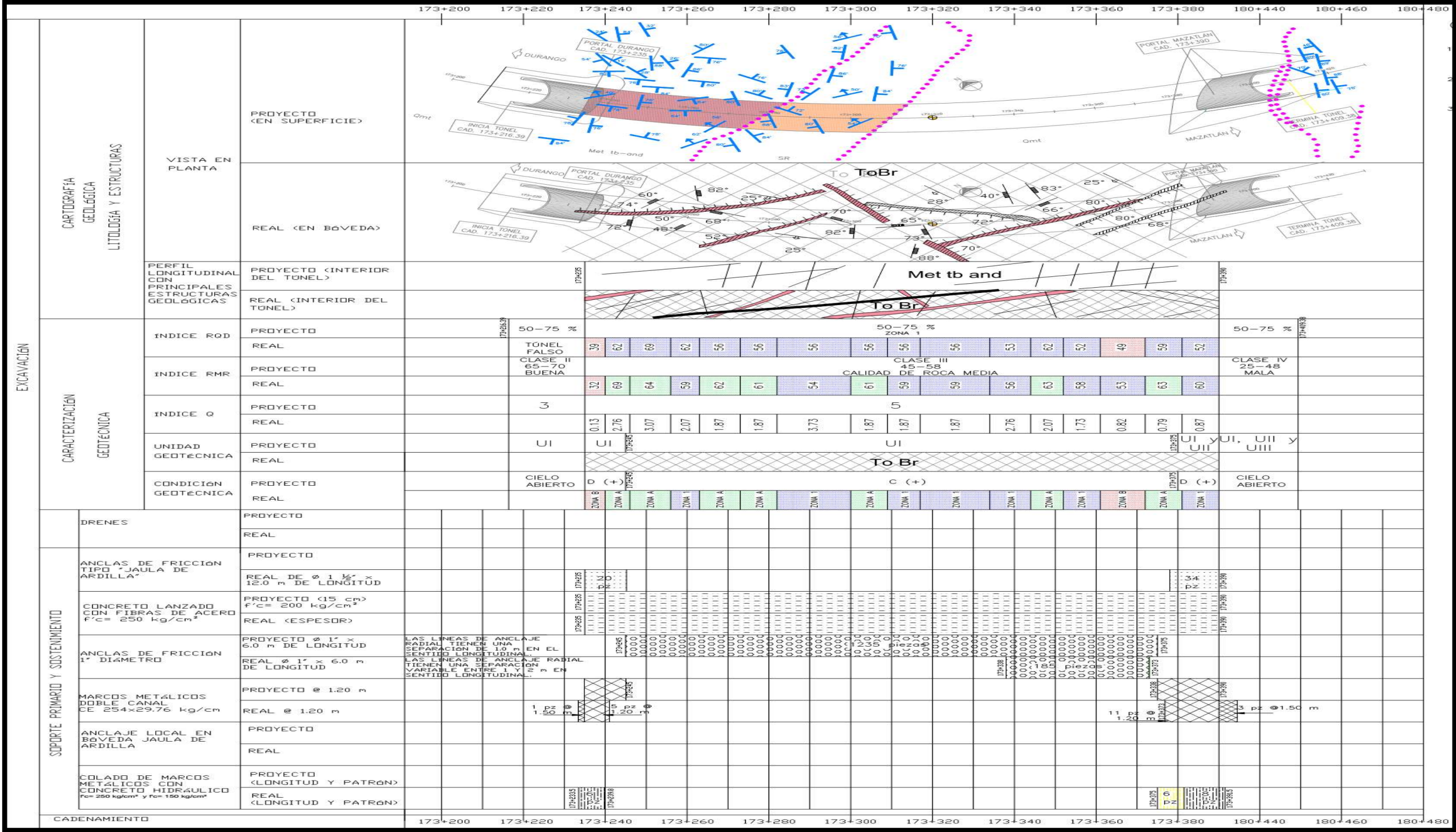


Anexo 35

Perfil Topográfico del Túnel La Mina

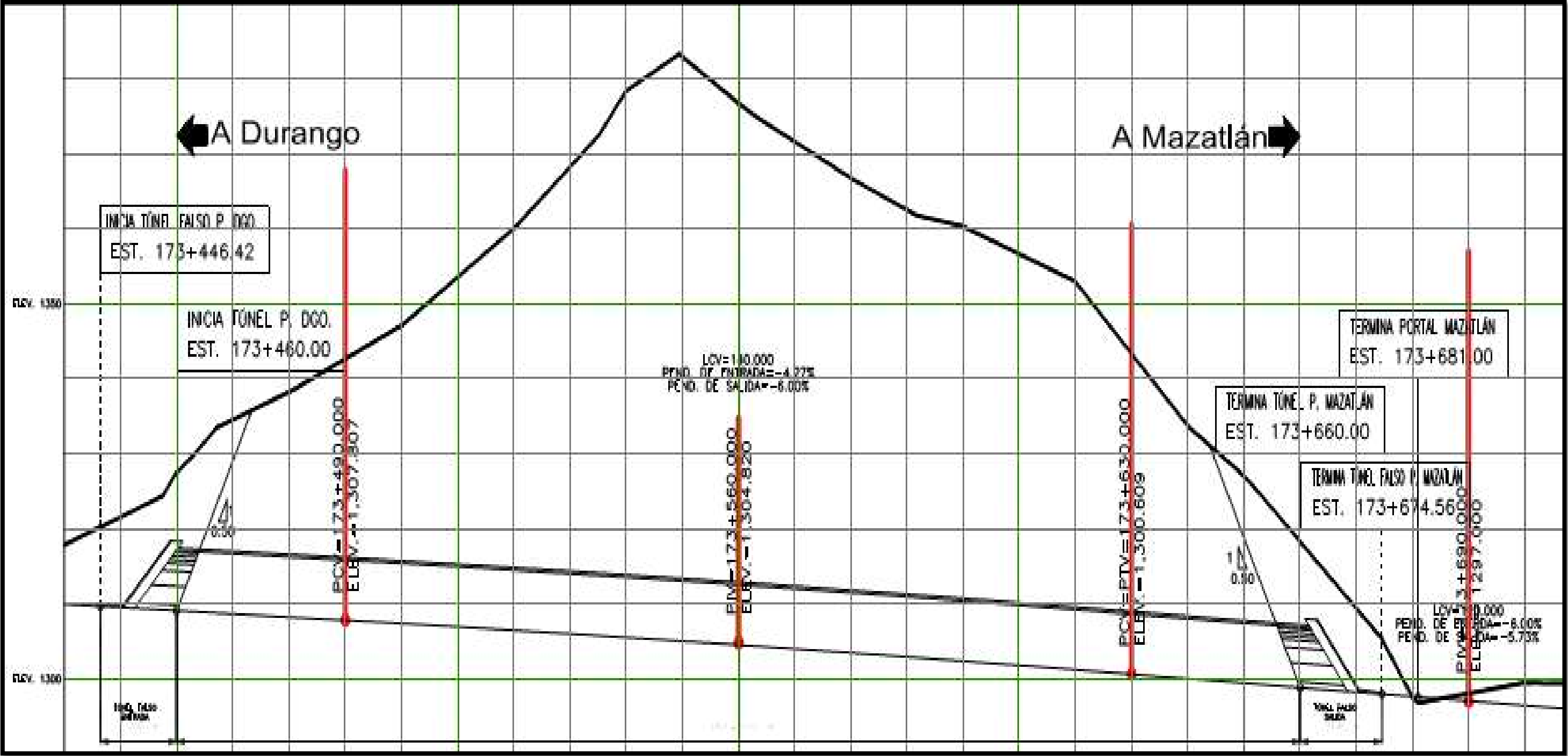


Anexo 36
Plano “As Built” del Túnel La Mina

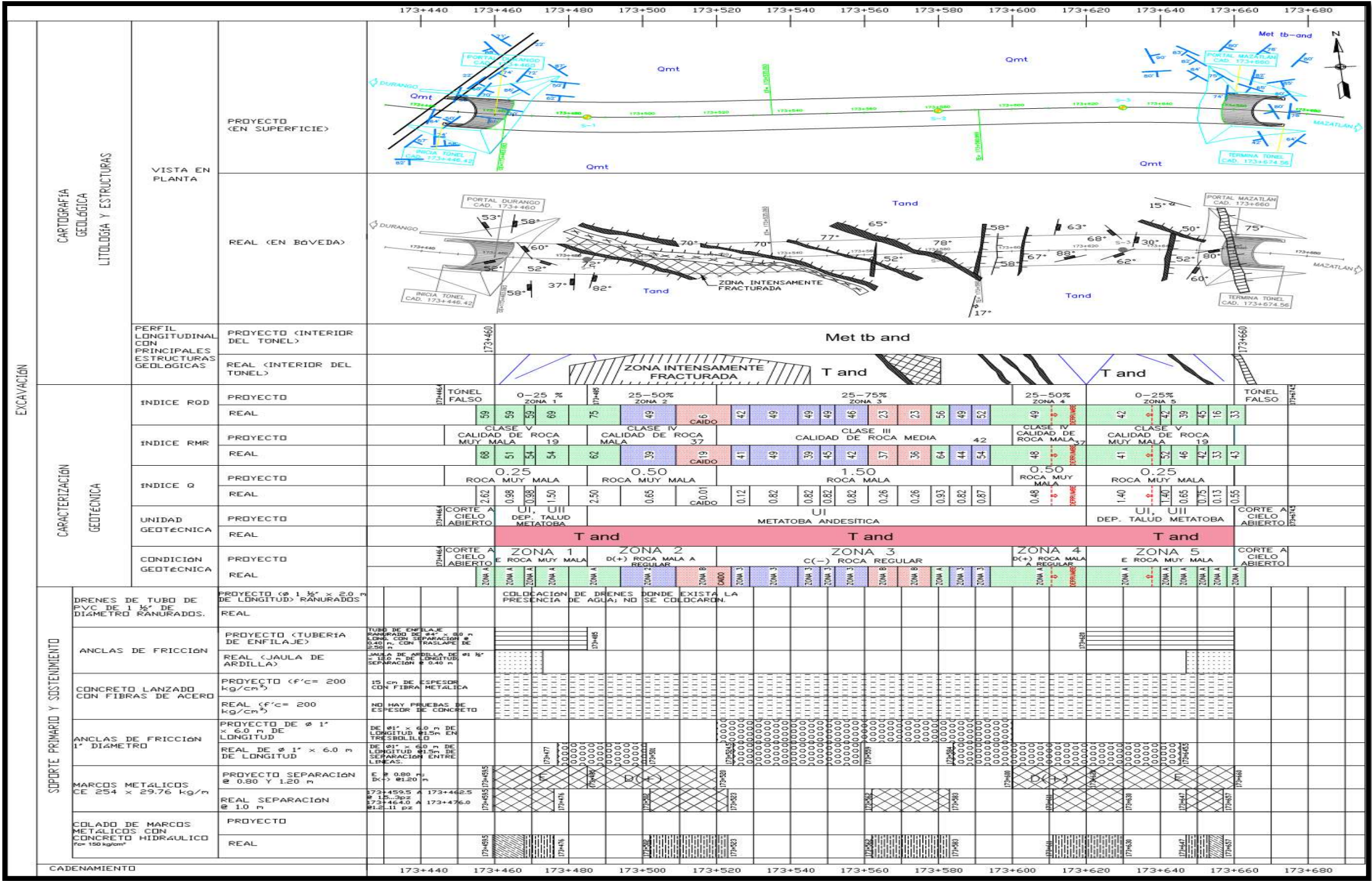


Anexo 37

Perfil Topográfico del Túnel Chirimollos

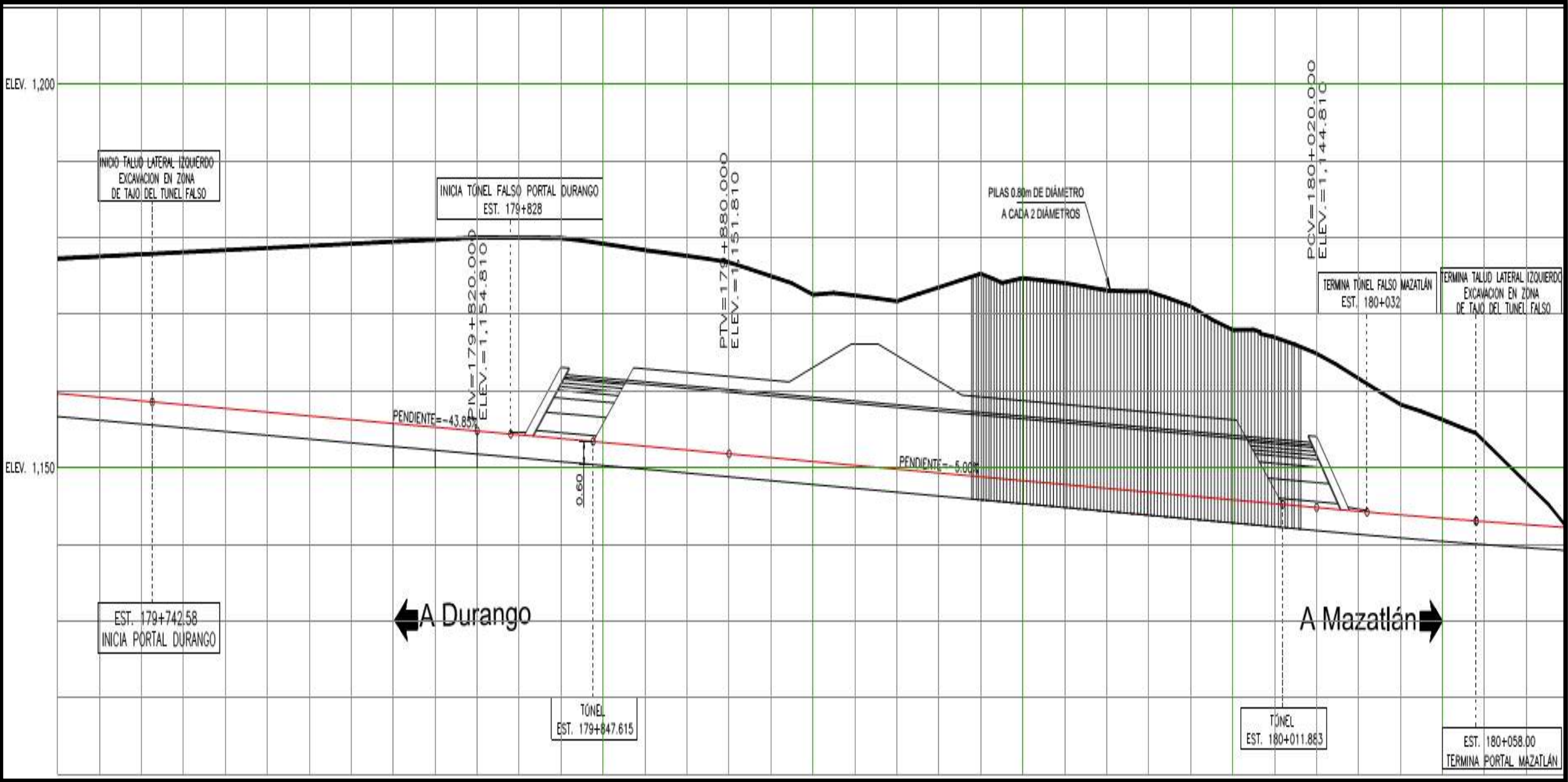


Anexo 38
Plano “As Built” del Túnel Chirimollos



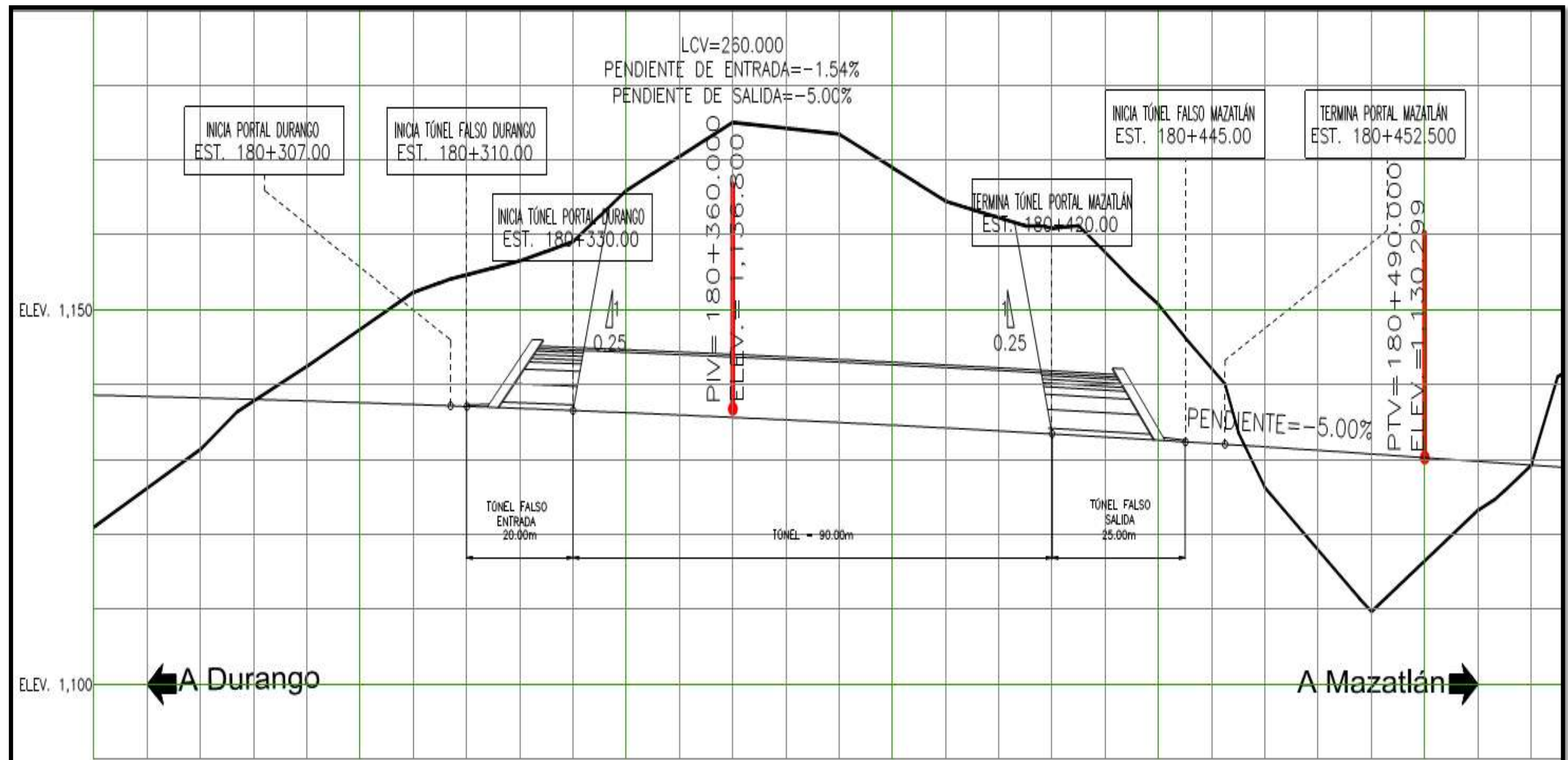
Anexo 39

Perfil Topográfico del Túnel Santa Lucia I



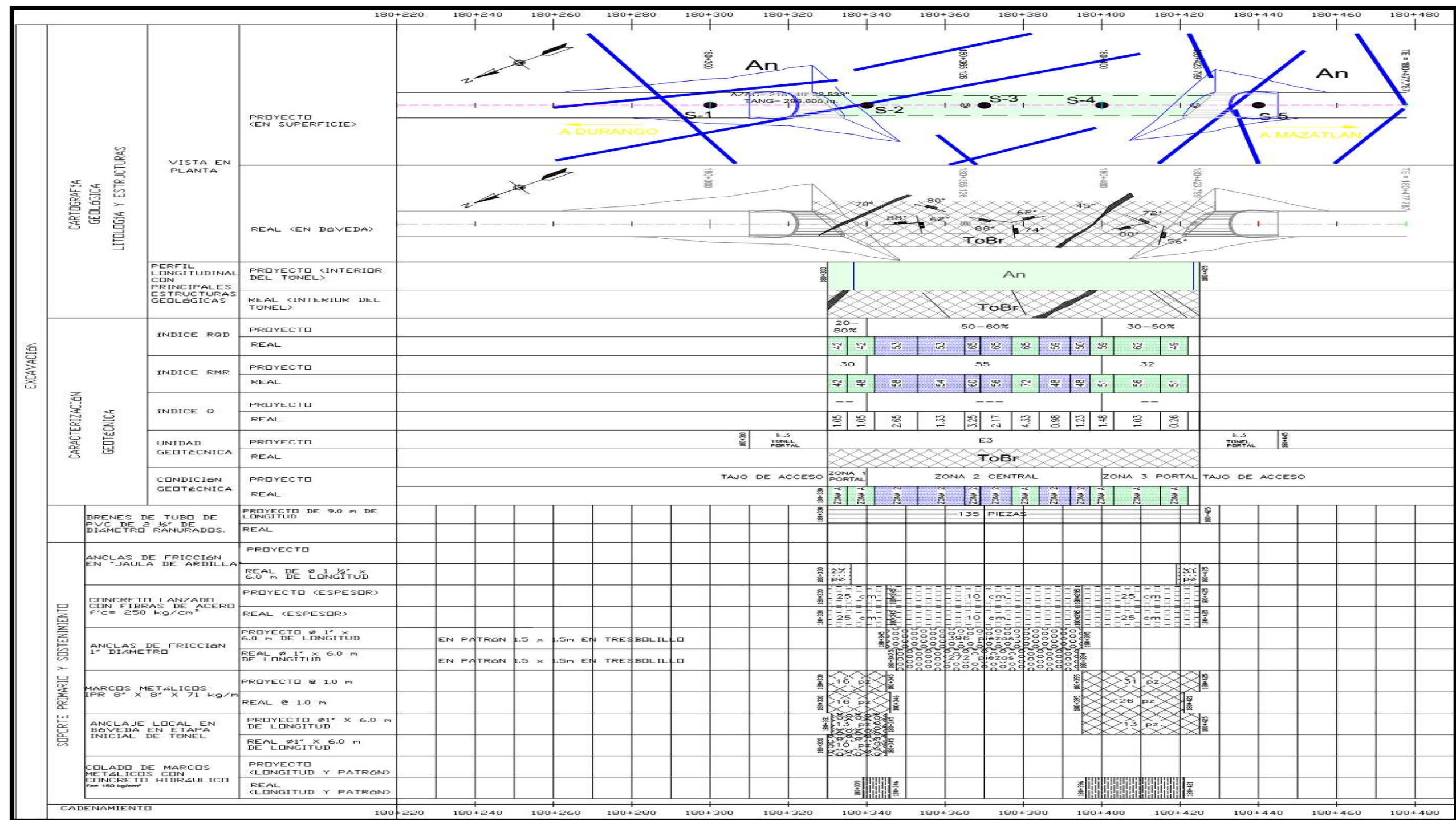
Anexo 40

Perfil Topográfico del Túnel Santa Lucia II



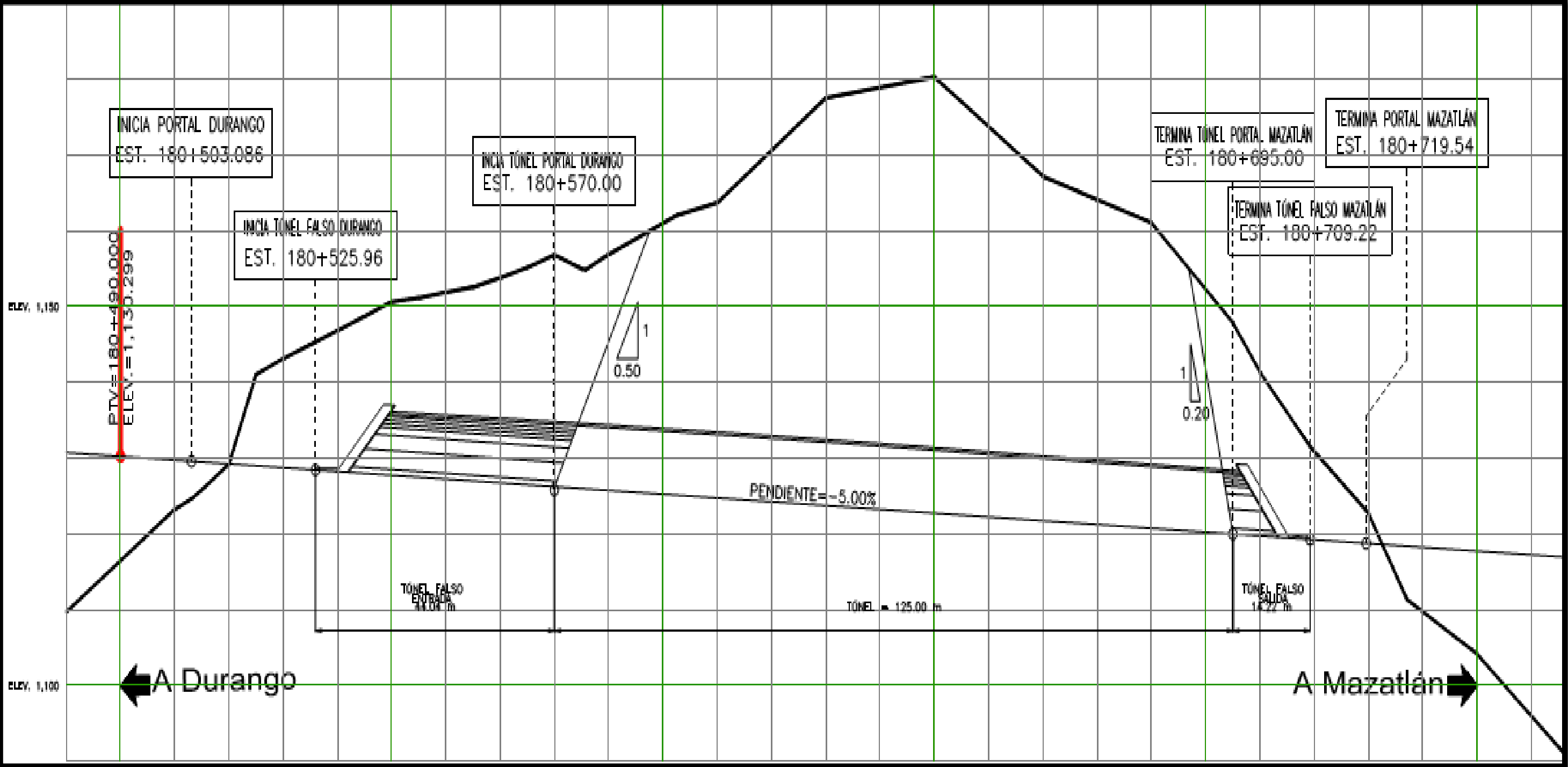
Anexo 41

Plano “As Built” del Túnel Santa Lucia II



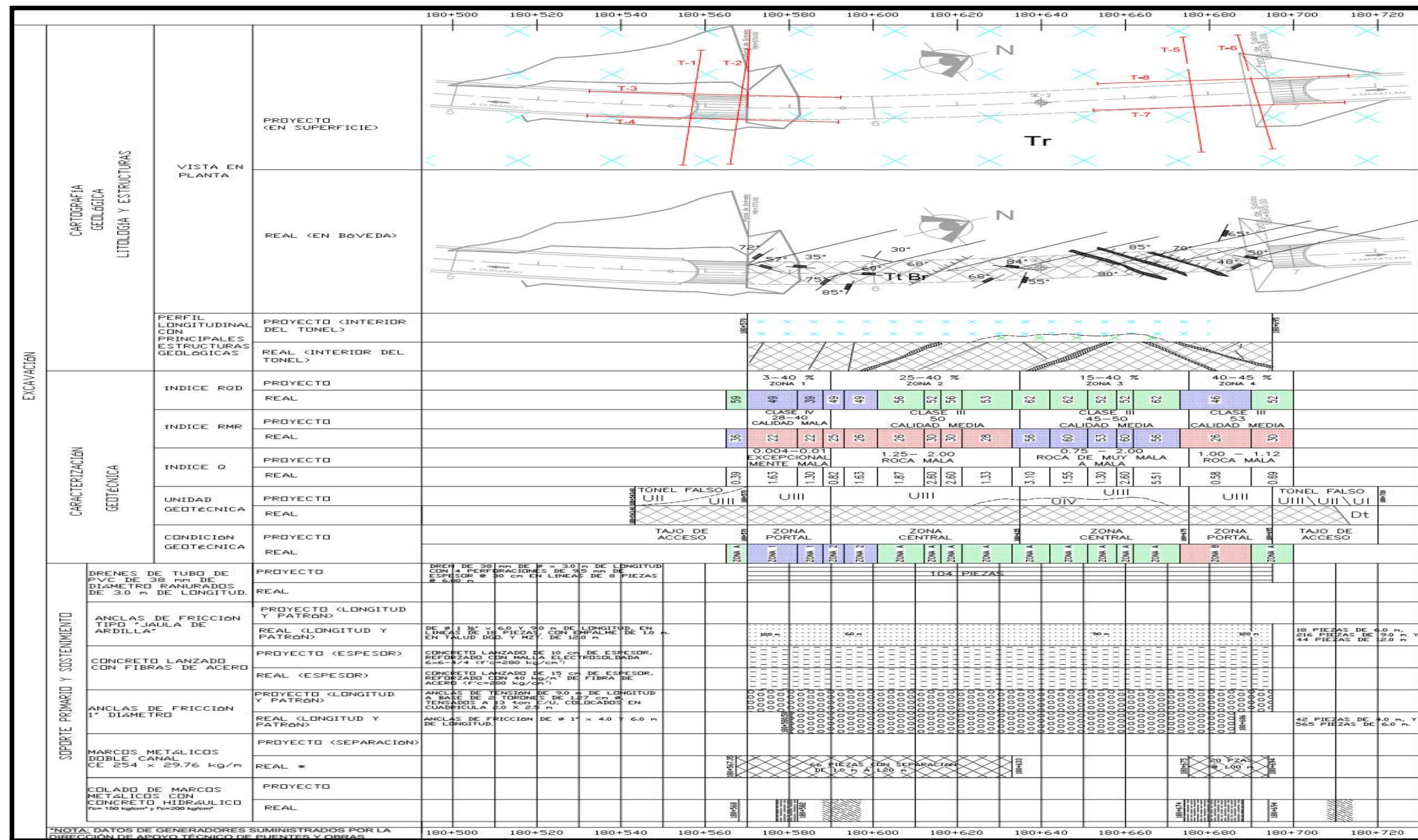
Anexo 42

Perfil Topográfico del Túnel Cerro La Reforma



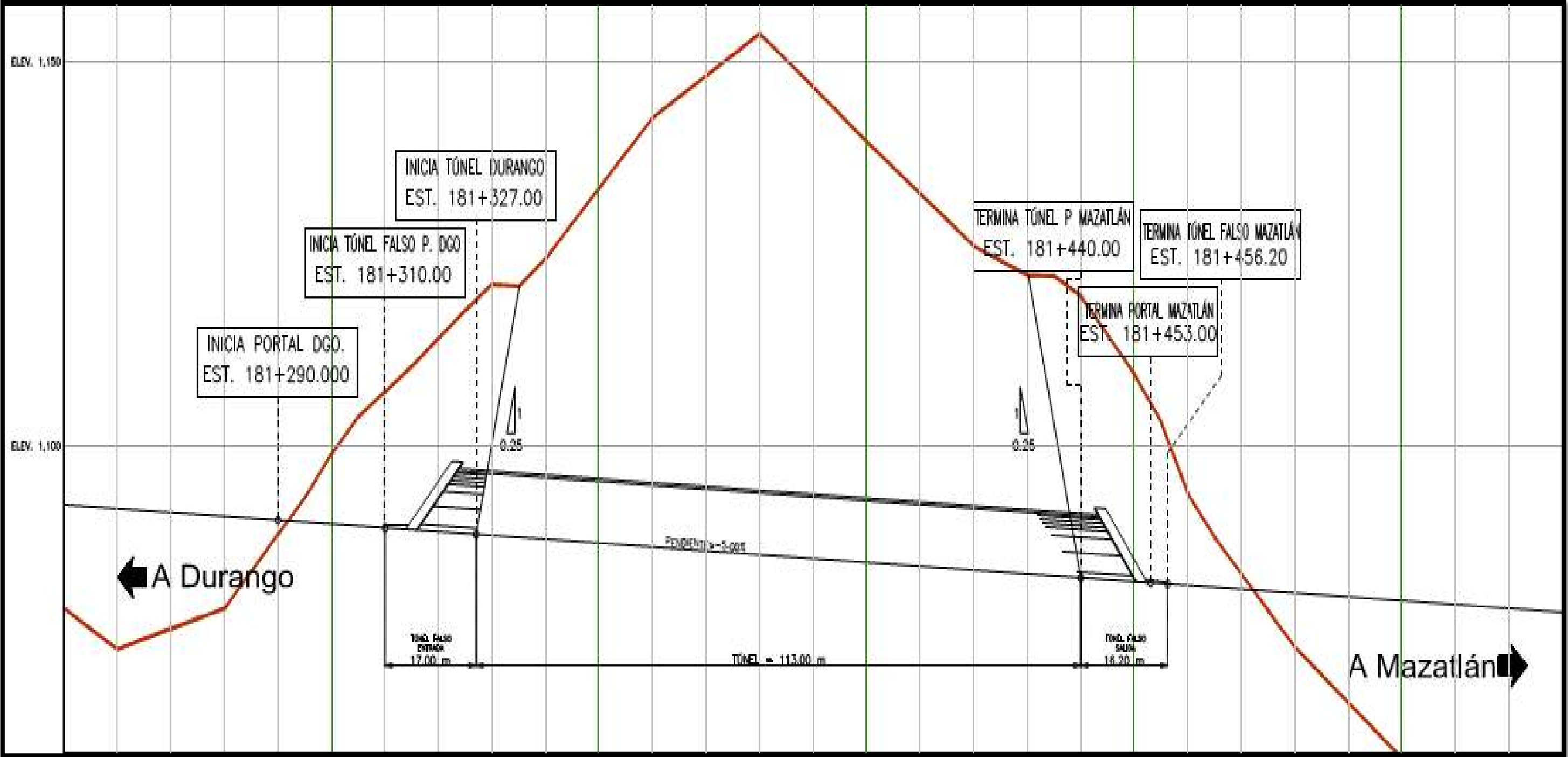
Anexo 43

Plano “As Built” del Túnel Cerro La Reforma



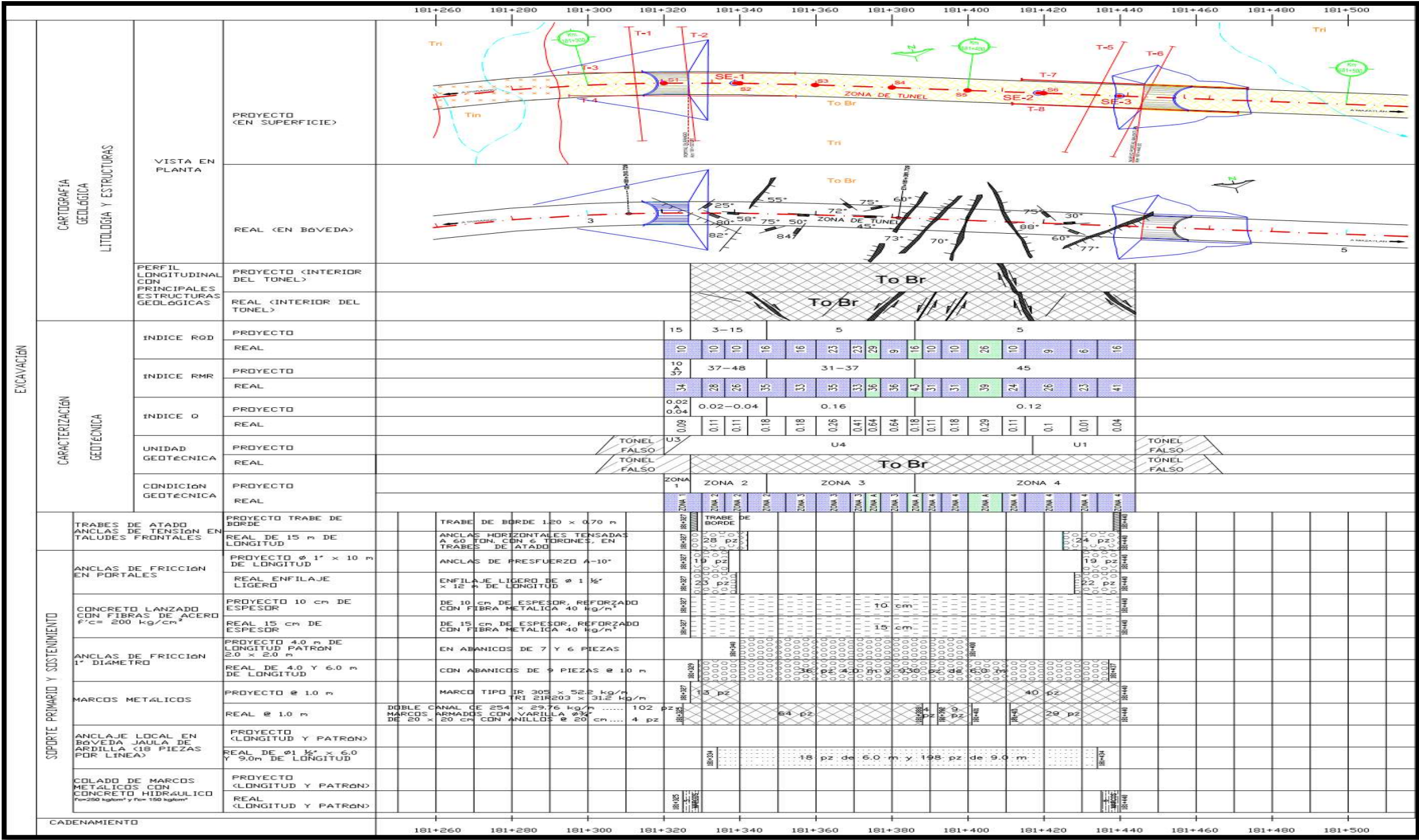
Anexo 44

Perfil Topográfico del Túnel Cerro Santa Lucia



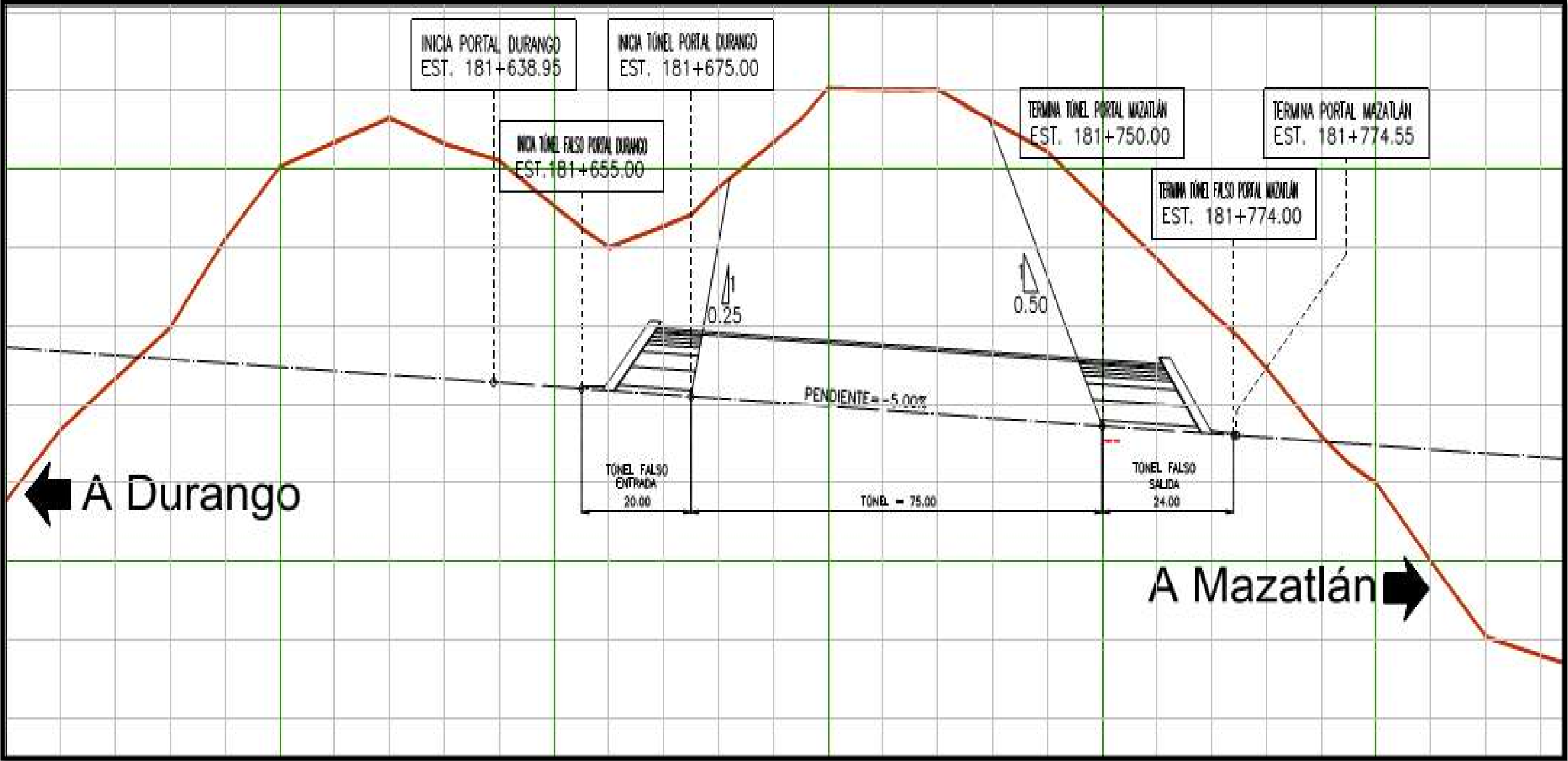
Anexo 45

Plano “As Built” del Túnel Cerro Santa Lucia



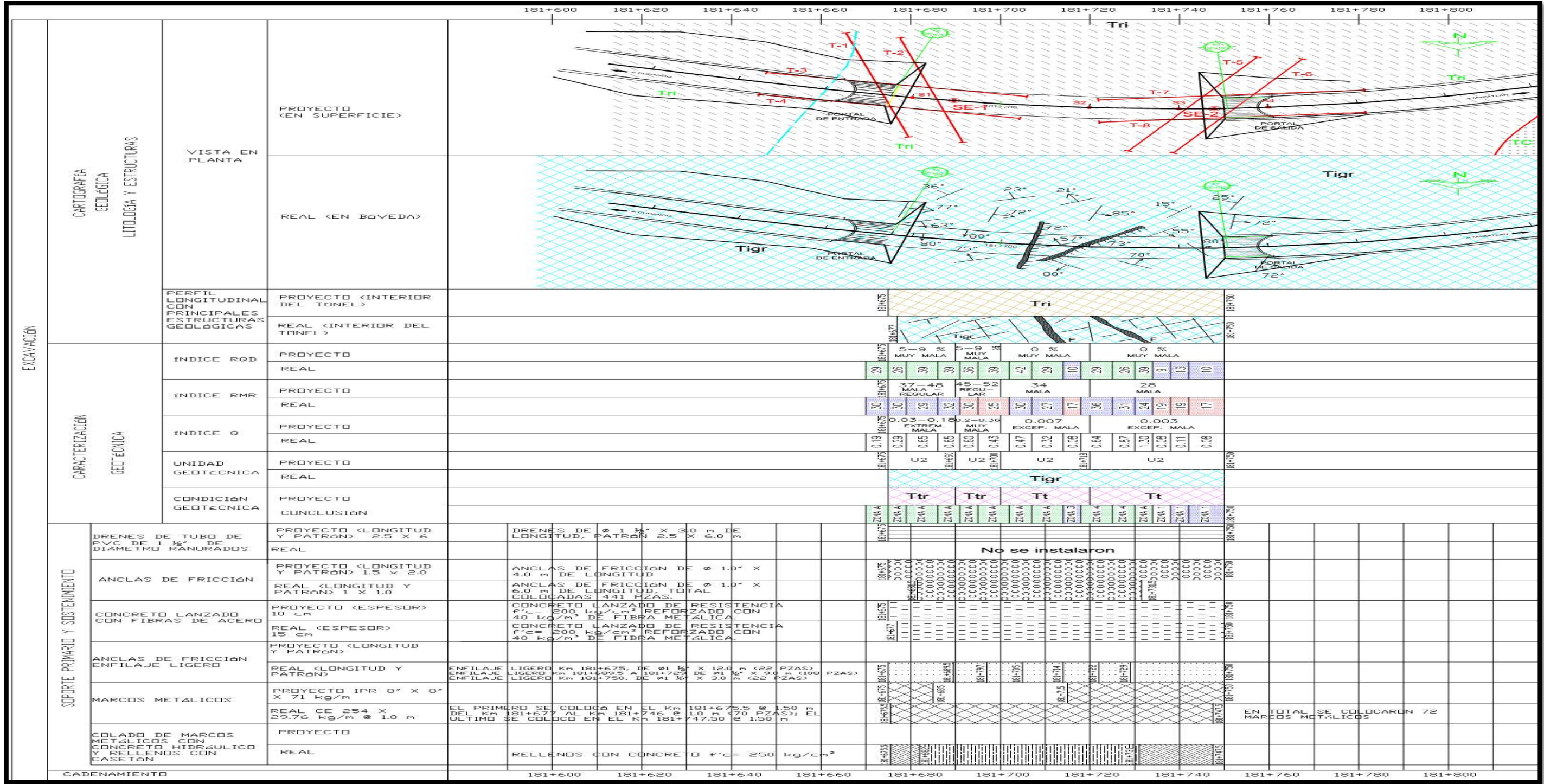
Anexo 46

Perfil Topográfico del Túnel Roblar de la Cueva



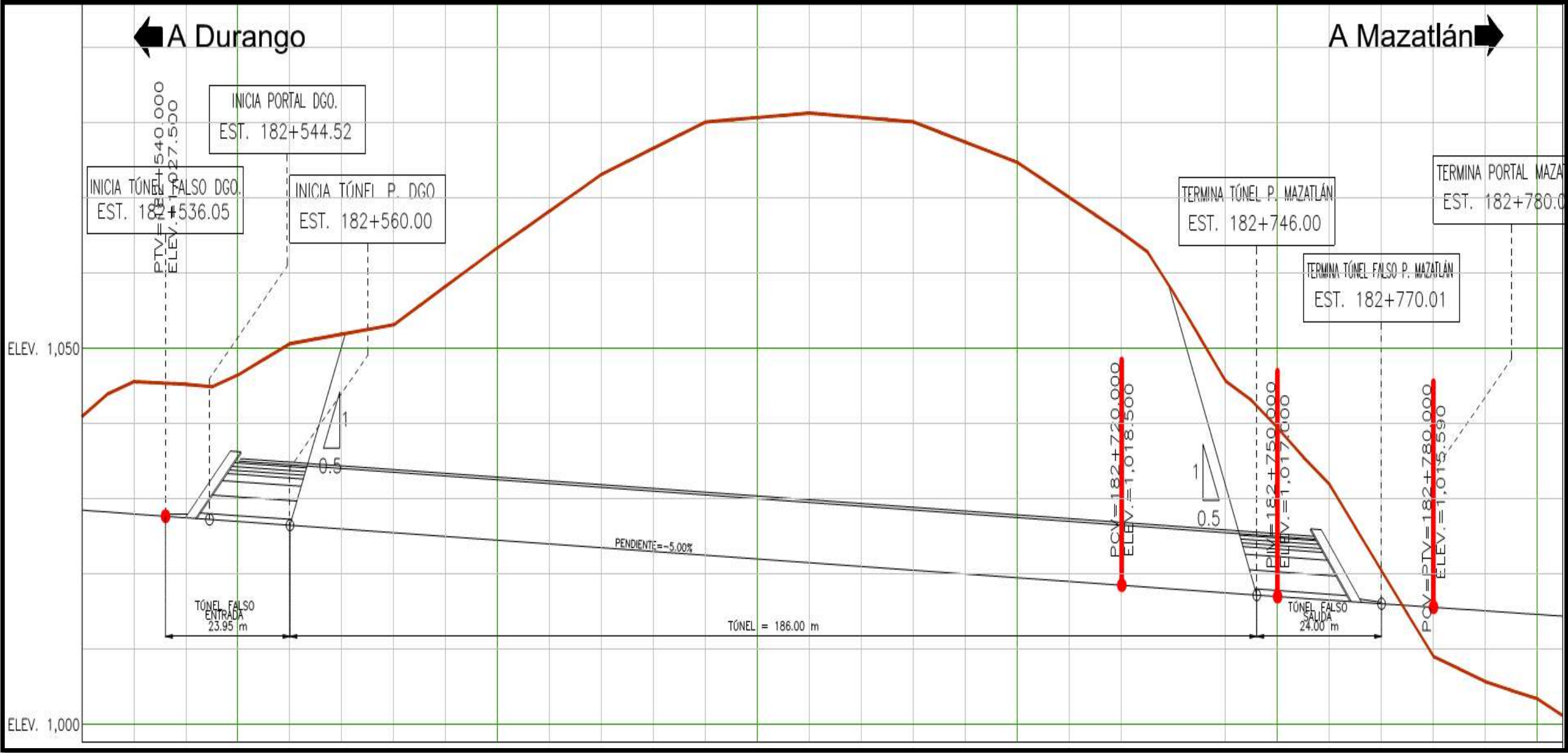
Anexo 47

Plano “As Built” del Túnel Roblar de la Cueva



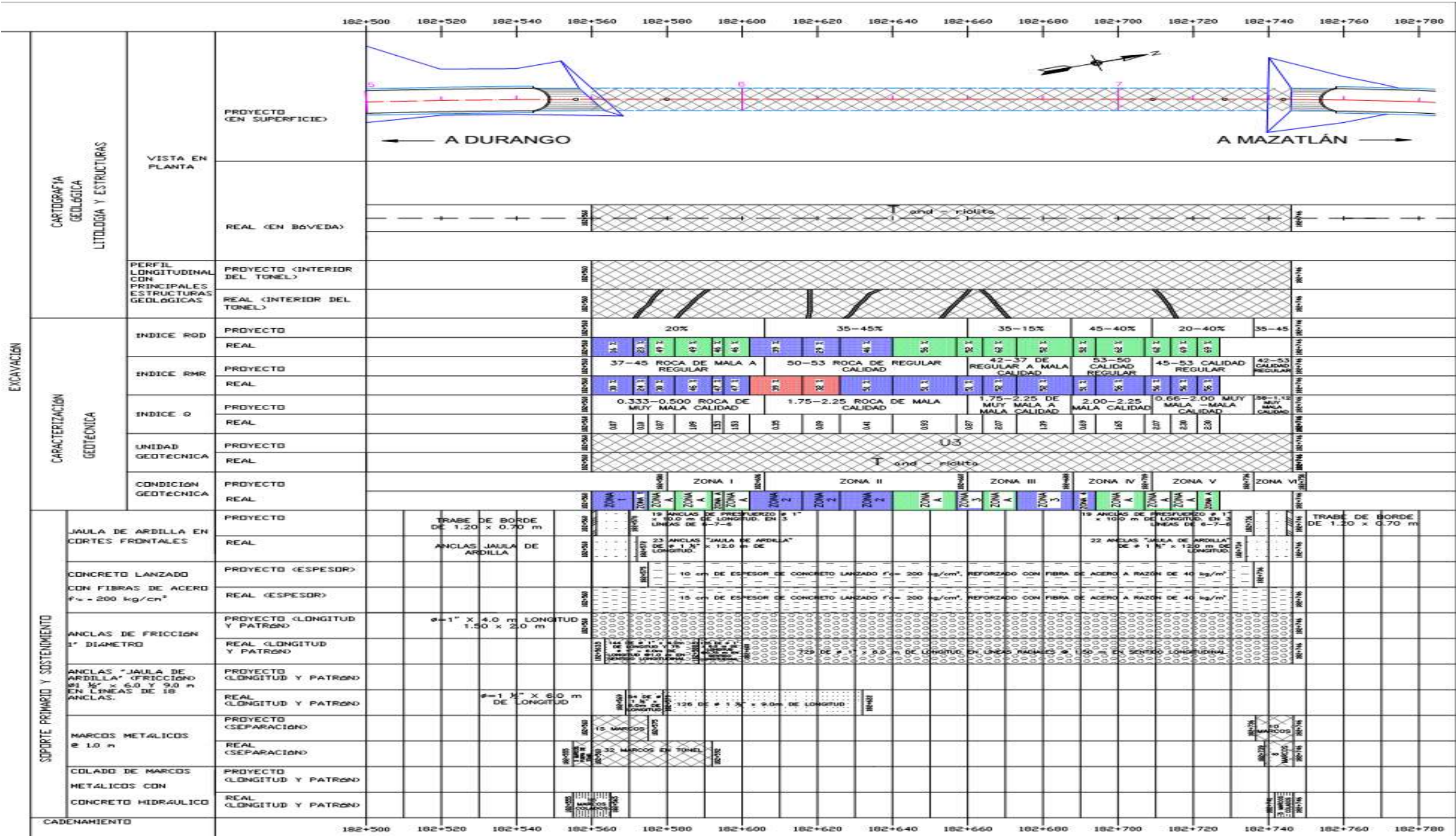
Anexo 48

Perfil Topográfico del Túnel Cerro Las Mesas



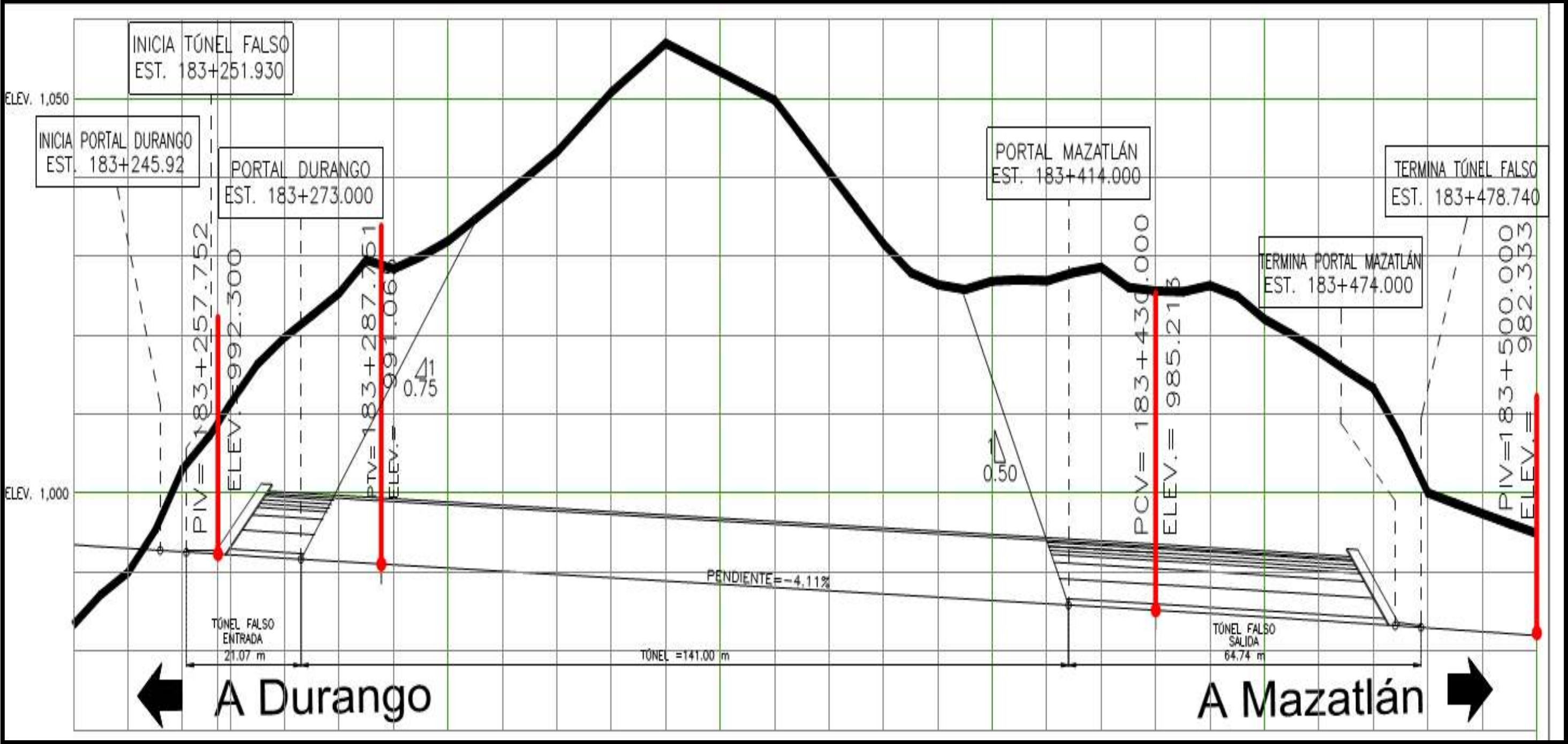
Anexo 49

Plano “As Built” del Túnel Cerro Las Mesas

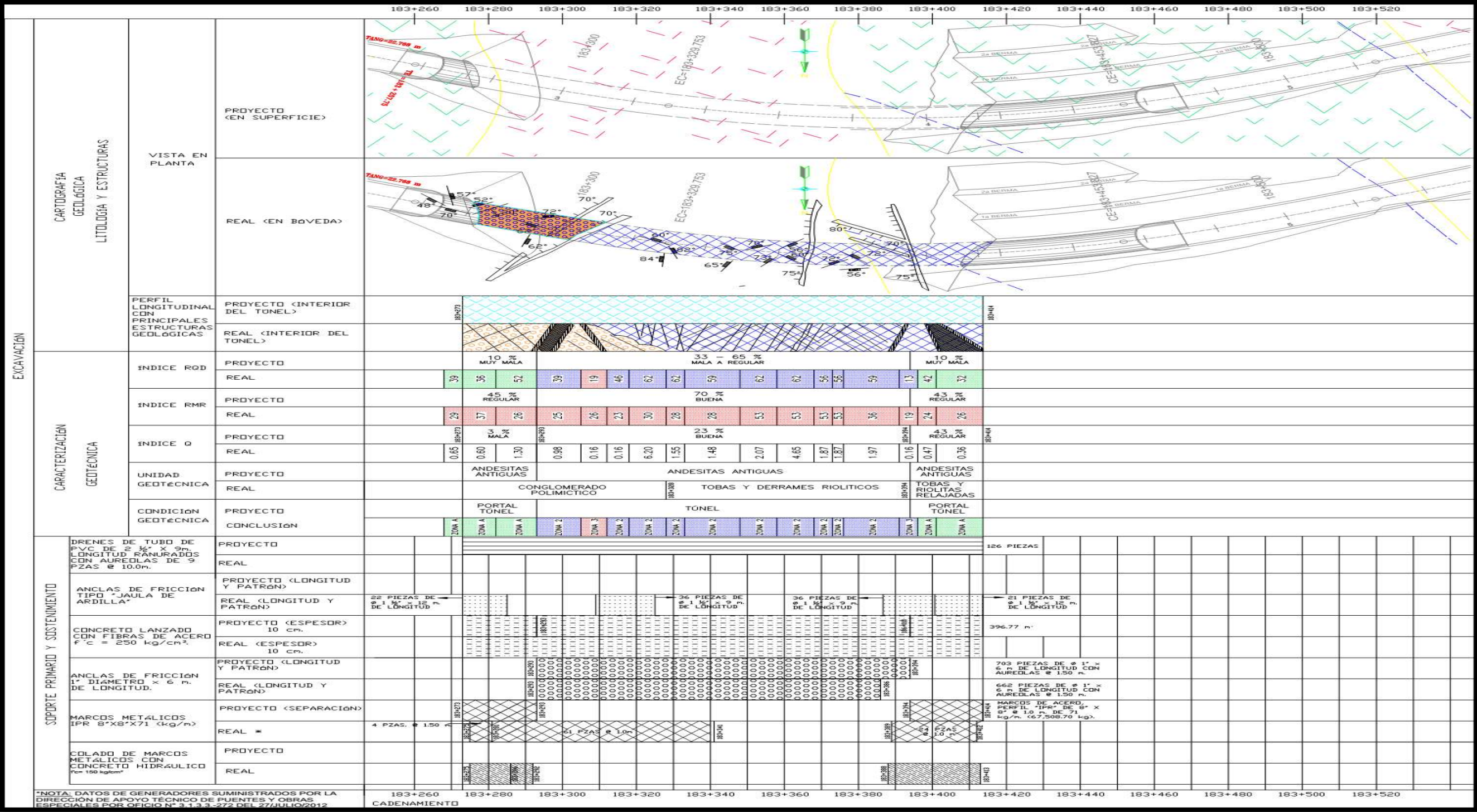


Anexo 50

Perfil Topográfico del Túnel El Nacaral

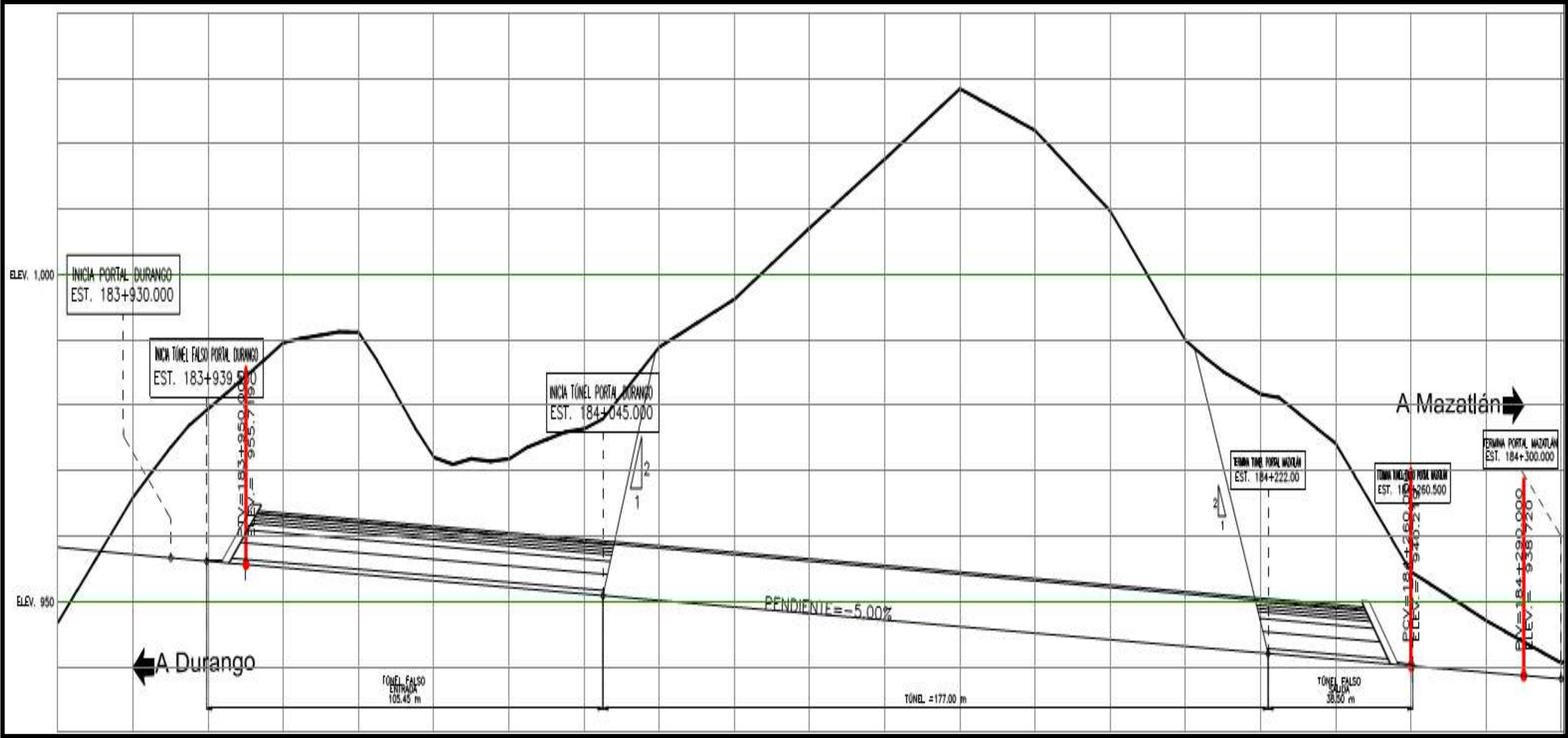


Anexo 51
Plano “As Built” del Túnel El Nacaral



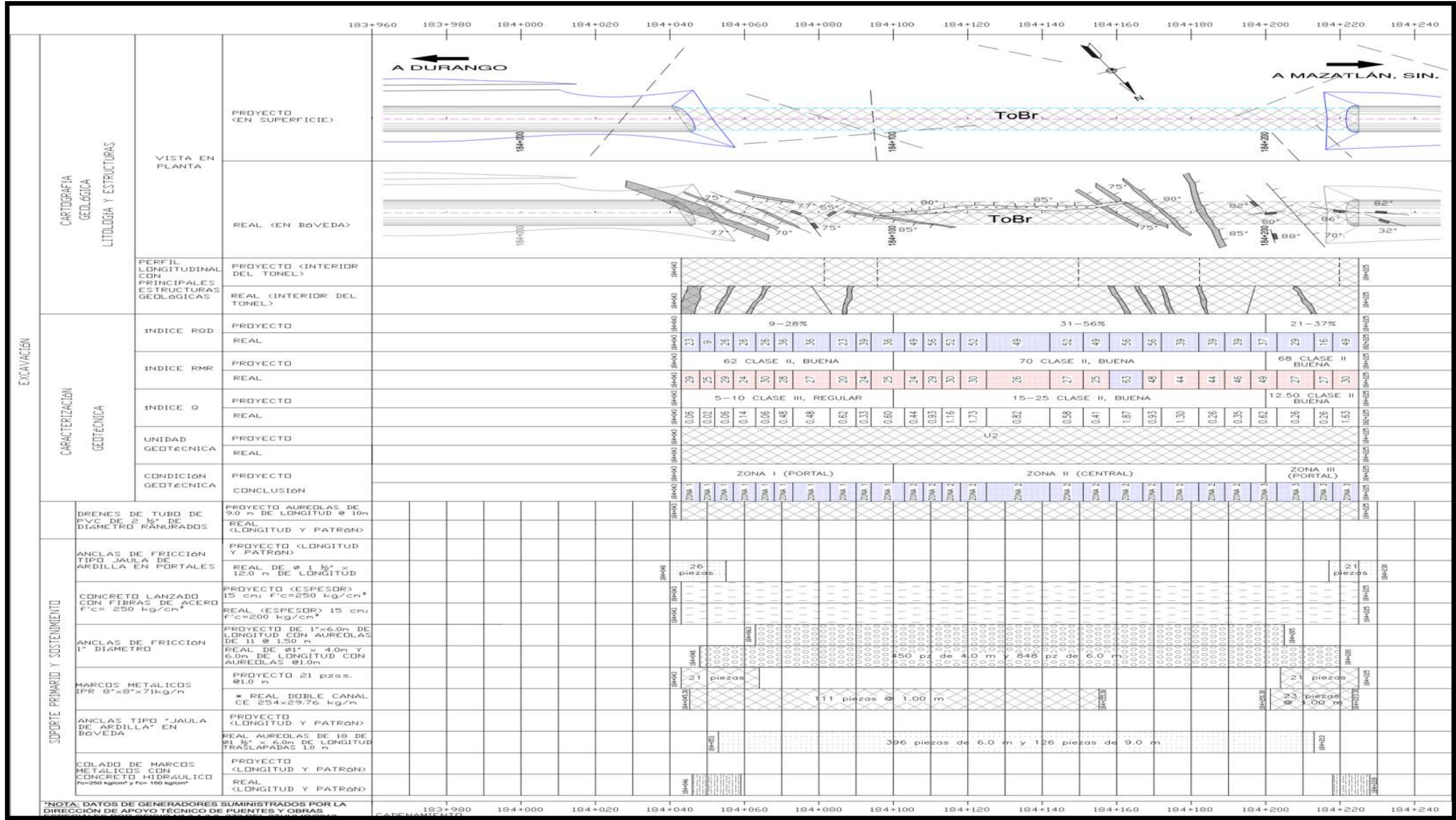
Anexo 52

Perfil Topográfico del Túnel Cerro Las Palomas



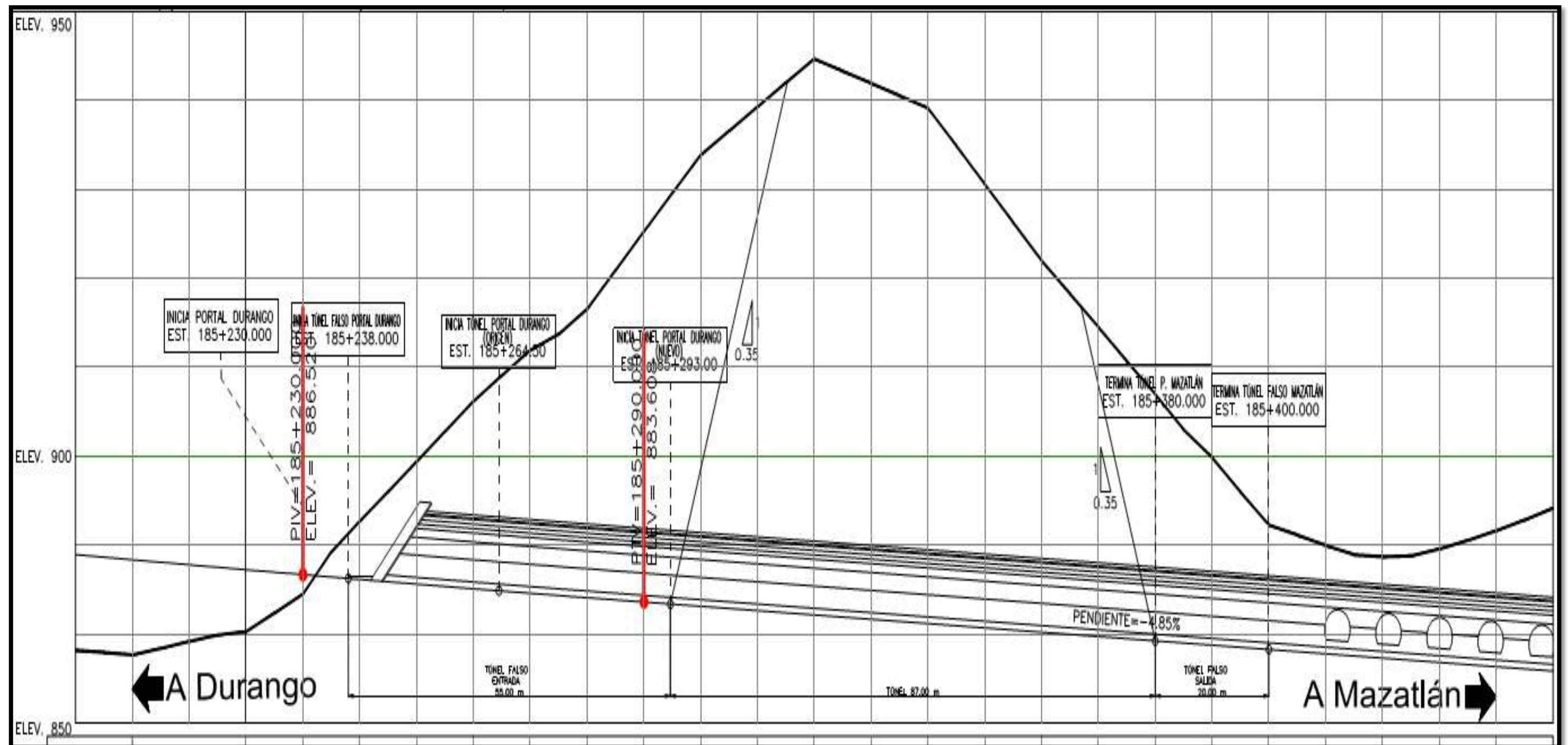
Anexo 53

Plano “As Built” del Túnel Cerro Las Palomas

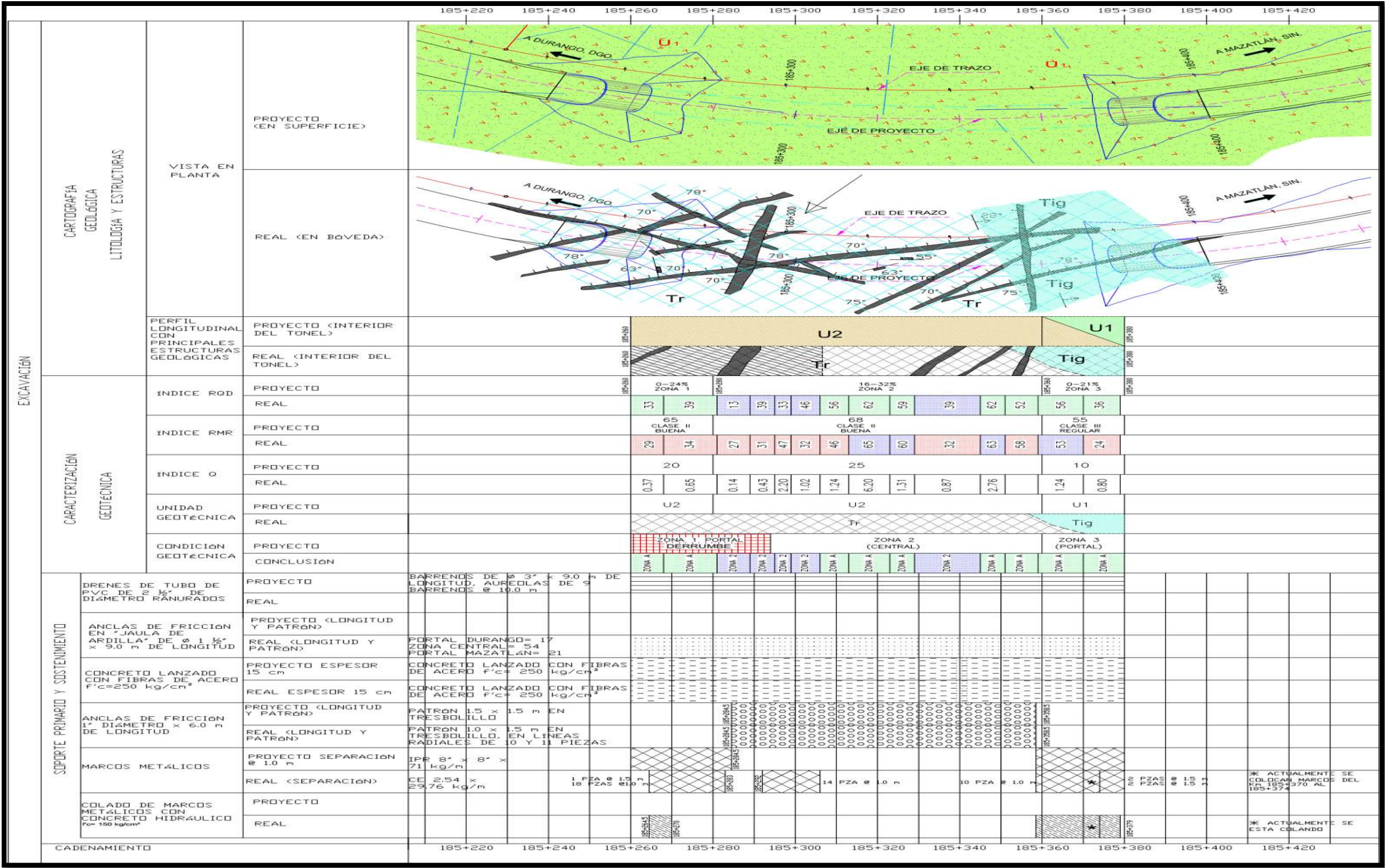


Anexo 54

Perfil Topográfico del Túnel Pánuco



Anexo 55
Plano “As Built” del Túnel Pánuco

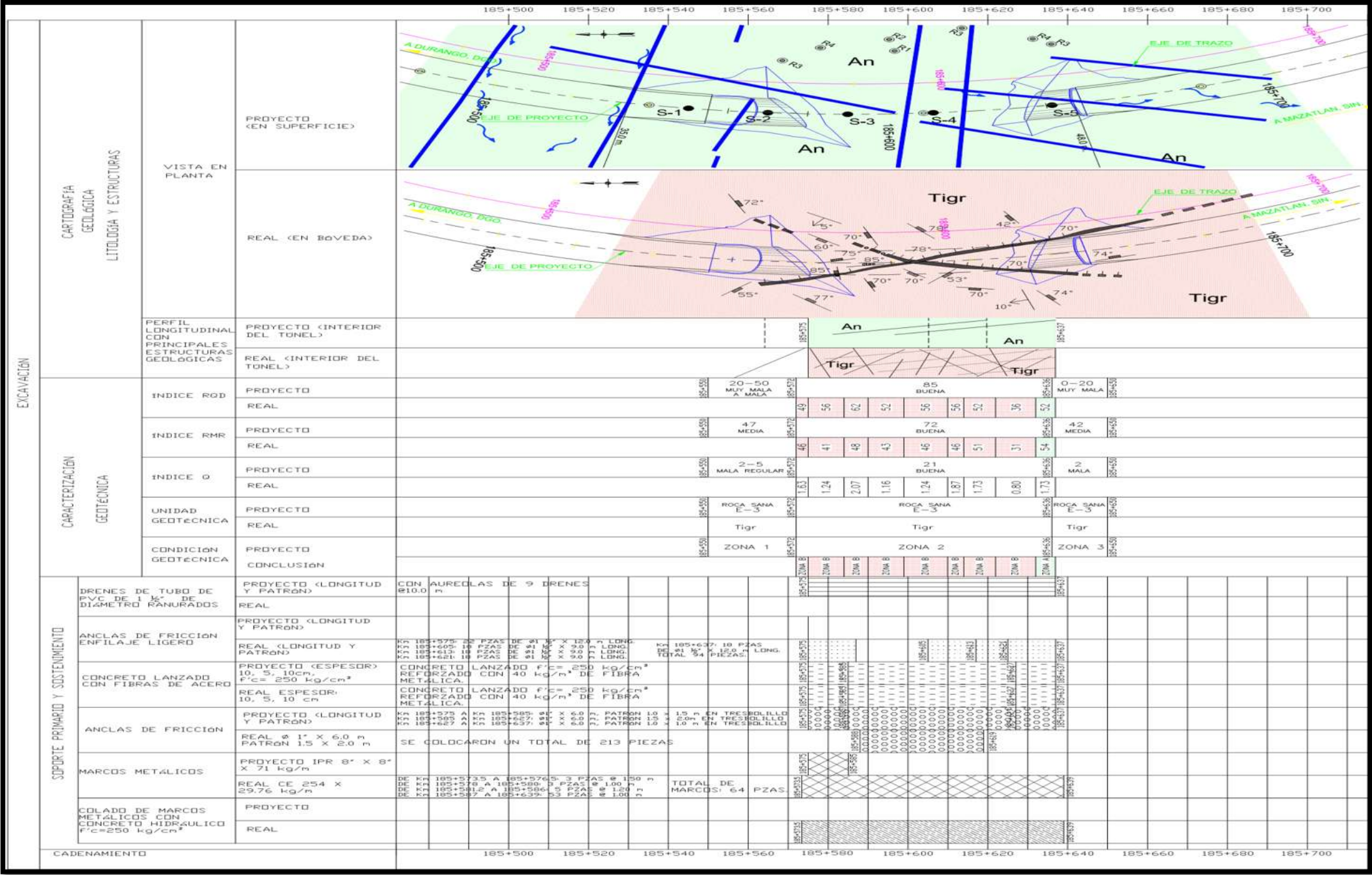


Perfil Topográfico del Túnel Pánuco II

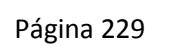


Anexo 57

Plano “As Built” del Túnel Pánuco II

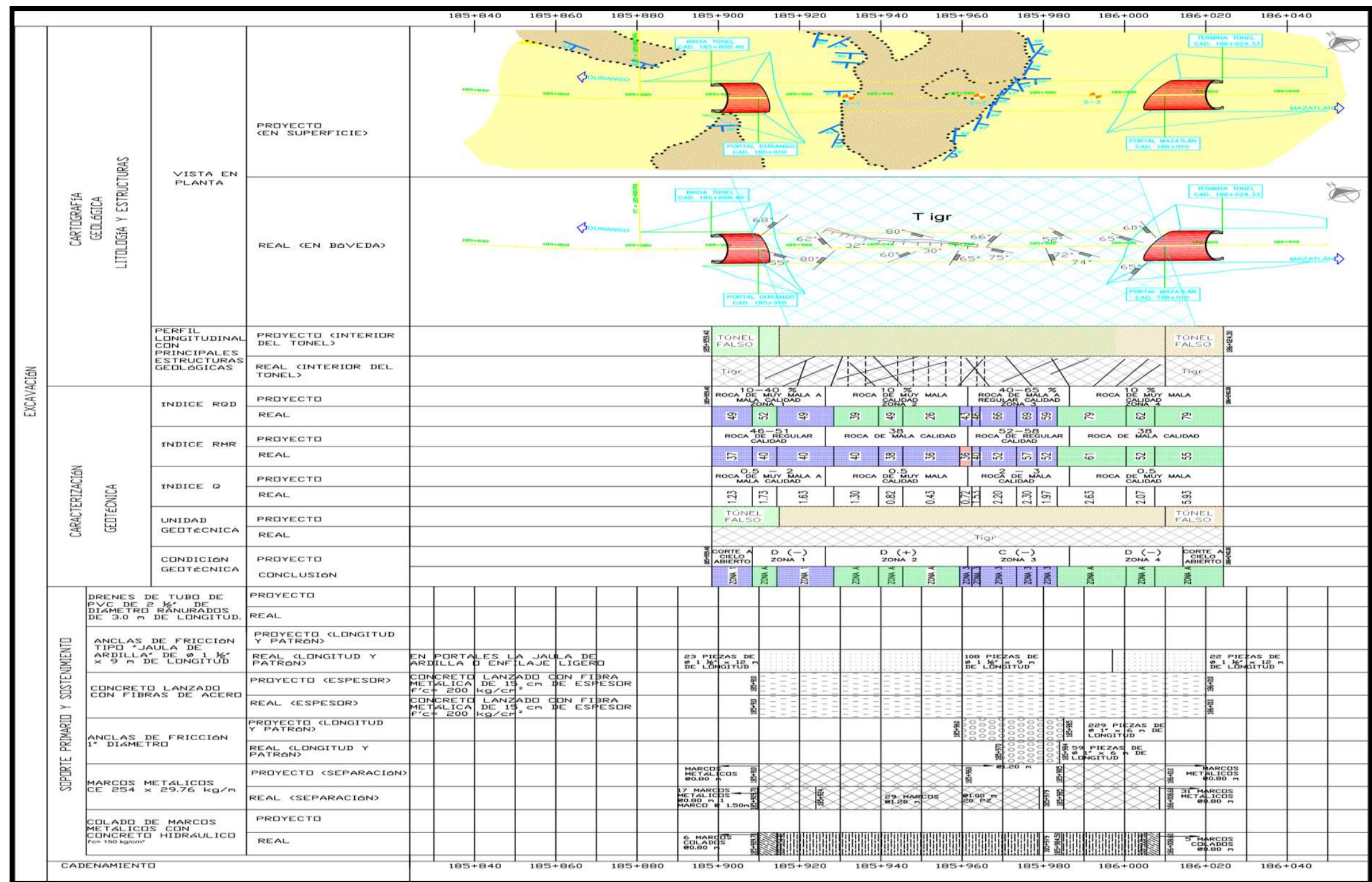


Perfil Topográfico del Túnel Real de Pánuco



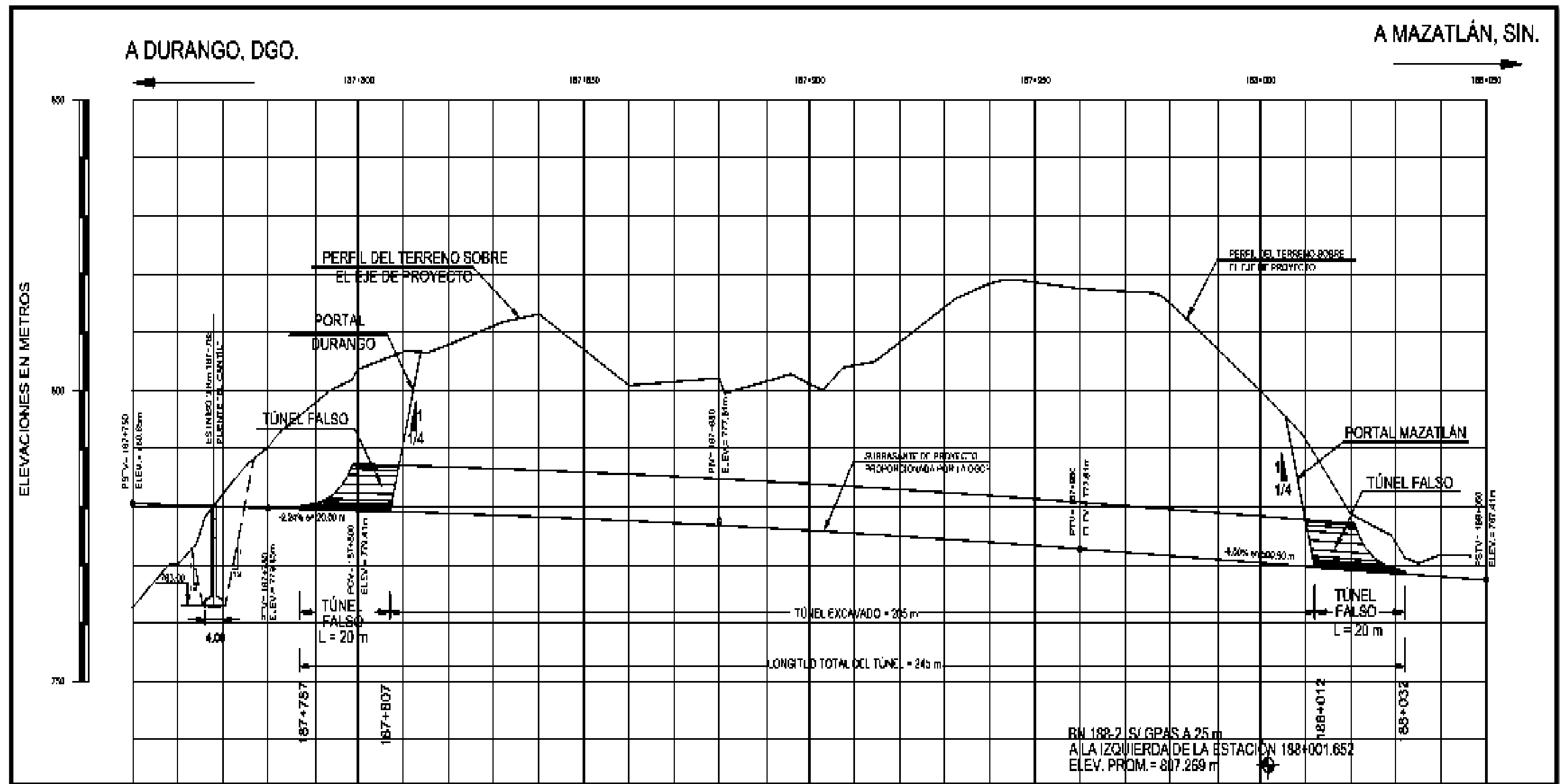
Anexo 59

Plano “As Built” del Túnel Real de Pánuco

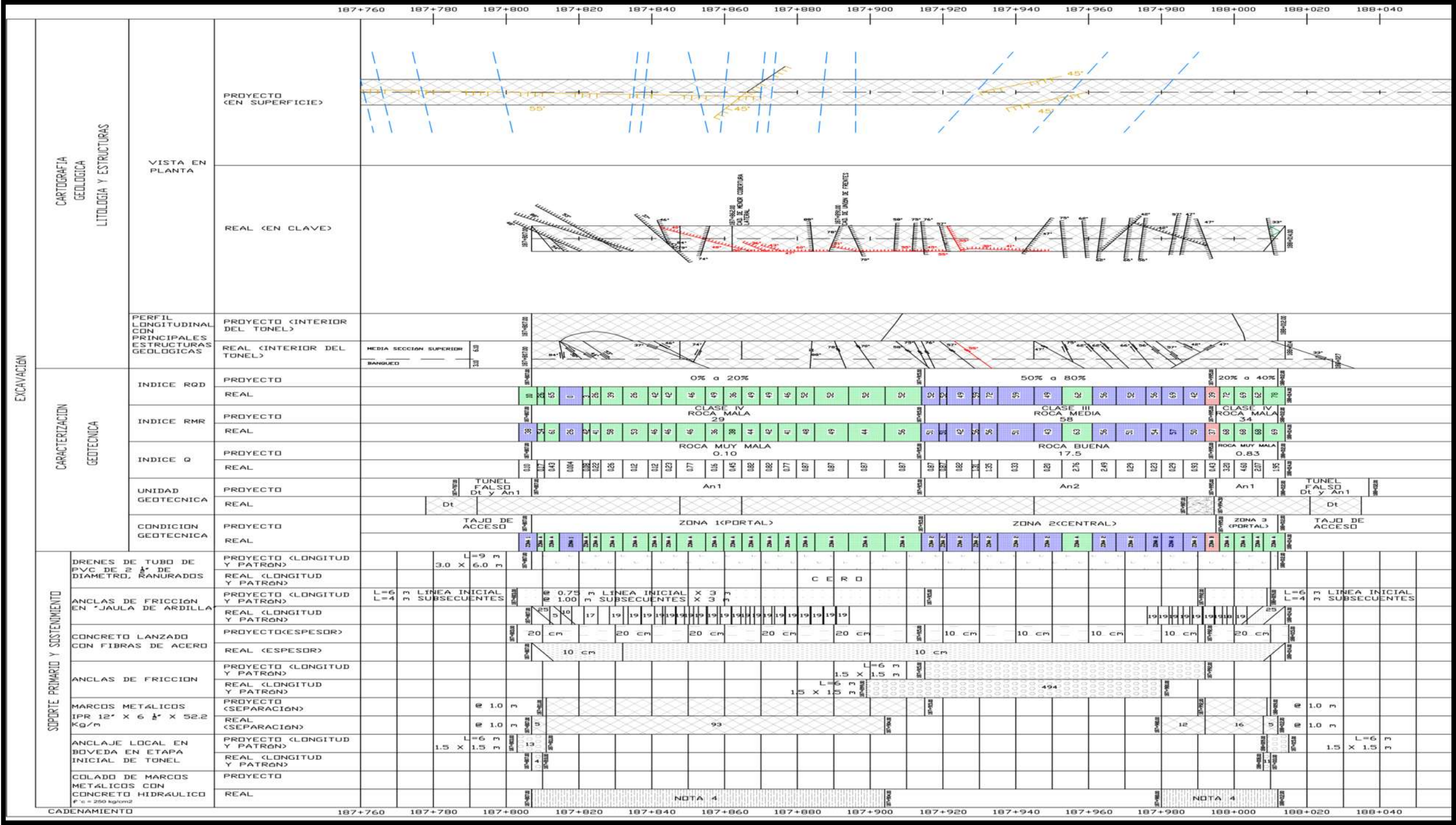


Anexo 60

Plano Topográfico del Túnel El Cantil



Anexo 61
Plano “As Built” del Túnel El Cantil



Anexo 62

Base de Datos

Nombre del Túnel	Tramo	Inicio Túnel Falso	Inicio Túnel	Ventana Intermedia		Termina Túnel	Termina	Longitud de los Túneles Falsos			Longitud del Túnel		Longitud Total del Túnel (m)	Fecha de Inicio Excavación y Soporte (Túnel 1)	Fecha de Terminación Excavación y Soporte (Túnel 1)	Longitud (Túnel 1) (m)	Días	Avance por Día (m/día)	Fecha Inicio Excavación y Soporte (Túnel 2)	Fecha Terminación Excavación y Soporte (Túnel 2)	Longitud (Túnel 2) (m)	Días	Avance por Día (m/día)	Número de Carriles	Ancho de Calzada (m)	Gálibo Vertical (m)	Gálibo Horizontal (m)	Clave (m)	Altura Total del Túnel (m)	Ancho Total del Túnel (m)	Tipo Sección
		Kilometraje	Kilometraje	Inicia	Termina	Kilometraje	Kilometraje	Entrada	Intermedio	Salida	Túnel 1	Túnel 2																			
El Guineo	El Salto - Concordia	158+984.00	159+000.00	-	-	159+167.00	159+207.00	16	-	40	167	-	223	26-Noviembre-2009	27-Enero-2012	167	792	0.21	-	-	-	-	-	4	17.6	5.5	15.5	10.25	11.54	20.4	Herradura
El Varal	El Salto - Concordia	159+242.23	159+258.00	-	-	159+985.00	160+066.00	15.77	-	81	727	-	823.77	26-Noviembre-2009	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	4	17.6	5.5	15.5	10.25	11.53	20.4	Herradura
Los Otates	El Salto - Concordia	161+060.00	161+065.00	-	-	161+150.00	161+167.50	5	-	17.5	85	-	107.5	17-Septiembre-2012	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	4	17.6	5.5	15.5	10.25	12.22	20.4	Herradura
Guamúchil	El Salto - Concordia	161+220.00	161+232.00	-	-	161+331.00	161+425.00	12	-	94	99	-	205	2-Agosto-2011	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	4	17.6	5.5	15.5	10.25	12.32	20.4	Herradura
Los Morillos	El Salto - Concordia	161+710.00	161+736.00	163+890.50	161+982.50	162+056.00	162+098.00	26	92	42	154.5	73.5	388	21-Enero-2012	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	28-Agosto-2012	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	4	17.6	5.5	15.5	10.25	12.33	20.4	Herradura
El Carrizo I	El Salto - Concordia	163+182.70	163+194.00	-	-	163+295.00	165+315.50	11.3	-	20.5	101	-	132.8	11-Agosto-2011	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	4	17.6	5.5	15.5	10.25	12.32	20.4	Herradura
El Carrizo II	El Salto - Concordia	163+473.50	163+602.00	163+731.00	163+790.00	163+883.00	163+912.00	128.5	59	29	129	93	438.5	24-Junio-2011	15-Julio-2012	129	387	0.33	16-Febrero-2011	27-Enero-2012	96	345	0.27	4	17.6	5.5	15.5	10.25	12.32	20.4	Herradura
El Carrizo III	El Salto - Concordia	164+131.00	164+150.00	-	-	164+549.00	164+583.22	19	-	34.22	399	-	452.22	8-Noviembre-2010	5-Noviembre-2011	399	358	1.11	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.2	7.9	8	14.10	Herradura
La Piedra	El Salto - Concordia	164+750.00	164+767.75	164+820.50	164+890.00	165+019.50	165+040.00	17.75	69.5	20.5	52.75	129.5	290	9-Agosto-2010	No Disponible	182.25	325	0.56	18-Diciembre-2010	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.56	2	11.6	5.5	11.1	7.85	8.56	13.60	Herradura
La Quemada	El Salto - Concordia	165+194.00	165+214.75	-	-	165+300.00	165+320.00	20.75	-	20	85.25	-	126	2-Septiembre-2010	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	2	11.6	5.5	11.1	7.85	8.56	13.60	Herradura
La Quemada II	El Salto - Concordia	165+470.00	165+488.00	-	-	165+593.00	165+613.00	18	-	20	105	-	143	20-October-2010	20-Julio-2011	105	285	0.37	-	-	-	-	-	2	11.6	5.5	11.1	7.85	8.56	13.60	Herradura
La Laguna I	El Salto - Concordia	165+815.00	165+848.50	-	-	166+017.00	166+037.00	33.5	-	20	170	-	222	23-Junio-2010	6-Mayo-2011	168.5	128	1.31	-	-	-	-	-	2	11.6	5.5	11.1	7.85	8.56	14.00	Herradura
La Laguna II	El Salto - Concordia	166+300.00	166+224.00	-	-	166+400.00	166+450.00	24	-	50	176	-	250	6-Enero-2010	15-Abril-2011	176	285	0.62	-	-	-	-	-	2	11.6	5.5	11.1	7.85	8.56	13.60	Herradura
La Laguna III	El Salto - Concordia	166+617.00	166+637.00	166+736.00	166+760.00	166+941.50	166+960.00	20	24	20	99	181.5	343	7-October-2009	13-Diciembre-2010	307	430	0.71	-	-	-	-	-	2	11.6	5.5	11.1	7.83	8.95	14.00	Herradura
Las Labores	El Salto - Concordia	167+355.00	167+373.26	167+441.50	167+483.00	167+648.75	167+674.00	20	40.4	19	67.6	165.75	312.75	29-October-2009	7-Septiembre-2011	275.49	964	0.29	16-Marzo-2011	7-Septiembre-2011	275.49	964	0.29	2	11.6	5.5	11.1	7.86	8.99	14.00	Herradura
Trópico de Cáncer	El Salto - Concordia	171+415.00	171+435.00	-	-	171+573.00	171+597.00	20	-	24	138	-	182	20-Agosto-2009	15-Mayo-2010	182	268	0.7	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.85	8.54	14.10	Herradura
Corte Alto	El Salto - Concordia	172+245.00	172+330.00	-	-	172+445.00	172+459.59	85	-	14.59	115	-	214.59	20-Noviembre-2010	5-Febrero-2011	No Disponible	No Disponible	1.48	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.51	14.10	Herradura
La Mina	El Salto - Concordia	173+207.93	173+235.00	-	-	173+390.00	173+409.29	16.67	-	19.29	155	-	209.04	28-Noviembre-2009	10-Mayo-2010	155	163	0.95	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.8	8.58	14.10	Herradura
Chirimollos	El Salto - Concordia	173+446.42	173+460.00	-	-	173+660.00	173+674.56	13.58	-	14.56	200	-	228.14	15-Enero-2010	13-Junio-2010	200	149	1.34	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.8	8.59	14.10	Herradura
Santa Lucía I	El Salto - Concordia	179+828.00	179+847.62	-	-	180+011.88	180+032.00	19.62	-	20.12	164.26	-	204	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.88	10.07	15.32	Herradura
Santa Lucía II	El Salto - Concordia	180+310.00	180+330.00	-	-	180+420.00	180+445.00	20	-	25	90	-	135	16-Septiembre-2009	2-Junio-2010	No Disponible	No Disponible	0.71	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.5	14.10	Herradura
Cerro de la Reforma	El Salto - Concordia	180+525.96	180+570.00	-	-	180+695.00	180+709.22	44.04	-	14.22	125	-	183.26	13-Enero-2011	17-Mayo-2011	125	124	1	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.5	14.10	Herradura
Cerro Santa Lucía	El Salto - Concordia	181+310.00	181+327.00	-	-	181+440.00	181+456.20	17	-	16.2	113	-	146.2	11-October-2010	5-Febrero-2011	No Disponible	No Disponible	1.24	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.5	14.10	Herradura
Roblar de la Cueva	El Salto - Concordia	181+655.00	181+675.00	-	-	181+750.00	181+774.00	20	-	24	75	-	119	29-Junio-2011	8-Enero-2012	No Disponible	No Disponible	0.37	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.8	8.75	14.10	Herradura
Cerro de las Mesas	El Salto - Concordia	182+536.05	182+560.00	-	-	182+746.00	182+770.01	23.95	-	24	186	-	233.95	6-Julio-2010	23-Enero-2011	186	200	0.93	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.8	8.84	14.10	Herradura
El Nacaral	El Salto - Concordia	183+251.93	183+273.00	-	-	183+414.00	183+478.74	21.07	-	64.74	141	-	226.81	15-Febrero-2011	12-October-2011	141	240	0.58	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.8	14.10	Herradura
Cerro Las Palomas	El Salto - Concordia	183+939.55	184+045.00	-	-	184+222.00	184+260.50	105.45	-	38.5	177	-	320.95	11-Mayo-2010	6-October-2010	No Disponible	No Disponible	1.43	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	8.12	8.8	14.10	Herradura
Pánuco	El Salto - Concordia	185+238.00	185+293.00	-	-	185+380.00	185+400.00	55	-	20	87	-	162	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	No Disponible	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.91	9.08	14.10	Herradura
Pánuco II	El Salto - Concordia	185+555.00	185+575.00	-	-	185+637.00	185+649.00	13.34	-	8	41.33	-	62.67	11-Julio-2011	28-Enero-2012	62	202	0.3	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.92	9.08	14.10	Herradura
Real Pánuco	El Salto - Concordia	185+898.48	185+910.00	-	-	186+010.00	186+028.29	11.52	-	18.29	100	-	129.81	15-Abril-2011	19-Julio-2011	No Disponible	No Disponible	1.04	-	-	-	-	-	2	11.7	5.5	11.1	7.9	8.89	14.10	Herradura
El Cantil	Concordia - Villa Unión	187+787.00	187+807.00	-	-	188+012.00	188+032.00	20	-	20	205	-	245	24-Abril-2009	29-Enero-2010	205	269	0.76	-	-	-	-	-	2	11	5.5	10.5	7.62	8.3	13.4	Herradura

Comparación de modelo tipo vs perfil topográfico

Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres

Anexo 65

	Túneles menores de 100 m, con 2 perforaciones														
Fila	Nombre del Túnel	La Piedra-A	Pánuco II	Las Labores-A	Los Morillos-B	Roblar de la Cueva	Los Otates	La Quemada	Pánuco	Santa Lucía II	El Carrizo II-B	Guamúchil	La Laguna III-A		
1	Longitud Túnel	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación	50	150	75	75	150	100	100	100	150	75	150	50		
3	N° Perforación	Altura del Terreno												629.551	
4	1	24.621	25.931	20.913	27.154	26.511	14.089	25.004	50.277	25.793	25.566	23.269	17.226	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	27.848	25.216	29.001	27.482	27.691	26.997	27.815	27.732	24.569	30.348	24.221	24.277		
6	Suma Altura del Terreno (4 + 5)	52.469	51.147	49.914	54.636	54.202	41.086	52.819	78.009	50.362	55.914	47.49	41.503		
7	Diferencia Licitación (6 - 2)	-2.469	98.853	25.086	20.364	95.798	58.914	47.181	21.991	99.638	19.086	102.51	8.497	597.92	-2.469
8	Modelo 25 m (1)	119.555375	132.783	146.378336	156.74145	159.3495	176.4605	176.882125	179.8251	184.836	189.8037	199.6095	199.6095		
9	Diferencia (8 - 6)	67.086375	81.636	96.464336	102.10545	105.1475	135.3745	124.063125	101.8161	134.474	133.8897	152.1195	158.1065	1392.28	0
10	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	Longitud 2 (10 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
12	Modelo 25m (10)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
13	Modelo 35 m (11)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956		
14	Modelo 25 y 35 m (12 + 13)	109.5453188	118.956	128.629128	136.003125	137.859	150.036	150.3360688	152.4306	155.997	159.5328	166.5126	166.5126		
15	Diferencia (14 - 6)	57.07631875	67.809	78.715128	81.367125	83.657	108.95	97.51706875	74.4216	105.635	103.6188	119.0226	125.0096	1102.80	0
16	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	Longitud 2 (16 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
18	Modelo 25 (16)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
19	Modelo 50 (17)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
20	Modelo 25 y 50 (18 + 19)	89.50941875	96.023	102.704312	107.787575	109.0655	117.4355	117.6414188	119.0783	121.523	123.9443	128.7167	128.7167		
21	Diferencia (20 - 6)	37.04041875	44.876	52.790312	53.151575	54.8635	76.3495	64.82241875	41.0693	71.161	68.0303	81.2267	87.2137	732.59	0
22	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23	Longitud 2 (22 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
24	Modelo 25 (22)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
25	Modelo 75 (23)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
26	Modelo 25 y 75 m (24 + 25)	73.14029375	77.439	81.843656	85.191375	86.0325	91.5365	91.67179375	92.6157	94.221	95.8101	98.9397	98.9397		
27	Diferencia (26 - 6)	20.67129375	26.292	31.929656	30.555375	31.8305	50.4505	38.85279375	14.6067	43.859	39.8961	51.4497	57.4367	437.83	0
28	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
29	Longitud 2 (28 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
30	Modelo 25 (28)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
31	Modelo 100 m (29)	48.41695625	51.564	54.783968	57.227925	57.8415	61.8515	61.94995625	62.6367	63.804	64.9587	67.2303	67.2303		
32	Modelo 25 y 100 (30 + 31)	64.13395625	67.281	70.500968	72.944925	73.5585	77.5685	77.66695625	78.3537	79.521	80.6757	82.9473	82.9473		
33	Diferencia (32 - 6)	11.66495625	16.134	20.586968	18.308925	19.3565	36.4825	24.84795625	0.3447	29.159	24.7617	35.4573	41.4443	278.55	0
34	Modelo 35 m (1)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956		
35	Diferencia (34 - 6)	41.35931875	52.092	62.998128	65.650125	67.94	93.233	81.80006875	58.7046	89.918	87.9018	103.3056	109.2926	914.20	0
36	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37	Longitud 2 (36 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
38	Modelo 35 m (36)	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977		
39	Modelo 50 m (37)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
40	Modelo 35 y 50 (38 + 39)	93.76941875	100.283	106.964312	112.047575	113.3255	121.6955	121.9014188	123.3383	125.783	128.2043	132.9767	132.9767		
41	Diferencia (40 - 6)	41.30041875	49.136	57.050312	57.411575	59.1235	80.6095	69.08241875	45.3293	75.421	72.2903	85.4867	91.4737	783.71	0
42	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
43	Longitud 2 (42 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
44	Modelo 35 m (42)	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977		
45	Modelo 75 m (43)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
46	Modelo 35 y 75 m (44 + 45)	77.40029375	81.699	86.103656	89.451375	90.2925	95.7965	95.93179375	96.8757	98.481	100.0701	103.1997	103.1997		
47	Diferencia (46 - 6)	24.93129375	30.552	36.189656	34.815375	36.0905	54.7105	43.11279375	18.8667	48.119	44.1561	55.7097	61.6967	488.95	0
48	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
49	Longitud 2 (48 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
50	Modelo 35 m (48)	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977		
51	Modelo 100 m (49)	48.41695625	51.564	54.783968	57.227925	57.8415	61.8515	61.94995625	62.6367	63.804	64.9587	67.2303	67.2303		
52	Modelo 35 y 100 m (50 + 51)	68.39395625	71.541	74.760968	77.204925	77.8185	81.8285	81.92695625	82.6137	83.781	84.9357	87.2073	87.2073		
53	Diferencia (52 - 6)	15.92495625	20.394	24.846968	22.568925	23.6165	40.7425	29.10795625	4.6047	33.419	29.0217	39.7173	45.7043	329.67	0
54	Modelo 50 m (1)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
55	Diferencia (54 - 6)	21.32341875	29.159	37.073312	37.434575	39.1465	60.6325	49.10541875	25.3523	55.444	52.3133	65.5097	71.4967	543.99	0
56	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
57	Longitud 2 (56 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
58	Modelo 50 m (56)	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286		
59	Modelo 75 m (57)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931				

Anexo 66

	Túneles menores de 100 m, con 3 perforaciones														
Fila	Nombre del Túnel	La Piedra-A	Pánuco II	Las Labores-A	Los Morillos-B	Roblar de la Cueva	Los Otates	La Quemada	Pánuco	Santa Lucía II	El Carrizo II-B	Guamúchil	La Laguna III-A		
1	Longitud Túnel	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación	50	150	75	75	150	100	100	100	150	75	150	50		
3	N° Perforación	Altura del Terreno												1064.746	
4	1	21.571	22.922	18.549	26.317	23.123	11.379	21.298	45.963	22.552	22.157	17.755	13.447	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	39.293	33.363	31.103	43.513	39.199	46.758	37.046	57.246	37.254	46.409	59.168	26.421		
6	3	28.12	19.63	28.92	27.192	24.398	23.47	24.31	24.031	24.346	28.025	24.221	24.277		
7	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6)	88.984	75.915	78.572	97.022	86.72	81.607	82.654	127.24	84.152	96.591	101.144	64.145		
8	Diferencia Licitación (7 - 2)	-38.984	74.085	-3.572	-22.022	63.28	18.393	17.346	-27.24	65.848	-21.591	48.856	-14.145	287.81	-127.554
9	Modelo 25 m (1)	119.555375	132.783	146.378336	156.74145	159.3495	176.4605	176.882125	179.8251	184.836	189.8037	199.6095	199.6095		
10	Diferencia (9 - 7)	30.571375	56.868	67.806336	59.71945	72.6295	94.8535	94.228125	52.5851	100.684	93.2127	98.4655	135.4645	957.09	0
11	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Longitud 2 (11 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
13	Modelo 25m (11)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
14	Modelo 35 m (12)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956		
15	Modelo 25 y 35 m (13 + 14)	109.5453188	118.956	128.629128	136.003125	137.859	150.036	150.3360688	152.4306	155.997	159.5328	166.5126	166.5126		
16	Diferencia (15 - 7)	20.56131875	43.041	50.057128	38.981125	51.139	68.429	67.68206875	25.1906	71.845	62.9418	65.3686	102.3676		
17	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Longitud 2 (17 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
19	Modelo 25 (17)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
20	Modelo 50 (18)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
21	Modelo 25 y 50 (19 + 20)	89.50941875	96.023	102.704312	107.787575	109.0655	117.4355	117.6414188	119.0783	121.523	123.9443	128.7167	128.7167		
22	Diferencia (21 - 7)	0.52541875	20.108	24.132312	10.765575	22.3455	35.8285	34.98741875	-8.1617	37.371	27.3533	27.5727	64.5717		
23	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24	Longitud 2 (23 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
25	Modelo 25 (23)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
26	Modelo 75 (24)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
27	Modelo 25 y 75 m (25 + 26)	73.14029375	77.439	81.843656	85.191375	86.0325	91.5365	91.67179375	92.6157	94.221	95.8101	98.9397	98.9397		
28	Diferencia (27 - 7)	-15.84370625	1.524	3.271656	-11.830625	-0.6875	9.9295	9.01779375	-34.6243	10.069	-0.7809	-2.2043	34.7947		
29	Longitud 1 (Propuesta)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
30	Longitud 2 (29 - 1)	44.75	52	59.6	65.5	67	77	77.25	79	82	85	91	91		
31	Modelo 25 (29)	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242	32.3242		
32	Modelo 100 m (30)	44.85895625	48.0872	51.392288	53.902325	54.5327	58.6547	58.75595625	59.4623	60.6632	61.8515	64.1903	64.1903		
33	Modelo 25 y 100 (31 + 32)	77.18315625	80.4114	83.716488	86.226525	86.8569	90.9789	91.08015625	91.7865	92.9874	94.1757	96.5145	96.5145		
34	Diferencia (33 - 7)	-11.80084375	4.4964	5.144488	-10.795475	0.1369	9.3719	8.42615625	-35.4535	8.8354	-2.4153	-4.6295	32.3695		
35	Modelo 35 m (1)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956		
36	Diferencia (35 - 7)	4.84431875	27.324	34.340128	23.264125	35.422	52.712	51.96506875	9.4736	56.128	47.2248	49.6516	86.6506		
37	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38	Longitud 2 (37 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
39	Modelo 35 m (37)	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977		
40	Modelo 50 m (38)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
41	Modelo 35 y 50 (39 + 40)	93.76941875	100.283	106.964312	112.047575	113.3255	121.6955	121.9014188	123.3383	125.783	128.2043	132.9767	132.9767		
42	Diferencia (41 - 7)	4.78541875	24.368	28.392312	15.025575	26.6055	40.0885	39.24741875	-3.9017	41.631	31.6133	31.8327	68.8317		
43	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
44	Longitud 2 (43 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
45	Modelo 35 m (43)	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977	19.977		
46	Modelo 75 m (44)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
47	Modelo 35 y 75 m (45 + 46)	77.40029375	81.699	86.103656	89.451375	90.2925	95.7965	95.93179375	96.8757	98.481	100.0701	103.1997	103.1997		
48	Diferencia (47 - 7)	-11.58370625	5.784	7.531656	-7.570625	3.5725	14.1895	13.27779375	-30.3643	14.329	3.4791	2.0557	39.0547		
49	Longitud 1 (Propuesta)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
50	Longitud 2 (49 - 1)	44.75	52	59.6	65.5	67	77	77.25	79	82	85	91	91		
51	Modelo 35 m (49)	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858	31.7858		
52	Modelo 100 m (50)	44.85895625	48.0872	51.392288	53.902325	54.5327	58.6547	58.75595625	59.4623	60.6632	61.8515	64.1903	64.1903		
53	Modelo 35 y 100 m (51 + 52)	76.64475625	79.873	83.178088	85.688125	86.3185	90.4405	90.54175625	91.2481	92.449	93.6373	95.9761	95.9761		
54	Diferencia (53 - 7)	-12.33924375	3.958	4.606088	-11.333875	-0.4015	8.8335	7.88775625	-35.9919	8.297	-2.9537	-5.1679	31.8311		
55	Modelo 50 m (1)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
56	Diferencia (55 - 7)	-15.19158125	4.391	8.415312	-4.951425	6.6285	20.1115	19.27041875	-23.8787	21.654	11.6363	11.8557	48.8547		
57	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
58	Longitud 2 (57 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
59	Modelo 50 m (57)	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286	22.286		
60	Modelo 75 m (58)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
61	Modelo 50 y 75 m (59 + 60)	79.70929375	84.008	88.412656	91.760375	92.6015	98.1055	98.24079375	99.1847	100.79	102.3791	105.5087	105.5087		
62	Diferencia (61 - 7)	-9.27470625	8.093	9.840656	-5.261625	5.8815	16.4								

Anexo 67

	Túneles menores de 100 m, con 4 perforaciones														
Fila	Nombre del Túnel	La Piedra-A	Pánuco II	Las Labores-A	Los Morillos-B	Roblar de la Cueva	Los Otates	La Quemada	Pánuco	Santa Lucía II	El Carrizo II-B	Guamúchil	La Laguna III-A		
1	Longitud Túnel	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación	50	150	75	75	150	100	100	100	150	75	150	50		
3	N° Perforación	Altura del Terreno												1482.052	
4	1	21.571	22.922	18.549	26.317	23.123	11.379	21.298	45.963	22.552	22.157	17.755	13.447	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	37.201	32.616	27.695	35.438	39.396	37.195	26.731	61.189	38.496	44.215	47.104	24.533		
6	3	35.544	35.145	32.197	40.816	37.038	37.71	38.641	43.254	32.338	42.544	52.322	34.721		
7	4	28.12	19.63	28.92	27.192	24.398	23.47	24.31	24.031	24.346	28.025	24.221	24.277		
8	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6 + 7)	122.436	110.313	107.361	129.763	123.955	109.754	110.98	174.437	117.732	136.941	141.402	96.978		
9	Diferencia Licitación (8 - 2)	-72.436	39.687	-32.361	-54.763	26.045	-9.754	-10.98	-74.437	32.268	-61.941	8.598	-46.978	106.60	-363.65
10	Modelo 25 m (1)	119.555375	132.783	146.378336	156.74145	159.3495	176.4605	176.882125	179.8251	184.836	189.8037	199.6095	199.6095		
11	Diferencia (10 - 8)	-2.880625	22.47	39.017336	26.97845	35.3945	66.7065	65.902125	5.3881	67.104	52.8627	58.2075	102.6315	542.66	-2.88062
12	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	Longitud 2 (12 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
14	Modelo 25m (12)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
15	Modelo 35 m (13)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956		
16	Modelo 25 y 35 m (14 + 15)	109.5453188	118.956	128.629128	136.003125	137.859	150.036	150.3360688	152.4306	155.997	159.5328	166.5126	166.5126	285.20	-34.8971
17	Diferencia (16 - 8)	-12.89068125	8.643	21.268128	6.240125	13.904	40.282	39.35606875	-22.0064	38.265	22.5918	25.1106	69.5346		
18	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19	Longitud 2 (18 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
20	Modelo 25 (18)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
21	Modelo 50 (19)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997		
22	Modelo 25 y 50 (20 + 21)	89.50941875	96.023	102.704312	107.787575	109.0655	117.4355	117.6414188	119.0783	121.523	123.9443	128.7167	128.7167	49.87	-169.779
23	Diferencia (22 - 8)	-32.92658125	-14.29	-4.656688	-21.975425	-14.8895	7.6815	6.66141875	-55.3587	3.791	-12.9967	-12.6853	31.7387		
24	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	Longitud 2 (24 - 1)	52.75	60	67.6	73.5	75	85	85.25	87	90	93	99	99		
26	Modelo 25 (24)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
27	Modelo 75 (25)	57.42329375	61.722	66.126656	69.474375	70.3155	75.8195	75.95479375	76.8987	78.504	80.0931	83.2227	83.2227		
28	Modelo 25 y 75 m (26 + 27)	73.14029375	77.439	81.843656	85.191375	86.0325	91.5365	91.67179375	92.6157	94.221	95.8101	98.9397	98.9397	1.96	-416.632
29	Diferencia (28 - 8)	-49.29570625	-32.874	-25.517344	-44.571625	-37.9225	-18.2175	-19.30820625	-81.8213	-23.511	-41.1309	-42.4623	1.9617		
30	Longitud 1 (Propuesta)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
31	Longitud 2 (30 - 1)	2.75	10	17.6	23.5	25	35	35.25	37	40	43	49	49		
32	Modelo 25 (30)	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472		
33	Modelo 100 m (31)	24.70945625	28.364	32.115968	34.972925	35.6915	40.4015	40.51745625	41.3267	42.704	44.0687	46.7603	46.7603		
34	Modelo 25 y 100 (32 + 33)	139.1814563	142.836	146.587968	149.444925	150.1635	154.8735	154.9894563	155.7987	157.176	158.5407	161.2323	161.2323	368.64	-18.6383
35	Diferencia (34 - 8)	16.74545625	32.523	39.226968	19.681925	26.2085	45.1195	44.00945625	-18.6383	39.444	21.5997	19.8303	64.2543		
36	Modelo 35 m (1)	93.82831875	103.239	112.912128	120.286125	122.142	134.319	134.6190688	136.7136	140.28	143.8158	150.7956	150.7956	146.39	-84.695
37	Diferencia (36 - 8)	-28.60768125	-7.074	5.551128	-9.476875	-1.813	24.565	23.63906875	-37.7234	22.548	6.8748	9.3936	53.8176		
38	Longitud 1 (Propuesta)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
39	Longitud 2 (38 - 1)	27.75	35	42.6	48.5	50	60	60.25	62	65	68	74	74		
40	Modelo 35 m (38)	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157		
41	Modelo 50 m (39)	50.28366875	57.2685	64.443812	69.910575	71.286	80.306	80.52816875	82.0788	84.7185	87.3348	92.4972	92.4972		
42	Modelo 35 y 50 (40 + 41)	106.4406688	113.4255	120.600812	126.067575	127.443	136.463	136.6851688	138.2358	140.8755	143.4918	148.6542	148.6542	160.88	-55.892
43	Diferencia (42 - 8)	-15.99533125	3.1125	13.239812	-3.695425	3.488	26.709	25.70516875	-36.2012	23.1435	6.5508	7.2522	51.6762		
44	Longitud 1 (Propuesta)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
45	Longitud 2 (44 - 1)	22.75	30	37.6	43.5	45	55	55.25	57	60	63	69	69		
46	Modelo 35 m (44)	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138		
47	Modelo 75 m (45)	38.62979375	43.32	48.135056	51.801375	52.7235	58.7675	58.91629375	59.9547	61.722	63.4731	66.9267	66.9267		
48	Modelo 35 y 75 m (46 + 47)	101.7677938	106.458	111.273056	114.939375	115.8615	121.9055	122.0542938	123.0927	124.86	126.6111	130.0647	130.0647	67.35	-120.452
49	Diferencia (48 - 8)	-20.66820625	-3.855	3.912056	-14.823625	-8.0935	12.1515	11.07429375	-51.3443	7.128	-10.3299	-11.3373	33.0867		
50	Longitud 1 (Propuesta)	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52		
51	Longitud 2 (50 - 1)	0.75	8	15.6	21.5	23	33	33.25	35	38	41	47	47		
52	Modelo 35 m (50)	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446	92.8446		
53	Modelo 100 m (51)	23.68835625	27.3632	31.136448	34.009925	34.7327	39.4707	39.58735625	40.4015	41.7872	43.1603	45.8687	45.8687		
54	Modelo 35 y 100 m (52 + 53)	116.5329563	120.2078	123.981048	126.854525	127.5773	132.3153	132.4319563	133.2461	134.6318	136.0049	138.7133	138.7133	132.79	-53.6272
55	Diferencia (54 - 8)	-5.90304375	9.8948	16.620048	-2.908475	3.6223	22.5613	21.45195625	-41.1909	16.8998	-0.9361	-2.6887	41.7353		
56	Modelo 50 m (1)	73.79241875	80.306	86.987312	92.070575	93.3485	101.7185	101.9244188	103.3613	105.806	108.2273	112.9997	112.9997	16.02	-324.532
57	Diferencia (56 - 8)	-48.64358125	-30.007	-20.373688	-37.692425	-30.6065	-8.0355	-9.05558125	-71.0757	-11.926	-28.7137	-28.4023	16.0217		
58	Longitud 1 (Propuesta)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
59	Longitud 2 (58 - 1)	2.75	10	17.6	23.5	25	35	35.25	37	40	43	49	49		
60	Modelo 50 m (58)	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286	71.286</				

Anexo 68

	Túneles menores de 150 m, con 3 perforaciones												
Fila	Nombre del Túnel	Real Pánuco	El Carrizo I	La Quemada II	Cerro Santa Lucía	Corte Alto	El Carrizo II-A	Cerro La Reforma	La Piedra-B	Trópico de Cáncer	El Nacaral		
1	Longitud Túnel	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141		
2	Licitación		150	150	150	100	75	150	50	150	100	Suma Altura del Terreno	
3	N° Perforación											1121.004	
4	1	24.737	22.319	23.245	30.553	34.17	17.326	30.684	30.444	34.426	29.967	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	46.619	73.86	40.335	63.86	41.374	84.079	52.579	75.402	39.872	64.815		
6	3	18.412	33.919	27.149	32.639	10.874	30.403	21.722	29.567	19.523	36.13		
7	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6)	89.768	130.098	90.729	127.052	86.418	131.808	104.985	135.413	93.821	130.912		
8	Diferencia Licitación (7 - 2)	-89.768	19.902	59.271	22.948	13.582	-56.808	45.015	-85.413	56.179	-30.912	216.90	-262.901
9	Modelo 25 m (1)	201.227	202.8397	209.2425	221.8177	224.9135	246.0465	240.1045	246.78385	259.1352	263.4117		
10	Diferencia (9 - 7)	111.459	72.7417	118.5135	94.7657	138.4955	114.2385	135.1195	111.37085	165.3142	132.4997	1194.52	0
11	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Longitud 2 (11 - 1)	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141		
13	Modelo 25m (11)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
14	Modelo 35 m (12)	151.947	153.095	157.653	166.6058	168.81	183.8586	179.627	184.383725	193.1808	196.227		
15	Modelo 25 y 35 m (13 + 14)	167.664	168.812	173.37	182.3228	184.527	199.5756	195.344	200.100725	208.8978	211.944		
16	Diferencia (15 - 7)	77.896	38.714	82.641	55.2708	98.109	67.7676	90.359	64.687725	115.0768	81.032	771.55	0
17	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	Longitud 2 (17 - 1)	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141		
19	Modelo 25 (17)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
20	Modelo 50 (18)	113.786	114.5697	117.6785	123.7713	125.2685	135.4577	132.5985	135.812175	141.7388	143.7857		
21	Modelo 25 y 50 (19 + 20)	129.503	130.2867	133.3955	139.4883	140.9855	151.1747	148.3155	151.529175	157.4558	159.5027		
22	Diferencia (21 - 7)	39.735	0.1887	42.6665	12.4363	54.5675	19.3667	43.3305	16.116175	63.6348	28.5907	320.63	0
23	Longitud 1 (Propuesta)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
24	Longitud 2 (23 - 1)	95	96	100	108	110	124	120	124.5	133	136		
25	Modelo 25 (23)	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325	26.1325		
26	Modelo 75 (24)	81.1435	81.666	83.738	87.7956	88.792	95.5652	93.666	95.800575	99.7331	101.09		
27	Modelo 25 y 75 m (25 + 26)	107.276	107.7985	109.8705	113.9281	114.9245	121.6977	119.7985	121.933075	125.8656	127.2225		
28	Diferencia (27 - 7)	17.508	-22.2995	19.1415	-13.1239	28.5065	-10.1103	14.8135	-13.479925	32.0446	-3.6895	112.01	-62.703125
29	Longitud 1 (Propuesta)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
30	Longitud 2 (29 - 1)	50	51	55	63	65	79	75	79.5	88	91		
31	Modelo 25 (29)	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472		
32	Modelo 100 m (30)	47.204	47.6463	49.4015	52.8447	53.6915	59.4623	57.8415	59.663325	63.0272	64.1903		
33	Modelo 25 y 100 (31 + 32)	161.676	162.1183	163.8735	167.3167	168.1635	173.9343	172.3135	174.135325	177.4992	178.6623		
34	Diferencia (33 - 7)	71.908	32.0203	73.1445	40.2647	81.7455	42.1263	67.3285	38.722325	83.6782	47.7503	578.69	0
35	Modelo 35 m (1)	151.947	153.095	157.653	166.6058	168.81	183.8586	179.627	184.383725	193.1808	196.227		
36	Diferencia (35 - 7)	62.179	22.997	66.924	39.5538	82.392	52.0506	74.642	48.970725	99.3598	65.315	614.38	0
37	Longitud 1 (Propuesta)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
38	Longitud 2 (37 - 1)	75	76	80	88	90	104	100	104.5	113	116		
39	Modelo 35 m (37)	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157		
40	Modelo 50 m (38)	93.3485	94.1972	97.566	104.1788	105.806	116.9052	113.786	117.292175	123.7713	126.0132		
41	Modelo 35 y 50 (39 + 40)	149.5055	150.3542	153.723	160.3358	161.963	173.0622	169.943	173.449175	179.9283	182.1702		
42	Diferencia (41 - 7)	59.7375	20.2562	62.994	33.2838	75.545	41.2542	64.958	38.036175	86.1073	51.2582	533.43	0
43	Longitud 1 (Propuesta)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
44	Longitud 2 (43 - 1)	70	71	75	83	85	99	95	99.5	108	111		
45	Modelo 35 m (43)	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138		
46	Modelo 75 m (44)	67.496	68.0635	70.3155	74.7331	75.8195	83.2227	81.1435	83.480575	87.7956	89.2875		
47	Modelo 35 y 75 m (45 + 46)	130.634	131.2015	133.4535	137.8711	138.9575	146.3607	144.2815	146.618575	150.9336	152.4255		
48	Diferencia (47 - 7)	40.866	1.1035	42.7245	10.8191	52.5395	14.5527	39.2965	11.205575	57.1126	21.5135	291.73	0
49	Longitud 1 (Propuesta)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45		
50	Longitud 2 (49 - 1)	55	56	60	68	70	84	80	84.5	93	96		
51	Modelo 35 m (49)	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571	83.571		
52	Modelo 100 m (50)	49.4015	49.8368	51.564	54.9512	55.784	61.4568	59.864	61.654325	64.9587	66.1008		
53	Modelo 35 y 100 m (51 + 52)	132.9725	133.4078	135.135	138.5222	139.355	145.0278	143.435	145.225325	148.5297	149.6718		
54	Diferencia (53 - 7)	43.2045	3.3098	44.406	11.4702	52.937	13.2198	38.45	9.812325	54.7087	18.7598	290.28	0
55	Modelo 50 m (1)	113.786	114.5697	117.6785	123.7713	125.2685	135.4577	132.5985	135.812175	141.7388	143.7857		
56	Diferencia (55 - 7)	24.018	-15.5283	26.9495	-3.2807	38.8505	3.6497	27.6135	0.399175	47.9178	12.8737	182.27	-18.809
57	Longitud 1 (Propuesta)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
58	Longitud 2 (57 - 1)	90	91	95	103	105	119	115	119.5	128	131		
59	Modelo 50 m (57)	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606		
60	Modelo 75 m (58)	78.504	79.0355	81.1435	85.2731	86.2875	93.1867	91.2515	93.426575	97.4356	98.8195		
61	Modelo 50 y 75 m (59 + 60)	111.11	111.6415	113.7495	117.8791	118.8935	125.7927	123.8575	126.032575	130.0416	131.4255		
62	Diferencia (61 - 7)	21.342	-18.4565	23.0205	-9.1729	32.4755	-6.0153	18.8725	-9.380425	36.2206	0.5135	132.44	-43.025125
63	Longitud 1 (Propuesta)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
64	Longitud 2 (63 - 1)	70	71	75	83	85	99	95	99.5	108	111		
65	Modelo 50 m (63)	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466	52.466		
66	Modelo 100 m (64)	55.784	56.1983	57.8415	61.0607	61.8515	67.2303	65.7215	67.417325	70.5432	71.6223		
67	Modelo 50 y 100 m (65 + 66)	108.25	108.6643	110.3075	113.5267	114.3175	119.6963	118.1875	119.883325	123.0092	124.0883		
68	Diferencia (67 - 7)	18.482	-21.4337	19.5785	-13.5253	27.8995	-12.1117	13.2025	-15.529675	29.1882	-6.8237	108.35	-69.424075
69	Modelo 75 m (1)	83.738	84.2515	86.2875	90.2731	91.2515	97.8987	96.0355	98.129575	101.9856	103.3155		
70	Diferencia (69 - 7)	-6.03	-45.8465	-4.4415	-36.7789	4.8335	-33.9093	-8.9495	-37.283425	8.1646	-27.5965	13.00	-200.835625
71	Longitud 1 (Propuesta)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95		
72	Longitud 2 (71 - 1)	5	6	10	18	20	34	30	34.5	43	46		
73	Modelo 75 m (71)	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435	81.1435		
74	Modelo 100 m (72)												

Anexo 69

	Túneles menores de 150 m, con 4 perforaciones												
Fila	Nombre del Túnel	Real Pánuco	El Carrizo I	La Quemada II	Cerro Santa Lucía	Corte Alto	El Carrizo II-A	Cerro La Reforma	La Piedra-B	Trópico de Cáncer	El Nacaral		
1	Longitud Túnel	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación		150	150	150	100	75	150	50	150	100		
3	N° Perforación											1591.194	
4	1	24.737	22.319	23.245	30.553	34.17	17.326	30.684	30.444	34.426	29.967	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	50.881	64.402	43.75	55.229	54.293	73.446	44.3	63.351	43.611	50.532		
6	3	28.056	77.566	36.86	53.258	31.992	86.525	47.426	57.399	34.172	55.936		
7	4	18.412	33.919	27.149	32.639	10.874	30.403	21.722	29.567	19.523	36.13		
8	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6 + 7)	122.086	198.206	131.004	171.679	131.329	207.7	144.132	180.761	131.732	172.565		
9	Diferencia Licitación (8 - 2)	-122.086	-48.206	18.996	-21.679	-31.329	-132.7	5.868	-130.761	18.268	-72.565	43.13	-559.326
10	Modelo 25 m (1)	201.227	202.8397	209.2425	221.8177	224.9135	246.0465	240.1045	246.78385	259.1352	263.4117		
11	Diferencia (10 - 8)	79.141	4.6337	78.2385	50.1387	93.5845	38.3465	95.9725	66.02285	127.4032	90.8467	724.33	0
12	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	Longitud 2 (12 - 1)	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141		
14	Modelo 25m (12)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
15	Modelo 35 m (13)	151.947	153.095	157.653	166.6058	168.81	183.8586	179.627	184.383725	193.1808	196.227		
16	Modelo 25 y 35 m (14 + 15)	167.664	168.812	173.37	182.3228	184.527	199.5756	195.344	200.100725	208.8978	211.944		
17	Diferencia (16 - 8)	45.578	-29.394	42.366	10.6438	53.198	-8.1244	51.212	19.339725	77.1658	39.379	338.88	-37.5184
18	Longitud 1 (Propuesta)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
19	Longitud 2 (18 - 1)	85	86	90	98	100	114	110	114.5	123	126		
20	Modelo 25 (18)	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035	46.6035		
21	Modelo 50 (19)	101.7185	102.5412	105.806	112.2108	113.786	124.5212	121.506	124.895175	131.1533	133.3172		
22	Modelo 25 y 50 (20 + 21)	148.322	149.1447	152.4095	158.8143	160.3895	171.1247	168.1095	171.498675	177.7568	179.9207		
23	Diferencia (22 - 8)	26.236	-49.0613	21.4055	-12.8647	29.0605	-36.5753	23.9775	-9.262325	46.0248	7.3557	154.06	-107.763625
24	Longitud 1 (Propuesta)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
25	Longitud 2 (24 - 1)	30	31	35	43	45	59	55	59.5	68	71		
26	Modelo 25 (24)	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614	150.614		
27	Modelo 75 (25)	43.32	43.9595	46.4995	51.4931	52.7235	61.1347	58.7675	61.428575	66.3556	68.0635		
28	Modelo 25 y 75 m (26 + 27)	193.934	194.5735	197.1135	202.1071	203.3375	211.7487	209.3815	212.042575	216.9696	218.6775		
29	Diferencia (28 - 8)	71.848	-3.6325	66.1095	30.4281	72.0085	4.0487	65.2495	31.281575	85.2376	46.1125	472.32	-3.6325
30	Longitud 1 (Propuesta)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45		
31	Longitud 2 (30 - 1)	55	56	60	68	70	84	80	84.5	93	96		
32	Modelo 25 (30)	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365	105.1365		
33	Modelo 100 m (31)	49.4015	49.8368	51.564	54.9512	55.784	61.4568	59.864	61.654325	64.9587	66.1008		
34	Modelo 25 y 100 (32 + 33)	154.538	154.9733	156.7005	160.0877	160.9205	166.5933	165.0005	166.790825	170.0952	171.2373		
35	Diferencia (34 - 8)	32.452	-43.2327	25.6965	-11.5913	29.5915	-41.1067	20.8685	-13.970175	38.3632	-1.3277	146.97	-111.228575
36	Modelo 35 m (1)	151.947	153.095	157.653	166.6058	168.81	183.8586	179.627	184.383725	193.1808	196.227		
37	Diferencia (36 - 8)	29.861	-45.111	26.649	-5.0732	37.481	-23.8414	35.495	3.622725	61.4488	23.662	218.22	-74.0256
38	Longitud 1 (Propuesta)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
39	Longitud 2 (38 - 1)	75	76	80	88	90	104	100	104.5	113	116		
40	Modelo 35 m (38)	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157		
41	Modelo 50 m (39)	93.3485	94.1972	97.566	104.1788	105.806	116.9052	113.786	117.292175	123.7713	126.0132		
42	Modelo 35 y 50 (40 + 41)	149.5055	150.3542	153.723	160.3358	161.963	173.0622	169.943	173.449175	179.9283	182.1702		
43	Diferencia (42 - 8)	27.4195	-47.8518	22.719	-11.3432	30.634	-34.6378	25.811	-7.311825	48.1963	9.6052	164.39	-101.144625
44	Longitud 1 (Propuesta)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
45	Longitud 2 (44 - 1)	70	71	75	83	85	99	95	99.5	108	111		
46	Modelo 35 m (44)	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138		
47	Modelo 75 m (45)	67.496	68.0635	70.3155	74.7331	75.8195	83.2227	81.1435	83.480575	87.7956	89.2875		
48	Modelo 35 y 75 m (46 + 47)	130.634	131.2015	133.4535	137.8711	138.9575	146.3607	144.2815	146.618575	150.9336	152.4255		
49	Diferencia (48 - 8)	8.548	-67.0045	2.4495	-33.8079	7.6285	-61.3393	0.1495	-34.142425	19.2016	-20.1395	37.98	-216.433625
50	Longitud 1 (Propuesta)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
51	Longitud 2 (50 - 1)	20	21	25	33	35	49	45	49.5	58	61		
52	Modelo 35 m (50)	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273		
53	Modelo 100 m (51)	33.284	33.7683	35.6915	39.4707	40.4015	46.7603	44.9715	46.982325	50.7032	51.9923		
54	Modelo 35 y 100 m (52 + 53)	161.557	162.0413	163.9645	167.7437	168.6745	175.0333	173.2445	175.255325	178.9762	180.2653		
55	Diferencia (54 - 8)	39.471	-36.1647	32.9605	-3.9353	37.3455	-32.6667	29.1125	-5.505675	47.2442	7.7003	193.83	-78.272375
56	Modelo 50 m (1)	113.786	114.5697	117.6785	123.7713	125.2685	135.4577	132.5985	135.812175	141.7388	143.7857		
57	Diferencia (56 - 8)	-8.3	-83.6363	-13.3255	-47.9077	-6.0605	-72.2423	-11.5335	-44.948825	10.0068	-28.7793	10.01	-316.733925
58	Longitud 1 (Propuesta)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90		
59	Longitud 2 (58 - 1)	10	11	15	23	25	39	35	39.5	48	51		
60	Modelo 50 m (58)	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806		
61	Modelo 75 m (59)	30.152	30.8275	33.5115	38.7931	40.0955	49.0107	46.4995	49.322575	54.5556	56.3715		
62	Modelo 50 y 75 m (60 + 61)	135.958	136.6335	139.3175	144.5991	145.9015	154.8167	152.3055	155.128575	160.3616	162.1775		
63	Diferencia (62 - 8)	13.872	-61.5725	8.3135	-27.0799	14.5725	-52.8833	8.1735	-25.632425	28.6296	-10.3875	73.56	-177.555625
64	Longitud 1 (Propuesta)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90		
65	Longitud 2 (64 - 1)	10	11	15	23	25	39	35	39.5	48	51		
66	Modelo 50 m (64)	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806		
67	Modelo 100 m (65)	28.364	28.8623	30.8415	34.7327	35.6915	42.2463	40.4015	42.475325	46.3152	47.6463		
68	Modelo 50 y 100 m (66 + 67)	134.17	134.6683	136.6475	140.5387	141.4975	148.0523	146.2075	148.281325	152.1212	153.4523		
69	Diferencia (68 - 8)	12.084	-63.5377	5.6435	-31.1403	10.1685	-59.6477	2.0755					

Anexo 70

	Túneles menores de 150 m, con 5 perforaciones												
Fila	Nombre del Túnel	Real Pánuco	El Carrizo I	La Quemada II	Cerro Santa Lucía	Corte Alto	El Carrizo II-A	Cerro La Reforma	La Piedra-B	Trópico de Cáncer	El Nacaral		
1	Longitud Túnel	100	101	105	113	115	129	125	129.5	138	141	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación		150	150	150	100	75	150	50	150	100		
3	N° Perforación	Altura del Terreno										2041.302	
4	1	24.737	22.319	23.245	30.553	34.17	17.326	30.684	30.444	34.426	29.967	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	47.467	42.176	42.784	46.923	44.428	68.257	37.459	56.449	42.109	44.824		
6	3	46.619	73.86	40.335	63.86	45.005	84.079	52.579	70.515	39.872	64.815		
7	4	27.129	72.404	36.141	43.011	27.889	76.718	41.05	51.505	30.455	42.376		
8	5	18.412	33.919	27.149	32.639	10.874	30.403	21.722	29.567	19.523	36.13		
9	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6 + 7 + 8)	164.364	244.678	169.654	216.986	162.366	276.783	183.494	238.48	166.385	218.112		
10	Diferencia Licitación (9 - 2)	-164.364	-94.678	-19.654	-66.986	-62.366	-201.783	-33.494	-188.48	-16.385	-118.112	0.00	-966.302
11	Modelo 25 m (1)	201.227	202.8397	209.2425	221.8177	224.9135	246.0465	240.1045	246.78385	259.1352	263.4117		
12	Diferencia (11 - 9)	36.863	-41.8383	39.5885	4.8317	62.5475	-30.7365	56.6105	8.30385	92.7502	45.2997	346.79	-72.5748
13	Longitud 1 (Propuesta)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
14	Longitud 2 (13 - 1)	20	21	25	33	35	49	45	49.5	58	61		
15	Modelo 25m (13)	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965	167.965		
16	Modelo 35 m (14)	49.091	50.511	56.157	67.2858	70.034	88.8906	83.571	89.551725	100.6608	104.523		
17	Modelo 25 y 35 m (15 + 16)	217.056	218.476	224.122	235.2508	237.999	256.8556	251.536	257.516725	268.6258	272.488		
18	Diferencia (17 - 9)	52.692	-26.202	54.468	18.2648	75.633	-19.9274	68.042	19.036725	102.2408	54.376	444.75	-46.1294
19	Longitud 1 (Propuesta)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
20	Longitud 2 (19 - 1)	80	81	85	93	95	109	105	109.5	118	121		
21	Modelo 25 (19)	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659	56.659		
22	Modelo 50 (20)	97.566	98.4017	101.7185	108.2273	109.8285	120.7457	117.6785	121.126175	127.4948	129.6977		
23	Modelo 25 y 50 (21 + 22)	154.225	155.0607	158.3775	164.8863	166.4875	177.4047	174.3375	177.785175	184.1538	186.3567		
24	Diferencia (23 - 9)	-10.139	-89.6173	-11.2765	-52.0997	4.1215	-99.3783	-9.1565	-60.694825	17.7688	-31.7553	21.89	-364.117425
25	Longitud 1 (Propuesta)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75		
26	Longitud 2 (25 - 1)	25	26	30	38	40	54	50	54.5	63	66		
27	Modelo 25 (25)	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495	159.3495		
28	Modelo 75 (26)	40.0955	40.744	43.32	48.3856	49.634	58.1712	55.768	58.469575	63.4731	65.208		
29	Modelo 25 y 75 m (27 + 28)	199.445	200.0935	202.6695	207.7351	208.9835	217.5207	215.1175	217.819075	222.8226	224.5575		
30	Diferencia (29 - 9)	35.081	-44.5845	33.0155	-9.2509	46.6175	-59.2623	31.6235	-20.660925	56.4376	6.4455	209.22	-133.758625
31	Longitud 1 (Propuesta)	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81		
32	Longitud 2 (31 - 1)	19	20	24	32	34	48	44	48.5	57	60		
33	Modelo 25 (31)	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737	169.6737		
34	Modelo 100 m (32)	32.7983	33.284	35.2128	39.0032	39.9368	46.3152	44.5208	46.537925	50.2707	51.564		
35	Modelo 25 y 100 (33 + 34)	202.472	202.9577	204.8865	208.6769	209.6105	215.9889	214.1945	216.211625	219.9444	221.2377		
36	Diferencia (35 - 9)	38.108	-41.7203	35.2325	-8.3091	47.2445	-60.7941	30.7005	-22.268375	53.5594	3.1257	207.97	-133.091875
37	Modelo 35 m (1)	151.947	153.095	157.653	166.6058	168.81	183.8586	179.627	184.383725	193.1808	196.227		
38	Diferencia (37 - 9)	-12.417	-91.583	-12.001	-50.3802	6.444	-92.9244	-3.867	-54.096275	26.7958	-21.885	33.24	-339.153875
39	Longitud 1 (Propuesta)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35		
40	Longitud 2 (39 - 1)	65	66	70	78	80	94	90	94.5	103	106		
41	Modelo 35 m (39)	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034	70.034		
42	Modelo 50 m (40)	84.7185	85.5932	89.066	95.8868	97.566	109.0292	105.806	109.429175	116.1293	118.4492		
43	Modelo 35 y 50 (41 + 42)	154.7525	155.6272	159.1	165.9208	167.6	179.0632	175.84	179.463175	186.1633	188.4832		
44	Diferencia (43 - 9)	-9.6115	-89.0508	-10.554	-51.0652	5.234	-97.7198	-7.654	-59.016825	19.7783	-29.6288	25.01	-354.300925
45	Longitud 1 (Propuesta)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
46	Longitud 2 (45 - 1)	70	71	75	83	85	99	95	99.5	108	111		
47	Modelo 35 m (45)	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138	63.138		
48	Modelo 75 m (46)	67.496	68.0635	70.3155	74.7331	75.8195	83.2227	81.1435	83.480575	87.7956	89.2875		
49	Modelo 35 y 75 m (47 + 48)	130.634	131.2015	133.4535	137.8711	138.9575	146.3607	144.2815	146.618575	150.9336	152.4255		
50	Diferencia (49 - 9)	-33.73	-113.4765	-36.2005	-79.1149	-23.4085	-130.4223	-39.2125	-91.861425	-15.4514	-65.6865	0.00	-628.564525
51	Longitud 1 (Propuesta)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
52	Longitud 2 (51 - 1)	20	21	25	33	35	49	45	49.5	58	61		
53	Modelo 35 m (51)	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273	128.273		
54	Modelo 100 m (52)	33.284	33.7683	35.6915	39.4707	40.4015	46.7603	44.9715	46.982325	50.7032	51.9923		
55	Modelo 35 y 100 m (53 + 54)	161.557	162.0413	163.9645	167.7437	168.6745	175.0333	173.2445	175.255325	178.9762	180.2653		
56	Diferencia (55 - 9)	-2.807	-82.6367	-5.6895	-49.2423	6.3085	-101.7497	-10.2495	-63.224675	12.5912	-37.8467	18.90	-353.446075
57	Modelo 50 m (1)	113.786	114.5697	117.6785	123.7713	125.2685	135.4577	132.5985	135.812175	141.7388	143.7857		
58	Diferencia (57 - 9)	-50.578	-130.1083	-51.9755	-93.2147	-37.0975	-141.3253	-50.8955	-102.667825	-24.6462	-74.3263	0.00	-756.835125
59	Longitud 1 (Propuesta)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
60	Longitud 2 (59 - 1)	90	91	95	103	105	119	115	119.5	128	131		
61	Modelo 50 m (59)	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606	32.606		
62	Modelo 75 m (60)	78.504	79.0355	81.1435	85.2731	86.2875	93.1867	91.2515	93.426575	97.4356	98.8195		
63	Modelo 50 y 75 m (61 + 62)	111.11	111.6415	113.7495	117.8791	118.8935	125.7927	123.8575	126.032575	130.0416	131.4255		
64	Diferencia (63 - 9)	-53.254	-133.0365	-55.9045	-99.1069	-43.4725	-150.9903	-59.6365	-112.447425	-36.3434	-86.6865	0.00	-830.878525
65	Longitud 1 (Propuesta)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90		
66	Longitud 2 (65 - 1)	10	11	15	23	25	39	35	39.5	48	51		
67	Modelo 50 m (65)	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806	105.806		
68	Modelo 100 m (66)	28.364	28.8623	30.8415	34.7327	35.6915	42.2463	40.4015	42.475325	46.3152	47.6463		
69	Modelo 50 y 100 m (67 + 68)	134.17	134.6683	136.6475	140.5387	141.4975	148.0523	146.2075	148.281325	152.1212	153.4523		
70	Diferencia (69 - 9)	-30.194	-110.0097	-33.0065	-76.4473	-20.8685	-128.7307	-37.2865	-90.198675	-14.2638	-64.6597	0.00	-605.66

Anexo 71

	Túneles menores de 200 m, con 4 perforaciones														
Fila	Nombre del Túnel	Los Morillos-A	La Mina	El Guineo	Las Labores-B	Santa Lucía I	La Laguna I	La Laguna II	Cerro Las Palomas	La Laguna III-B	Cerro Las Mesas	Chirimollos	El Cantil		
1	Longitud Túnel	154.5	155	167	165.75	164.26	170	176	177	181.5	186	200	205	Suma Altura del Terreno	
2	Licitación	75	100	100	75	150	100	100	100	50	150	100	120		
3	N° Perforación	Altura del Terreno												1724.272	
4	1	25.878	17.115	22.416	17.524	26.009	21.126	29.61	27.03	16.143	24.117	18.258	26.558	Suma Metros (+)	Suma Metros (-)
5	2	48.827	66.727	35.315	43.35	19.295	60.254	55.705	58.891	57.244	46.669	54.958	22.762		
6	3	40.05	48.789	39.218	41.523	20.749	77.563	57.994	67.952	47.266	53.696	53.338	39.699		
7	4	25.043	17.319	34.283	38.416	13.035	35.84	32.596	30.777	31.916	16.643	9.225	9.561		
8	Suma Altura del Terreno (4 + 5 + 6 + 7)	139.798	149.95	131.232	140.813	79.088	194.783	175.905	184.65	152.569	141.125	135.779	98.58		
9	Diferencia Licitación (8 - 2)	-64.798	-49.95	-31.232	-65.813	70.912	-94.783	-75.905	-84.65	-102.569	8.875	-35.779	21.42	101.21	-605.479
10	Modelo 25 m (1)	282.12135	282.7975	298.6651	297.044475	295.1028918	302.524	310.1122	311.3601	316.91625	322.3752	338.737	344.3525		
11	Diferencia (10 - 8)	142.32335	132.8475	167.4331	156.231475	216.0148918	107.741	134.2072	126.7101	164.34725	181.2502	202.958	245.7725	1977.84	0
12	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	Longitud 2 (12 - 1)	154.5	155	167	165.75	164.26	170	176	177	181.5	186	200	205		
14	Modelo 25m (12)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
15	Modelo 35 m (13)	209.556225	210.038	221.3456	220.1905688	218.8068311	224.096	229.505	230.3946	234.355725	238.248	249.917	253.923		
16	Modelo 25 y 35 m (14 + 15)	225.273225	225.755	237.0626	235.9075688	234.5238311	239.813	245.222	246.1116	250.072725	253.965	265.634	269.64		
17	Diferencia (16 - 8)	85.475225	75.805	105.8306	95.09456875	155.4358311	45.03	69.317	61.4616	97.503725	112.84	129.855	171.06	1204.71	0
18	Longitud 1 (Propuesta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19	Longitud 2 (18 - 1)	154.5	155	167	165.75	164.26	170	176	177	181.5	186	200	205		
20	Modelo 25 (18)	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717	15.717		
21	Modelo 50 (19)	152.707175	153.0285	160.5453	159.7797688	158.8619481	162.366	165.9372	166.5233	169.128575	171.6812	179.286	181.8785		
22	Modelo 25 y 50 (20 + 21)	168.424175	168.7455	176.2623	175.4967688	174.5789481	178.083	181.6542	182.2403	184.845575	187.3982	195.003	197.5955		
23	Diferencia (22 - 8)	28.626175	18.7955	45.0303	34.68376875	95.49094812	-16.7	5.7492	-2.4097	32.276575	46.2732	59.224	99.0155	465.17	-19.1097
24	Longitud 1 (Propuesta)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
25	Longitud 2 (24 - 1)	54.5	55	67	65.75	64.26	70	76	77	81.5	86	100	105		
26	Modelo 25 (24)	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227	201.227		
27	Modelo 75 (25)	58.469575	58.7675	65.7827	65.06404375	64.20373116	67.496	70.874	71.4307	73.913575	76.36	83.738	86.2875		
28	Modelo 25 y 75 m (26 + 27)	259.696575	259.9945	267.0097	266.2910438	265.4307312	268.723	272.101	272.6577	275.140575	277.587	284.965	287.5145		
29	Diferencia (28 - 8)	119.898575	110.0445	135.7777	125.4780438	186.3427312	73.94	96.196	88.0077	122.571575	136.462	149.186	188.9345	1532.84	0
30	Longitud 1 (Propuesta)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
31	Longitud 2 (30 - 1)	104.5	105	117	115.75	114.26	120	126	127	131.5	136	150	155		
32	Modelo 25 (30)	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472	114.472		
33	Modelo 100 m (31)	69.268325	69.4515	73.7427	73.30510625	72.78063668	74.784	76.8288	77.1647	78.658925	80.1248	84.504	86.0015		
34	Modelo 25 y 100 (32 + 33)	183.740325	183.9235	188.2147	187.7771063	187.2526367	189.256	191.3008	191.6367	193.130925	194.5968	198.976	200.4735		
35	Diferencia (34 - 8)	43.942325	33.9735	56.9827	46.96410625	108.1646367	-5.527	15.3958	6.9867	40.561925	53.4718	63.197	101.8935	571.53	-5.527
36	Modelo 35 m (1)	209.556225	210.038	221.3456	220.1905688	218.8068311	224.096	229.505	230.3946	234.355725	238.248	249.917	253.923		
37	Diferencia (36 - 8)	69.758225	60.088	90.1136	79.37756875	139.7188311	29.313	53.6	45.7446	81.786725	97.123	114.138	155.343	1016.10	0
38	Longitud 1 (Propuesta)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
39	Longitud 2 (38 - 1)	129.5	130	142	140.75	139.26	145	151	152	156.5	161	175	180		
40	Modelo 35 m (38)	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157	56.157		
41	Modelo 50 m (39)	135.812175	136.166	144.4628	143.6160188	142.6013481	146.4785	150.4397	151.0908	153.988575	156.8337	165.3485	168.266		
42	Modelo 35 y 50 (40 + 41)	191.969175	192.323	200.6198	199.7730188	198.7583481	202.6355	206.5967	207.2478	210.145575	212.9907	221.5055	224.423		
43	Diferencia (42 - 8)	52.171175	42.373	69.3878	58.96001875	119.6703481	7.8525	30.6917	22.5978	57.576575	71.8657	85.7265	125.843	744.72	0
44	Longitud 1 (Propuesta)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
45	Longitud 2 (44 - 1)	134.5	135	147	145.75	144.26	150	156	157	161.5	166	180	185		
46	Modelo 35 m (44)	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091	49.091		
47	Modelo 75 m (45)	100.413575	100.6395	105.9267	105.3880438	104.7422912	107.208	109.722	110.1347	111.969575	113.768	119.13	120.9595		
48	Modelo 35 y 75 m (46 + 47)	149.504575	149.7305	155.0177	154.4790438	153.8332912	156.299	158.813	159.2257	161.060575	162.859	168.221	170.0505		
49	Diferencia (48 - 8)	9.706575	-0.2195	23.7857	13.66604375	74.74529116	-38.484	-17.092	-25.4243	8.491575	21.734	32.442	71.4705	256.04	-81.2198
50	Longitud 1 (Propuesta)	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41		
51	Longitud 2 (50 - 1)	113.5	114	126	124.75	123.26	129	135	136	140.5	145	159	164		
52	Modelo 35 m (50)	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197	78.197		
53	Modelo 100 m (51)	72.511925	72.6888	76.8288	76.40695625	75.90126068	77.8323	79.8015	80.1248	81.562325	82.9715	87.1743	88.6088		
54	Modelo 35 y 100 m (52 + 53)	150.708925	150.8858	155.0258	154.6039563	154.0982607	156.0293	157.9985	158.3218	159.759325	161.1685	165.3713	166.8058		
55	Diferencia (54 - 8)	10.910925	0.9358	23.7938	13.79095625	75.01026068	-38.7537	-17.9065	-26.3282	7.190325	20.0435	29.5923	68.2258	249.49	-82.9884
56	Modelo 50 m (1)	152.707175	153.0285	160.5453	159.7797688	158.8619481	162.366	165.9372	166.5233	169.128575	171.6812	179.286	181.8785		
57	Diferencia (56 - 8)	12.909175	3.0785	29.3133	18.96676875	79.77394812	-32.417	-9.9678	-18.1267	16.55					

Anexo 74
Túnel El Varal

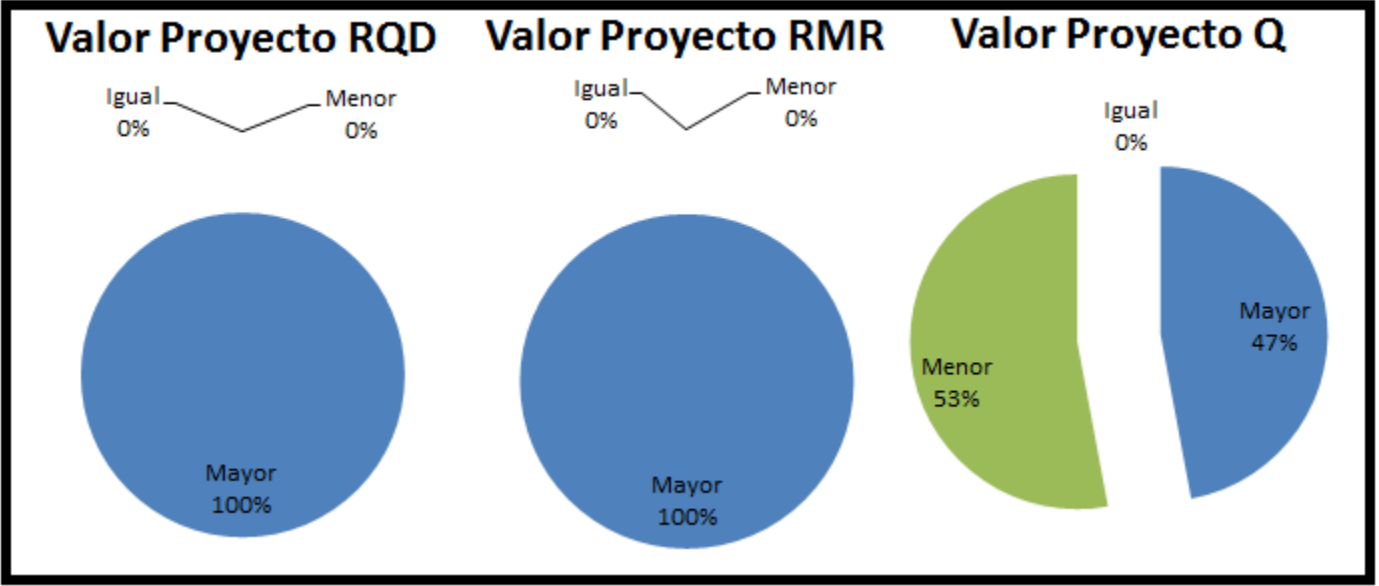
Túnel: El Varal	Zona	RMR		Q		RQD		Túnel: El Varal	Zona	RMR		Q		RQD	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	31	27	0.2	1	9	15	Ignimbrita y Riolita	2	49	47	2.67	6.8	40	68
Ignimbrita y Riolita		35	27	0.38	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		56	47	4	6.8	60	68
Ignimbrita y Riolita		28	27	0.38	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		47	47	2.67	6.8	40	68
Ignimbrita y Riolita		26	27	0.38	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		40	47	1.6	6.8	40	68
Ignimbrita y Riolita		26	27	0.38	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		40	47	1.6	6.8	40	68
Ignimbrita y Riolita		26	27	0.38	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		45	47	1.2	6.8	30	68
Ignimbrita y Riolita		35	27	1.84	1	49	15	Ignimbrita y Riolita		51	47	2	6.8	30	68
Ignimbrita y Riolita		31	27	0.13	1	30	15	Ignimbrita y Riolita		66	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		31	27	0.13	1	40	15	Ignimbrita y Riolita		66	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		38	27	0.25	1	59	15	Ignimbrita y Riolita		66	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		25	27	0.15	1	36	15	Ignimbrita y Riolita		51	47	2	6.8	30	68
Ignimbrita y Riolita		25	27	0.16	1	39	15	Ignimbrita y Riolita		66	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		25	27	0.18	1	42	15	Ignimbrita y Riolita		65	47	5.67	6.8	85	68
Ignimbrita y Riolita		35	27	0.26	1	63	15	Ignimbrita y Riolita		68	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		30	27	0.19	1	46	15	Ignimbrita y Riolita		68	47	6.33	6.8	95	68
Ignimbrita y Riolita		37	27	0.22	1	52	15	Ignimbrita y Riolita		63	47	6.33	6.8	95	68
Ignimbrita y Riolita		34	27	0.08	1	10	15	Ignimbrita y Riolita		63	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		44	27	0.63	1	75	15	Ignimbrita y Riolita		63	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		28	27	0.08	1	0	15	Ignimbrita y Riolita		60	47	6.67	6.8	85	68
Ignimbrita y Riolita		50	27	0.68	1	82	15	Ignimbrita y Riolita		63	47	5.67	6.8	100	68
Ignimbrita y Riolita		41	27	0.58	1	69	15	Ignimbrita y Riolita		63	47	6.13	6.8	92	68
Ignimbrita y Riolita		42	27	2.4	1	36	15	Ignimbrita y Riolita		56	47	4.8	6.8	72	68
Ignimbrita y Riolita		49	27	3.73	1	56	15	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.6	6.8	69	68
Ignimbrita y Riolita		49	27	4.13	1	62	15	Ignimbrita y Riolita		57	47	5.47	6.8	82	68
Ignimbrita y Riolita		49	27	4.13	1	62	15	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.13	6.8	62	68
Ignimbrita y Riolita	2	49	47	4.33	6.8	65	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	5	6.8	75	68
Ignimbrita y Riolita		20	47	0.13	6.8	0	68	Ignimbrita y Riolita		46	47	2.8	6.8	42	68
Ignimbrita y Riolita		43	47	0.7	6.8	65	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.6	6.8	69	68
Andesita y Brecha		20	47	0.13	6.8	0	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.13	6.8	62	68
Andesita y Brecha		43	47	0.8	6.8	60	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.13	6.8	62	68
Andesita y Brecha		25	47	0.13	6.8	0	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	5	6.8	75	68
Andesita y Brecha		35	47	0.8	6.8	60	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.8	6.8	72	68
Ignimbrita y Riolita		25	47	0.13	6.8	0	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.6	6.8	52	68
Ignimbrita y Riolita		28	47	0.48	6.8	36	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	3.47	6.8	69	68
Ignimbrita y Riolita		42	47	0.62	6.8	46	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.13	6.8	62	68
Ignimbrita y Riolita		57	47	1.16	6.8	52	68	Ignimbrita y Riolita		53	47	4.8	6.8	72	68
Ignimbrita y Riolita		63	47	4.62	6.8	52	68	Ignimbrita y Riolita		46	47	3.73	6.8	56	68
Ignimbrita y Riolita		50	47	1.1	6.8	66	68	Ignimbrita y Riolita	3	43	21	0.67	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		67	47	5.87	6.8	66	68	Ignimbrita y Riolita		53	21	4.8	0	72	0
Ignimbrita y Riolita		68	47	6.13	6.8	69	68	Ignimbrita y Riolita		44	21	3.07	0	46	0
Ignimbrita y Riolita		68	47	6.13	6.8	69	68	Ignimbrita y Riolita		51	21	3.93	0	59	0
Ignimbrita y Riolita		52	47	1.4	6.8	42	68	Ignimbrita y Riolita		41	21	0.67	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		44	47	0.83	6.8	25	68	Ignimbrita y Riolita		49	21	0.67	0	40	0
Ignimbrita y Riolita		58	47	1.67	6.8	50	68	Ignimbrita y Riolita		56	21	2.67	0	50	0
Ignimbrita y Riolita		44	47	1.33	6.8	40	68	Ignimbrita y Riolita		56	21	2.67	0	60	0
Ignimbrita y Riolita		59	47	2	6.8	60	68	Ignimbrita y Riolita		54	21	3.33	0	30	0
Ignimbrita y Riolita		44	47	1	6.8	30	68	Ignimbrita y Riolita		61	21	4	0	65	0
Ignimbrita y Riolita		59	47	2	6.8	60	68	Ignimbrita y Riolita		54	21	2	0	30	0
Ignimbrita y Riolita		59	47	2.3	6.8	69	68	Ignimbrita y Riolita		61	21	4.33	0	60	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	1.67	6.8	50	68	Ignimbrita y Riolita		37	21	2	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		59	47	2.5	6.8	75	68	Ignimbrita y Riolita		54	21	4	0	50	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	2	6.8	60	68	Ignimbrita y Riolita		37	21	0.67	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	2.33	6.8	70	68	Ignimbrita y Riolita		54	21	3.33	0	50	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	2.3	6.8	69	68	Ignimbrita y Riolita		33	21	0.33	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	2.5	6.8	75	68	Ignimbrita y Riolita		63	21	1.67	0	50	0
Ignimbrita y Riolita		51	47	2.4	6.8	72	68	Ignimbrita y Riolita		33	21	0.08	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		39	47	0.33	6.8	0	68	Ignimbrita y Riolita		63	21	1.67	0	56	0
Ignimbrita y Riolita		59	47	2.33	6.8	70	68	Ignimbrita y Riolita		33	21	0.08	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		49	47	2.3	6.8	69	68	Ignimbrita y Riolita		63	21	1.87	0	56	0
Ignimbrita y Riolita		49	47	1.73	6.8	52	68	Ignimbrita y Riolita		49	21	0.08	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		49	47	2.07	6.8	62	68	Ignimbrita y Riolita		52	21	1.87	0	26	0
Ignimbrita y Riolita		56	47	9.6	6.8	72	68	Ignimbrita y Riolita		44	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		49	47	5.33	6.8	40	68	Ignimbrita y Riolita		49	21	0.49	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		49	47	5.33	6.8	50	68	Ignimbrita y Riolita		41	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		60	47	11.33	6.8	85	68	Ignimbrita y Riolita		40	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		56	47	9.6	6.8	72	68	Ignimbrita y Riolita		40	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		56	47	7.47	6.8	56	68	Ignimbrita y Riolita		40	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		56	47	8.8	6.8	66	68	Ignimbrita y Riolita		35	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		60	47	11.87	6.8	89	68	Ignimbrita y Riolita		26	21	0.19	0	0	0
Ignimbrita y Riolita		60	47	5.47	6.8	82	68	Ignimbrita y Riolita		26	21	0.19	0	0	0
								Ignimbrita y Riolita		26	21	0.19	0	0	0
								Ignimbrita y Riolita		26	21	0.19	0	0	0
								Ignimbrita y Riolita		26	21	0.19	0	0	0

Anexo 75

Túnel Los Otates

Túnel: Los Otates	Zona	RMR		Q		RQD	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	53	32	1.02	2.3	69	23
Ignimbrita y Riolita		65	32	3.07	2.3	69	23
Ignimbrita y Riolita		53	32	1.02	2.3	62	23
Ignimbrita y Riolita		65	32	3.07	2.3	62	23
Ignimbrita y Riolita		53	32	0.83	2.3	56	23
Ignimbrita y Riolita		65	32	2.49	2.3	56	23
Ignimbrita y Riolita		53	32	0.87	2.3	59	23
Ignimbrita y Riolita		65	32	3.33	2.3	75	23
Ignimbrita y Riolita	2	58	47	2.49	6.3	56	42
Ignimbrita y Riolita		65	47	2.76	6.3	62	42
Ignimbrita y Riolita		58	47	3.07	6.3	69	42
Andesita y Brecha		58	47	3.07	6.3	69	42
Andesita y Brecha	3	51	36	1.87	2.1	42	31
Andesita y Brecha		53	36	2.18	2.1	49	31
Ignimbrita y Riolita		53	36	2.18	2.1	49	31
Ignimbrita y Riolita		48	36	3.6	2.1	72	31
Ignimbrita y Riolita		71	36	10	2.1	100	31

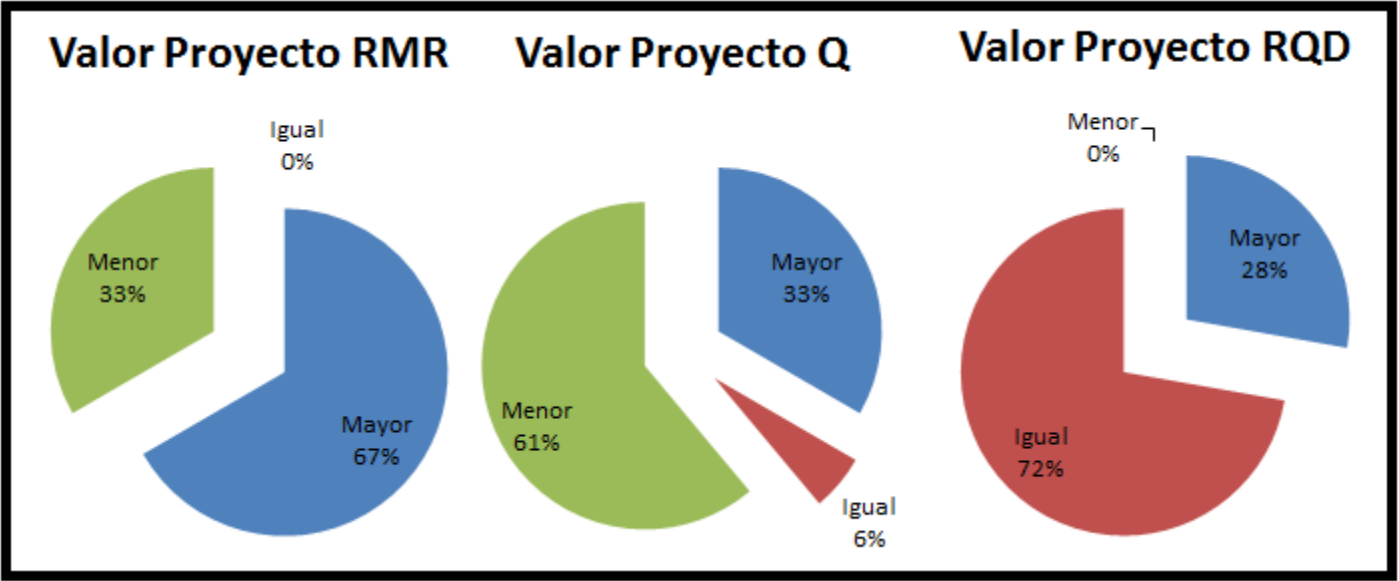
Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	8	0	0		8		100	0	0	100
Zona 2	4	0	0		4		100	0	0	100
Zona 3	5	0	0		5		100	0	0	100
Suma de Registros	17	0	0		17		100	0	0	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	0	4		8		50	0	50	100
Zona 2	0	0	4		4		0	0	100	100
Zona 3	4	0	1		5		80	0	20	100
Suma de Registros	8	0	9		17		47.059	0	52.941	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	8	0	0		8		100	0	0	100
Zona 2	4	0	0		4		100	0	0	100
Zona 3	5	0	0		5		100	0	0	100
Suma de Registros	17	0	0		17		100	0	0	100



Túnel Guamúchil

Túnel: Guamúchil	Zona	RMR		Q		RQD			VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			
Ignimbrita y Riolita	1	57	37	12.75	3.33	85	9	49	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		50	37	9.9	3.33	66	9	49	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		66	37	9.9	3.33	66	9	49	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		51	37	8.4	3.33	56	9	49	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		49	37	7.35	3.33	49	9	49	3	
Ignimbrita y Riolita		56	37	9.9	3.33	66	9	49	3	
Ignimbrita y Riolita	2	59	58	8.85	22.2	59	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		63	58	9.3	22.2	62	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		61	58	7.8	22.2	52	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		41	58	4.95	22.2	33	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		48	58	7.8	22.2	52	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		42	58	1.58	22.2	42	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		57	58	2.21	22.2	52	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		57	58	2.21	22.2	59	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita		57	58	1.95	22.2	52	13	73	3	
Ignimbrita y Riolita	3	56	37	1.66	1.66	67	0	85	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		55	37	1.37	1.66	82	0	85	1.8	3.165
Ignimbrita y Riolita		56	37	1.25	1.66	75	0	85	1.8	3.165

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	6	0	0		6		100	0	0	100
Zona 2	3	0	6		9		33.333	0	66.667	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	12	0	6		18		66.667	0	33.333	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	6	0	0		6		100	0	0	100
Zona 2	0	0	9		9		0	0	100	100
Zona 3	0	1	2		3		0	33.333	66.667	100
Suma de Registros	6	1	11		18		33.333	5.5556	61.111	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	1	0		6		83.333	16.667	0	100
Zona 2	0	9	0		9		0	100	0	100
Zona 3	0	3	0		3		0	100	0	100
Suma de Registros	5	13	0		18		27.778	72.222	0	100

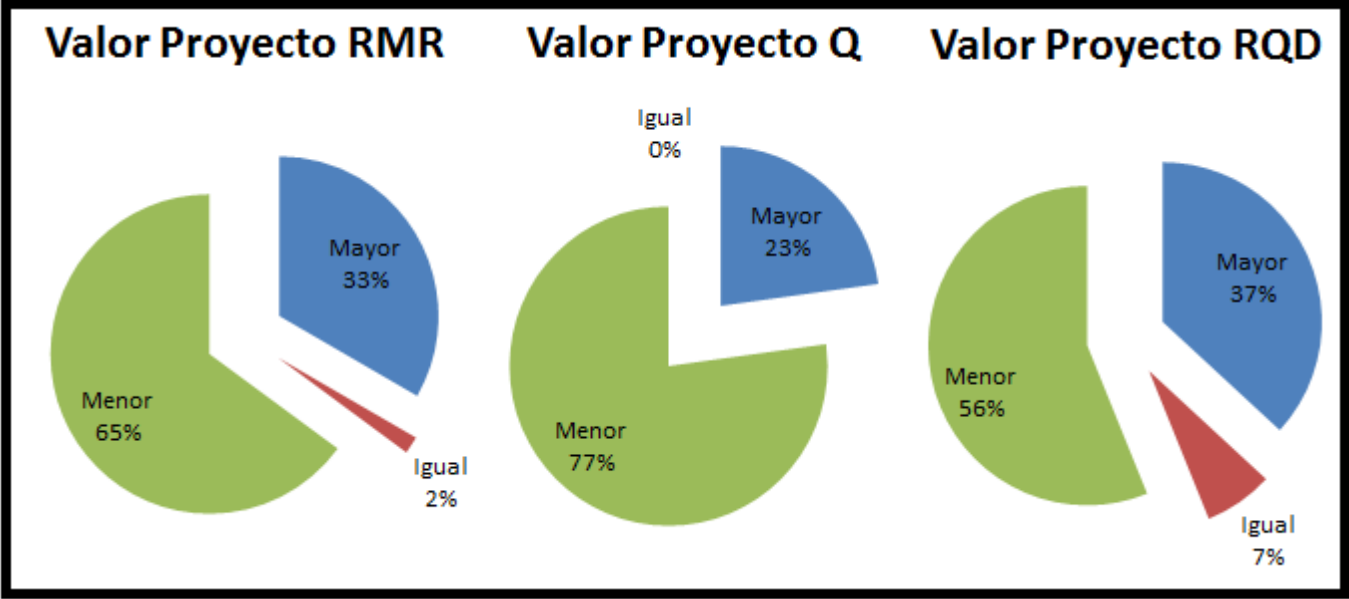


Anexo 77

Túnel Los Morillos

Túnel: Los Morillos		Zona	RMR		Q		RQD		VP		Túnel: Los Morillos		Zona	RMR		Q		RQD		VP		
Tipo de Material			Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			Tipo de Material			Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			
Ignimbrita y Riolita		1	41	65	0.62	30.2	56	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		2	34	34	0.17	3.33	0	5	30	2.5
Ignimbrita y Riolita			31	65	0.26	30.2	23	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita			47	34	1.17	3.33	70	5	30	2.5
Ignimbrita y Riolita			33	65	0.37	30.2	32	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita			49	34	0.49	3.33	59	5	30	2.5
Ignimbrita y Riolita			36	65	0.47	30.2	42	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita			50	43	1.3	1.25	39	5		2.5
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.47	30.2	42	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1	1.25	30	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			41	65	0.69	30.2	62	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		56	43	2.33	1.25	70	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.43	30.2	39	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1	1.25	30	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			41	65	0.58	30.2	52	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1.67	1.25	50	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.51	30.2	46	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1.33	1.25	40	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			41	65	0.58	30.2	52	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1.67	1.25	50	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.51	30.2	46	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		46	43	0.33	1.25	0	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			41	65	0.58	30.2	52	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		56	43	2	1.25	60	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.37	30.2	33	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		46	43	0.77	1.25	23	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.37	30.2	33	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		56	43	2.5	1.25	75	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.58	30.2	52	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1.33	1.25	39	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.4	30.2	36	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		49	43	1.3	1.25	40	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.77	30.2	69	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		42	43	0.33	1.25	10	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.37	30.2	33	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		45	43	1.67	1.25	50	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.69	30.2	62	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		45	43	1.1	1.25	33	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.21	30.2	19	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		45	43	1.4	1.25	42	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.58	30.2	52	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		38	43	1.1	1.25	33	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.14	30.2	13	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		45	43	1.4	1.25	42	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.54	30.2	49	60	75	2	2.7	Ignimbrita y Riolita		38	43	1.4	1.25	42	5		2.5	
Ignimbrita y Riolita			34	65	0.26	30.2	23	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.37	30.2	33	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.32	30.2	29	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.73	30.2	66	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.29	30.2	26	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.54	30.2	49	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.32	30.2	29	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.77	30.2	46	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.54	30.2	49	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			44	65	0.93	30.2	56	60	75	2	2.7											
Ignimbrita y Riolita			37	65	0.7	30.2	42	60	75	2	2.7											

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	34		34		0	0	100	100
Zona 2	2	1	0		3		66.667	33.333	0	100
Zona 3	17	0	3		20		85	0	15	100
Suma de Registros	19	1	37		57		33.333	1.7544	64.912	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	34		34		0	0	100	100
Zona 2	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 3	13	0	7		20		65	0	35	100
Suma de Registros	13	0	44		57		22.807	0	77.193	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	4	30		34		0	11.765	88.235	100
Zona 2	2	0	1		3		66.667	0	33.333	100
Zona 3	19	0	1		20		95	0	5	100
Suma de Registros	21	4	32		57		36.842	7.0175	56.14	100

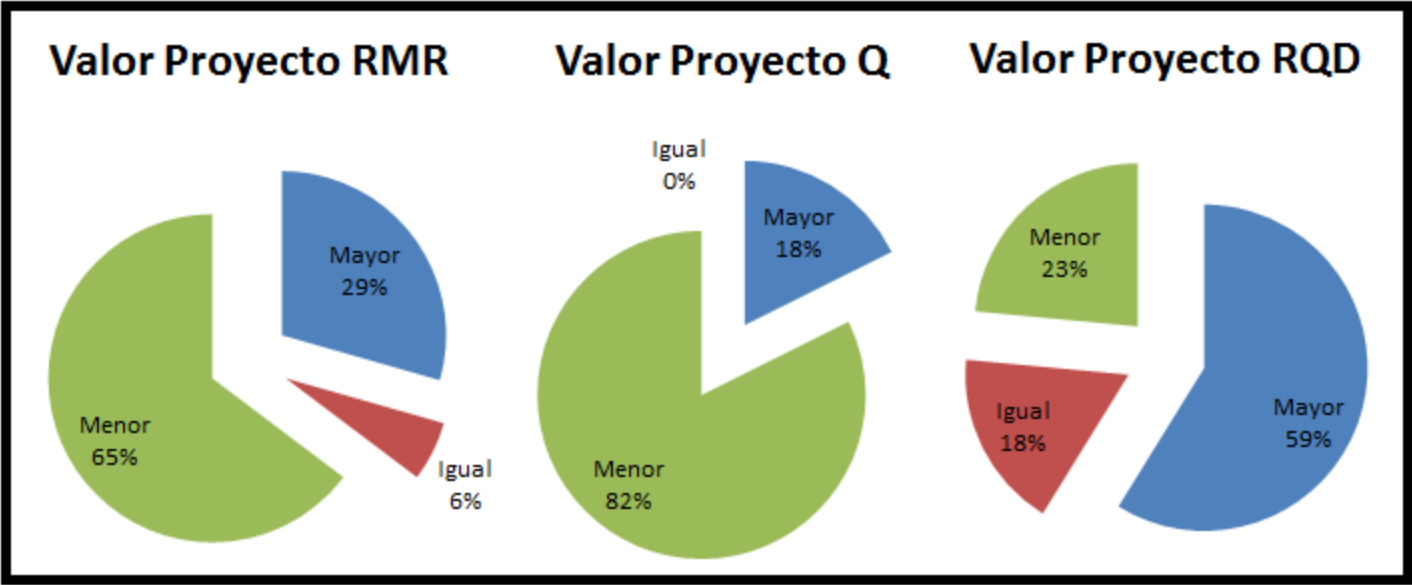


Anexo 78

Túnel El Carrizo I

Túnel: ElCarrizo I	Zona	RMR		Q		RQD			VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			
Ignimbrita y Riolita	1	49	42	1.13	3.33	30	0	10	1.77	1.9
Ignimbrita y Riolita		49	42	1.13	3.33	40	0	10	1.77	1.9
Ignimbrita y Riolita		48	42	4.6	3.33	46	0	10	1.77	1.9
Ignimbrita y Riolita		43	42	6	3.33	40	0	10	2.4	
Andesita y Brecha		43	42	6	3.33	40	0	10	2.4	
Ignimbrita y Riolita		20	42	0.07	3.33	20	0	10	2.4	
Ignimbrita y Riolita		25	42	0.12	3.33	20	0	10	2.4	
Ignimbrita y Riolita		2	58	68	9.3	24.4	62	50	60	2.4
Ignimbrita y Riolita	51		68	5.85	24.4	39	50	60	2.4	
Ignimbrita y Riolita	51		68	6.3	24.4	42	50	60	2.4	
Ignimbrita y Riolita	42		68	4.4	24.4	33	50	60	2.4	
Ignimbrita y Riolita	42		68	8	24.4	60	50	60	2.4	
Ignimbrita y Riolita	42		68	8.8	24.4	66	50	60	2.4	
Ignimbrita y Riolita	42		68	6.93	24.4	52	50	60	2.4	
Andesita y Brecha	42		68	3.93	24.4	59	50	60	1.77	1.9
Andesita y Brecha	35		68	0.28	24.4	33	50	60	1.77	1.9
Andesita y Brecha	3		42	42	0.47	3.33	56	0	10	1.77

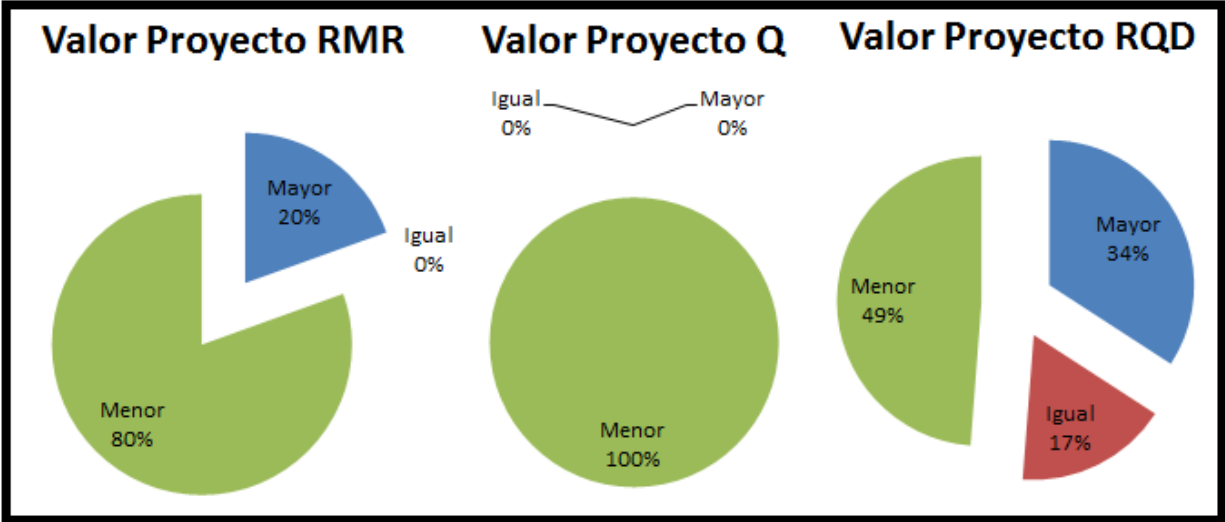
Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	2		7		71.429	0	28.571	100
Zona 2	0	0	9		9		0	0	100	100
Zona 3	0	1	0		1		0	100	0	100
Suma de Registros	5	1	11		17		29.412	5.8824	64.706	100
Valor Proyecto Q	Valor Real Q			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	4		7		42.857	0	57.143	100
Zona 2	0	0	9		9		0	0	100	100
Zona 3	0	0	1		1		0	0	100	100
Suma de Registros	3	0	14		17		17.647	0	82.353	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RQD			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	7	0	0		7		100	0	0	100
Zona 2	2	3	4		9		22.222	33.333	44.444	100
Zona 3	1	0	0		1		100	0	0	100
Suma de Registros	10	3	4		17		58.824	17.647	23.529	100



Túnel El Carrizo II

Túnel: El Carrizo II	Zona	RMR		Q		RQD			VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			
Ignimbrita y Riolita	1	43	68	0.28	24.4	30	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		43	68	0.38	24.4	40	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		38	68	0.39	24.4	42	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		38	68	0.46	24.4	49	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		45	68	0.53	24.4	56	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		45	68	0.58	24.4	62	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	0.23	24.4	50	70	80	2.123	
Andesita y Brecha		25	68	0.12	24.4	50	70	80	2.123	
Andesita y Brecha		35	68	0.37	24.4	50	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		44	68	5.4	24.4	36	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	8.85	24.4	59	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		44	68	5.4	24.4	36	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	8.85	24.4	59	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	8.4	24.4	56	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	9.3	24.4	62	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		51	68	10.8	24.4	72	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	3.47	24.4	52	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	3.47	24.4	52	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	3.47	24.4	52	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	1.87	24.4	56	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	1.73	24.4	52	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita		49	68	2.4	24.4	72	70	80	2.123	
Ignimbrita y Riolita	2	31	42	0.02	3.33	0	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		28	42	0.02	3.33	0	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		27	42	0.03	3.33	0	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		27	42	0.03	3.33	0	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		33	42	0.52	3.33	18	0	10	1.472	2.92
Andesita y Brecha		38	42	1	3.33	30	0	10	1.472	2.92
Andesita y Brecha		38	42	1.33	3.33	40	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		47	42	1.87	3.33	56	0	10	1.472	2.92
Andesita y Brecha		47	42	1.87	3.33	56	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		40	42	0.77	3.33	23	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		38	42	0.83	3.33	25	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		49	42	1.67	3.33	50	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		49	42	1.87	3.33	49	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		41	42	1.4	3.33	42	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		56	42	1.87	3.33	56	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		56	42	2	3.33	60	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		60	42	2.63	3.33	79	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		41	42	0.33	3.33	0	0	10	1.472	2.92
Ignimbrita y Riolita		44	42	1.67	3.33	50	0	10	1.472	2.92

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	8	0	11		19		42.105	0	57.895	100
Zona 2	0	0	22		22		0	0	100	100
Suma de Registros	8	0	33		41		19.512	0	80.488	100
Valor Proyecto Q	Valor Real Q			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	22		22		0	0	100	100
Zona 2	0	0	19		19		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	41		41		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RQD			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	2	20		22		0	9.0909	90.909	100
Zona 2	14	5	0		19		73.684	26.316	0	100
Suma de Registros	14	7	20		41		34.146	17.073	48.78	100

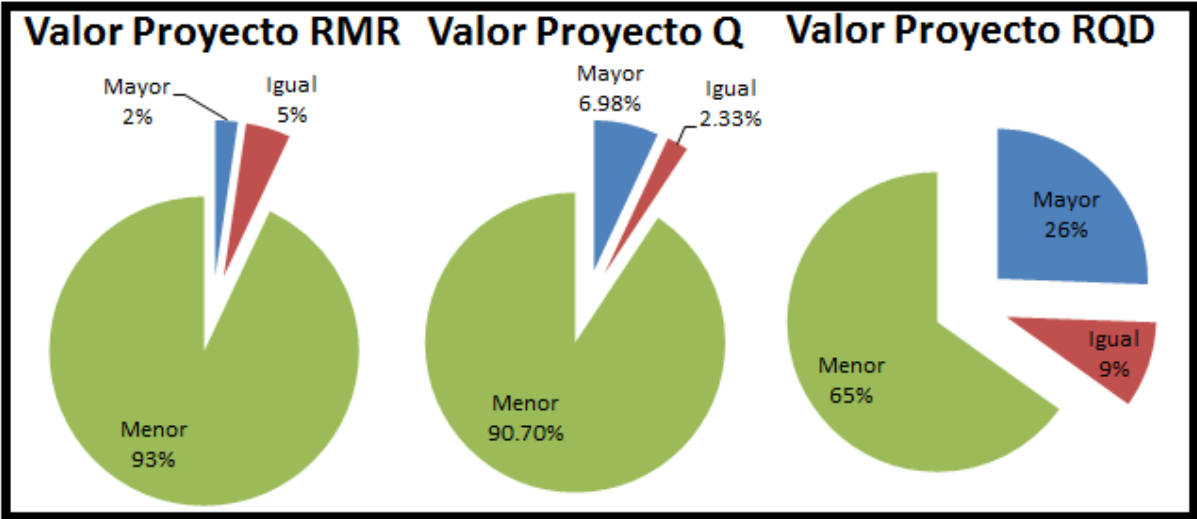


Anexo 80

Túnel El Carrizo III

Túnel: El Carrizo III	Zona	RMR		Q		RQD		VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto		
Ignimbrita y Riolita	1	55	52	6	11.6	80	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		45	52	7.13	11.6	95	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		52	52	12.75	11.6	85	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		52	52	25.5	11.6	85	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		44	52	8.27	11.6	62	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		44	52	9.2	11.6	69	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		44	52	9.33	11.6	70	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		48	52	11.33	11.6	85	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	11.33	11.6	85	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	11.87	11.6	89	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	11.6	11.6	87	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	11.33	11.6	85	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		50	52	1.64	11.6	23	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		48	52	0.73	11.6	66	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		48	52	0.83	11.6	75	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	2.06	11.6	55	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		41	52	2.21	11.6	59	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	52	1.48	11.6	59	70	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita	2	41	68	0.53	28.3	21	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		32	68	1	28.3	40	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		32	68	0.88	28.3	35	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		29	68	1.05	28.3	20	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		30	68	1.05	28.3	42	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		54	68	1.73	28.3	69	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	2.5	28.3	75	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	2.4	28.3	72	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	1.87	28.3	56	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	2.3	28.3	69	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		55	68	2.97	28.3	89	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		55	68	2.63	28.3	79	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		55	68	2.73	28.3	82	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		55	68	6.15	28.3	82	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		55	68	6.38	28.3	85	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	5.4	28.3	72	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		51	68	4.43	28.3	59	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		53	68	4.95	28.3	66	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		57	68	6.38	28.3	85	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		57	68	6.38	28.3	85	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		53	68	5.63	28.3	75	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		57	68	5.93	28.3	79	85	1.755	2.878
Ignimbrita y Riolita		53	68	4.95	28.3	66	85	1.755	2.878
Basalto		53	68	4.95	28.3	66	85	1.755	2.878
Basalto		40	68	0.75	28.3	0	85	1.755	2.878

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	1	2	15		18		5.5556	11.111	83.333	100
Zona 2	0	0	25		25		0	0	100	100
Suma de Registros	1	2	40		43		2.33	4.65	93.02	100
Valor Proyecto Q	Valor Real Q			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	1	14		18		16.667	5.5556	77.778	100
Zona 2	0	0	25		25		0	0	100	100
Suma de Registros	3	1	39		43		6.98	2.33	90.70	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RQD			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	10	1	7		18		55.556	5.5556	38.889	100
Zona 2	1	3	21		25		4	12	84	100
Suma de Registros	11	4	28		43		25.581	9.3023	65.116	100

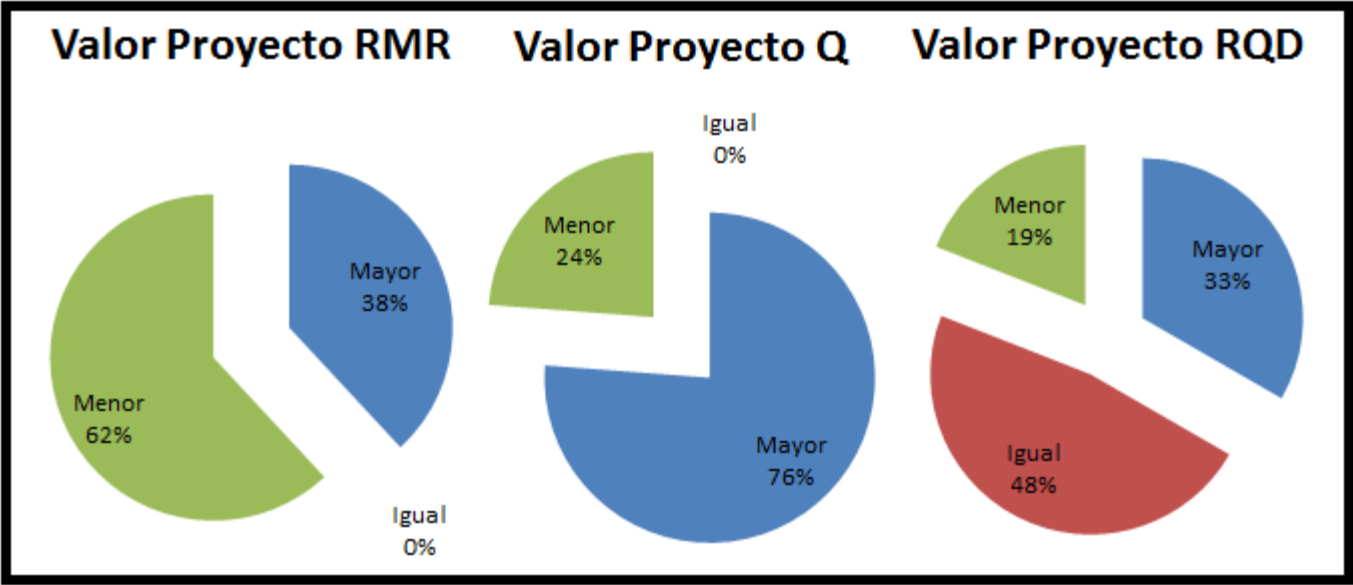


Anexo 81

Túnel La Piedra

Túnel: La Piedra	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	36	65	0.99	3.25	10	50	75
Ignimbrita y Riolita		60	65	3.96	3.25	40	50	75
Ignimbrita y Riolita		67	65	7.43	3.25	75	50	75
Ignimbrita y Riolita		74	65	12	3.25	80	50	75
Ignimbrita y Riolita		74	65	12	3.25	80	50	75
Ignimbrita y Riolita		67	65	10.5	3.25	70	50	75
Ignimbrita y Riolita		43	65	15	3.25	50	50	75
Ignimbrita y Riolita		43	65	15	3.25	50	50	75
Ignimbrita y Riolita		41	65	1.33	3.25	40	50	75
Ignimbrita y Riolita		41	65	1.33	3.25	75	50	75
Ignimbrita y Riolita		55	65	2.73	3.25	82	50	75
Ignimbrita y Riolita		60	65	5.47	3.25	82	50	75
Ignimbrita y Riolita	2	60	57	5.27	2.5	79	50	75
Ignimbrita y Riolita		58	57	11.25	2.5	75	50	75
Basalto		20	57	0.07	2.5	0	50	75
Ignimbrita y Riolita		48	57	10.8	2.5	72	50	75
Ignimbrita y Riolita		52	57	6.15	2.5	82	50	75
Ignimbrita y Riolita		61	57	5.63	2.5	75	50	75
Ignimbrita y Riolita		65	57	6.15	2.5	82	50	75
Ignimbrita y Riolita		51	57	5.18	2.5	69	50	75
Ignimbrita y Riolita		41	57	3.75	2.5	50	50	75

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	0	8		12		33.333	0	66.667	100
Zona 2	4	0	5		9		44.444	0	55.556	100
Suma de Registros	8	0	13		21		38.095	0	61.905	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	8	0	4		12		66.667	0	33.333	100
Zona 2	8	0	1		9		88.889	0	11.111	100
Suma de Registros	16	0	5		21		76.19	0	23.81	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	5	3		12		33.333	41.667	25	100
Zona 2	3	5	1		9		33.333	55.556	11.111	100
Suma de Registros	7	10	4		21		33.333	47.619	19.048	100

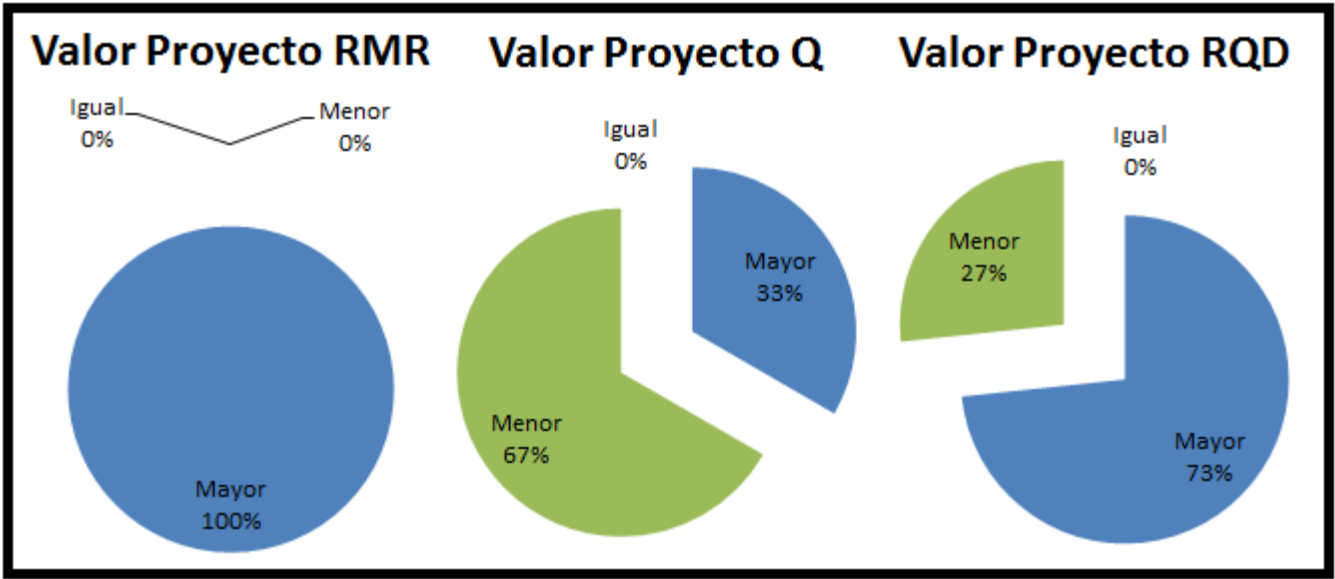


Anexo 82

Túnel La Quemada

Túnel: La Quemada	Zona	RMR		Q		RQD		VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto		
Basalto	1	46	43	0.11	3.33	30	40	1.2	1.5
Basalto		53	43	0.22	3.33	60	40	1.2	1.5
Basalto		46	43	0.13	3.33	36	40	1.2	1.5
Basalto		46	43	0.16	3.33	42	40	1.2	1.5
Basalto		46	43	0.16	3.33	42	40	1.2	1.5
Basalto		50	43	1.65	3.33	33	40	1.2	1.5
Ignimbrita y Riolita		50	43	1.65	3.33	33	40	1.2	1.5
Ignimbrita y Riolita	2	47	38	1.15	1.06	23	8	2	2.25
Basalto		47	38	1.15	1.06	23	8	2	2.25
Basalto		50	38	2.1	1.06	42	8	2	2.25
Basalto		57	38	2.8	1.06	56	8	2	2.25
Basalto		42	38	1.14	1.06	39	8	2	2.25
Basalto		42	38	0.16	1.06	42	8	2	2.25
Ignimbrita y Riolita		42	38	0.16	1.06	42	8	2	2.25
Ignimbrita y Riolita		44	38	0.06	1.06	30	8	2	2.25

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	7	0	0		7		100	0	0	100
Zona 2	8	0	0		8		100	0	0	100
Suma de Registros	15	0	0		15		100	0	0	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	7		7		0	0	100	100
Zona 2	5	0	3		8		62.5	0	37.5	100
Suma de Registros	5	0	10		15		33.333	0	66.667	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	4		7		42.857	0	57.143	100
Zona 2	8	0	0		8		100	0	0	100
Suma de Registros	11	0	4		15		73.333	0	26.667	100

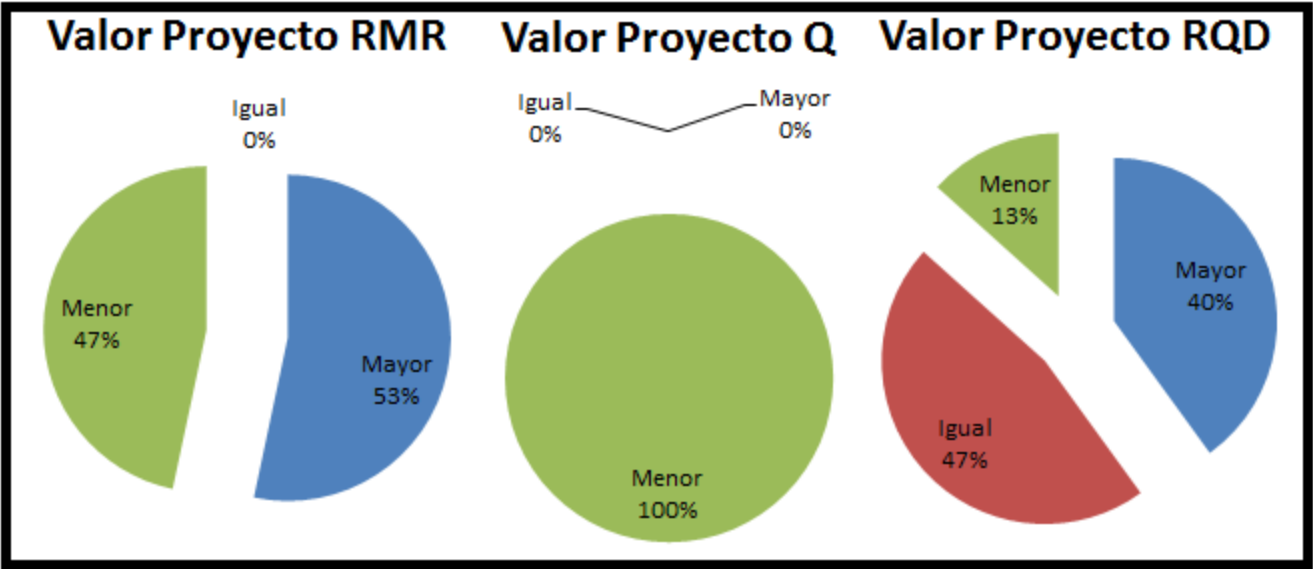


Anexo 83

Túnel La Quemada II

Túnel: La Quemada II	Zona	RMR		Q		RQD			VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto			
Basalto	1	40	32	0.53	10	16	0	60	2	
Basalto		50	32	0.53	10	56	0	60	2	
Basalto		50	32	2.5	10	75	0	60	2	
Ignimbrita y Riolita		50	32	2.5	10	75	0	60	2	
Ignimbrita y Riolita		50	32	2.3	10	69	0	60	2	
Ignimbrita y Riolita	2	54	64	2.83	20	85	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		50	64	2.4	20	72	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		50	64	2.3	20	69	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		43	64	1.53	20	46	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		57	64	3.9	20	52	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		57	64	5.4	20	72	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita		50	64	3.68	20	49	60		2.2	
Ignimbrita y Riolita	3	50	36	3.15	0.5	42	0	30	1.2	2
Ignimbrita y Riolita		47	36	1.5	0.5	20	0	30	1.2	2
Ignimbrita y Riolita		61	36	4.58	0.5	80	0	30	1.2	2

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	0	0	7		7		0	0	100	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	8	0	7		15		53.333	0	46.667	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	5		5		0	0	100	100
Zona 2	0	0	7		7		0	0	100	100
Zona 3	0	0	3		3		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	15		15		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	2	0		5		60	40	0	100
Zona 2	1	4	2		7		14.286	57.143	28.571	100
Zona 3	2	1	0		3		66.667	33.333	0	100
Suma de Registros	6	7	2		15		40	46.667	13.333	100

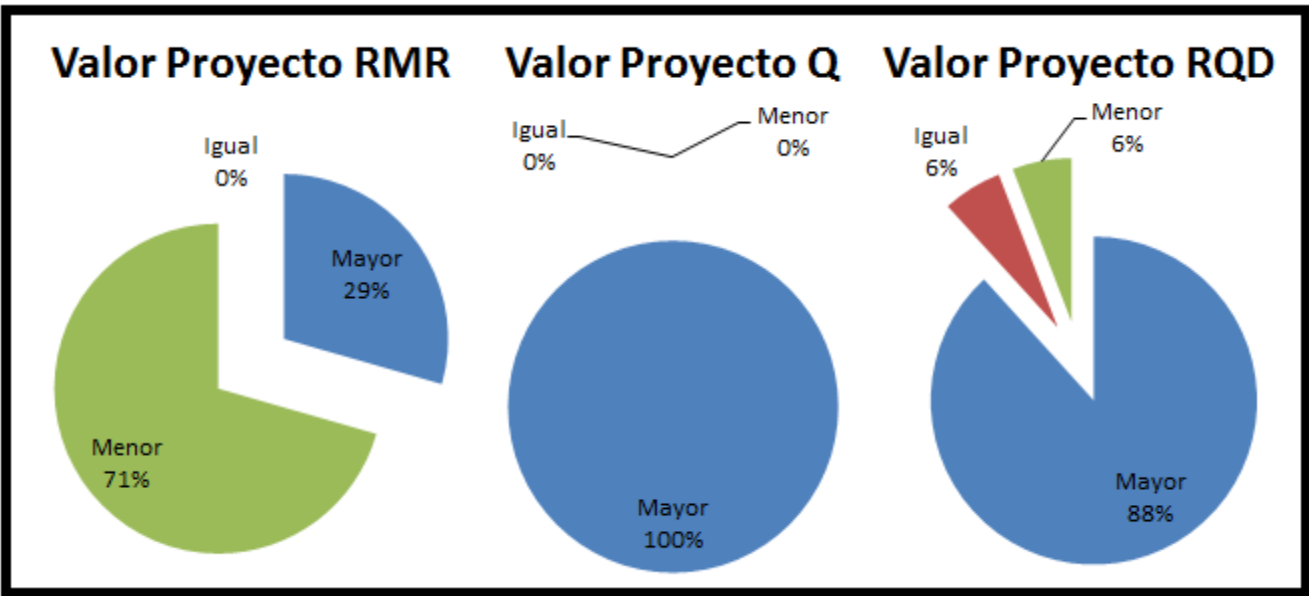


Anexo 84

Túnel La Laguna I

Túnel: La Laguna I	Zona	RMR		Q		RQD		VP	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto		
Andesita y Brecha	1	46	44	3.75	0.5	40	30	1.034	
Andesita y Brecha		46	44	3.15	0.5	42	30	1.034	
Ignimbrita y Riolita		48	44	2.2	0.5	66	30	1.034	
Ignimbrita y Riolita		48	44	2.2	0.5	66	30	1.034	
Ignimbrita y Riolita		48	44	4.65	0.5	62	30	1.034	
Ignimbrita y Riolita	2	56	73	10.8	2	72	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		56	73	7.8	2	52	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		56	73	9.9	2	66	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		57	73	10.57	2	71	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		58	73	11.25	2	75	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		58	73	11.25	2	75	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		53	73	10.35	2	69	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		50	73	9.3	2	62	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		50	73	3.3	2	66	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		50	73	3.3	2	66	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita		50	73	3.3	2	66	60	2.23	
Ignimbrita y Riolita	3	34	43	0.5	0.16	10	10	1.239	1.85
Ignimbrita y Riolita		34	43	0.75	0.16	15	10	1.239	1.85

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 3	0	0	2		2		0	0	100	100
Suma de Registros	5	0	12		17		29.412	0	70.588	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	10	0	0		10		100	0	0	100
Zona 3	2	0	0		2		100	0	0	100
Suma de Registros	17	0	0		17		100	0	0	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	9	0	1		10		90	0	10	100
Zona 3	1	1	0		2		50	50	0	100
Suma de Registros	15	1	1		17		88.235	5.8824	5.8824	100

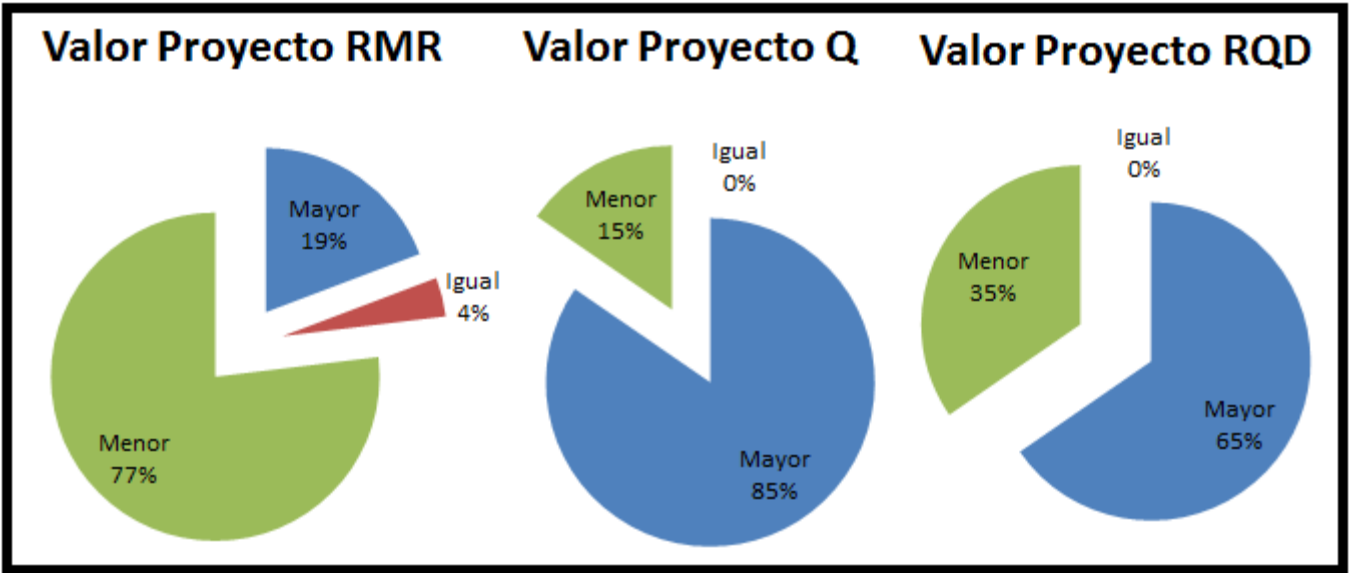


Anexo 85

Túnel La Laguna II

Túnel: La Laguna II	Zona	RMR		Q		RQD			VP
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto		
Ignimbrita y Riolita	1	57	47	2.73	11.1	82	20	30	1.25
Ignimbrita y Riolita		50	47	1.97	11.1	59	20	30	1.25
Ignimbrita y Riolita		50	47	1.65	11.1	66	20	30	1.25
Ignimbrita y Riolita	2	43	69	1.15	11.1	46	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		46	69	3.68	11.1	49	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		57	69	3.28	11.1	82	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	2.64	11.1	66	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	2.82	11.1	70	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	3	11.1	75	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	2.76	11.1	69	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	3	11.1	75	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		53	69	2.64	11.1	66	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		51	69	4.13	11.1	62	50		2.3
Ignimbrita y Riolita		51	74	2.2	10	66	80		2.57
Ignimbrita y Riolita	3	42	74	2.18	10	49	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		35	74	0.44	10	10	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		36	74	0.44	10	10	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		48	74	2.95	10	59	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		41	74	2.45	10	49	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		38	74	0.95	10	19	80		2.57
Ignimbrita y Riolita		48	47	3.1	1.125	62	40	50	1.6
Ignimbrita y Riolita	4	46	47	1.3	1.125	52	40	50	1.6
Ignimbrita y Riolita		48	47	3.75	1.125	75	40	50	1.6
Ignimbrita y Riolita		45	47	1.29	1.125	69	40	50	1.6
Ignimbrita y Riolita		47	47	0.24	1.125	66	40	50	1.6
Ignimbrita y Riolita		42	47	0.21	1.125	56	40	50	1.6

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 2	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 3	0	0	7		7		0	0	100	100
Zona 4	2	1	3		6		33.333	16.667	50	100
Suma de Registros	5	1	20		26		19.231	3.8462	76.923	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 2	9	0	1		10		90	0	10	100
Zona 3	7	0	0		7		100	0	0	100
Zona 4	6	0	0		6		100	0	0	100
Suma de Registros	22	0	4		26		84.615	0	15.385	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 2	8	0	2		10		80	0	20	100
Zona 3	0	0	7		7		0	0	100	100
Zona 4	6	0	0		6		100	0	0	100
Suma de Registros	17	0	9		26		65.385	0	34.615	100

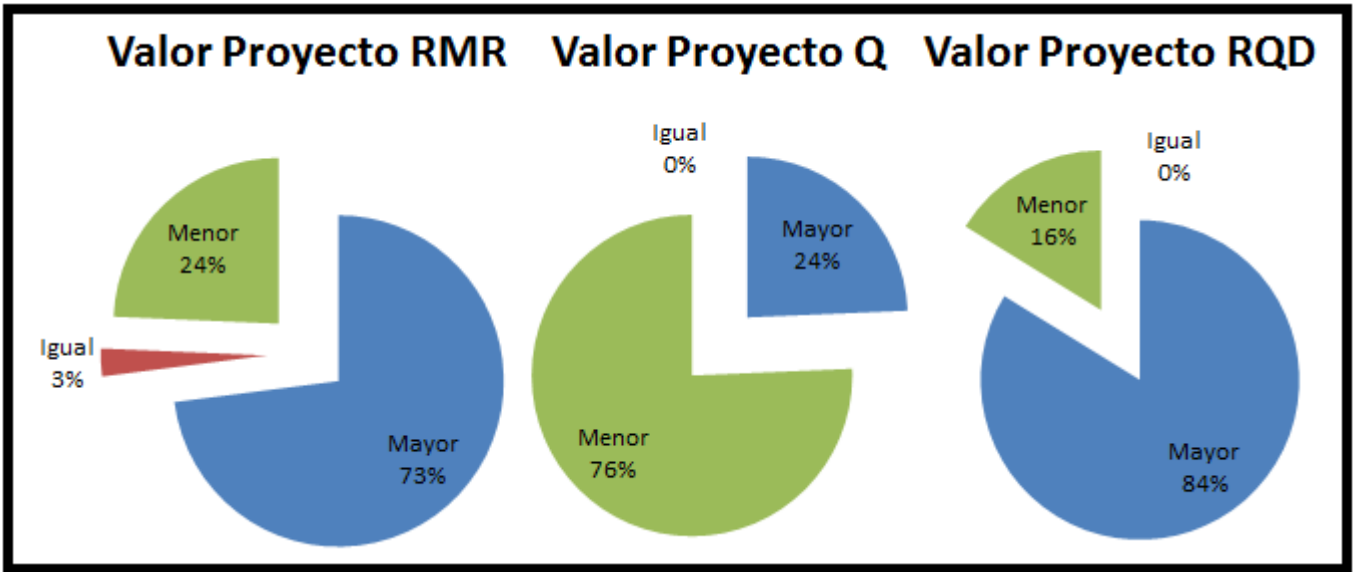


Anexo 86

Túnel La Laguna III

Túnel: La Laguna III	Zona	RMR		Q		RQD	
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto
Ignimbrita y Riolita	1	48	47	1.97	2.22	59	50
Ignimbrita y Riolita		48	47	2.2	2.22	66	50
Ignimbrita y Riolita		41	47	1.4	2.22	42	50
Ignimbrita y Riolita		41	47	1.4	2.22	42	50
Ignimbrita y Riolita		41	47	1.4	2.22	42	50
Ignimbrita y Riolita		50	47	0.12	2.22	56	50
Ignimbrita y Riolita		50	47	0.12	2.22	59	50
Ignimbrita y Riolita		58	47	5.63	2.22	75	50
Ignimbrita y Riolita		58	47	4.65	2.22	62	50
Ignimbrita y Riolita		58	47	4.2	2.22	56	50
Ignimbrita y Riolita		58	47	5.63	2.22	75	50
Ignimbrita y Riolita		47	47	1.48	2.22	59	50
Ignimbrita y Riolita		49	47	0.19	2.22	69	50
Ignimbrita y Riolita		58	47	2.5	2.22	75	50
Ignimbrita y Riolita		40	47	0.64	2.22	100	50
Ignimbrita y Riolita		40	47	0.64	2.22	100	50
Ignimbrita y Riolita		40	47	2.21	2.22	59	50
Ignimbrita y Riolita		42	47	1.58	2.22	42	50
Ignimbrita y Riolita		42	47	1.58	2.22	42	50
Ignimbrita y Riolita		48	47	0.46	2.22	49	50
Ignimbrita y Riolita		59	47	2.63	2.22	79	50
Ignimbrita y Riolita		59	47	2.73	2.22	82	50
Ignimbrita y Riolita		65	47	0.47	2.22	75	50
Ignimbrita y Riolita		65	47	0.74	2.22	79	50
Ignimbrita y Riolita		65	47	0.7	2.22	75	50
Ignimbrita y Riolita		56	47	0.28	2.22	66	50
Ignimbrita y Riolita		44	47	0.65	2.22	69	50
Ignimbrita y Riolita		49	47	0.65	2.22	69	50
Ignimbrita y Riolita		48	47	0.59	2.22	95	50
Ignimbrita y Riolita		53	47	1.19	2.22	95	50
Ignimbrita y Riolita		52	47	1.19	2.22	95	50
Ignimbrita y Riolita		54	47	0.74	2.22	89	50
Ignimbrita y Riolita		60	47	0.83	2.22	100	50
Ignimbrita y Riolita		52	47	1.19	2.22	95	50
Ignimbrita y Riolita		61	47	1.25	2.22	100	50
Ignimbrita y Riolita		56	47	9.9	2.22	99	50
Ignimbrita y Riolita		50	47	5.67	2.22	85	50

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	27	1	9		37		72.973	2.7027	24.324	100
Suma de Registros	27	1	9		37		72.973	2.7027	24.324	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	9	0	28		37		24.324	0	75.676	100
Suma de Registros	9	0	28		37		24.324	0	75.676	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	31	0	6		37		83.784	0	16.216	100
Suma de Registros	31	0	6		37		83.784	0	16.216	100



Anexo 87

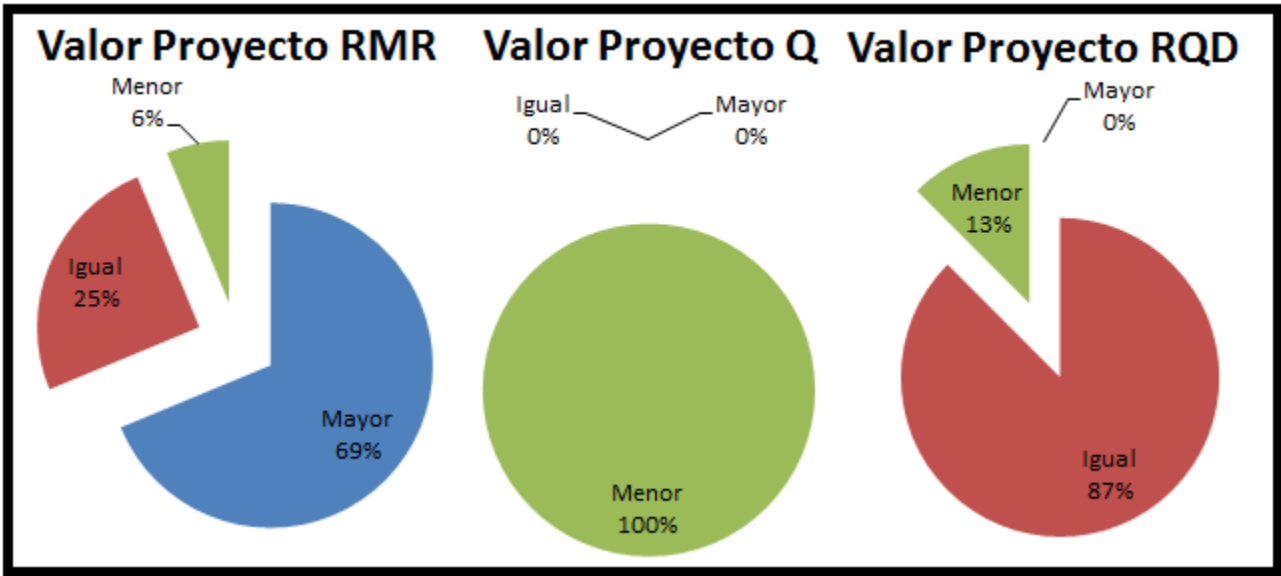
Túnel La Mina

Túnel: La Mina	Zona	RMR			Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	32	45	58	0.13	5	39	50	75
Ignimbrita y Riolita		69	45	58	2.76	5	62	50	75
Ignimbrita y Riolita		64	45	58	3.07	5	69	50	75
Ignimbrita y Riolita		59	45	58	2.07	5	62	50	75
Ignimbrita y Riolita		62	45	58	1.87	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		61	45	58	1.87	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		54	45	58	3.73	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		61	45	58	1.87	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		59	45	58	1.87	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		59	45	58	1.87	5	56	50	75
Ignimbrita y Riolita		56	45	58	2.76	5	53	50	75
Ignimbrita y Riolita		63	45	58	2.07	5	62	50	75
Ignimbrita y Riolita		58	45	58	1.73	5	52	50	75
Ignimbrita y Riolita		53	45	58	0.82	5	49	50	75
Ignimbrita y Riolita		63	45	58	0.79	5	59	50	75
Ignimbrita y Riolita		60	45	58	0.87	5	52	50	75

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	11	4	1		16		68.75	25	6.25	100
Suma de Registros	11	4	1		16		68.75	25	6.25	100

Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	16		16		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	16		16		0	0	100	100

Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	14	2		16		0	87.5	12.5	100
Suma de Registros	0	14	2		16		0	87.5	12.5	100

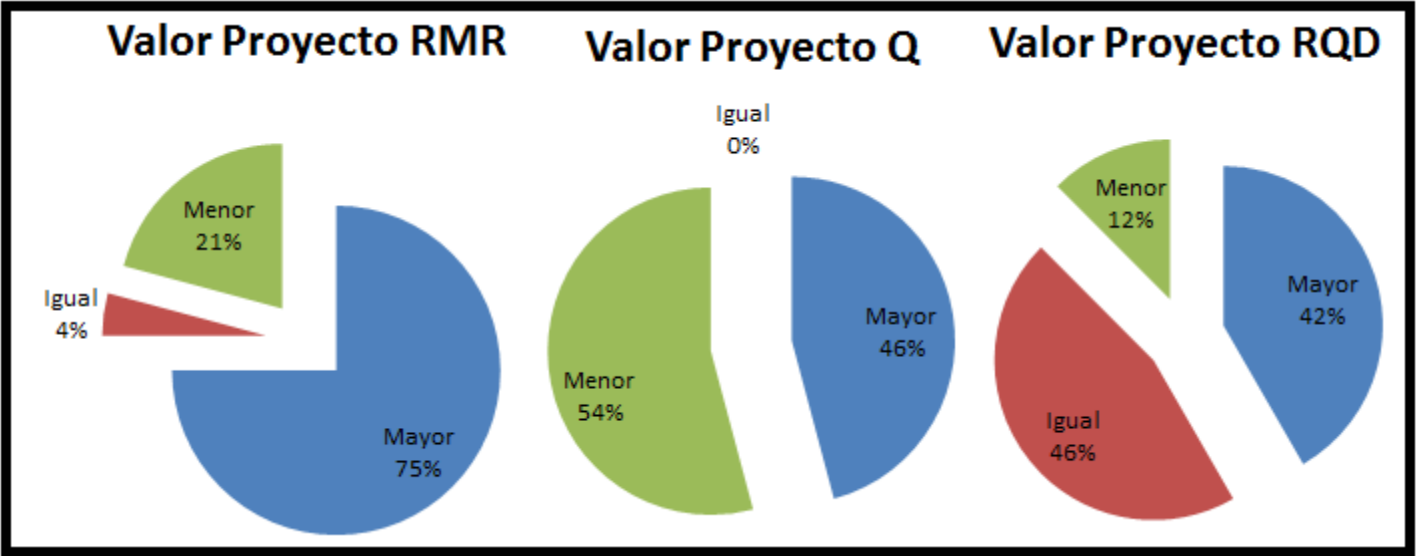


Anexo 88

Túnel Chirimollos

Túnel: Chirimollos	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Andesita y Brecha	1	68	19	2.62	0.25	59	0	25
Andesita y Brecha		51	19	0.98	0.25	59	0	25
Andesita y Brecha		54	19	0.98	0.25	59	0	25
Andesita y Brecha		54	19	1.5	0.25	69	0	25
Andesita y Brecha		62	19	2.5	0.25	75	0	25
Andesita y Brecha	2	39	37	0.65	0.5	49	25	50
Andesita y Brecha		19	37	0.01	0.5	6	25	50
Andesita y Brecha	3	41	42	0.12	1.5	42	25	75
Andesita y Brecha		49	42	0.82	1.5	49	25	75
Andesita y Brecha		39	42	0.82	1.5	49	25	75
Andesita y Brecha		45	42	0.82	1.5	49	25	75
Andesita y Brecha		42	42	0.82	1.5	46	25	75
Andesita y Brecha		37	42	0.26	1.5	23	25	75
Andesita y Brecha		36	42	0.26	1.5	23	25	75
Andesita y Brecha		64	42	0.93	1.5	56	25	75
Andesita y Brecha		44	42	0.82	1.5	49	25	75
Andesita y Brecha		54	42	0.87	1.5	52	25	75
Andesita y Brecha	4	48	37	0.48	0.5	49	25	50
Andesita y Brecha	5	41	19	1.4	0.25	42	0	25
Andesita y Brecha		52	19	1.4	0.25	42	0	25
Andesita y Brecha		46	19	0.65	0.25	39	0	25
Andesita y Brecha		42	19	0.75	0.25	45	0	25
Andesita y Brecha		33	19	0.13	0.25	16	0	25
Andesita y Brecha		43	19	0.55	0.25	33	0	25

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	1	0	1		2		50	0	50	100
Zona 3	5	1	4		10		50	10	40	100
Zona 4	1	0	0		1		100	0	0	100
Zona 5	6	0	0		6		100	0	0	100
Suma de Registros	18	1	5		24		75	4.1667	20.833	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	1	0	1		2		50	0	50	100
Zona 3	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 4	0	0	1		1		0	0	100	100
Zona 5	5	0	1		6		83.333	0	16.667	100
Suma de Registros	11	0	13		24		45.833	0	54.167	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 2	0	1	1		2		0	50	50	100
Zona 3	0	8	2		10		0	80	20	100
Zona 4	0	1	0		1		0	100	0	100
Zona 5	5	1	0		6		83.333	16.667	0	100
Suma de Registros	10	11	3		24		41.667	45.833	12.5	100

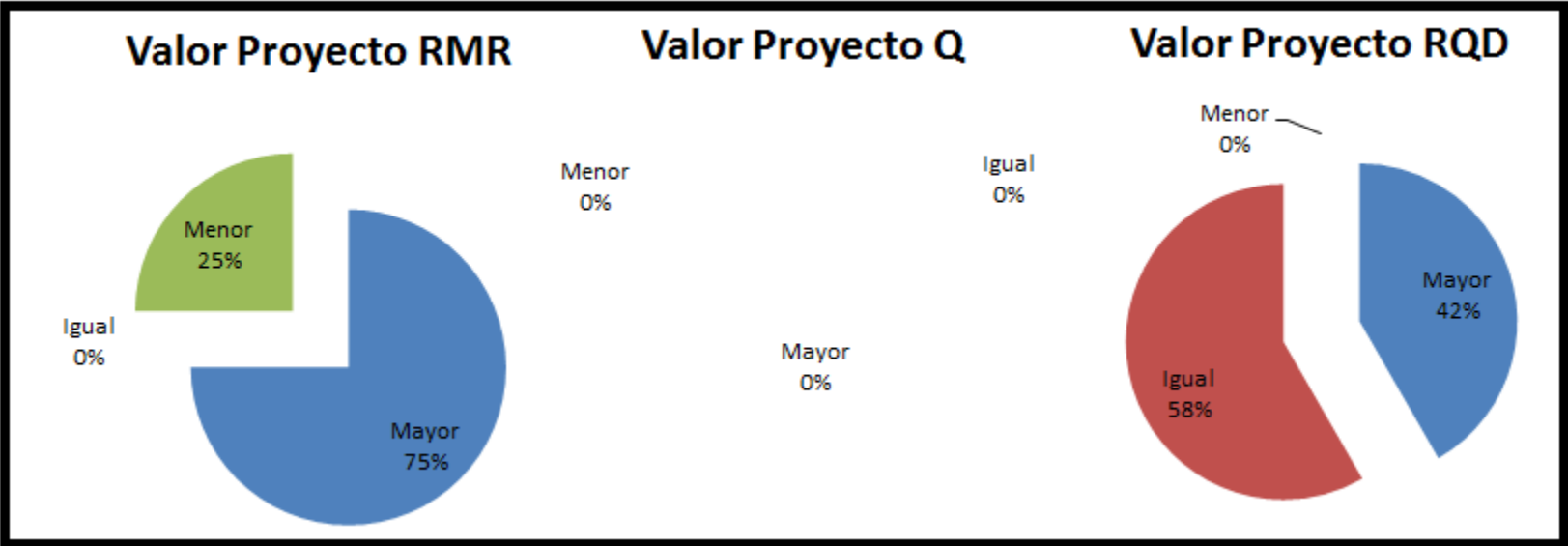


Anexo 89

Túnel Santa Lucía II

Túnel: Santa Lucia II	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	42	30	1.05		42	20	80
Ignimbrita y Riolita		48	30	1.05		42	20	80
Ignimbrita y Riolita	2	58	55	2.65		53	50	60
Ignimbrita y Riolita		54	55	1.33		53	50	60
Ignimbrita y Riolita		60	55	3.25		65	50	60
Ignimbrita y Riolita		56	55	2.17		65	50	60
Ignimbrita y Riolita		72	55	4.33		65	50	60
Ignimbrita y Riolita		48	55	0.98		59	50	60
Ignimbrita y Riolita		48	55	1.23		50	50	60
Ignimbrita y Riolita	3	51	32	1.48		59	30	50
Ignimbrita y Riolita		56	32	1.03		62	30	50
Ignimbrita y Riolita		51	32	0.26		49	30	50

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 2	4	0	3		7		57.143	0	42.857	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	9	0	3		12		75	0	25	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1										
Zona 2										
Zona 3										
Suma de Registros	0	0	0		0		0	0	0	0
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	2	0		2		0	100	0	100
Zona 2	3	4	0		7		42.857	57.143	0	100
Zona 3	2	1	0		3		66.667	33.333	0	100
Suma de Registros	5	7	0		12		41.667	58.333	0	100

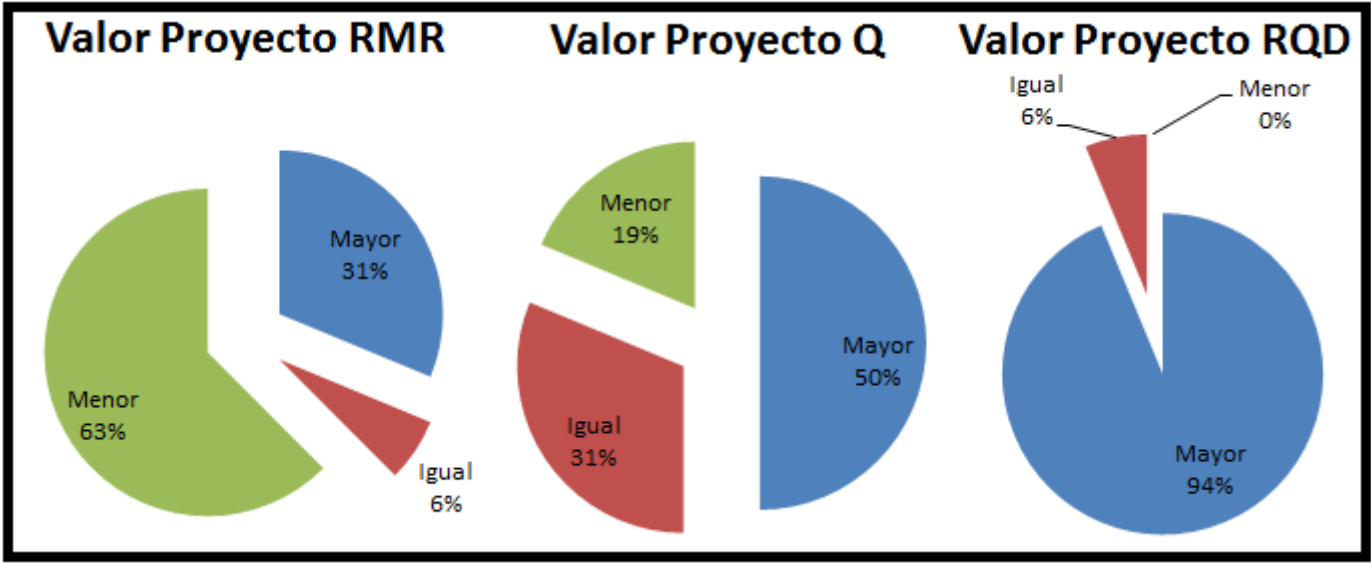


Anexo 90

Túnel Cerro de la Reforma

Túnel: Cerro de la Reforma	Zona	RMR			Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	36	28	40	0.39	0.004	0.01	59	3	40
Ignimbrita y Riolita		22	28	40	1.16	0.004	0.01	49	3	40
Ignimbrita y Riolita		22	28	40	1.30	0.004	0.01	39	3	40
Ignimbrita y Riolita	2	25	50		0.82	1.25	2	49	25	40
Ignimbrita y Riolita		26	50		1.63	1.25	2	49	25	40
Ignimbrita y Riolita		26	50		1.87	1.25	2	56	25	40
Ignimbrita y Riolita		30	50		2.60	1.25	2	52	25	40
Ignimbrita y Riolita		30	50		2.60	1.25	2	56	25	40
Ignimbrita y Riolita		28	50		1.33	1.25	2	53	25	40
Ignimbrita y Riolita	3	56	45	50	3.10	0.75	2	62	15	40
Ignimbrita y Riolita		60	45	50	1.55	0.75	2	62	15	40
Ignimbrita y Riolita		53	45	50	1.30	0.75	2	52	15	40
Ignimbrita y Riolita		60	45	50	2.60	0.75	2	52	15	40
Ignimbrita y Riolita		56	45	50	5.51	0.75	2	62	15	40
Ignimbrita y Riolita	4	26	53		0.58	1	1.12	46	40	45
Ignimbrita y Riolita		30	53		0.69	1	1.12	52	40	45

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	1	2		3		0	33.333	66.667	100
Zona 2	0	0	6		6		0	0	100	100
Zona 3	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 4	0	0	2		2		0	0	100	100
Suma de Registros	5	1	10		16		31.25	6.25	62.5	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 2	2	3	1		6		33.333	50	16.667	100
Zona 3	3	2	0		5		60	40	0	100
Zona 4	0	0	2		2		0	0	100	100
Suma de Registros	8	5	3		16		50	31.25	18.75	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	2	1	0		3		66.667	33.333	0	100
Zona 2	6	0	0		6		100	0	0	100
Zona 3	5	0	0		5		100	0	0	100
Zona 4	2	0	0		2		100	0	0	100
Suma de Registros	15	1	0		16		93.75	6.25	0	100

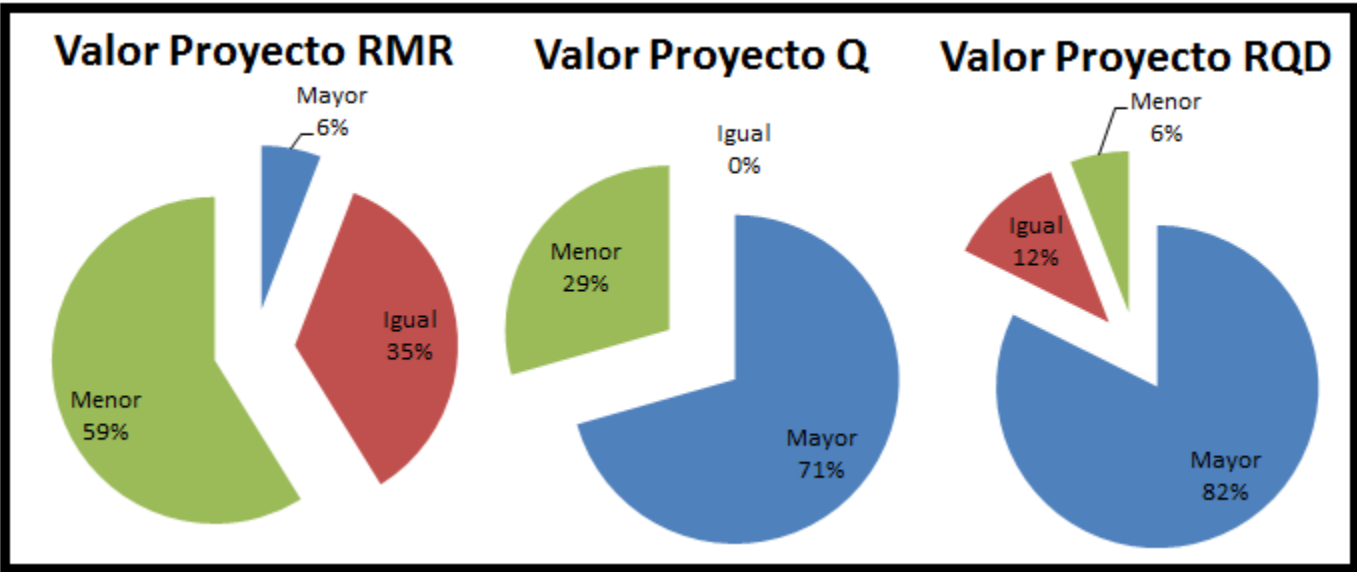


Anexo 91

Túnel Cerro Santa Lucía

Túnel: Cerro Santa Lucía	Zona	RMR			Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	34	10	37	0.09	0.02	0.04	10	15	
Ignimbrita y Riolita	2	28	37	48	0.11	0.02	0.04	10	3	15
Ignimbrita y Riolita		26	37	48	0.11	0.02	0.04	10	3	15
Ignimbrita y Riolita		35	37	48	0.18	0.02	0.04	16	3	15
Ignimbrita y Riolita	3	33	31	37	0.18	0.16		16	5	
Ignimbrita y Riolita		35	31	37	0.26	0.16		23	5	
Ignimbrita y Riolita		33	31	37	0.41	0.16		23	5	
Ignimbrita y Riolita		36	31	37	0.64	0.16		29	5	
Ignimbrita y Riolita		36	31	37	0.64	0.16		9	5	
Ignimbrita y Riolita		43	31	37	0.18	0.16		16	5	
Ignimbrita y Riolita	4	31	45		0.11	0.12		10	5	
Ignimbrita y Riolita		31	45		0.18	0.12		10	5	
Ignimbrita y Riolita		39	45		0.29	0.12		26	5	
Ignimbrita y Riolita		24	45		0.11	0.12		10	5	
Ignimbrita y Riolita		26	45		0.10	0.12		9	5	
Ignimbrita y Riolita		23	45		0.01	0.12		6	5	
Ignimbrita y Riolita		41	45		0.04	0.12		16	5	

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	1	0		1		0	100	0	100
Zona 2	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 3	1	5	0		6		16.667	83.333	0	100
Zona 4	0	0	7		7		0	0	100	100
Suma de Registros	1	6	10		17		5.8824	35.294	58.824	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	1	0	0		1		100	0	0	100
Zona 2	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 3	6	0	0		6		100	0	0	100
Zona 4	2	0	5		7		28.571	0	71.429	100
Suma de Registros	12	0	5		17		70.588	0	29.412	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	1		1		0	0	100	100
Zona 2	1	2	0		3		33.333	66.667	0	100
Zona 3	6	0	0		6		100	0	0	100
Zona 4	7	0	0		7		100	0	0	100
Suma de Registros	14	2	1		17		82.353	11.765	5.8824	100

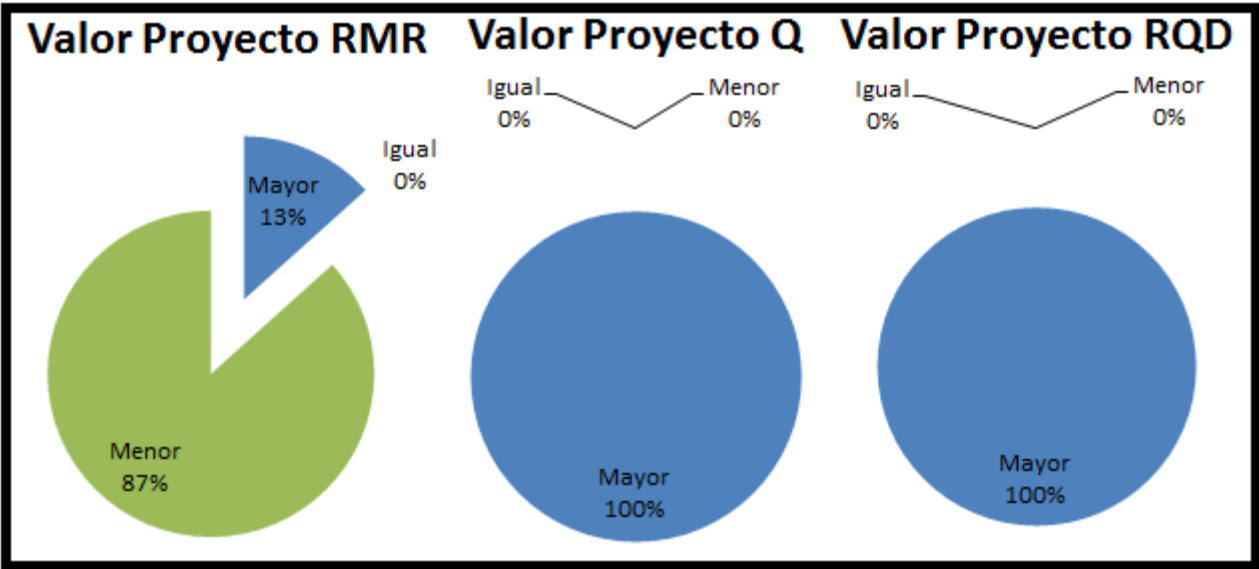


Anexo 92

Túnel Roblar de la Cueva

Túnel: Roblar de la Cueva	Zona	RMR			Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	30	37	48	0.19	0.03	0.018	29	5	9
Ignimbrita y Riolita		30	37	48	0.29	0.03	0.018	26	5	9
Ignimbrita y Riolita		29	37	48	0.65	0.03	0.018	39	5	9
Ignimbrita y Riolita		32	37	48	0.65	0.03	0.018	39	5	9
Ignimbrita y Riolita	2	30	45	52	0.60	0.02	0.36	36	5	9
Ignimbrita y Riolita		25	45	52	0.43	0.02	0.36	39	5	9
Ignimbrita y Riolita	3	30	34		0.47	0.007		42	0	
Ignimbrita y Riolita		27	34		0.32	0.007		29	0	
Ignimbrita y Riolita		17	34		0.08	0.007		10	0	
Ignimbrita y Riolita	4	36	28		0.64	0.003		29	0	
Ignimbrita y Riolita		31	28		0.87	0.003		26	0	
Ignimbrita y Riolita		24	28		1.30	0.003		39	0	
Ignimbrita y Riolita		19	28		0.08	0.003		9	0	
Ignimbrita y Riolita		19	28		0.11	0.003		13	0	
Ignimbrita y Riolita		17	28		0.08	0.003		10	0	

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	4		4		0	0	100	100
Zona 2	0	0	2		2		0	0	100	100
Zona 3	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 4	2	0	4		6		33.333	0	66.667	100
Suma de Registros	2	0	13		15		13.333	0	86.667	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	0	0		4		100	0	0	100
Zona 2	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 4	6	0	0		6		100	0	0	100
Suma de Registros	15	0	0		15		100	0	0	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	0	0		4		100	0	0	100
Zona 2	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 4	6	0	0		6		100	0	0	100
Suma de Registros	15	0	0		15		100	0	0	100



Anexo 93

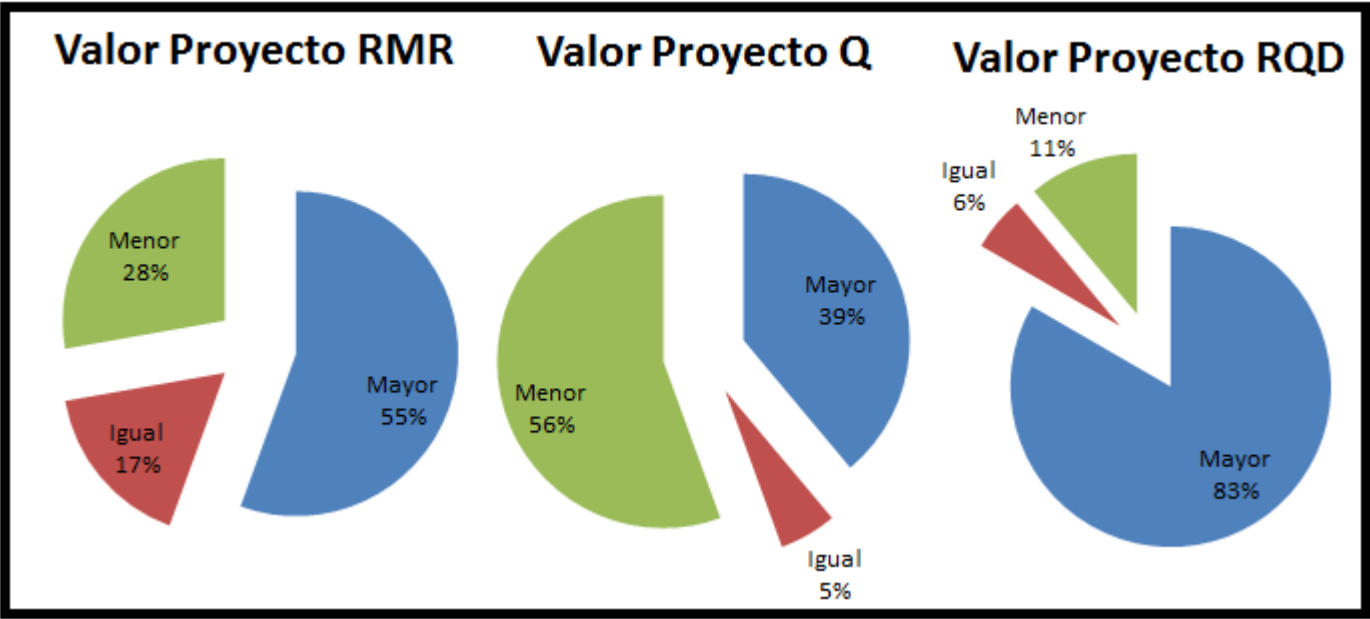
Túnel Cerro de las Mesas

Túnel: Cerro de las Mesas	Zona	RMR			Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto		Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbrita y Riolita	1	30	37	45	0.07	0.333	0.5	16	20	
Ignimbrita y Riolita		24	37	45	0.10	0.333	0.5	23	20	
Ignimbrita y Riolita		30	37	45	0.87	0.333	0.5	49	20	
Ignimbrita y Riolita		46	37	45	1.09	0.333	0.5	49	20	
Ignimbrita y Riolita		47	37	45	1.53	0.333	0.5	46	20	
Ignimbrita y Riolita		47	37	45	1.53	0.333	0.5	46	20	
Ignimbrita y Riolita	2	39	50	53	0.35	1.75	2.25	39	35	45
Ignimbrita y Riolita		32	50	53	0.09	1.75	2.25	29	35	45
Ignimbrita y Riolita		51	50	53	0.41	1.75	2.25	46	35	45
Ignimbrita y Riolita		51	50	53	0.93	1.75	2.25	56	35	45
Ignimbrita y Riolita	3	51	42	37	0.87	1.75	2.25	52	35	15
Ignimbrita y Riolita		52	42	37	2.07	1.75	2.25	62	35	15
Ignimbrita y Riolita		52	42	37	1.39	1.75	2.25	52	35	15
Ignimbrita y Riolita	4	51	53	50	0.69	2	2.25	52	45	40
Ignimbrita y Riolita		56	53	50	1.65	2	2.25	62	45	40
Ignimbrita y Riolita	5	56	45	53	2.07	0.66	2	62	20	40
Ignimbrita y Riolita		56	45	53	2.30	0.66	2	69	20	40
Ignimbrita y Riolita		56	45	53	2.30	0.66	2	69	20	40

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	3		6		50	0	50	100
Zona 2	0	2	2		4		0	50	50	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 4	1	1	0		2		50	50	0	100
Zona 5	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	10	3	5		18		55.556	16.667	27.778	100

Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	0	2		6		66.667	0	33.333	100
Zona 2	0	0	4		4		0	0	100	100
Zona 3	0	1	2		3		0	33.333	66.667	100
Zona 4	0	0	2		2		0	0	100	100
Zona 5	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	7	1	10		18		38.889	5.5556	55.556	100

Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	5	0	1		6		83.333	0	16.667	100
Zona 2	2	1	1		4		50	25	25	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 4	2	0	0		2		100	0	0	100
Zona 5	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	15	1	2		18		83.333	5.5556	11.111	100

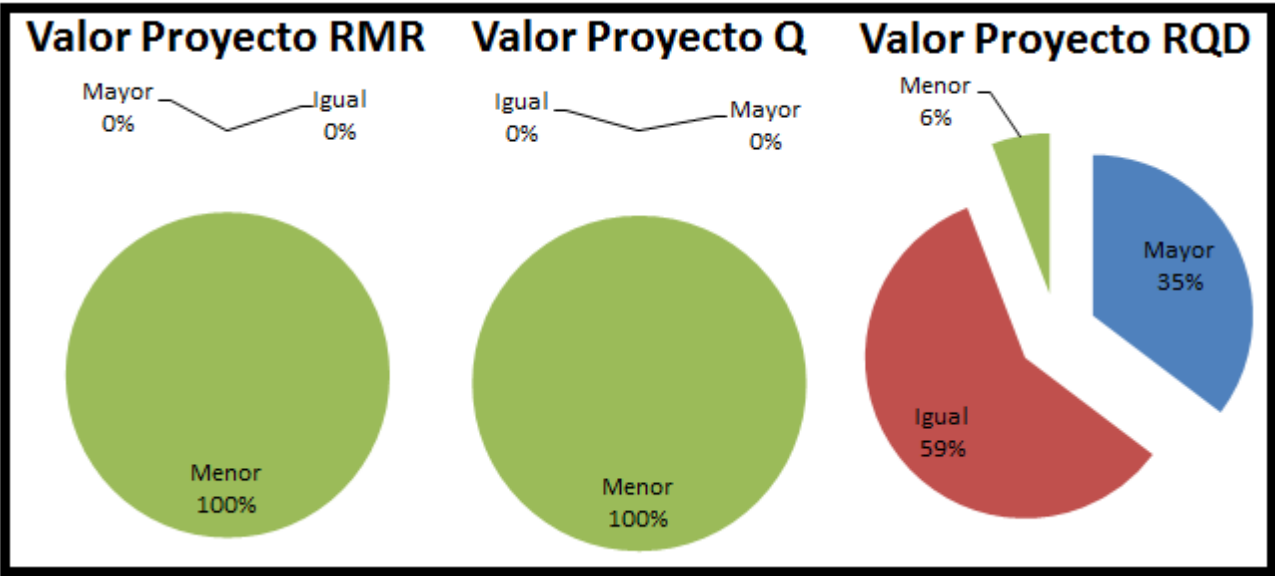


Anexo 94

Túnel El Nacaral

Túnel: El Nacaral	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Ignimbritas y Riolitas	1	29	45	0.65	3	39	10	
Ignimbritas y Riolitas		37	45	0.60	3	36	10	
Ignimbritas y Riolitas		26	45	1.30	3	52	10	
Ignimbritas y Riolitas	2	25	70	0.98	23	39	33	65
Ignimbritas y Riolitas		26	70	0.16	23	19	33	65
Ignimbritas y Riolitas		23	70	0.16	23	46	33	65
Ignimbritas y Riolitas		30	70	6.20	23	62	33	65
Ignimbritas y Riolitas		28	70	1.55	23	62	33	65
Ignimbritas y Riolitas		28	70	1.48	23	59	33	65
Ignimbritas y Riolitas		53	70	2.07	23	62	33	65
Ignimbritas y Riolitas		53	70	4.65	23	62	33	65
Ignimbritas y Riolitas		53	70	1.87	23	56	33	65
Ignimbritas y Riolitas		53	70	1.87	23	56	33	65
Ignimbritas y Riolitas		36	70	1.97	23	59	33	65
Ignimbritas y Riolitas		19	43	0.16	43	13	10	
Ignimbritas y Riolitas	3	24	43	0.47	43	42	10	
Ignimbritas y Riolitas		26	43	0.36	43	32	10	

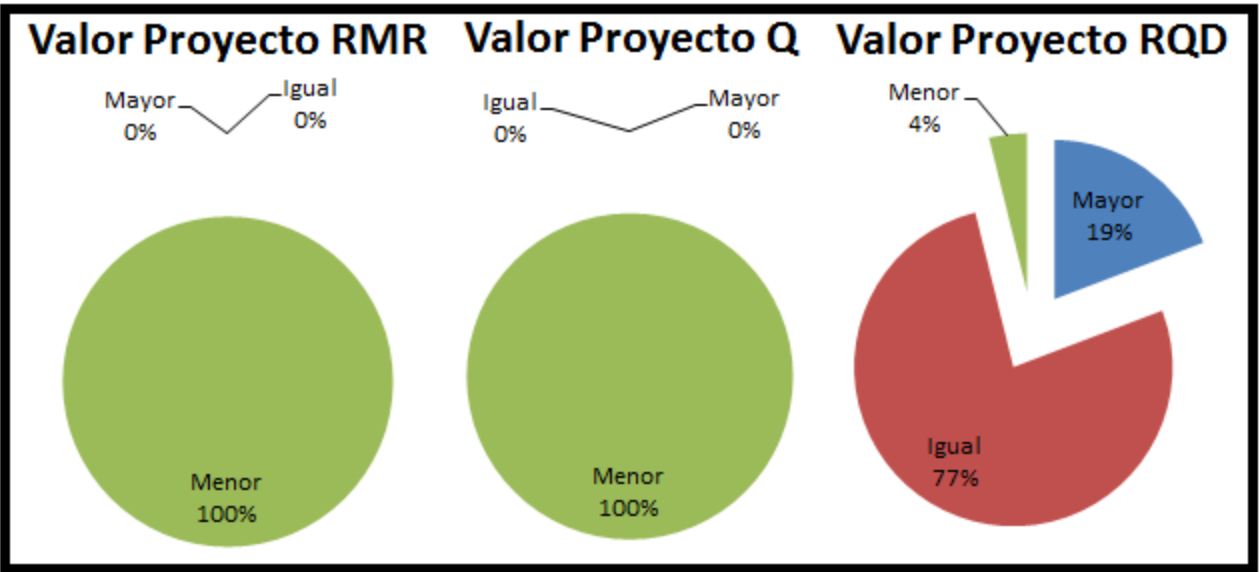
Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 2	0	0	11		11		0	0	100	100
Zona 3	0	0	3		3		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	17		17		0	0	100	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	3		3		0	0	100	100
Zona 2	0	0	11		11		0	0	100	100
Zona 3	0	0	3		3		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	17		17		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	3	0	0		3		100	0	0	100
Zona 2	0	10	1		11		0	90.909	9.0909	100
Zona 3	3	0	0		3		100	0	0	100
Suma de Registros	6	10	1		17		35.294	58.824	5.8824	100



Túnel Cerro Las Palomas

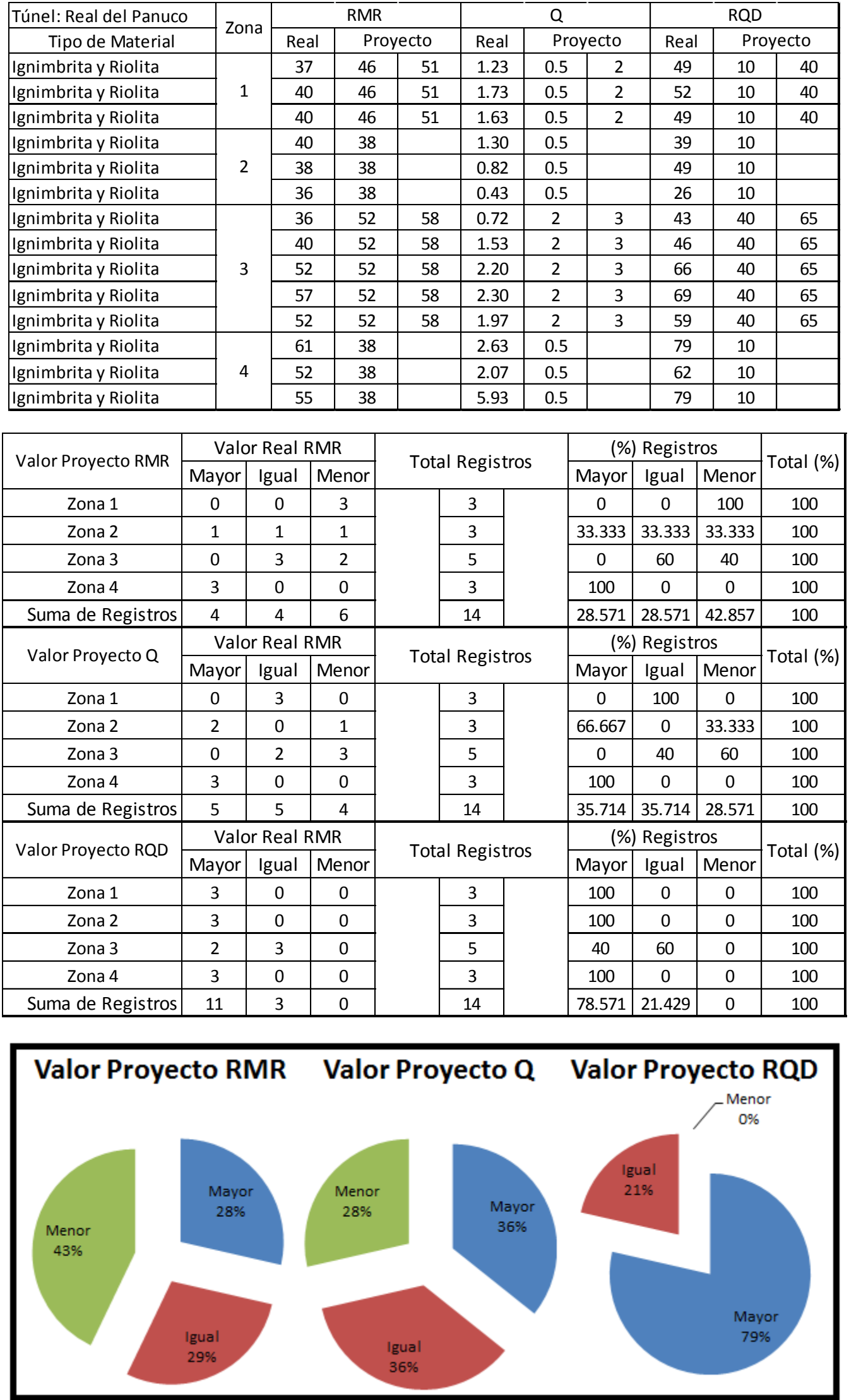
Túnel: Cerro Las Palomas	Zona	RMR		Q			RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto		Real	Proyecto	
Ignimbritas y Riolitas	1	29	62	0.06	5	10	23	9	28
Ignimbritas y Riolitas		25	62	0.02	5	10	9	9	28
Ignimbritas y Riolitas		29	62	0.06	5	10	26	9	28
Ignimbritas y Riolitas		24	62	0.14	5	10	26	9	28
Ignimbritas y Riolitas		30	62	0.06	5	10	26	9	28
Ignimbritas y Riolitas		28	62	0.48	5	10	36	9	28
Ignimbritas y Riolitas		27	62	0.48	5	10	36	9	28
Ignimbritas y Riolitas		20	62	0.62	5	10	23	9	28
Ignimbritas y Riolitas		24	62	0.33	5	10	39	9	28
Ignimbritas y Riolitas		25	62	0.60	5	10	36	9	28
Ignimbritas y Riolitas		24	70	0.44	15	25	49	31	56
Ignimbritas y Riolitas		29	70	0.93	15	25	56	31	56
Ignimbritas y Riolitas	2	30	70	1.16	15	25	52	31	56
Ignimbritas y Riolitas		30	70	1.73	15	25	52	31	56
Ignimbritas y Riolitas		26	70	0.82	15	25	49	31	56
Ignimbritas y Riolitas		27	70	0.58	15	25	52	31	56
Ignimbritas y Riolitas		25	70	0.41	15	25	49	31	56
Ignimbritas y Riolitas		63	70	1.87	15	25	56	31	56
Ignimbritas y Riolitas		48	70	0.93	15	25	56	31	56
Ignimbritas y Riolitas		44	70	1.30	15	25	39	31	56
Ignimbritas y Riolitas		44	70	0.26	15	25	39	31	56
Ignimbritas y Riolitas		46	70	0.35	15	25	39	31	56
Ignimbritas y Riolitas		49	68	0.62	12.5		37	21	37
Ignimbritas y Riolitas		27	68	0.26	12.5		29	21	37
Ignimbritas y Riolitas	3	27	68	0.26	12.5		16	21	37
Ignimbritas y Riolitas		30	68	1.63	12.5		49	21	37

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 2	0	0	12		12		0	0	100	100
Zona 3	0	0	4		4		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	26		26		0	0	100	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	0	0	10		10		0	0	100	100
Zona 2	0	0	12		12		0	0	100	100
Zona 3	0	0	4		4		0	0	100	100
Suma de Registros	0	0	26		26		0	0	100	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	4	6	0		10		40	60	0	100
Zona 2	0	12	0		12		0	100	0	100
Zona 3	1	2	1		4		25	50	25	100
Suma de Registros	5	20	1		26		19.231	76.923	3.8462	100



Anexo 96

Túnel Real Pánuco

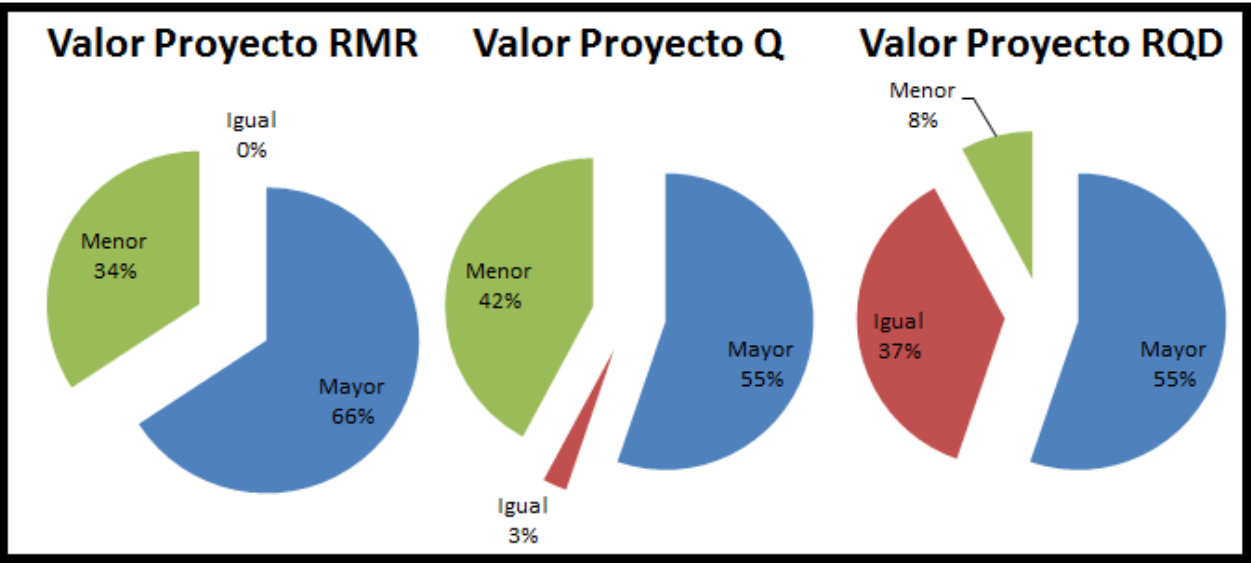


Anexo 97

Túnel El Cantil

Túnel: El Cantil	Zona	RMR		Q		RQD		
Tipo de Material		Real	Proyecto	Real	Proyecto	Real	Proyecto	
Andesita y Brecha	1	38	29	0.1	0.1	10	0	20
Andesita y Brecha		54	29	0.17	0.1	26	0	20
Andesita y Brecha		61	29	0.43	0.1	65	0	20
Andesita y Brecha		26	29	0.004	0.1	0	0	20
Andesita y Brecha		42	29	0.08	0.1	3	0	20
Andesita y Brecha		41	29	0.22	0.1	26	0	20
Andesita y Brecha		58	29	0.26	0.1	39	0	20
Andesita y Brecha		53	29	0.12	0.1	26	0	20
Andesita y Brecha		46	29	0.12	0.1	42	0	20
Andesita y Brecha		46	29	0.23	0.1	42	0	20
Andesita y Brecha		46	29	0.77	0.1	46	0	20
Andesita y Brecha		36	29	0.16	0.1	49	0	20
Andesita y Brecha		38	29	0.45	0.1	36	0	20
Andesita y Brecha		44	29	0.82	0.1	49	0	20
Andesita y Brecha		42	29	0.82	0.1	49	0	20
Andesita y Brecha		41	29	0.77	0.1	46	0	20
Andesita y Brecha		48	29	0.87	0.1	52	0	20
Andesita y Brecha		49	29	0.87	0.1	52	0	20
Andesita y Brecha		44	29	0.87	0.1	52	0	20
Andesita y Brecha		56	29	0.87	0.1	52	0	20
Andesita y Brecha	2	51	58	0.87	17.5	52	50	80
Andesita y Brecha		51	58	0.87	17.5	52	50	80
Andesita y Brecha		42	58	0.82	17.5	49	50	80
Andesita y Brecha		56	58	1.31	17.5	59	50	80
Andesita y Brecha		56	58	1.35	17.5	72	50	80
Andesita y Brecha		51	58	0.33	17.5	59	50	80
Andesita y Brecha		43	58	0.2	17.5	49	50	80
Andesita y Brecha		63	58	2.76	17.5	62	50	80
Andesita y Brecha		56	58	2.49	17.5	56	50	80
Andesita y Brecha		51	58	0.29	17.5	52	50	80
Andesita y Brecha		54	58	0.23	17.5	56	50	80
Andesita y Brecha		57	58	0.29	17.5	69	50	80
Andesita y Brecha	3	50	58	0.93	17.5	42	50	80
Andesita y Brecha		37	34	0.43	0.83	39	20	40
Andesita y Brecha		68	34	3.2	0.83	72	20	40
Andesita y Brecha		68	34	4.6	0.83	69	20	40
Andesita y Brecha		68	34	2.07	0.83	62	20	40
Andesita y Brecha		69	34	1.95	0.83	78	20	40

Valor Proyecto RMR	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	19	0	1		20		95	0	5	100
Zona 2	1	0	12		13		7.6923	0	92.308	100
Zona 3	5	0	0		5		100	0	0	100
Suma de Registros	25	0	13		38		65.789	0	34.211	100
Valor Proyecto Q	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	17	1	2		20		85	5	10	100
Zona 2	0	0	13		13		0	0	100	100
Zona 3	4	0	1		5		80	0	20	100
Suma de Registros	21	1	16		38		55.263	2.6316	42.105	100
Valor Proyecto RQD	Valor Real RMR			Total Registros			(%) Registros			Total (%)
	Mayor	Igual	Menor				Mayor	Igual	Menor	
Zona 1	17	3	0		20		85	15	0	100
Zona 2	0	10	3		13		0	76.923	23.077	100
Zona 3	4	1	0		5		80	20	0	100
Suma de Registros	21	14	3		38		55.263	36.842	7.8947	100



Anexo 98 Túnel El Guineo

Túnel El Guineo	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Tubería de Enfilaje Ranurada de 4 " de diámetro, L= 12m @ 40 cm, y 4 m de Traslape		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla " de 1 1/2" de diámetro				Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 200 kg/cm²		Anclas de Fricción		Marcos Metálicos IR 254 (44.8 kg/cm) Rastras Metálicas S-AR 325x305 (103.16 kg/m))								Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 12m, =.4 x 8m)	Real	Proyecto	Real (42 piezas, 1 1/2" Diámetro y 12 m de longitud @ 74 cm en dos aureolas)	Real (1 1/2" x 6 m @ 0.74 m)	Real (35 Piezas @ 70 cm, 1 1/2" Diámetro, +25°)	Real (13 Piezas @ 2 m, 1 1/2" Diámetro, +15°)	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto	Real (Anclas de 1" x 6m en patrón 2 x 1.5m)	Proyecto (@ 1m)	Real (Marcos IR 254, 15 @ 0.5 m, Sencillos)	Real (Marcos IR 254, 44 @ 1m, Dobles)	Real (Marcos IR 305, 11 @ 1m)	Real (Marcos IR 305 @ 1.2m, 58 piezas)	Real (Marcos IR 305, 12 @ 1m)	Real (Marcos IR 254, 24 @ 1m, Dobles)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	50	4.4	66	1	✓			✓	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✓
Ignimbrita y Riolita	50	4.8	72	2	✖			✓	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Ignimbrita y Riolita	50	4.13	62	2	✖			✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Ignimbrita y Riolita	50	3.47	52	2	✖			✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Andesita y Brecha	42	0.18	42	4	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Andesita y Brecha	51	4.13	62	2	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Andesita y Brecha	47	1.08	65	3	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✓
Andesita y Brecha	45	1.15	66	2	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	49	1.32	79	2	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	45	0.93	56	1	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	38	0.55	33	1	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	45	1.03	62	1	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	35	0.77	46	-	✖			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	32	0.38	23	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	42	1.25	75	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	31	0.38	23	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	38	1.01	60	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	31	0.38	23	5	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	34	0.77	46	5	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	34	0.5	30	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	34	0.83	50	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	37	0.67	40	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	48	1.33	80	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	37	0.67	40	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	48	1.33	80	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	37	0.75	45	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✓
Andesita y Brecha	44	1.1	66	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✓
Andesita y Brecha	39	0.58	30	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✖		✓
Andesita y Brecha	50	1.37	82	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✓
Andesita y Brecha	44	0.54	49	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✓
Ignimbrita y Riolita	44	0.54	49	3	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	44	0.37	33	2	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	51	0.58	52	2	✓			✖	✓	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	51	0.58	52	2	✓			✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	51	0.62	56	2	✓			✖	✖	✖	✖	✓	✖		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	36	0.34	39	2	✓			✖	✖	✖	✖	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	41	0.39	42	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	56	2.5	75	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	43	0.16	62	1	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	33	0.14	49	1	✖			✖	✖	✓	✓	✖	✖		✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖

Anexo 99 Túnel El Varal (1 de 2)

Túnel El Varal	RMR		Q	RQD	Fallas Presentes	Tubería de Enfilaje Ranurada de 4" de Diámetro, L=12m @ 40cm, y 4 m de Traslape		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" de diámetro					Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 200 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" Diámetro							Marcos Metálicos IR 254 (44.8 kg/m) Rastras Metálicas S-AR 325 x 305 (103.16 Kg/m)						Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 250 kg/cm²			
	Real	Real	Real	Proyecto (L= 12m, 0.4 x 8 m)		Real	Proyecto (Zona de Enfilaje Pesado)	Real (1 1/2" diámetro y 12 m longitud @ 74 cm en dos aureolas)	Real	Real (8 Abanicos de 24 pza)	Real (Abanico Inicial)	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (L= 6m, 2 x 2 m)	Real (1" x 6m, Patrón 1 x 1.5m)	Real (Anclaje Sistemático de Proyecto)	Real (9m x 1" Adicionales)	Real (6m x 1" Adicionales)	Real (Anclaje Incompleto)	Real (Anclas Radiales Fuera de Proyecto)	Proyecto @ 1m	Real (8 @ 1m Sencillos IR 254)	Real (36 @ 1m Marcos Dobles (72 pza) IR 254)	Real (15 @ 1m, Marcos Pesados IR 305)	Real (43 @ 1m, IR 12" x 12")	Real (45 @ 1m, IR 12" x 12")	Proyecto	Real (8 @ 1m)	Real (36 @ 1m)	Real (24 @ 1m)	
Material																															
Ignimbrita y Riolita	31	0.2	9	1	✓		✓	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	35	0.38	0	1	✓		✓	✓	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×		✓	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	28	0.38	0	2	✓		✓	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×		×	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	26	0.38	0	1	✓		✓	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×		×	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	26	0.38	0	2	✓		✓	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×		×	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	26	0.38	0	2	✓		✓	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×		×	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	35	1.84	49	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×		×	✓	×	
Ignimbrita y Riolita	31	0.13	30	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	31	0.13	40	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	38	0.25	59	3	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	25	0.15	36	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	25	0.16	39	3	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	25	0.18	42	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	35	0.26	63	4	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	30	0.19	46	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	37	0.22	52	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	34	0.08	10	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	44	0.63	75	2	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	28	0.08	0	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	50	0.68	82	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	41	0.58	69	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	42	2.4	36	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	49	3.73	56	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	49	4.13	62	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	49	4.13	62	1	✓		✓	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	49	4.33	65	3	✓		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	20	0.13	0	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	43	0.7	65	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Andesita y Brecha	20	0.13	0	2	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Andesita y Brecha	43	0.8	60	2	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Andesita y Brecha	25	0.13	0	2	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Andesita y Brecha	35	0.8	60	2	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	25	0.13	0	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	28	0.48	36	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	42	0.62	46	2	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	57	1.16	52	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	63	4.62	52	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	50	1.1	66	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	67	5.87	66	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	68	6.13	69	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	68	6.13	69	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	52	1.4	42	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	44	0.83	25	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	58	1.67	50	1	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	44	1.33	40	3	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	59	2	60	3	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	44	1	30	4	×		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	
Ignimbrita y Riolita	59	2	60	4	×		×																								

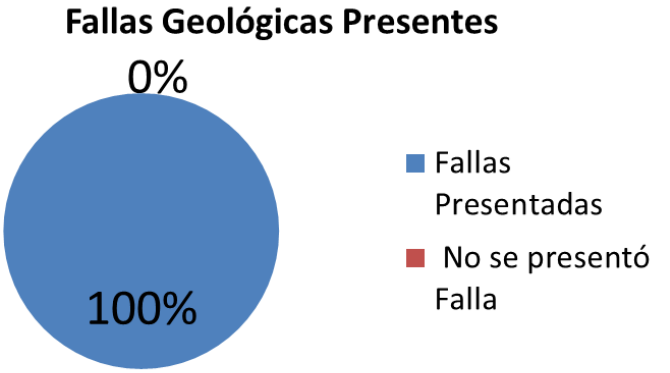
Túnel El Varal (2 de 2)

Túnel El Varal	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Tubería de Enfilaje Ranurada de 4" de Diámetro, L=12m @ 40cm, y 4 m de Traslape		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" de diámetro					Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 200 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" Diámetro							Marcos Metálicos IR 254 (44.8 kg/m) Rastras Metálicas S-AR 325 x 305 (103.16 Kg/m)						Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 250 kg/cm²				
	Real	Real	Real		Proyecto (L= 12m, 0.4 x 8 m)	Real	Proyecto (Zona de Enfilaje Pesado)	Real (1 1/2" diámetro y 12 m longitud @ 74 cm en dos aureolas)	Real	Abanicos (8 de 24 pza)	Real (Abanico Inicial)	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (L= 6m, 2 x 2 m)	Real (1" x 6m, Patrón 1 x 1.5m)	Real (Anclaje Sistemático de Proyecto)	Real (9m x 1" Adicionales)	Real (6m x 1" Adicionales)	Real (Anclaje Incompleto)	Real (Anclas Radiales Fuera de Proyecto)	Proyecto @ 1m	Real (8 @ 1m Sencillos IR 254)	Real (36 @ 1m Marcos Dobles (72 pza) IR 254)	Real (15 @ 1m, Marcos Pesados IR 305)	Real (43 @ 1m, IR 12" x 12")	Real (45 @ 1m, IR 12" x 12")	Proyecto	Real (8 @ 1m)	Real (36 @ 1m)	Real (24 @ 1m)	
Material																															
Ignimbrita y Riolita	56	4	60	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	47	2.67	40	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	40	1.6	40	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	40	1.6	40	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	45	1.2	30	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	2	30	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	66	6.13	92	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	66	6.13	92	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	66	6.13	92	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	2	30	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	66	6.13	92	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	65	5.67	85	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	68	6.13	92	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	68	6.33	95	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	63	6.33	95	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	63	6.13	92	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	63	6.13	92	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	60	6.67	85	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	63	5.67	100	-	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	63	6.13	92	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	56	4.8	72	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.6	69	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	57	5.47	82	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.13	62	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	5	75	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	46	2.8	42	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.6	69	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.13	62	3	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.13	62	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	5	75	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.8	72	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.6	52	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	3.47	69	2	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.13	62	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.8	72	1	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	46	3.73	56	3	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	43	0.67	0	4	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	53	4.8	72	4	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	44	3.07	46	4	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	3.93	59	4	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	41	0.67	0	3	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	0.67	40	3	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	56	2.67	50	1	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	56	2.67	60	1	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	54	3.33	30	2	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	61	4	65	2	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	54	2	30	3	✓	✓	x																								

Anexo 100 Túnel Los Otates

Túnel Los Otates	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" de Diámetro.			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²		Anclas de Fricción de 1" de Diámetro		Marcos Metálicos IPR 12" x 12" de 97 Kg/m			Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto	Real (Anclas @ 0.5 m, 46)	Real (Anclas @ 0.5 y 1 m, 36)	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (L= 6m, 2 x 2 m)	Real (L= 6m, 2 x 2 m)	Proyecto (21 Pza @ 1 m)	Real (8 Pza @ 1m)	Real (15 Pza @ 1m)	Proyecto	Real (8 Pza @ 1m)
Ignimbrita y Riolita	53	1.02	69	3		x	x	x	✓	x	x	x	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	65	3.07	69	3		x	x	x	✓	x	x	x	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	53	1.02	62	3		✓	x	x	✓	x	x	x	✓	x		✓
Ignimbrita y Riolita	65	3.07	62	3		✓	x	x	✓	x	x	x	✓	x		✓
Ignimbrita y Riolita	53	0.83	56	2		✓	x	✓	✓	x	x	✓	✓	x		✓
Ignimbrita y Riolita	65	2.49	56	2		✓	x	✓	✓	x	x	✓	✓	x		✓
Ignimbrita y Riolita	53	0.87	59	2		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	65	3.33	75	2		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	58	2.49	56	4		x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	65	2.76	62	3		x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	58	3.07	69	4		x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x		x
Andesita y Brecha	58	3.07	69	4		x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x		x
Andesita y Brecha	51	1.87	42	3		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x		✓
Andesita y Brecha	53	2.18	49	2		x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	53	2.18	49	2		x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	✓		x
Ignimbrita y Riolita	48	3.6	72	1		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Ignimbrita y Riolita	71	10	100	1		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x

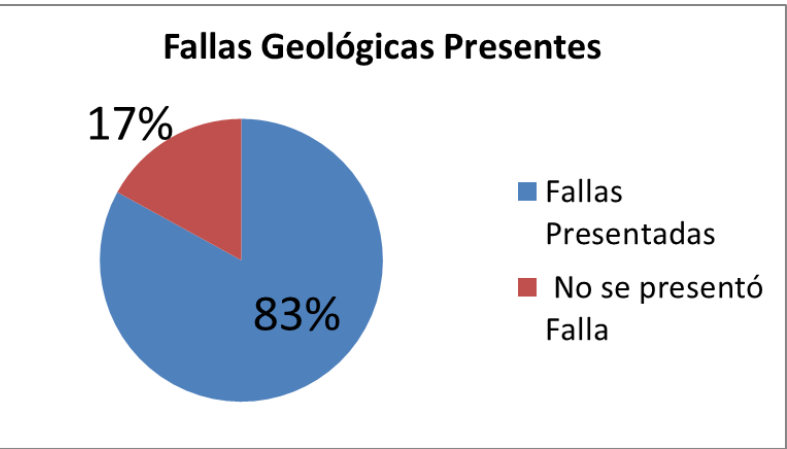
Túnel - Los Otates	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	35	7	65	13
Concreto Lanzado	65	21.6645	35	11.6655	88	17.6	12	2.4
Anclas de Fricción	41	13.6653	59	19.6647	47	9.4	53	10.6
Marcos Metálicos	41	13.6653	59	19.6647	35	7	65	13
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	35	7	65	13
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	48.9951	3	50.9949	5	48	5	52



Anexo 101 Túnel Guamúchil

Túnel Guamúchil	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" de diámetro		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 250 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" de diámetro				Marcos Metálicos IPR 12"x12" de 97 kg/m				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 250 kg/cm²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=9m, Aureolas de 9 pza @ 10m)	Real	Proyecto	Real (Anclas @ 1m)	Proyecto	Real	Proyecto (L=9m, 1.5 x 2 m)	Proyecto (L=9m, 1 x 1.5 m)	Proyecto (L=9m, 1.5 x 2 m)	Real (L=9m, 1 x 1.5 m)	Proyecto (21 pza @ 1m)	Proyecto (17 pza @ 1m)	Real (7 pza @ 1m)	Real (17 pza @ 1m)	Proyecto	Real (6 pza @ 1m)	Real
Ignimbrita y Riolita	57	12.75	85	-	✓			✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	50	9.9	66	-	✓			✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗		✓	✗
Ignimbrita y Riolita	66	9.9	66	-	✓			✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗		✓	✗
Ignimbrita y Riolita	51	8.4	56	1	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗		✓	✗
Ignimbrita y Riolita	49	7.35	49	3	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	56	9.9	66	3	✓			✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	59	8.85	59	5	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	63	9.3	62	5	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	61	7.8	52	3	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	41	4.95	33	4	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	48	7.8	52	2	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	42	1.58	42	3	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	57	2.21	52	3	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	57	2.21	59	3	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	57	1.95	52	4	✓			✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	56	1.66	67	3	✓			✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓		✗	✓
Ignimbrita y Riolita	55	1.37	82	4	✓			✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓		✗	✓
Ignimbrita y Riolita	56	1.25	75	1	✓			✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓		✗	✓

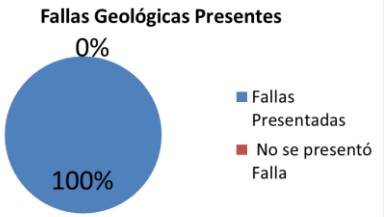
Túnel - Guamúchil	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	100	25	0	0	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	44	8.8	56	11.2
Concreto Lanzado	100	25	0	0	89	17.8	11	2.2
Anclas de Fricción	100	25	0	0	78	15.6	22	4.4
Marcos Metálicos	56	14	44	11	39	7.8	61	12.2
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	33	6.6	67	13.4
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	89	4	11	5	56.6	5	43.4



Anexo 102 Túnel Los Morillos

Túnel Los Morillos	RMR	Q	RQD		Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados	Andas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" de Diámetro.								Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²		Andas de Fricción de 1" de Diámetro			Marcos Metálicos IPR 12" x 12" de 97 kg/m														Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real	Fallas Presentes	Proyecto (L= 9m, Aureolas de 9 Pza @ 15m)	Real	Proyecto (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m, 1 Aureola, 60)	Proyecto (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m, 1 Aureola, 57)	Proyecto (L=12m x 1 1/2" @ 0.3 y 0.5 m, 1 Aureola, 97)	Real (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m, 1 Aureola, 60)	Real (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m, 1 Aureola, 57)	Real (L=12m x 1 1/2" @ 0.3 y 0.5 m, 1 Aureola, 28)	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (L=9m, 2 x 2 m)	Proyecto (L=9m, 1.5 x 1.5 m)	Real (L=9m, 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (15 Pza @ 1m)	Proyecto (16 Pza @ 1m)	Proyecto (23 Pza @ 1m)	Proyecto (21 Pza @ 1m)	Real (15 Pza @ 1m)	Real (6 Pza @ 1m)	Real (7 Pza @ 1.5 m)	Real (3 Pza @ 1.5 m)	Real (18 Pza @ 1 m)	Real (14 Pza @ 1 m)	Real (7 Pza @ 1 m)	Proyecto	Real				
Ignimbrita y Riolita	41	0.62	56	2	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	31	0.26	23	2	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	33	0.37	32	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓		
Ignimbrita y Riolita	36	0.47	42	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓		
Ignimbrita y Riolita	34	0.47	42	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	✓	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓		
Ignimbrita y Riolita	41	0.69	62	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.43	39	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	41	0.58	52	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.51	46	6	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	41	0.58	52	6	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.51	46	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	41	0.58	52	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.37	33	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.37	33	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	44	0.58	52	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.4	36	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	44	0.77	69	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.37	33	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	44	0.69	62	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.21	19	2	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	44	0.58	52	2	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.14	13	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.54	49	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.26	23	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.37	33	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.32	29	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	44	0.73	66	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.29	26	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.54	49	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.32	29	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.77	46	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	37	0.54	49	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	✓	*	*	✓	*	✓	*	✓	*	*	*	*	*	✓		
Ignimbrita y Riolita	44	0.93	56	1	✓		✓	*	*	✓	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	✓	*	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	✓		
Ignimbrita y Riolita	37	0.7	42	1	✓		✓	*	*	✓	*	*	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ignimbrita y Riolita	34	0.17	0	2	*		✓	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	47	1.17	70	2	*		✓	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	49	0.49	59	1	*		*	✓	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	50	1.3	39	5	✓		*	✓	*	*	✓	*	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	49	1	30	4	✓		*	✓	*	*	✓	*	*	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	56	2.33	70	4	✓		*	✓	*	*	✓	*	*	✓	✓	✓	✓	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	49	1	30	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	49	1.67	50	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	49	1.33	40	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	49	1.67	50	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	
Ignimbrita y Riolita	46	0.33	0	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	56	2	60	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	46	0.77	23	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	56	2.5	75	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	49	1.33	39	3	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	49	1.3	40	4	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	*	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	42	0.33	10	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	45	1.67	50	5	✓		*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	45	1.1	33	3	✓		*	*	✓	*	*	*	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	45	1.4	42	3	✓		*	*	✓	*	*	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	38	1.1	33	3	✓		*	*	✓	*	*	*	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	✓	
Ignimbrita y Riolita	45	1.4	42	3	✓		*	*	*	*	*	*	✓	✓	✓	✓	*	*	*	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	38	1.4	42	1	*		*	*	✓	*	*	*	✓	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	✓

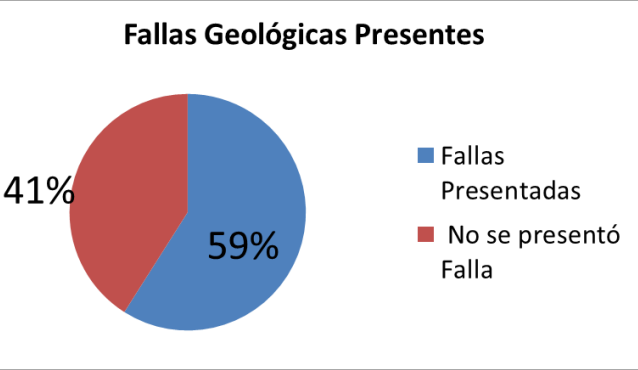
Túnel - Los Morillos	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	91	18.2	9	1.8	-	-	-	-
Andas de Fricción "Jaula de Ardilla"	23	4.6	77	15.4	23	4.6	77	15.4
Concreto Lanzado	91	18.2	9	1.8	91	18.2	9	1.8
Andas de Fricción	91	18.2	9	1.8	47	9.4	53	10.6
Marcos Metálicos	26	5.2	74	14.8	37	7.4	63	12.6
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	35	7	65	13
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	64.4	5	35.6	5	46.6	5	53.4



Anexo 103 Túnel El Carrizo I

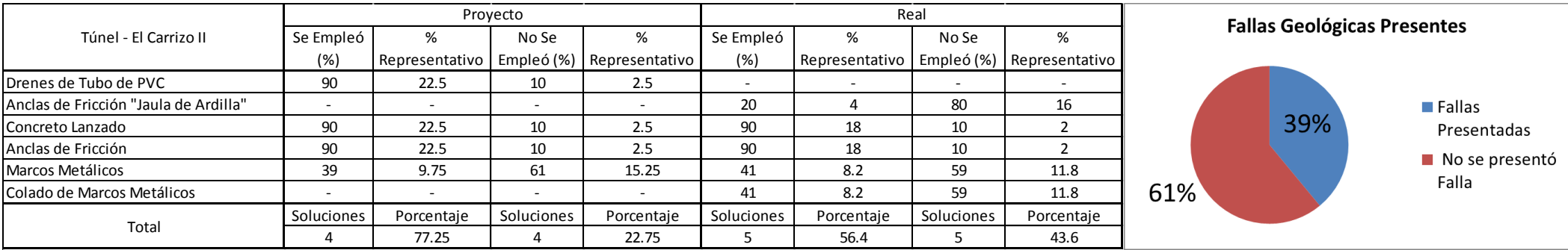
Túnel El Carrizo I	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de diametro, ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla de 1 1/2" de diametro		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" de diámetro				Marcos Metalicos IPR 12" x 12" de 97 kg/m			Colado de Marcos Metalicos con Concreto Hidraulico f'c= 250 kg/cm²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=9m, Aureolas de 9 pza @ 10m)	Real	Proyecto	Real	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (L=9m P=1 x 1 m)	Proyecto (L=9m P=1.5 x 1.5 m)	Proyecto (L=9m P=1.5 x 2 m)	Real	Proyecto (34 pza @ 1 m)	Proyecto (11 pza @ 1.5m)	Real	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	49	1.13	30	-	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	49	1.13	40	-	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	48	4.6	46	1	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	43	6	40	-	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Andesita y Brecha	43	6	40	-	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	20	0.07	20	2	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	25	0.12	20	2	✓				✓		✓	✗	✗		✓	✗			
Ignimbrita y Riolita	58	9.3	62	-	✓				✓		✓	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	51	5.85	39	-	✓				✓		✗	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	51	6.3	42	-	✓				✓		✗	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	42	4.4	33	1	✓				✓		✗	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	42	8	60	1	✓				✓		✗	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	42	8.8	66	1	✓				✓		✗	✓	✗		✗	✗			
Ignimbrita y Riolita	42	6.93	52	1	✓				✓		✗	✓	✓		✗	✓			
Andesita y Brecha	42	3.93	59	1	✓				✓		✗	✗	✓		✗	✓			
Andesita y Brecha	35	0.28	33	2	✗				✗		✗	✗	✓		✗	✗			
Andesita y Brecha	42	0.47	56	1	✗				✗		✗	✗	✓		✗	✗			

Túnel - El Carrizo I	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	88	22	12	3	-	-	-	-
Concreto Lanzado	88	22	12	3	-	-	-	-
Anclas de Fricción	100	25	0	0	-	-	-	-
Marcos Metálicos	53	13.25	47	11.75	-	-	-	-
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	82.25	4	17.75	0	0	0	0



Anexo 104 Túnel El Carrizo II

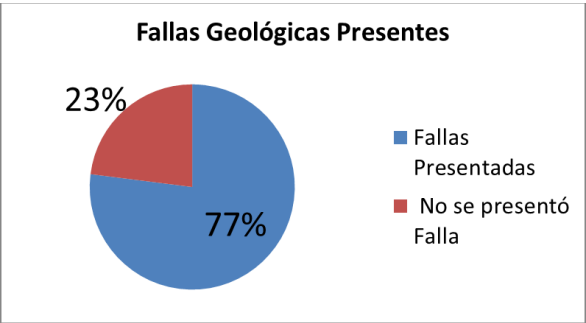
Túnel El Carrizo II	RMR	Q	RQD	Fallas Geológicas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de diametro, ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla de 1 1/2" de diametro		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" de diámetro					Marcos Metalicos IPR 12" x 12" de 97 kg/m								Colado de Marcos Metalicos con Concreto Hidraulico f'c= 250 kg/cm²						
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=9m, Aureolas de 9 pza @ 6m)	Real	Proyecto	Real (L=12m, x 1 1/2" @ 0.5 m, 1 Aureola)	Real (L=12m, x 1 1/2" @ 0.3 m, 1 Aureola)	Proyecto (20 cm)	Real (20 cm)	Proyecto (L=9m P=2 x 2 m)	Proyecto (L=9m P=1.3 x 1.0 m)	Real (L=9m P=2 x 2 m)	Real (L=9m P=1.3 x 1.0 m)	Real (Anclas Radiales en Patrón 1.3x1.0m de 6 y 8 m de longitud)	Proyecto (6 pza @ 2 m)	Proyecto (18 pza @ 1 m)	Proyecto (21 pza @ 1 m)	Real (7 pza @ 2 m)	Real (3 pza @ 1 m)	Real (6 pza @ 1 m)	Real (18 pza @ 1 m)	Real (21 pza @ 1 m)	Proyecto	Real (7 pza @ 1 m)	Real (18 pza @ 1 m)	Real (24 pza @ 1 m)	Real (27 pza @ 1 m)	
Ignimbrita y Riolita	43	0.28	30	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	43	0.38	40	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	38	0.39	42	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	38	0.46	49	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	45	0.53	56	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	45	0.58	62	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	0.23	50	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Andesita y Brecha	25	0.12	50	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Andesita y Brecha	35	0.37	50	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	44	5.4	36	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	8.85	59	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	44	5.4	36	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	8.85	59	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	8.4	56	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	9.3	62	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	51	10.8	72	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	3.47	52	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	3.47	52	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	3.47	52	-	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	1.87	56	-	✓		✓	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x		x	x	✓	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	1.73	52	2	✓		✓	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x		x	✓	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	2.4	72	2	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	31	0.02	0	-	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	x	✓	x	x
Ignimbrita y Riolita	28	0.02	0	1	✓		x	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓		x	x	✓	x	x
Ignimbrita y Riolita	27	0.03	0	1	✓		x	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓		x	x	✓	x	x
Ignimbrita y Riolita	27	0.03	0	1	✓		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x		x	x	✓	x
Ignimbrita y Riolita	33	0.52	18	1	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Andesita y Brecha	38	1	30	2	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Andesita y Brecha	38	1.33	40	2	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	47	1.87	56	2	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Andesita y Brecha	47	1.87	56	2	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	40	0.77	23	2	✓		x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	38	0.83	25	2	✓		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	1.67	50	2	✓		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Ignimbrita y Riolita	49	1.87	49	2	✓		x	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x		x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	41	1.4	42	-	✓		✓	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓		x	x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	56	1.87	56	-	✓		✓	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓		x	x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	56	2	60	1	✓		✓	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓		x	x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	60	2.63	79	1	✓		✓	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	✓		x	x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	41	0.33	0	-	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	x	x	x	✓
Ignimbrita y Riolita	44	1.67	50	-	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	x	x	x	✓



Anexo 105 Túnel El Carrizo III

Túnel El Carrizo III	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de diámetro, ranurados			Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm²		Anclas de Fricción de 1" de diámetro				Marcos Metalicos IPR 8" x 8" de 71 kg/m						Anclaje Local en Bovda en Etapa Inicial de Túnel		Colado de Marcos Metalicos con Concreto Hidraulico f'c= 250 kg/cm²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=4 m, 10 x 2.93 m)	Proyecto (L=9 m, 15 x 2.93 m)	Real	Proyecto (L= 4m x 1", 3 x 1 m)	Real (L= 12m x 1 1/2" @ 0.5 m)	Real (L= 12m x 1 1/2" @ 0.3 m)	Proyecto (20 cm)	Real (20 cm)	Proyecto (L=6 m x 1", 2 x 2 m)	Proyecto (L=6 m x 1", 1 x 1 m)	Real (872, 1.5 x 1.5 m)	Real (884, 2 x 2 m)	Proyecto (31 pza @ 1 m)	Proyecto (73 pza @ 1.5 m)	Proyecto (11 pza @ 1 m)	Real (55 pza @ 1 m)	Real (4.5 pza @ 1.5 m)	Real (7 pza @ 1 m)	Proyecto (L=6m x 1", 1 x 1 m)	Real	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	55	6	80	-	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	45	7.13	95	-	x	x		x	✓	x	x		x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x			✓
Ignimbrita y Riolita	52	12.75	85	1	x	x		x	✓	x	x		x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	52	25.5	85	1	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓			x
Ignimbrita y Riolita	44	8.27	62	2	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓			x
Ignimbrita y Riolita	44	9.2	69	2	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓			x
Ignimbrita y Riolita	44	9.33	70	2	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	48	11.33	85	2	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	11.33	85	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	11.87	89	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	✓	✓	x	x	✓	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	11.6	87	-	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	11.33	85	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	50	1.64	23	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	48	0.73	66	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	48	0.83	75	2	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	2.06	55	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	41	2.21	59	-	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	1.48	59	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	41	0.53	21	1	✓	x		✓	x	x	✓		x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	32	1	40	-	✓	✓		✓	x	x	✓		✓	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	32	0.88	35	1	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	29	1.05	20	1	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	30	1.05	42	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	54	1.73	69	4	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	2.5	75	-	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	2.4	72	1	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	1.87	56	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	2.3	69	1	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	55	2.97	89	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	55	2.63	79	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	55	2.73	82	3	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	55	6.15	82	3	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	55	6.38	85	1	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	5.4	72	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	51	4.43	59	3	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	53	4.95	66	3	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	57	6.38	85	-	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	57	6.38	85	3	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	53	5.63	75	2	x	✓		x	x	x	✓		✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	57	5.93	79	2	x	✓		x	x	✓	✓		✓	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x			x
Ignimbrita y Riolita	53	4.95	66	-	x	✓		x	x	✓	✓		x	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x			✓
Basalto	53	4.95	66	-	x	✓		x	x	✓	✓		x	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x			✓
Basalto	40	0.75	0	-	x	✓		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x

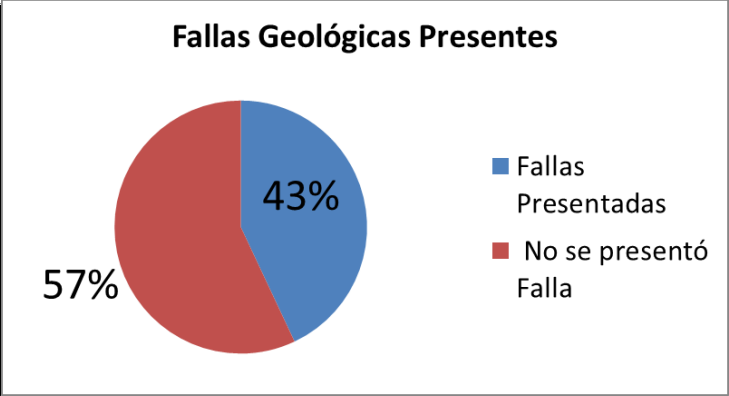
Túnel - El Carrizo III	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	91	15.16666667	9	1.5	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	37	6.166666667	63	10.5	12	3	88	22
Concreto Lanzado	88	14.66666667	12	2	-	-	-	-
Anclas de Fricción	53	8.833333333	47	7.833333333	77	19.25	23	5.75
Marcos Metálicos	44	7.333333333	56	9.333333333	26	6.5	74	18.5
Anclaje Local en Bóveda	7	1.166666667	93	15.5	-	-	-	-
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	7	1.75	93	23.25
Total	Soluciones 6	Porcentaje 53.33333333	Soluciones 6	Porcentaje 46.66666667	Soluciones 4	Porcentaje 30.5	Soluciones 4	Porcentaje 69.5



Anexo 106 Túnel La Piedra

Túnel La Piedra	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diametro, Ranurados		Anclas de Fricción Perimetrales					Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 250 kg/cm ²				Anclas de Fricción 1" Diametro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m						Anclaje Local en Boveda En Etapa Inicial de Túnel		Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 9m, 3 x 10 m)	Real (L= 9m, 3 x 3m)	Proyecto (L= 9m x 1" @ 1.5m, 1 Abanico)	Proyecto (L= 9m x 1" @ 1.5m, 2 Abanico)	Real (L=9m x 1" @ 0.375 m)	Real (L=9m x 1" @ 0.5 m)	Real (L=9m x 1" @ 1.5 m)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (5 cm)	Real (10 cm)	Real (5 cm)	Proyecto (L=6 m, 1.5 x 1.5 m)	Real (L=6 m, 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (8 @ 1.5 m)	Proyecto (14 @ 1.5 m)	Real (11 @ 1 m)	Real (8 @ 1.5 m)	Real (18 @ 1 m)	Real (14 @ 1.5 m)	Proyecto	Real (L= 6m x 1" Patrón 1.5 x 1.5 m)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	36	0.99	10	-	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	60	3.96	40	-	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	67	7.43	75	-	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	74	12	80	-	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	74	12	80	-	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	67	10.5	70	-	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	43	15	50	-	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖		✓		✓
Ignimbrita y Riolita	43	15	50	-	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖		✓		✓
Ignimbrita y Riolita	41	1.33	40	-	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	41	1.33	75	-	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	55	2.73	82	-	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	60	5.47	82	1	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	60	5.27	79	-	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	58	11.25	75	1	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✖		✓
Basalto	20	0.07	0	3	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	48	10.8	72	2	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	52	6.15	82	1	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖
Ignimbrita y Riolita	61	5.63	75	2	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	65	6.15	82	1	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	51	5.18	69	1	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✖		✓
Ignimbrita y Riolita	41	3.75	50	1	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖		✖

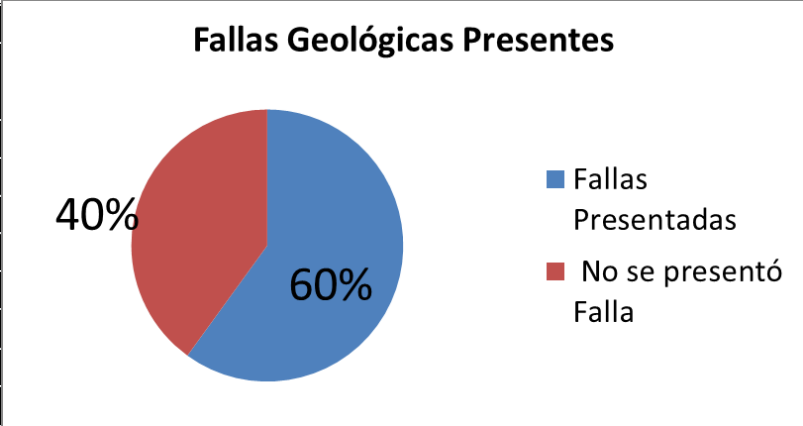
Túnel - La Piedra	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	81	16.2	19	3.8	14	2	86	12.29
Anclas de Fricción Perimetrales	38	7.6	62	12.4	33	4.71	67	9.57
Concreto Lanzado	81	16.2	19	3.8	81	11.57	19	2.71
Anclas de Fricción	57	11.4	43	8.6	43	6.14	57	8.14
Marcos Metálicos	38	7.6	62	12.4	52	7.43	48	6.86
Anclaje Local en Bóveda	-	-	-	-	10	1.43	90	12.86
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	52	7.43	48	6.86
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	59	5	41	7	40.71	7	59.29



Anexo 107 Túnel La Quemada

Túnel La Quemada	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardila"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²			Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=9m, 2.25 x 10 m)	Real	Proyecto	Real (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m)	Real (L=6 m x 1 1/2" @ 0.5 m)	Proyecto (15 cm)	Proyecto (5 cm)	Real	Proyecto (1" x 9m, 1 x 1 m)	Real (1" x 9m, 1 x 1 m)	Proyecto (@ 0.75 m)	Real (11@ 0.75 m)	Real (22@ 0.75 m)	Real (28@ 0.75 m)	Proyecto	Real (33@ 0.75 m)	Real (14@ 0.75 m)
Basalto	46	0.11	30	-	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	53	0.22	60	-	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	46	0.13	36	-	✓			✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖		✓	✖
Basalto	46	0.16	42	-	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✓	✓	✖		✓	✖
Basalto	46	0.16	42	2	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖		✓	✖
Basalto	50	1.65	33	2	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	50	1.65	33	2	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	47	1.15	23	4	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	47	1.15	23	4	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	50	2.1	42	-	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	57	2.8	56	3	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Basalto	42	1.14	39	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓		✖	✖
Basalto	42	0.16	42	4	✓			✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	42	0.16	42	4	✓			✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	44	0.06	30	-	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✖

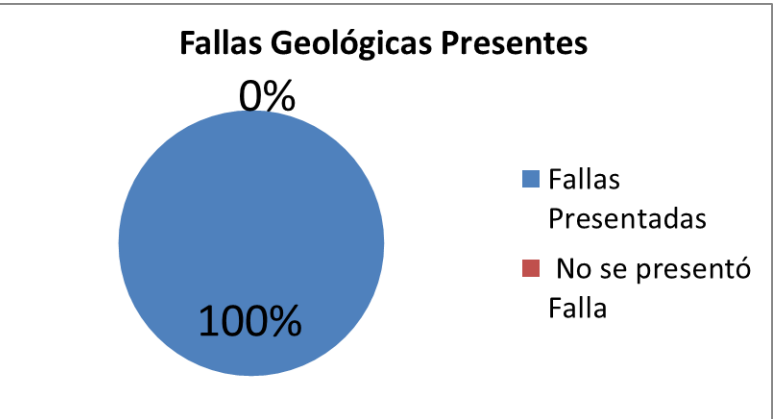
Túnel - La Quemada	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	80	20	20	5	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	33	6.6	67	13.4
Concreto Lanzado	80	20	20	5	80	16	20	4
Anclas de Fricción	60	15	40	10	47	9.4	53	10.6
Marcos Metálicos	33	8.25	67	16.75	47	9.4	53	10.6
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	33	6.6	67	13.4
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	63.25	4	36.75	5	48	5	52



Anexo 108 Túnel La Quemada II

Túnel La Quemada II	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 250 kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro				Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidraulico f'c= 250 kg/cm ²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 9m, Aureola de 9 piezas @ 10 m)	Real	Proyecto	Real	Proyecto (20 cm)	Real	Proyecto (1" x 6 m, 1 x 1.5 m)	Proyecto (1" x 6 m, 1.5 x 1.5 m)	Real (1" x 6 m, 1 x 1.5 m)	Real (1" x 6 m, 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (11 @ 1 m)	Proyecto (@ 1 m)	Real (12 @ 1 m)	Real (18 @ 1 m)	Proyecto	Real (12 @ 1 m)	Real (14 @ 1 m)
Basalto	40	0.53	16	1	✓		✓		✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗		✓	✗
Basalto	50	0.53	56	1	✓		✓		✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗		✓	✗
Basalto	50	2.5	75	1	✓		✓		✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗		✓	✗
Ignimbrita y Riolita	50	2.5	75	1	✓		✗		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	50	2.3	69	3	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	54	2.83	85	2	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	50	2.4	72	1	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	50	2.3	69	2	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	43	1.53	46	5	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	57	3.9	52	2	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	57	5.4	72	2	✓		✗		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	50	3.68	49	2	✓		✓		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓		✗	✓
Ignimbrita y Riolita	50	3.15	42	3	✓		✓		✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓		✗	✓
Ignimbrita y Riolita	47	1.5	20	3	✗		✗		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗	✗
Ignimbrita y Riolita	61	4.58	80	3	✗		✗		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗	✗

Túnel - La Quemada II	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	87	17.4	13	2.6	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	33	6.6	67	13.4	-	-	-	-
Concreto Lanzado	87	17.4	13	2.6	87	21.75	13	3.25
Anclas de Fricción	80	16	20	4	67	16.75	33	8.25
Marcos Metálicos	27	5.4	73	14.6	33	8.25	67	16.75
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	33	8.25	67	16.75
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	62.8	5	37.2	4	55	4	45



Anexo 109 Túnel La Laguna I

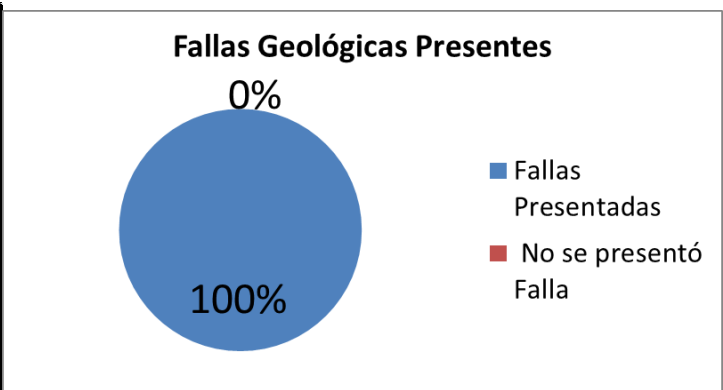
Túnel La Laguna I	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²			Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m			Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 9m, 3 x 10 m)	Real	Proyecto (L= 9m x 1" @ 1.5 m, Una Aureola)	Real (L= 12m x 1 1/2" @ 0.5 m)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (5 cm)	Real	Proyecto (1" x 6m, 1.5 x 2 m)	Real (L=6m x 1", 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (@ 1.5 m)	Real (13 @ 1.5 m)	Real (12 @ 1.5 m)	Proyecto	Real
Andesita y Brecha	46	3.75	40	-	✖		✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Andesita y Brecha	46	3.15	42	-	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✓	✖		✓
Ignimbrita y Riolita	48	2.2	66	-	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	48	2.2	66	2	✓		✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	48	4.65	62	2	✓		✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	56	10.8	72	-	✓		✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	56	7.8	52	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	56	9.9	66	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	57	10.57	71	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	58	11.25	75	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	58	11.25	75	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	53	10.35	69	-	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	50	9.3	62	2	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	50	3.3	66	1	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖		✖
Ignimbrita y Riolita	50	3.3	66	2	✓		✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✖	✓		✖
Ignimbrita y Riolita	34	0.5	10	2	✓		✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	34	0.75	15	2	✓		✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓		✓



Anexo 110 Túnel La Laguna II

Túnel La Laguna II	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²			Anclas de Fricción 1" Diámetro				Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m								Anclaje Local en Boveda en Etapa Inicial de Túnel y Colado de Marcos Metálicos	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 9m, 3 x 10 m)	Real	Proyecto (L= 9m x 1" @ 1.5 m, 11)	Real (L= 9m x 1" @ 1.5 m, 31)	Real (L= 9m x 1" @ 1.5 m, 23)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (5 cm)	Real	Proyecto (L= 6m, 1.5 x 2 m)	Proyecto (L= 6 m, 2 x 2 m)	Real (L= 6m x 1", 1.5 x 1.5 m, 527)	Real (L= 6m x 1", 1.5 x 2 m, 17)	Proyecto (@ 2m)	Real (3@ 0.6m)	Real (7@ 2m)	Real (3@ 2m)	Real (16@ 2m)	Real (10@ 2m)	Real (10@ 1m)	Real	Real (L=6 m x 1", 1.2 x 1.2 m Preanclaje, 9)	
Ignimbrita y Riolita	57	2.73	82	1	✖		✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	50	1.97	59	1	✓		✓	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	50	1.65	66	1	✓		✓	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	43	1.15	46	2	✓		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	
Ignimbrita y Riolita	46	3.68	49	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	57	3.28	82	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	2.64	66	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	2.82	70	1	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	3	75	1	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	2.76	69	1	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	3	75	3	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	53	2.64	66	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	51	4.13	62	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	51	2.2	66	3	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	42	2.18	49	3	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	35	0.44	10	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	36	0.44	10	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	48	2.95	59	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	41	2.45	49	2	✓		✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	38	0.95	19	2	✓		✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	48	3.1	62	2	✓		✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	46	1.3	52	1	✓		✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	48	3.75	75	3	✓		✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	45	1.29	69	2	✓		✓	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	47	0.24	66	2	✓		✓	✖	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	
Ignimbrita y Riolita	42	0.21	56	2	✖		✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	

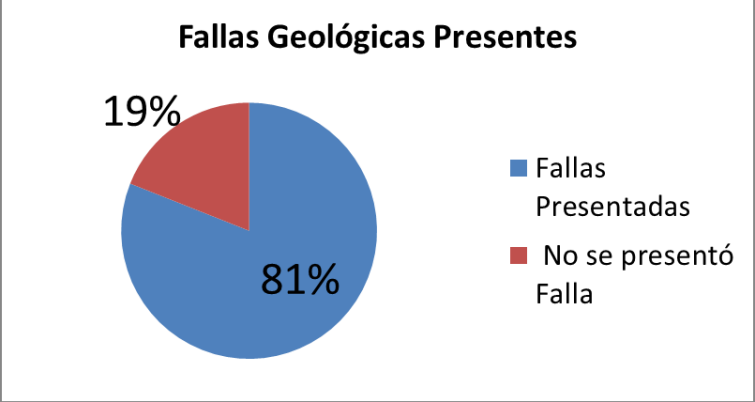
Túnel - La Laguna II	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	92	15.3	8.0	1.3	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	15	2.5	85.0	14.2	19	3.8	81	16.2
Concreto Lanzado	92	15.3	8.0	1.3	96	19.2	4	0.8
Anclas de Fricción	62	10.3	38.0	6.3	46	9.2	54	10.8
Marcos Metálicos	35	5.8	65.0	10.8	50	10	50	10
Anclaje Local en Bóveda	8	1.3	92.0	15.3	12	2.4	88	17.6
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	6	50.7	6.0	49.3	5	44.6	5	55.4



Anexo 111 Túnel La Laguna III

Túnel La Laguna III	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados			Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm²				Anclas de Fricción 1" Diametro						Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m														Anclaje Local en Boveda en Etapa Inicial de Túnel			Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm²								
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L= 4 m, 2.3 x 10 m)	Proyecto (L= 9 m, 2.3 x 10 m)	Real (9 c/u)	Proyecto (L= 6m x 1", 1.5 x 4 m)	Real (L= 6m x 1" @ 1.5 m, 13)	Real (L= 12m x 1 1/2", @ 0.5 m, 35)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (15 cm)	Proyecto (5 cm)	Real	Proyecto (L= 6m, 1.2 x 1.2 m)	Real (400 pza, 6 m x 1", 1.5 x 1.5 m)	Real (425 pza, 6m x 1", 1.5 x 1.5 m)	Real (105 pza, 6m x 1", 1.5 x 1.5 m)	Real (27 pza, 6m x 1", 1.5 x 1.5 m)	Real (357 pza, 6m x 1", 1.2 x 1.2 m)	Proyecto (36 @ 1.5 m)	Proyecto (20 @ 2 m)	Proyecto (35 @ 1 m)	Proyecto (10 @ 1.5 m)	Real (13 @ 1.5 m)	Real (5 @ 2 m)	Real (6 @ 1 m)	Real (4 @ 0.6 m)	Real (27 @ 1 m)	Real (8 @ 1 m)	Real (10 @ 1.5 m)	Real (1 @ 1.5 m)	Proyecto (L=6m x 1", 1.5 x 1.5 m, 31)	Proyecto (L=6m, 1.5 x 1.5 m, 13)	Real	Proyecto	Real (Concreto Hidráulico)	Real (Casetón Poliestireno)								
Ignimbrita y Riolita	48	1.97	59	-	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓		x	✓	x						
Ignimbrita y Riolita	48	2.20	66	1	✓	x	x	✓	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓		✓	x	x						
Ignimbrita y Riolita	41	1.40	42	1	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓				
Ignimbrita y Riolita	41	1.40	42	1	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓			
Ignimbrita y Riolita	41	1.40	42	2	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓			
Ignimbrita y Riolita	50	0.12	56	2	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	50	0.12	59	2	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	58	5.63	75	3	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	58	4.65	62	1	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	58	4.20	56	2	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	58	5.63	75	2	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	47	1.48	59	2	✓	x	x	✓	x	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓		x	✓		
Ignimbrita y Riolita	49	0.19	69	1	x	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	58	2.50	75	2	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	40	0.64	100	1	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	40	0.64	100	-	x	✓	x	✓	x	✓	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	40	2.21	59	-	x	✓	x	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	42	1.58	42	1	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓		
Ignimbrita y Riolita	42	1.58	42	2	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	48	0.46	49	3	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	59	2.63	79	-	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	59	2.73	82	1	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	65	0.47	75	-	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	65	0.74	79	-	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	65	0.70	75	-	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		x	✓	
Ignimbrita y Riolita	56	0.28	66	1	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	44	0.65	69	3	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		x	x		
Ignimbrita y Riolita	49	0.65	69	4	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	48	0.59	95	5	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	53	1.19	95	8	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	52	1.19	95	7	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	54	0.74	89	5	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	60	0.83	100	4	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	52	1.19	95	3	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ignimbrita y Riolita	61	1.25	100	2	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		✓	x			
Ignimbrita y Riolita	56	9.90	99	2	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		✓	x
Ignimbrita y Riolita	50	5.67	85	1	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x		✓	x			

Túnel - La Laguna III	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	86	14.3	14.0	2.3	22	3.1	78	11.1
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	51	8.5	49.0	8.2	24	3.4	76	10.9
Concreto Lanzado	95	15.8	5.0	0.8	100	14.3	0	0.0
Anclas de Fricción	57	9.5	43.0	7.2	65	9.3	35	5.0
Marcos Metálicos	49	8.2	51.0	8.5	46	6.6	54	7.7
Anclaje Local en Bóveda	8	1.3	92.0	15.3	5	0.7	95	13.6
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	49	7.0	51	7.3
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	6	57.7	6.0	42.3	7	44.4	7	55.6



Anexo 112 Túnel Las Labores

Túnel Las Labores	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados				Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" 1" Diámetro @ 75 cm														Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c=250 kg/cm ²		Anclas de Fricción										Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m										Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²				
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=6m, 2.9 x 10 m)	Proyecto (L=3m, 2.3 x 10 m)	Proyecto (L=9m, 2.3 x 10 m)	Real	Proyecto (L=4m, 0.75 x 4 m)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 30 cm, 27)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 30 cm, 31)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 30 cm, 34)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 30 cm, 41)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 30 cm, 46)	Real (L=12m x 1 1/2" @ 50 cm, 37)	Real (L=6m x 1 1/2" @ 0.3 m, 51)	Real (50)	Real (49)	Real (46)	Real (L=12m x 1 1/2" @ 0.5 m, 37)	Real (L=4m x 1" @ 0.75 m, 25)	Proyecto (20 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (L=6m, 1.2 x 2 m)	Proyecto (L=4m, 1.2 x 2 m)	Proyecto (L=4m, 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (L=6m, 1.2 x 2 m)	Proyecto (L=6m, 1.5 x 1.5 m)	Real (10)	Real (119)	Proyecto (@1.2 m)	Proyecto (@0.75 m)	Real (6 @ 1m)	Real (46 @ 0.6 m)	Real (5 @ 1m)	Real (25 @ 1.2 m)	Real (9 @ 1m)	Real (165 @ 0.75 m)	Real (13 @ 0.75 m)	Proyecto	Real								
Ignimbrita y Riolita	48	2.50	75	-	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	33	0.53	16	-	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	36	0.97	29	-	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	28	0.13	13	-	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	30	0.17	10	-	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	28	0.17	10	-	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	25	0.06	23	-	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	40	0.02	36	-	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	40	0.02	33	-	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	35	0.14	33	-	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	35	0.12	39	-	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	35	0.12	39	-	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	52	1.59	85	3	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
Ignimbrita y Riolita	47	1.54	82	2	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	43	1.11	59	1	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	
Ignimbrita y Riolita	43	1.24	66	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	33	0.38	20	4	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	33	0.38	80	4	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	44	0.75	40	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	51	0.96	51	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	28	0.96	0	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	28	0.96	40	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	19	0.06	0	-	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	18	0.06	0	-	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		
Ignimbrita y Riolita	18	0.06	0	-	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗																																			

Anexo 113 Túnel Trópico de Cáncer

Túnel Trópico de Cáncer	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" en Portales			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²						Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m Incluye rastras IPR de 12" x 8"				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (13 Tubos de 4" Diámetro x 12 m de longitud, Cédula 40)	Real (33 Piezas de 1" Diámetro x 12m de longitud)	Real (19 Tubos de 4" diámetro x 12 m de Longitud, Cédula 40)	Proyecto (15 cm)	Proyecto (5 cm)	Proyecto (25 cm)	Real (10 cm)	Real (5 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (662 Piezas de 1" diámetro x 6m de longitud en patrón 1.5 x 1.5 m en tresbolillo)	Real (476 Piezas de 1" Diámetro x 6 m de longitud)	Proyecto (26 Piezas)	Proyecto (29 Piezas)	Real (23 Piezas)	Real (29 Piezas)	Proyecto (Concreto Hidráulico)	Proyecto (Relleno con Casetón de Poliestireno)	Real (Concreto y Casetón)
Ignimbrita y Riolita	54	1.3	52	2	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✓	✖
Ignimbrita y Riolita	51	0.83	52	1	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖
Ignimbrita y Riolita	45	1.23	49	1	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖
Ignimbrita y Riolita	65	4.6	69	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	75	4.6	69	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	60	2.95	59	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	38	0.61	49	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	72	3.45	69	-	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	67	2.95	59	-	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	51	3.1	62	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	62	2.8	56	2	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	51	3.47	52	-	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖
Ignimbrita y Riolita	70	3.25	65	1	✖	✖	✖	✖	✓	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓
Ignimbrita y Riolita	58	4.13	62	1	✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓
Ignimbrita y Riolita	70	4.13	62	1	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓
Ignimbrita y Riolita	60	1.23	49	2	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✓

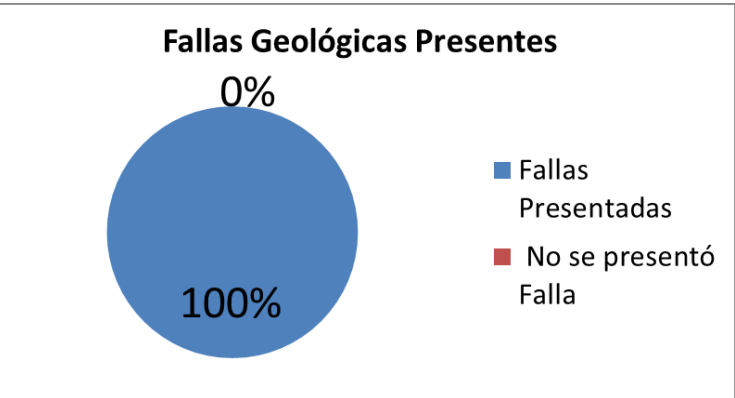
Anexo 114 Túnel Corte Alto

Túnel Corte Alto	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Anclas de Fricción Tipo Jaula de Ardilla en Portales @ 70cm y 70 cm Arriba de la Linea "A"		Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 200 kg/cm ²				Anclas de Fricción 1" Diametro x 6 m de longitud		Marcos Metálicos CE 254 x 29.76 kg/m (Doble Canal)					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ² y f'c= 150 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto	Real (De 1 1/2" diametro x 12m de longitud)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (15 cm)	Real (10 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (780 Piezas)	Real (322 Piezas)	Proyecto (11 pz @ 0.8 m)	Proyecto (8 pz @ 1.2 m)	Real (12 Pz @ 1.5 m)	Real (11 Pz @ 1.5 m)	Real (13 Pz @ 1 a 2 m)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	63	1.37	82	1		✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗		✗	✓	✗	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	62	1.73	52	2		✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✓	✗	✗	✓	✗
Ignimbrita y Riolita	61	1.92	72	4		✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✓	✗	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	65	2.73	82	1		✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✗	✗	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	65	2.83	85	1		✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✗	✗	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	61	2.62	59	3		✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✗	✗	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	40	2.18	49	4		✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗	✗	✓	✗	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	52	3.20	72	3		✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓		✓	✗	✓	✓	✗	✗
Ignimbrita y Riolita	59	3.51	79	2		✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗		✓	✗	✗	✓	✗	✓

Anexo 115 Túnel La Mina

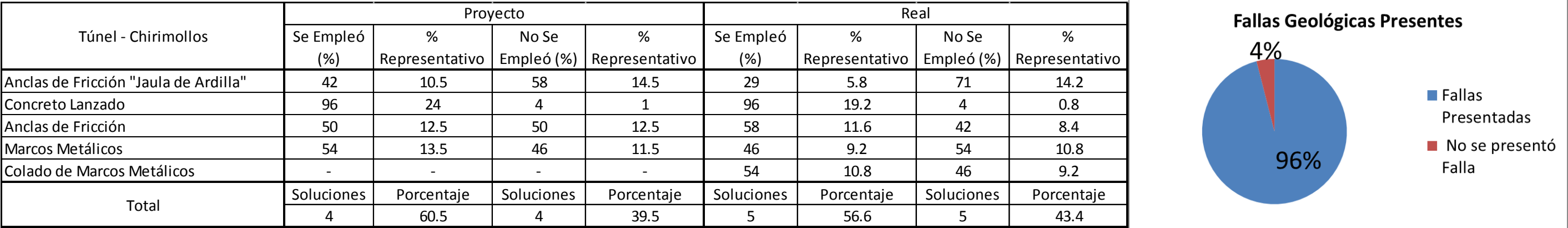
Túnel La Mina	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Anclas de Fricción Tipo "Jaula de Ardilla"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos Doble Canal CE 254 x 29.76 kg/cm					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ² y f'c= 150 kg/cm ²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto	Real (De 1 1/2" diametro x 12 m de longitud, 20 Pza)	Real (De 1 1/2" diametro x 12 m de longitud, 34 Pza)	Proyecto (15 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (1" Diametro x 6 m de longitud, 1235 Piezas)	Real (1" Diametro x 6 m de longitud, 185 Piezas)	Proyecto (@ 1.2 m)	Real (1 Pza @ 1.5 m)	Real (5 Pza @ 1.2 m)	Real (11 Pza @ 1.2 m)	Real (3 Pza @ 1.5 m)	Proyecto	Real (Concreto Hidráulico)	Real (Casetón de Poliestireno)
Ignimbrita y Riolita	32	0.13	39	1		✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	69	2.76	62	2		✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓		✓	✗			✓	✗
Ignimbrita y Riolita	64	3.07	69	2		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✓	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	59	2.07	62	2		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	62	1.87	56	3		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	61	1.87	56	1		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	54	3.73	56	2		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	61	1.87	56	1		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	59	1.87	56	2		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	59	1.87	56	3		✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	56	2.76	53	2		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	63	2.07	62	1		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	58	1.73	52	2		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗		✗	✗			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	53	0.82	49	3		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗		✗	✓			✗	✗
Ignimbrita y Riolita	63	0.79	59	2		✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✗	✓			✗	✓
Ignimbrita y Riolita	60	0.87	52	1		✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗			✓	✗

Túnel - La Mina	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	25	5	75	15
Concreto Lanzado	100	33.33333333	0	0	100	20	0	0
Anclas de Fricción	88	29.33333333	12	4	31	6.2	69	13.8
Marcos Metálicos	25	8.333333333	75	25	25	5	75	15
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	19	3.8	81	16.2
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	71	3	29	5	40	5	60



Anexo 116 Túnel Chirimollos

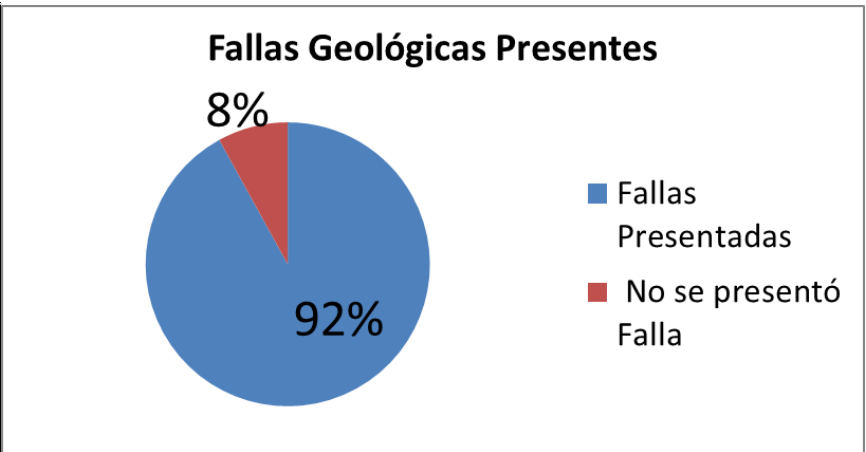
Túnel Chirimollos	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 1 1/2 " de Diámtro Ranurados.		Anclas de Fricción		Concreto Lanzado con Fibras de Acero		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos CE 254 x 29.76 kg/m					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 150 kg/cm ²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto	Real	Proyecto (Tubo de Enfilaje Ranurado de 4" Diámetro x 8 m de longitud con separación @0.4 m, con traslape de 2.5 m)	Real (Jaula de Ardilla de 1 1/2" Diámetro x 12 m de longitud, separación @ 0. 4 m)	Proyecto (15 cm)	Real	Proyecto (De 1" Diámetro x 6 m de longitud @ 1.5 m en Tresbolilo)	Real (De 1" Diámetro x 6 m de longitud @ 1.5 m de separación entre líneas)	Proyecto (@ 0.8 m)	Proyecto (@ 1.2 m)	Real (@ 1.5 m, 3 Pza)	Real (@ 1.2 m, 11 Pza)	Real (@ 1 m)	Proyecto	Real (Casetón Poliestireno)	Real (Concreto Hidráulico)
Andesita y Brecha	68	2.62	59	1			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	51	0.98	59	-			✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	✓	✓	x		x	✓
Andesita y Brecha	54	0.98	59	1			✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x		✓	x
Andesita y Brecha	54	1.50	69	2			✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x	x	x		✓	x
Andesita y Brecha	62	2.50	75	1			✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	39	0.65	49	2			x	x	✓	✓	x	✓	x	✓	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	19	0.01	6	2			x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	41	0.12	42	2			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	49	0.82	49	2			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	39	0.82	49	2			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	45	0.82	49	2			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	42	0.82	46	2			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	37	0.26	23	2			x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	36	0.26	23	2			x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	64	0.93	56	1			x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	44	0.82	49	1			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	54	0.87	52	1			x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	48	0.48	49	4			x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	41	1.40	42	3			✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	52	1.40	42	1			✓	x	✓	✓	x	✓	✓	x	x	x	x		x	x
Andesita y Brecha	46	0.65	39	1			✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	42	0.75	45	2			✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	✓		✓	x
Andesita y Brecha	33	0.13	16	1			✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	✓		x	✓
Andesita y Brecha	43	0.55	33	1			✓	✓	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	x		x	x



Anexo 117 Túnel Santa Lucía II

Túnel Santa Lucía II	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de diámetro ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla"			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²				Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m				Anclaje Local en Bóveda en Etapa Inicial de Túnel		Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 150 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (9m de longitud, 135 Piezas)	Real	Proyecto	Real (De 1 1/2" diámetro x 6m de longitud, 27 Piezas)	Real (De 1 1/2" diámetro x 6m de longitud, 31 Piezas)	Proyecto (25 cm)	Proyecto (10 cm)	Real (25 cm)	Real (10 cm)	Proyecto (1" diámetro x 6m de longitud, patrón 1.5 x 1.5 en tresbolillo, 396 Piezas)	Real (1" diámetro x 6m de longitud, patrón 1.5 x 1.5 en tresbolillo, 272 Piezas)	Proyecto (@ 1m, 16 Piezas)	Proyecto (@ 1m, 31 Piezas)	Real (@ 1m, 16 Piezas)	Real (@ 1m, 26 Piezas)	Proyecto (1" Diámetro x 6 m de longitud, 13 Piezas)	Real (1" Diámetro x 6m de longitud, 10 Piezas)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	42	1.05	42	1	✓			✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✗
Ignimbrita y Riolita	48	1.05	42	1	✓			✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	58	2.65	53	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	54	1.33	53	1	✓			✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	60	3.25	65	1	✓			✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	56	2.17	65	1	✓			✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	72	4.33	65	2	✓			✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	48	0.98	59	-	✓			✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	48	1.23	50	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	51	1.48	59	1	✓			✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗		✓
Ignimbrita y Riolita	56	1.03	62	3	✓			✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗		✓
Ignimbrita y Riolita	51	0.26	49	1	✓			✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗		✓

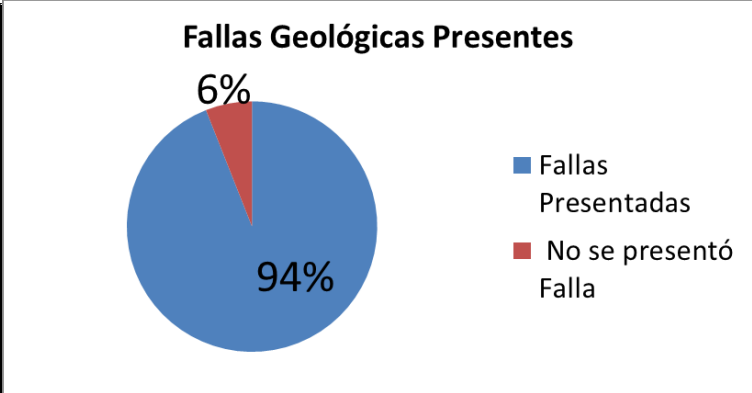
Túnel - Santa Lucia II	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	100	20	0	0	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	17	2.83	83	13.83
Concreto Lanzado	100	20	0	0	100	16.67	0	0.00
Anclas de Fricción	58	11.6	42	8.4	58	9.67	42	7.00
Marcos Metálicos	58	11.6	42	8.4	58	9.67	42	7.00
Anclaje Local en Bóveda	58	11.6	42	8.4	25	4.17	75	12.50
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	42	7	58	9.67
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	74.8	5	25.2	6	50	6	50



Anexo 118 Túnel Cerro de la Reforma

Túnel Cerro de la Reforma	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 38 mm de Diámetro Ranurados de 3 m de longitud con 4 perforaciones de 9.5 mm de espesor @ 30 cm en líneas de 8 piezas @ 6 m		Anclas de Fricción Tipo "Jaula de Ardilla", de 1 1/2" x 6 y 9 m de longitud, en líneas de 18 piezas, con empalme de 1 m				Concreto Lanzado con Fibras de Acero		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos Doble Canal CE 254 x 29.76 kg/m			Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 150 kg/cm² y f'c = 200 kg/cm²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (104 Piezas)	Real	Proyecto	Real (12 m, 44 Piezas)	Real (6 m, 18 Piezas)	Real (9 m, 216 Piezas)	Proyecto (10 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (Anclas de Tensión de 9 m de longitud a base de 2 torones de 1.27 cm de diámetro, tensados a 13 ton c/u, colocados en cuadrícula 2 x 2.5 m)	Real (Anclas de Fricción de 1" Diámetro de 42 Piezas de 4 m y 565 Piezas de 6 m de longitud)	Proyecto	Real (66 Piezas @ 1 a 1.2 m)	Real (20 Piezas @ 1 m)	Proyecto	Real (Concreto Hidráulico)	Real (Casetón Poliestireno)
Ignimbrita y Riolita	36	0.39	59	-	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	22	1.16	49	3	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✓	✖		✓	✖		✓	✓
Ignimbrita y Riolita	22	1.30	39	2	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	25	0.82	49	1	✓			✓	✓	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	26	1.63	49	2	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	26	1.87	56	1	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	30	2.60	52	1	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	30	2.60	56	1	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	28	1.33	53	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	56	3.10	62	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	60	1.55	62	1	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	53	1.30	52	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	60	2.60	52	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	56	5.51	62	3	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✓	✓		✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	26	0.58	46	4	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✓	✓		✖	✓		✓	✓
Ignimbrita y Riolita	30	0.69	52	1	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✓	✖		✖	✓		✓	✖

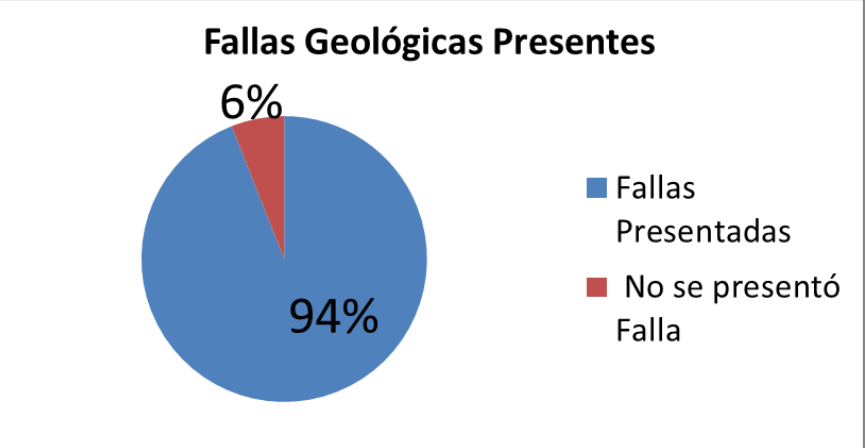
Túnel - Cerro de la Reforma	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	94	31.33	6	2	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	94	18.8	6	1.2
Concreto Lanzado	94	31.33	6	2	94	18.8	6	1.2
Anclas de Fricción	94	31.33	6	2	81	16.2	19	3.8
Marcos Metálicos	-	-	-	-	69	13.8	31	6.2
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	25	5	75	15
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	94	3	6	5	72.6	5	27.4



Anexo 119 Túnel Cerro Santa Lucía

Túnel Cerro Santa Lucía	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Trabes de Atado Anclas de Tensión en Taludes Frontales			Anclas de Fricción en Portales			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 200 kg/cm²		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos								Anclaje Local en Bóveda Jaula de Ardilla (18 Piezas por Linea)		Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm² y f'c= 150 kg/cm²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (Trabe de Borde 1.2 x 0.7 m)	Real (28 Pza)	Real (24 Pza)	Proyecto (19 Pza)	Real (Enfilaje Ligero de Diámetro 1 1/2" x 12 m Longitud, 23 Pza)	Real (Enfilaje Ligero de Diámetro 1 1/2" x 12 m Longitud, 22 Pza)	Proyecto (10 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (En Abanicos de 7 y 6 Piezas)	Real (36 Pza de 4 m y 930 Pza de 6 m)	Proyecto (Marco Tipo IR 305 x 52.2 kg/m, 13 Pza)	Proyecto (Marco Tipo IR 305 x 52.2 kg/m, 40 Pza)	Real (Doble Canal CE 254 x 29.76 kg/m, 64 Pza)	Real (Doble Canal CE 254 x 29.76 kg/m, 9 Pza)	Real (Doble Canal CE 254 x 29.76 kg/m, 29 Pza)	Real (Marcos Armados con Varilla de diámetro 3/4" de 20 x 20 cm con Anillos @ 20 cm, 4 Pza)	Proyecto	Real (18 Piezas de 6 m y 198 Piezas de 9 m de diámetro de 1 1/2")	Proyecto	Real (5 Marcos)	Real (6 Marcos)		
Ignimbrita y Riolita	34	0.09	10	2	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗		✗		✓	✗		
Ignimbrita y Riolita	28	0.11	10	3	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	26	0.11	10	2	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	35	0.18	16	2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	33	0.18	16	2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	35	0.26	23	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	33	0.41	23	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	36	0.64	29	2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	36	0.64	9	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	43	0.18	16	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	31	0.11	10	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	31	0.18	10	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	39	0.29	26	-	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	24	0.11	10	1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	26	0.10	9	2	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	23	0.01	6	2	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗		✓		✗	✗		
Ignimbrita y Riolita	41	0.04	16	1	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗		✗		✗	✓		

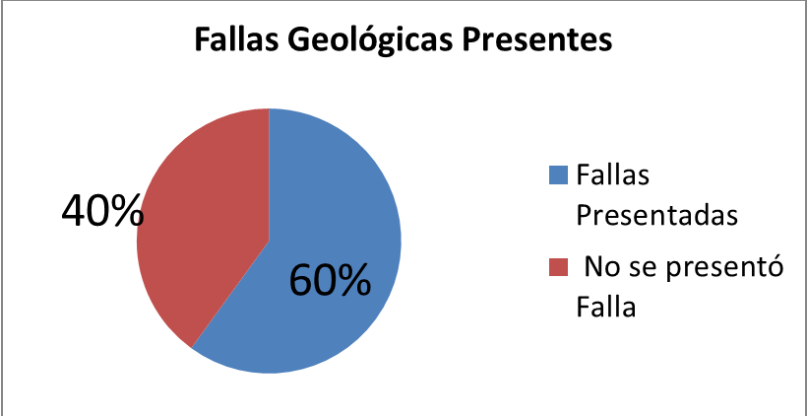
Túnel - Cerro Santa Lucia	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Trabes de Atado Anclas de Fricción	12	2.4	88	17.6	35	5	65	9.29
Anclas de Fricción en Portales	29	5.8	71	14.2	29	4.14	71	10.14
Concreto Lanzado	100	20	0	0	100	14.29	0	0.00
Anclas de Fricción	59	11.8	41	8.2	100	14.29	0	0.00
Marcos Metálicos	47	9.4	53	10.6	94	13.43	6	0.86
Anclaje Local en Bóveda	-	-	-	-	88	12.57	12	1.71
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	12	1.71	88	12.57
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	5	49.4	5	50.6	7	65.43	7	34.57



Anexo 120 Túnel Roblar de la Cueva

Túnel Roblar de la Cueva	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 1 1/2" de Diámetro Ranurados		Anclas de Fricción		Concreto Lanzado con Fibras de Acero		Anclas de Fricción Enfilaje Ligero				Marcos Metálicos				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico y Rellenos con Casetón		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (De 1 1/2" diámetro x 3 m de longitud, patrón 2.5 x 6 m)	Real	Proyecto (De 1" diámetro x 4 m de longitud)	Real (De 1" diámetro x 6 m de longitud, 441 Piezas)	Proyecto (Concreto Lanzado f'c = 200 kg/cm ² reforzado con 40 kg/m ³ de fibra metálica)	Real (Concreto Lanzado f'c = 200 kg/cm ² reforzado con 40 kg/m ³ de fibra	Proyecto	Real (De 1 1/2" x 12 m, 22 Piezas)	Real (De 1 1/2" x 9 m, 108 Piezas)	Real (De 1 1/2" x 3 m, 22 Piezas)	Proyecto (IPR 8" x 8" x 71 Kg/m)	Real (CE 254 x 29.76 Kg/m, @1.5 m, 1 Pieza)	Real (CE 254 x 29.76 Kg/m, @1 m, 70 Piezas)	Real (CE 254 x 29.76 Kg/m, @1.5 m, 1 Pieza)	Proyecto	Real (Concreto Hidráulico)	Real (Casetón Poliestireno)
Ignimbrita y Riolita	30	0.19	29	-	✖		✖	✖	✖	✖		✖	✖	✖		✖	✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	30	0.29	26	-	✓		✓	✖	✓	✓		✓	✖	✖		✓	✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	29	0.65	39	2	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✖	✖		✖	✓	✖		✓	✓
Ignimbrita y Riolita	32	0.65	39	-	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	30	0.60	36	1	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	25	0.43	39	-	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	30	0.47	42	1	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	27	0.32	29	3	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	17	0.08	10	2	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	36	0.64	29	1	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	31	0.87	26	2	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✓	✖		✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	24	1.30	39	1	✓		✓	✓	✓	✓		✖	✖	✓		✖	✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	19	0.08	9	-	✓		✓	✖	✓	✓		✖	✖	✓		✖	✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	19	0.11	13	-	✓		✓	✖	✓	✓		✖	✖	✓		✖	✓	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	17	0.08	10	1	✓		✓	✖	✓	✓		✖	✖	✓		✖	✓	✓		✓	✖

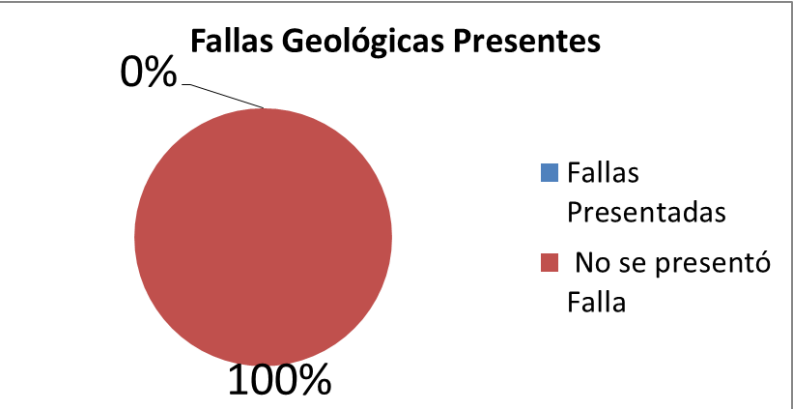
Túnel - Roblar de la Cueva	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	93	31	7	2.33	-	-	-	-
Anclas de Fricción	93	31	7	2.33	67	13.4	33	6.6
Concreto Lanzado	93	31	7	2.33	93	18.6	7	1.4
Anclas de Fricción	-	-	-	-	93	18.6	7	1.4
Marcos Metálicos	-	-	-	-	93	18.6	7	1.4
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	93	18.6	7	1.4
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	93	3	7	5	87.8	5	12.2



Anexo 121 Túnel Cerro de las Mesas

Túnel Cerro de las Mesas	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Jaula de Ardilla en Cortes Frontales			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 200 Kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro				Anclas "Jaula de Ardilla" (Fricción) 1 1/2" Diámetro x 6 y 9 m en Líneas de 18 anclas.			Marcos Metálicos @ 1 m					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico		
Material	Real	Real	Real		Proyecto (Trabe de Borde de 1.2 x 0.7 m)	Proyecto (19 Anclas de Presfuerzo 1" Diametro x 10 m de longitud, en 3 Lineas de 6-7-6)	Real (23 Anclas "Jaula de Ardilla de 1 1/2" diámetro x 12 m de longitud")	Proyecto (10 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (1" Diametro x 4 m de longitud, 1.5 x 2 m)	Real (144 de 1" Diámetro x 4 m de longitud y 75 de 1" Diámetro x 6 m de longitud @ 1 m en sentido longitudinal)	Real (125 de 1" Diámetro x 6 m de longitud @ 0.75 m en sentido longitudinal)	Real (729 de 1" Diámetro x 6 m de longitud en lineas radiales @ 1.5 m en sentido longitudinal)	Proyecto	Real (54 de 1 1/2" Diámetro x 6m de longitud)	Real (126 de 1 1/2" Diámetro x 9m de longitud)	Proyecto (15 Marcos)	Proyecto (10 Marcos)	Real (5 Marcos Fuera del Túnel)	Real (32 Marcos)	Real (8 Marcos)	Proyecto	Real (10 Marcos)	Real (5 Marcos)
Ignimbrita y Riolita	30	0.07	16	-	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗		✓	✗	✓			✓			✓	
Ignimbrita y Riolita	24	0.10	23	-	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗		✓	✗	✓			✓			✗	
Ignimbrita y Riolita	30	0.87	49	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗		✓	✓	✗			✓			✗	
Ignimbrita y Riolita	46	1.09	49	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✗	✓	✗			✓			✗	
Ignimbrita y Riolita	47	1.53	46	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✓	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	47	1.53	46	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✓	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	39	0.35	39	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✓	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	32	0.09	29	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✓	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	51	0.41	46	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✓	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	51	0.93	56	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	51	0.87	52	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	52	2.07	62	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	52	1.39	52	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	51	0.69	52	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	56	1.65	62	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	56	2.07	62	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	56	2.30	69	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	
Ignimbrita y Riolita	56	2.30	69	-	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✗	✗	✗			✗			✗	

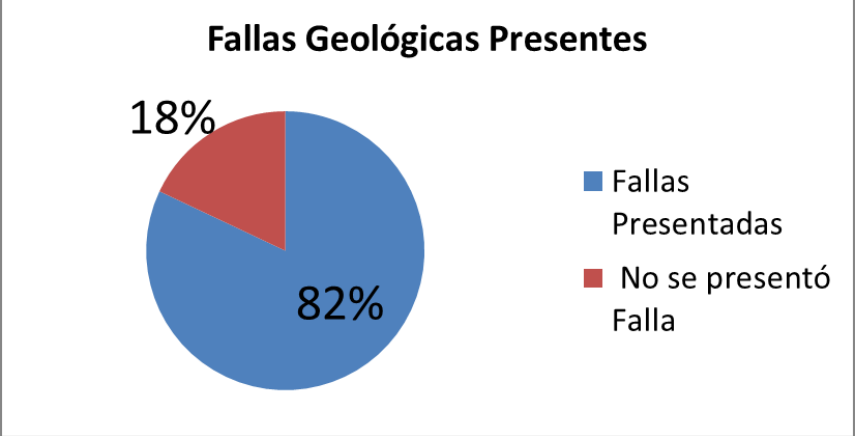
Túnel - Cerro de las Mesas	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Jaula de Ardilla en Portales	6	1.5	94	23.5	11	1.8	89	14.8
Concreto Lanzado	89	22.25	11	2.75	100	16.7	0	0.0
Anclas de Fricción	100	25	0	0	100	16.7	0	0.0
Anclas "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	50	8.3	50	8.3
Marcos Metálicos	11	2.75	89	22.25	22	3.7	78	13.0
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	6	1.0	94	15.7
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	51.5	4	48.5	6	48.2	6	51.8



Anexo 122 Túnel El Nacaral

Túnel El Nacaral	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" x 9 m de longitud ranurados con aureolas de 9 Piezas @ 10 m		Anclas de Fricción Tipo "Jaula de Ardilla"				Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 250 Kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro x 6 m de longitud		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 kg/m				Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (126 Piezas)	Real	Proyecto	Real (22 Piezas de 1 1/2" diámetro x 12 m de longitud)	Real (36 Piezas de 1 1/2" diámetro x 9 m de longitud)	Real (21 Piezas de 1 1/2" diámetro x 12 m de longitud)	Proyecto (10 cm)	Real (10 cm)	Proyecto (703 Piezas de 1" Diámetro x 6m de longitud con Aureolas @ 1.5 m)	Real (662 Piezas de 1" Diámetro x 6 m de longitud con Aureolas @ 1.5 m)	Proyecto (@ 1m)	Real (4 Piezas @ 1.5 m)	Real (61 Piezas @ 1 m)	Real (24 Piezas @ 1 m)	Proyecto	Real
Ignimbritas y Riolitas	29	0.65	39	2	✖			✖	✖	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	37	0.60	36	1	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖		✓
Ignimbritas y Riolitas	26	1.30	52	1	✓			✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖		✓
Ignimbritas y Riolitas	25	0.98	39	2	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	26	0.16	19	1	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	23	0.16	46	-	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	30	6.20	62	1	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	28	1.55	62	1	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	28	1.48	59	1	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	53	2.07	62	2	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	53	4.65	62	3	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	53	1.87	56	1	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	53	1.87	56	1	✓			✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖		✖
Ignimbritas y Riolitas	36	1.97	59	3	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✓		✓
Ignimbritas y Riolitas	19	0.16	13	2	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓		✓
Ignimbritas y Riolitas	24	0.47	42	-	✓			✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✓
Ignimbritas y Riolitas	26	0.36	32	-	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✓

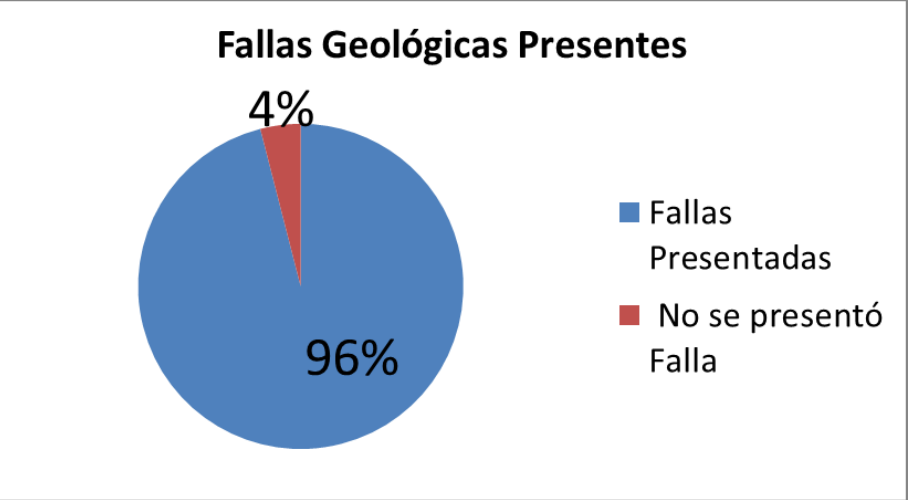
Túnel - El Nacaral	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	94	23.5	6	1.5	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	53	10.6	47	9.4
Concreto Lanzado	100	25	0	0	100	20	0	0
Anclas de Fricción	71	17.75	29	7.25	65	13	35	7
Marcos Metálicos	29	7.25	71	17.75	71	14.2	29	5.8
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	35	7	65	13
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	73.5	4	26.5	5	64.8	5	35.2



Anexo 123 Túnel Cerro Las Palomas

Túnel Cerro Las Palomas	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro Ranurados		Anclas de Fricción Tipo Jaula de Ardilla en Portales			Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 250 kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos IPR 8" x 8" x 71 Kg/m			Anclas Tipo "Jaula de Ardilla" en Bóveda		Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 250 kg/cm ² y f'c= 150 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (Aureolas de 9 m de longitud @ 10 m)	Real	Proyecto	Real (Diámetro de 1 1/2" x 12 m de longitud, 26 Pza)	Real (Diámetro de 1 1/2" x 12 m de longitud, 21 Pza)	Proyecto (15 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (De 1" x 6 m de Longitud con Aureolas de 11 @ 1.5 m)	Real (De 1" de Diámetro 450 Piezas de 4 m y 848 Piezas de 6 m de longitud con Aureolas @ 1 m)	Proyecto (21 Piezas @ 1 m)	Real (Doble Canal CE 254 x 29.76 Kg/m, 111 Piezas @ 1 m)	Real (Doble Canal CE 254 x 29.76 Kg/m, 23 Piezas @ 1 m)	Proyecto	Real (Aureolas de 18 de diámetro 1 1/2" de 396 Piezas de 6 m y 126 Piezas de 9 m de longitud traslapadas 1 m)	Proyecto	Real
Ignimbritas y Riolitas	29	0.06	23	1	✓			✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗		✗		✓
Ignimbritas y Riolitas	25	0.02	9	1	✓			✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗		✗		✓
Ignimbritas y Riolitas	29	0.06	26	2	✓			✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗		✓		✓
Ignimbritas y Riolitas	24	0.14	26	2	✓			✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗		✓		✓
Ignimbritas y Riolitas	30	0.06	26	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	28	0.48	36	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	27	0.48	36	3	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	20	0.62	23	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	24	0.33	39	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	25	0.60	36	3	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	24	0.44	49	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	29	0.93	56	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	30	1.16	52	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	30	1.73	52	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	26	0.82	49	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	27	0.58	52	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	25	0.41	49	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	63	1.87	56	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	48	0.93	56	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	44	1.30	39	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	44	0.26	39	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	46	0.35	39	-	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	49	0.62	37	2	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	27	0.26	29	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓		✓		✗
Ignimbritas y Riolitas	27	0.26	16	1	✓			✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓		✗		✗
Ignimbritas y Riolitas	30	1.63	49	1	✓			✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓		✗		✓

Túnel - Cerro Las Palomas	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	100	25	0	0	-	-	-	-
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla" Portales	-	-	-	-	19	3.17	81	13.5
Concreto Lanzado	100	25	0	0	100	16.67	0	0
Anclas de Fricción	77	19.25	23	5.75	96	16	4	0.67
Marcos Metálicos	27	6.75	73	18.25	81	13.5	19	3.17
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla" Bóveda	-	-	-	-	85	14.17	15	2.50
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	19	3.17	81	13.5
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	4	76	4	24	6	66.67	6	33.33



Anexo 124 Túnel Pánuco

Túnel Pánuco	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro Ranurados		Anclas de Fricción en "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" diámetro x 9 m de longitud				Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diametro x 6 m de Longitud		Marcos Metálicos					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 150 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (Barrenos de 3" Diámetro x 9 m de Longitud, Aureolas de 9 Barrenos @ 10 m)	Real	Proyecto	Real (17)	Real (54)	Real (21)	Proyecto (15 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (Patrón 1.5 x 1.5 m en Tres bolillo)	Real (Patrón 1 x 1.5 m en Tres bolillo, en líneas radiales de 10 y 11 piezas)	Proyecto (@ 1m, IPR 8" x 8" x 71 kg/m)	Real (CE 2.54 x 29.76 kg/m, 1 Pieza @ 1.5 m, 18 Piezas @ 1 m)	Real (CE 2.54 x 29.76 kg/m, 14 Pieza @ 1 m)	Real (CE 2.54 x 29.76 kg/m, 10 Pieza @ 1 m)	Real (CE 2.54 x 29.76 kg/m, 2 Piezas @ 1.5 m)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	29	0.37	33	2	✓			✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗		✓
Ignimbrita y Riolita	34	0.65	39	2	✓			✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗		✓
Ignimbrita y Riolita	27	0.14	13	3	✓			✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	31	0.43	39	3	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	47	2.20	33	2	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	32	1.02	46	3	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	46	1.24	56	2	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	65	6.20	62	2	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	60	1.31	59	1	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	32	0.87	39	1	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	63	2.76	62	1	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	58	1.00	52	2	✓			✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗		✗
Ignimbrita y Riolita	53	1.24	56	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗		✓
Ignimbrita y Riolita	24	0.80	36	1	✓			✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓		✓

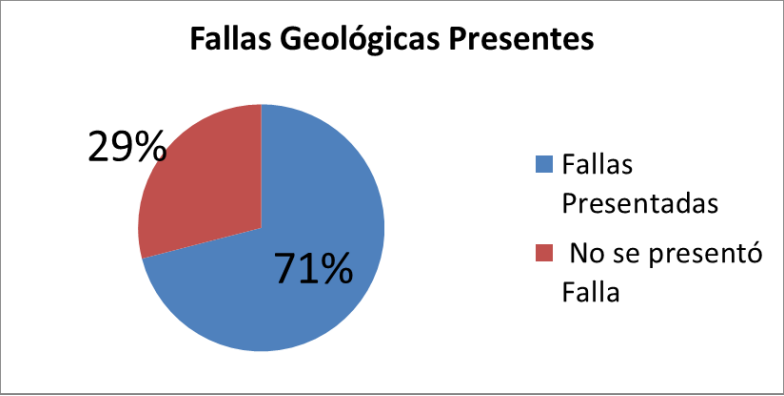
Anexo 125 Túnel Pánuco II

Túnel Pánuco II	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 1 1/2" de Diámetro Ranurados		Anclas de Fricción Enfilaje Ligero					Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c= 250 kg/cm ² reforzado con 40 Kg/m ³ de fibra metálica				Anclas de Fricción				Marcos Metálicos		Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c= 250 kg/cm ²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (Con Aureolas de 9 Drenes @ 10 m)	Real	Proyecto	Real (22 Piezas de 1 1/2" x 12 m longitud)	Real (22 Piezas de 1 1/2" x 12 m longitud)	Real (22 Piezas de 1 1/2" x 12 m longitud)	Real (22 Piezas de 1 1/2" x 12 m longitud)	Proyecto (10 cm)	Proyecto (5 cm)	Real (10 cm)	Real (5 cm)	Proyecto (1" Diámetro x 6 m, Patrón 1 x 1.5 m en Tresbolillo)	Proyecto (1" Diámetro x 6 m, Patrón 1.5 x 2 m en Tresbolillo)	Proyecto (1" Diámetro x 6 m, Patrón 1 x 1 m en Tresbolillo)	Real (1" Diámetro x 6 m, Patrón 1.5 x 2 m, 213 Piezas)	Proyecto (IPR 8" x 8" x 71 kg/m)	Real (CE 254 x 29.76 kg/m, 64 Piezas)	Proyecto	Real
Ignimbrita y Riolita	46	1.63	49	1	✖			✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	41	1.24	56	2	✓			✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	48	2.07	62	2	✓			✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✓	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	43	1.16	52	3	✓			✖	✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	46	1.24	56	3	✓			✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	46	1.87	56	3	✓			✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	51	1.73	52	2	✓			✖	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	31	0.80	36	2	✓			✖	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✓
Ignimbrita y Riolita	54	1.73	52	2	✓			✖	✖	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓	✖	✖	✓		✓

Anexo 126 Túnel Real Pánuco

Túnel Real Pánuco	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Anclas de Fricción Tipo "Jaula de Ardilla" de 1 1/2" diámetro x 9 m de longitud				Concreto Lanzado con Fibras de Acero f'c = 200 kg/cm ²		Anclas de Fricción 1" Diámetro		Marcos Metálicos CE 254 x 29.76 kg/m					Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 150 kg/cm ²		
Material	Real	Real	Real		Proyecto	Real (23 Piezas de 1 1/2" diámetro x 12 m de longitud)	Real (108 Piezas de 1 1/2" diámetro x 9 m de longitud)	Real (22 Piezas de 1 1/2" diámetro x 12 m de longitud)	Proyecto (15 cm)	Real (15 cm)	Proyecto (229 piezas de 1" Diámetro x 6 m de Longitud)	Real (59 Piezas de 1" Diámetro x 6 m de Longitud)	Proyecto (@ 0.8 y @ 1.2 m)	Real (17 @ 0.8 m, 1 @ 1.5 m)	Real (29 @ 1.2 m)	Real (20 @ 1 m)	Real (31 @ 0.8 m)	Proyecto	Real (Concreto Hidráulico)	Real (Casetón Poliestireno)
Ignimbrita y Riolita	37	1.23	49	-		✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	40	1.73	52	-		✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✖
Ignimbrita y Riolita	40	1.63	49	3		✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✖		✓	✖
Ignimbrita y Riolita	40	1.30	39	1		✓	✖	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖		✓	✓
Ignimbrita y Riolita	38	0.82	49	2		✓	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	36	0.43	26	3		✖	✓	✖	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✓	✖	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	36	0.72	43	1		✖	✓	✖	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	40	1.53	46	1		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	52	2.20	66	2		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	57	2.30	69	-		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✓	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	52	1.97	59	1		✖	✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✖	✖	✖	✖		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	61	2.63	79	3		✖	✖	✓	✓	✓	✓	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✖	✓
Ignimbrita y Riolita	52	2.07	62	3		✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✓	✓
Ignimbrita y Riolita	55	5.93	79	-		✖	✖	✓	✓	✓	✖	✖	✓	✖	✖	✖	✓		✓	✖

Túnel - Real Pánuco	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Anclas de Fricción "Jaula de Ardilla"	-	-	-	-	57	11.4	43	8.6
Concreto Lanzado	86	28.66666667	14	4.666666667	86	17.2	14	2.8
Anclas de Fricción	43	14.33333333	57	19	21	4.2	79	15.8
Marcos Metálicos	57	19	43	14.33333333	79	15.8	21	4.2
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	86	17.2	14	2.8
Total	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje	Soluciones	Porcentaje
	3	62	3	38	5	65.8	5	34.2



Anexo 127 Túnel El Cantil

Túnel El Cantil	RMR	Q	RQD	Fallas Presentes	Drenes de Tubo de PVC de 2 1/2" de Diámetro, Ranurados		Ancias de Fricción en "Jaula de Ardilla"							Concreto Lanzado con Fibras de Acero			Ancias de Fricción		Marcos Metálicos IPR 12" x 6 1/2" x 52.2 Kg/m					Anclaje Local en Boveda en Etapa Inicial de Túnel			Colado de Marcos Metálicos con Concreto Hidráulico f'c = 250 Kg/cm²	
Material	Real	Real	Real		Proyecto (L=9m, 3 x 6 m)	Real	Proyecto (@ 0.75 m Línea Inicial x 3m, @1 m Subsecuentes x 3m)	Proyecto (L=6m Línea Inicial, L=4m Susecuentes)	Real (25)	Real (5)	Real (10)	Real (17)	Real (19)	Proyecto (20 cm)	Proyecto (10 cm)	Real (10 cm)	Proyecto (L=6m, 1.5 x 1.5 m)	Real (L=6m, 1.5 x 1.5 m)	Proyecto (@1 m)	Real (@ 1m, 5 Piezas)	Real (@ 1m, 93 Piezas)	Real (@ 1m, 12 Piezas)	Real (@ 1m, 16 Piezas)	Proyecto (L=6m, 1.5 x 1.5 m)	Real (L=6m, 1.5 x 1.5 m, 4)	Real (L=6m, 1.5 x 1.5 m, 11)	Proyecto	Real
Andesita y Brecha	38	0.10	10	1	✓		✓	×	✓	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×		✓
Andesita y Brecha	54	0.17	26	1	✓		✓	×	✓	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	✓	✓	×	×	✓	×	×		✓
Andesita y Brecha	61	0.43	65	3	✓		✓	×	✓	✓	×	×	×	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	✓	×		✓
Andesita y Brecha	26	0.00	0	4	✓		✓	×	×	✓	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	✓	×		✓
Andesita y Brecha	42	0.08	3	2	✓		✓	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	41	0.22	26	2	✓		✓	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	58	0.26	39	2	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	53	0.12	26	2	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	46	0.12	42	2	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	46	0.23	42	3	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	46	0.77	46	2	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	36	0.16	49	1	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	38	0.45	36	1	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	44	0.82	49	3	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	42	0.82	49	3	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	41	0.77	46	1	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	48	0.87	52	2	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	49	0.87	52	3	✓		✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	44	0.87	52	3	✓		✓	×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	56	0.87	52	3	✓		✓	×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	51	0.87	52	3	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	51	0.87	52	3	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	42	0.82	49	2	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	56	1.31	59	1	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	56	1.35	72	1	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	51	0.33	59	2	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	43	0.20	49	2	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	63	2.76	62	1	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	56	2.49	56	2	✓		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	51	0.29	52	3	✓		×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	54	0.23	56	1	✓		×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×		×
Andesita y Brecha	57	0.29	69	3	✓		×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	50	0.93	42	2	✓		×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	×	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	37	0.43	39	1	✓		×	✓	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	68	3.20	72	-	✓		×	✓	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	68	4.60	69	-	✓		×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×	×		✓
Andesita y Brecha	68	2.07	62	-	✓		×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×	✓		✓
Andesita y Brecha	69	1.95	78	1	✓		×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×	✓	×	×		✓

Túnel - El Cantil	Proyecto				Real			
	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo	Se Empleó (%)	% Representativo	No Se Empleó (%)	% Representativo
Drenes de Tubo de PVC	100	16.66666667	0	0	-	-	-	-
Ancias de Fricción	66	11	34	5.666666667	71	11.83333333	29	4.833333333
Concreto Lanzado	100	16.66666667	0	0	100	16.66666667	0	0
Ancias de Fricción	34	5.666666667	66	11	34	5.666666667	66	11
Marcos Metálicos	58	9.666666667	42	7	71	11.83333333	29	4.833333333
Anclaje Local en Bóveda	8	1.333333333	92	15.33333333	8	1.333333333	92	15.33333333
Colado de Marcos Metálicos	-	-	-	-	71	11.83333333	29	4.833333333
Total	Soluciones 6	Porcentaje 61	Soluciones 6	Porcentaje 39	Soluciones 6	Porcentaje 59.16666667	Soluciones 6	Porcentaje 40.83333333

