TRAMITADO

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRE
Dirección de Vialidad
2023-03-23 13:50

Dirección de Vialidad
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

MINISTERIO DE HACIENDA
OFICINA DE PARTES
RECIBIDO

CONTRALORIA GENERAL
TOMA DE RAZON
RECEPCION

DEPART. JURIDICO		
DEPT. T.R. Y REGISTRO		
DEPART. CONTABIL.		
SUB. DEP. C. CENTRAL		
SUB. DEP. E. CUENTAS		
SUB. DEPTO. C.P.Y. BIENES NAC.		
DEPART. AUDITORIA		
DEPART. V.O.P.U. y T.		
SUB. DEPTO. MUNICIP.		

REFRENDACION

REF. POR $ _____
IMPUTAC. _____
ANOT. POR $ _____
IMPUTAC. _____

DEDUC DTO. _____

REF.: APRUEBA MANUAL DE RECOMENDACIONES DE ESTÁNDARES GENERALES BÁSICOS PARA PROYECTOS DE TÚNELES VIALES.

SANTIAGO,

VISTOS:

- El DFL MOP Nº 850 de 1997, que fijó el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas.
- El Artículo N°22 letra C del DFL MOP N°850 de 1997.

CONSIDERANDO:

Que, la División de Túneles de la Dirección de Vialidad, luego de un profundo análisis efectuado sobre las distintas normas y recomendaciones a nivel internacional y nacional respecto de los estudios, proyectos, construcción y operación de túneles viales y de sus obras complementarias, ha estimado conveniente recoger en el presente Manual que se aprueba por este instrumento, el conocimiento que hay sobre la materia, a objeto de que se considere por parte de la Dirección de Vialidad en los nuevos proyectos, especialmente en los estudios, diseños y construcción de obras de túneles viales, para su aplicación sin perjuicio de otra normativa que establezca mayores exigencias sobre la materia en cuyo caso podrá preferirse esta última.

R E S U E L V O (Exento)
D V Nº 631 /
23 de marzo de 2023

APRUÉBASE el Manual de Recomendaciones de Estándares Generales Básicos para proyectos de Túneles de la Dirección de Vialidad, compuesto de 11 capítulos más un Glosario de Términos de uso frecuente en materia de Túneles y cuyo texto se reproduce íntegramente a continuación:

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE VIALIDAD

MANUAL DE RECOMENDACIONES DE ESTÁNDARES GENERALES PARA PROYECTOS DE TÚNELES

DIVISIÓN DE TÚNELES

Enero de 2023

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 **5**
ALCANCE Y OBJETIVOS DEL DOCUMENTO **5**

CAPÍTULO 2 **6**
LA NATURALEZA DE LOS TÚNELES VIALES Y DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS EN GENERAL **6**
2.1. TÚNELES EN ROCA EXCAVADOS CON USO DE EXPLOSIVOS 6
2.2. TÚNELES EN ROCA EXCAVADOS MECÁNICAMENTE 6
2.3. TÚNELES URBANOS EXCAVADOS EN SUELOS 7
2.4. TÚNELES INMERSOS 7
2.5. PIQUES, CAVERNAS Y OTRAS OBRAS SUBTERRÁNEAS 8

CAPÍTULO 3 **8**
DESARROLLO DEL PROYECTO DE UN TÚNEL VIAL **8**
3.1. FILOSOFÍA GENERAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN 8
3.2. ETAPAS DE UN PROYECTO 9
3.3. SELECCIÓN DE LA CATEGORÍA DE UN TÚNEL 11

CAPÍTULO 4 **13**
EVALUACIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA **13**
4.1. INTRODUCCIÓN 13
4.2. DURANTE LA ETAPA DE DISEÑO 14
4.3. DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN 16
4.4. DURANTE LA OPERACIÓN (INSTRUMENTACIÓN) 17

CAPÍTULO 5 **17**
METODOLOGÍA DE DISEÑO Y DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE **17**
5.1. ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE SOPORTE (O SOSTENIMIENTO) 17
5.2. DEFINICIÓN DEL SOPORTE INICIAL 21
5.3. DEFINICIÓN DEL SOPORTE ADICIONAL 21
5.4. EJEMPLO DE UN ITEMIZADO TIPO PARA UN FRENTE DE EXCAVACIÓN DE TÚNEL 22

CAPÍTULO 6 **25**
IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE **25**
6.1. AFLORAMIENTOS DE AGUA 25
6.2. INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN 25
6.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS 25

CAPÍTULO 7 **26**
DISEÑO GEOMÉTRICO **26**
7.1. SECCIÓN TRANSVERSAL 26
7.2. ALINEAMIENTO 29
7.3. PAVIMENTOS 31
7.4. CANALIZACIONES 31

CAPÍTULO 8 **31**
SEGURIDAD VIAL EN TÚNELES **31**
8.1. PRINCIPIOS GENERALES 31

8.2. SISTEMAS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD VIAL 32
8.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCIDENTES 33
8.4. CARGAS PELIGROSAS 34
8.5. VEHÍCULOS ESPECIALES O CON SOBREANCHO 34

CAPÍTULO 9 34
EQUIPAMIENTO EN TÚNELES 34
9.1. SISTEMA ELÉCTRICO 35
9.2. ILUMINACIÓN 36
9.3. VENTILACIÓN 38
9.4. CÁMARAS DE TELEVISIÓN (CCTV) Y DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES (DAI) 41
9.5. MEGAFONÍA / ALTAVOCES 41
9.6. CONTROL DE TRÁFICO 42
9.7. PANELES DE MENSAJE VARIABLE (SMV) INTERIORES Y EXTERIORES 42
9.8. COMUNICACIONES (POSTES SOS) 43
9.9. DETECTORES 43
9.10. COMBATE DE INCENDIOS 44
9.11. SEÑALIZACIÓN DE EMERGENCIA 44
9.12. CENTRO DE CONTROL DEL TÚNEL (LOCAL Y/O REMOTO) 45

CAPÍTULO 10 45
ESTRUCTURA DEL CONTRATO DE CONSTRUCCIÓN PARA TÚNELES 45
10.1. TIPO DE CONTRATO Y ASIGNACIÓN DE RIESGOS 45
10.2. RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO 46
10.3. ESTRUCTURA DEL CUADRO DE CANTIDADES (CUADRO DE PRECIOS) 47
10.4. ESTRUCTURA DE LOS GASTOS GENERALES Y UTILIDADES 48

CAPÍTULO 11 48
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TÚNELES 48
11.1. CONSIDERACIONES GENERALES 48
11.2. CONTROL DE LA OPERACIÓN 49
11.3. MANTENIMIENTO FUNCIONAL DEL TÚNEL 49
11.4. MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL DEL TÚNEL 50

GLOSARIO DE TÉRMINOS MÁS COMUNES EN TUNELERÍA 51

CAPÍTULO 1

ALCANCE Y OBJETIVOS DEL DOCUMENTO

Los túneles son obras bastante especiales, desde su concepción y diseño hasta su construcción y posterior operación y, en particular, los destinados al tránsito de vehículos y personas, a quienes hay que asegurar una operación segura y expedita.

Primero que todo, se desarrollan en un ambiente de la naturaleza oculto al ojo humano y en general poco predecible en forma estricta, lo que por sí sólo plantea diferencias esenciales con las obras exteriores.

Antes de su construcción, todos los métodos disponibles en la actualidad para anticipar lo que se va a encontrar al interior del macizo rocoso son indirectos y aproximados, y las condiciones reales sólo se conocerán al completar su construcción. Aún más, si bien la mayoría de los fenómenos que pueden ocurrir durante la construcción de un túnel son conocidos, no resulta fácil determinar de antemano dónde y cuándo ocurrirán, ni cuál va a ser su real magnitud e impacto.

Luego durante la operación, su condición de espacio confinado y sin ventilación ni luz natural, obliga a dotarlos de un gran número de elementos que permitan compensar esa condición. A su vez, esta misma condición de espacio confinado ofrece una excelente protección de riesgos propios de obras viales ubicadas en espacio abierto, como por ejemplo, inestabilidad de taludes y clima adverso, aspectos relevantes para geografías como la de Chile. Así, los túneles son en muchas condiciones una alternativa más segura que una obra vial en superficie.

Los presentes estándares tienen por objetivo entonces, establecer las condiciones generales básicas que deben cumplir los proyectos de túneles viales, desde su concepción y diseño, hasta su construcción y posterior operación. Se considera que las obras subterráneas complementarias a los túneles viales propiamente tales, como galerías auxiliares, piques de ventilación y cavernas, deberán cumplir con los mismos estándares, en lo que corresponda.

Consecuentemente, debe entenderse que estos estándares son aplicables a los nuevos proyectos de túneles de la Dirección de Vialidad y a aquellos que las autoridades del MOP establezcan expresamente en su momento.

Para los túneles de la Dirección de Vialidad que se encuentren en operación a la fecha de esta Resolución, es recomendable evaluar sus condiciones, tanto desde el punto de vista estructural como de sus condiciones de seguridad operacional, para posteriormente establecer los planes para llevarlos gradualmente al nivel a un mejor estándar, o alternativamente, definir las mejoras mínimas y las restricciones operacionales que aseguren niveles de seguridad aceptables.

CAPÍTULO 2

LA NATURALEZA DE LOS TÚNELES VIALES Y DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS EN GENERAL

A efectos de los presentes estándares, los túneles viales se pueden diferenciar según sean las características del medio en el cual se construyen y también, según la metodología utilizada para su construcción. Así, los distinguiremos si se excavan en roca o en suelo, o si su excavación se efectúa en forma convencional con uso de explosivos o en forma mecanizada.

Se considera además, que toda estructura prefabricada y luego depositada en un lecho fluvial o marino, o excavada como trinchera y luego cubierta, corresponde a la denominación genérica de "túnel". La longitud se mide desde el inicio al fin de la estructura cubierta lo cual hace que se incluyan, en la longitud, los denominados túneles falsos.

Para diferenciar entre roca y suelo, se entenderá que roca es todo el material que no puede ser excavado directamente en la frente del túnel mediante el uso de una pala excavadora y equipo de movimiento de tierras convencional, y que, salvo que se trate de máquinas tuneleras (TBM), rozadoras o similares, requeriría del uso de explosivos para su remoción.

2.1. TÚNELES EN ROCA EXCAVADOS CON USO DE EXPLOSIVOS

Son todos aquellos túneles excavados en roca mediante el uso de perforación y tronadura, en forma secuencial, con longitudes de avance variables según sea la sección a excavar y la calidad de la roca, usualmente en el entorno de 4 m por avance. El ciclo genérico es de perforación, carguío de los explosivos, tronadura, ventilación de la frente, retiro de la marina, acuñadura de la zona recién expuesta, evaluación geológica y colocación del sostenimiento inicial. El equipamiento utilizado es cada día más automatizado, con el propósito de minimizar la presencia de personal en la frente y disminuir así el riesgo de las personas a sufrir accidentes.

En general esta metodología de construcción es la que otorga mayor flexibilidad para adaptarse tanto a las diferentes geometrías de excavación, como asimismo a geologías complejas y/o altamente variables, pues permite aplicar una gran variedad de elementos de soporte y técnicas de tratamiento del terreno. Es también, en la mayoría de los casos, la más económica para túneles de mediana o pequeña longitud, estando el punto de equilibrio en el rango de los 6 km a 10 km. En condiciones de roca razonablemente buena y homogénea, en Chile es esperable obtener rendimientos de avance de excavación medios diarios por frente del orden de los 6 a 8 m/día y avances promedio mensuales en el entorno de los 180 m/mes por frente. Debe destacarse que, en general, es posible excavar un túnel con dos o más frentes de trabajo activos simultáneamente. La disponibilidad de frentes también será clave en la conveniencia, o no, del uso de excavación mecanizada a sección completa.

2.2. TÚNELES EN ROCA EXCAVADOS MECÁNICAMENTE

Son todos aquellos túneles excavados en roca mediante máquinas tuneleras de perforación a sección completa (Tunnel Boring Machine - TBM), rozadoras o similares, las cuales son de

diseño variado según las condiciones geológicas esperadas para el túnel. Las TBM van desde las "Máquinas Abiertas", ideales para condiciones geológicas de buena calidad, hasta las de "Doble Escudo" para condiciones geológicas complejas y variables, incluyendo las EPB (Earth Pressure Balance) y Crossover para condiciones especiales.

Dado el alto costo de adquisición de las máquinas tuneleras, sean estas nuevas o reacondicionadas, son económicamente competitivas para su utilización en túneles de gran longitud y, en casos de buena disponibilidad mecánica, permiten rendimientos medios diarios de avance de excavación del orden de los 18 m/día por frente, con promedios mensuales del orden de los 450 m/mes, para rocas de buena calidad en general.

Su mayor desventaja es la menor flexibilidad para adecuarse a la variabilidad de la geología. Además, el tratamiento de condiciones geotécnicas extremadamente adversas, como estallidos de roca (rockburst), o grandes infiltraciones de agua, por ejemplo, suele ser más lento y complicado que en el caso de túneles excavados con uso de explosivos.

2.3. TÚNELES URBANOS EXCAVADOS EN SUELOS

Estas estructuras son excavadas sin uso de explosivos, ya sea con equipos convencionales de movimiento de tierras o con máquinas tuneleras especiales para este propósito, y en general no presentan grandes incertidumbres respecto a las condiciones para su excavación. Ello en consideración a que los suelos donde estas obras se construyen (túneles viales urbanos o de ferrocarril metropolitano), son en general bastante homogéneos (en el caso de Santiago al menos), y fácilmente investigables dada la poca profundidad a la que se desarrollan estas obras.

Asimismo, el sostenimiento que se requiere es bastante estándar, usualmente hormigón proyectado (shotcrete), malla electrosoldada y marcos reticulados en forma sistemática. Para el caso de la excavación con TBM, el sostenimiento/revestimiento es con dovelas prefabricadas de hormigón a todo lo largo del túnel.

El diseño y construcción de estos túneles es por lo tanto específico y particular para este tipo de obras, por lo que se considera que no les son aplicables los presentes estándares, salvo en temas geométricos, operacionales y de seguridad vial.

2.4. TÚNELES INMERSOS

Estas obras consisten principalmente en estructuras modulares prefabricadas en seco, que se transportan flotando hasta el lugar de su implantación, y que posteriormente se hunden controladamente hasta el lecho fluvial (o marino), previamente acondicionado a estos efectos. Finalmente los módulos son unidos y sellados de modo de asegurar su estanqueidad.

Al igual que para los túneles en suelo, el diseño y construcción de este tipo de túneles es bastante específico y particular en estas obras, por lo que no les son aplicables los presentes estándares, salvo en temas geométricos, operacionales y de seguridad vial.

2.5. PIQUES, CAVERNAS Y OTRAS OBRAS SUBTERRÁNEAS

Estas obras son específicas a cada proyecto de túnel. Los piques se utilizan en general como elementos auxiliares a los sistemas de ventilación y las cavernas para alojar equipos eléctricos y otros. Su diseño geométrico es particular para cada caso y a los efectos de los presentes estándares, sólo le son aplicables los aspectos contractuales y los relacionados con las metodologías de diseño y construcción, pues estas estructuras no son objeto de tránsito de vehículos o personas.

Las galerías de evacuación de emergencia, en cambio, deben tratarse igual que los túneles viales, para todos los efectos incluidos en los presentes estándares.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO DE UN TÚNEL VIAL

3.1. FILOSOFÍA GENERAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

La principal característica de las obras subterráneas no urbanas, es que resulta prácticamente imposible conocer de antemano las reales condiciones que deberá enfrentar su construcción, por mucho que se efectúen grandes campañas de prospecciones y se comprometan significativos montos en investigaciones y estudios. En otras palabras, los cambios en las condiciones geotécnicas de las rocas durante la construcción, respecto a lo previsto por los estudios previos, constituye la norma y no la excepción.

Estas características obligan a contemplar metodologías de diseño y estrategias de contratación de las obras que aseguren que éstas cumplirán con las condiciones de estabilidad y seguridad que la vialidad requiere, y a su vez que eviten o minimicen los conflictos con los contratistas, derivados de los cambios en las condiciones del terreno.

Los elementos principales de esta filosofía son esencialmente los siguientes:

- Documentos de licitación con un grado de detalles a nivel de ingeniería básica para el sostenimiento del túnel, pues la ingeniería de detalles de los ítems dependientes de la geología sólo puede ser realizada una vez que su excavación ya ha sido ejecutada, y monitoreada durante un tiempo prudente;

- Contratos de construcción a serie de precios unitarios (para todos aquellos ítems dependientes de la geología), pudiendo también contar con partidas a suma alzada según el nivel de definición que tenga el diseño al momento de licitar;

- Un Cuadro de Precios del contrato que incluye un “Menú” de elementos y actividades, a fin de permitir disponer de todas las herramientas necesarias para enfrentar situaciones complejas dentro del túnel;

- “Tiempos de Construcción Equivalentes” para todos los elementos y actividades dependientes de la geología y cuya variación pueda afectar el plazo total de construcción del túnel;

- Diseño de detalles del sostenimiento (o soporte) junto con la construcción (Método Observacional).

- Prediseño del equipamiento a instalar en el túnel para la etapa de operación, y en particular de sus sistemas de ventilación y de seguridad, en cuanto estos equipos pueden condicionar la geometría de la excavación.

- Las variaciones en las cantidades de obra que sean producto de las condiciones geológicas del terreno y que por ende obedezcan a la especial naturaleza de la construcción de túneles, serán de responsabilidad del mandante, y en ningún caso podrán ser consideradas como producto de fuerza mayor o caso fortuito. Por otro lado, el contratista asume todos aquellos riesgos propios de su gestión, incluyendo la seguridad de los trabajadores, la calidad de las obras y los rendimientos de su ejecución.

- Además del contrato de construcción del túnel, y a diferencia de la construcción de un proyecto vial tradicional, en la construcción de túneles se requiere contar con una consultoría geológica de apoyo a la Inspección Fiscal, cuyo objetivo es realizar la ingeniería de detalles del sostenimiento del túnel durante su construcción. Esta consultoría puede incluirse dentro del contrato habitual de la Asesoría a la Inspección Fiscal o bien contratarse por separado.

3.2. ETAPAS DE UN PROYECTO

Sin olvidar que cada túnel es una obra única, y por lo tanto no se pueden aplicar normas rígidas para su desarrollo, existen ciertas actividades que son bastante habituales y recomendables de respetar, para un mejor conocimiento de las condiciones que deberá enfrentar su construcción.

En líneas generales estas etapas son las siguientes:

- **Estudios Previos (A nivel de Perfil, Ingeniería Conceptual y Prefactibilidad)**

Esta fase de los estudios incluye esencialmente trabajos de gabinete, con visitas de reconocimiento a terreno, ocasionalmente sobrevuelos en helicóptero, en general sin trabajos topográficos significativos (salvo eventualmente restituciones aerofotogramétricas tipo Lidar), ni exploraciones del subsuelo.

El producto esperado en esta fase es de identificación de un posible proyecto, con indicaciones de los niveles de inversión, plazos de construcción y problemas potenciales, tanto de la vialidad vecina a los portales del túnel, como del túnel mismo. Se debe incluir una evaluación geológica – geotécnica preliminar a lo largo del eje del túnel, y recomendaciones para la ejecución de prospecciones e investigaciones de terreno. También deben proponerse alternativas de

equipamiento de seguridad, según sea la longitud del túnel. El nivel de precisión del presupuesto de inversión debería situarse entre + 35% y - 35%.

- **Estudio de Factibilidad**

En esta fase de los estudios se contempla efectuar las investigaciones y trabajos de terreno mínimos necesarios para asegurar la factibilidad técnica y económica del proyecto. Las actividades a incluir para un túnel son, en general, las siguientes:

a. Estudios Básicos (por ejemplo, Geología/Mapeo Geológico, Mecánica de Suelos, Hidrología, Sismicidad).
b. Levantamientos topográficos y fotografías aéreas.
c. Ejecución de las Investigaciones de Terreno necesarias (sondajes, calicatas y perfiles geofísicos, entre otros).
d. Definición de los requisitos mínimos de seguridad.
e. Estudio de alternativas.
f. Selección de la Alternativa a desarrollar y el método constructivo a utilizar.
g. Evaluación económica.

El nivel de precisión esperado para el presupuesto de inversión en esta etapa de los estudios debería situarse entre + 25% y - 25%.

- **Anteproyecto (Ingeniería Básica)**

En esta fase de los estudios se contempla efectuar los diseños finales de la alternativa seleccionada, a un nivel de detalle suficiente para permitir la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, y todas las investigaciones y trabajos de terreno complementarios para este propósito. Las actividades a incluir para un túnel son, en general, las siguientes:

a. Prospecciones y trabajos de terreno complementarios
b. Anteproyecto del Túnel a Nivel de Ingeniería Básica
c. Anteproyecto de los Accesos a Nivel de Ingeniería Básica
d. Anteproyecto del Equipamiento requerido para la operación
e. Definición de las expropiaciones
f. Presupuesto de Construcción
g. Programa de Construcción
h. Metodología y Secuencia Constructiva
i. Estudio de Impacto Ambiental (si procede)
j. Proceso de Participación Ciudadana
k. Tramitación Ambiental (si procede)

El nivel de precisión esperado para el presupuesto de inversión en esta etapa de los estudios debería situarse entre + 15% y - 15%.

- **Ingeniería de Detalles**

En esta fase de los estudios se desarrollan todas las actividades necesarias para preparar los documentos de la licitación de las obras, las que, para un túnel, son en general las siguientes:

a. Ingeniería de Detalles del Túnel (con excepción del sostenimiento, que se define durante la construcción)
b. Ingeniería de Detalles del Proyecto Vial para los Accesos
c. Ingeniería de Detalles de los Sistemas y del Equipamiento
d. Documentos de Licitación para la Construcción
   - Memoria
   - Bases Administrativas para Construcción de Túneles
   - Especificaciones Técnicas (Generales y Particulares)
   - Planos de Obras Subterráneas y Civiles (Planta, Perfiles Transversales y Longitudinales, y Planos de Detalle)
   - Planos del Equipamiento (Generales y de Detalles por Sistema)
   - Cuadros de Cantidades de Obras, con respaldo de cubicaciones
   - Bases de Medición y Pago
e. Presupuesto Definitivo de Obras, desagregado por actividad
f. Programa de Construcción Definitivo
g. Manual de Operación y Mantenimiento

El nivel de precisión esperado para el presupuesto de inversión en esta etapa de los estudios debería situarse entre + 10% y - 10%, excepto para aquellos ítems que dependen de la geología, cuyo nivel de precisión corresponde al de la ingeniería básica.

3.3. SELECCIÓN DE LA CATEGORÍA DE UN TÚNEL

La categoría de un túnel vial dependerá de su longitud y del tráfico medio anual esperado a los 20 años desde el inicio de su operación, y permite definir el número de pistas, así como la necesidad de disponer de túneles auxiliares de emergencia y otros requisitos de seguridad vial, que se explicitan en Capítulo 8.

El volumen de tráfico corresponde al promedio anual de vehículos esperados, que circularán diariamente por cada sentido a los 20 años de operación del túnel. Si existe evidencia que este promedio anual presenta variaciones significativas a lo largo del día o durante el año, la categoría del túnel deberá ajustarse para tener en cuenta estas características.

En la Tabla N°1 siguiente se establecen las relaciones longitud – volumen de tráfico medio diario por sentido, para determinar la categoría del túnel.

		Vehículos diarios por sentido promedio anual				
		(Proyectados a 20 años desde inicio operación)				
Categoría		A	B	C	D	E
Longitud del túnel en km	0,0	150	2.500	5.000	7.500	> 7.500
	2,0	150	2.500	5.000	7.500	
	4,0	150	2.500	5.000	7.500	
	6,0	150	2.500	5.000	7.500	
	8,0	150	2.000	4.500	7.000	
	10,0	150	1.500	4.000	6.500	
	12,0	150	1.000	3.500	6.000	
	> 12,0					
A	Un túnel de una pista de circulación, semaforizada o equivalente					
B	Un Túnel de dos pistas de circulación					
C	Un Túnel de dos pistas de circulación mas túnel auxiliar de emergencia					
D	Dos túneles interconectados de dos pistas cada uno					
E	Diseño especial					

Tabla N°1: Categorías de Túneles Viales

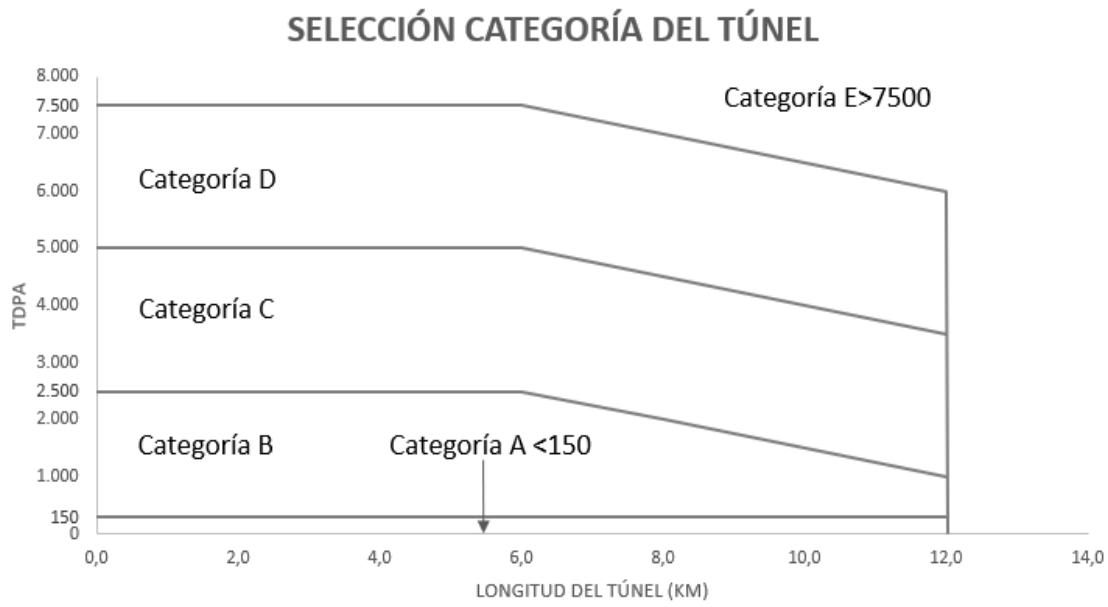

Tabla N°1 en Forma Gráfica

Sin perjuicio de lo señalado en la Tabla N°1, la secuencia constructiva podrá adecuarse de modo de optimizar las inversiones a lo largo del tiempo. A modo de ejemplo, y según la evolución del flujo de vehículos, si fuera del caso se podría partir con un túnel de 2 pistas de circulación (una por sentido), luego y cuando se requiera, agregar el túnel de emergencia o el segundo túnel.

Asimismo, si las condiciones particulares del proyecto no hacen aconsejable adoptar una Categoría de acuerdo a la Tabla N°1, ello se deberá fundamentar con un análisis de riesgos y con medidas específicas en el diseño, para asegurar condiciones de seguridad operacional equivalentes a la de la Categoría que le hubiese correspondido.

La categoría que finalmente se seleccione deberá ser aprobada por el Director Nacional de Vialidad, o por el Jefe del Servicio del MOP que tenga la tuición del túnel.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA

4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la evaluación geológica geotécnica es caracterizar las propiedades del terreno donde se proyecta el túnel en la forma más detallada posible y así disminuir las incertidumbres y los riesgos del proyecto, en línea con los rangos aceptables definidos para cada etapa de ingeniería. Por tanto, los estudios geológicos son parte fundamental del manejo de riesgos de un proyecto.

Existen diversas técnicas para la evaluación geológica y geotécnica de un túnel, incluyendo entre otras, las siguientes:

- Revisión bibliográfica (por ejemplo, carta geológica, artículos, tesis de grado, Google Earth, proyectos cercanos);
- Fotointerpretación
- Mapeos y reconocimientos de superficie;
- Técnicas geofísicas (sísmicas, eléctricas, electromagnéticas, y otras);
- Sondajes geológicos/geotécnicos;
- Ensayos geotécnicos in situ (medición de esfuerzos, ensayos de permeabilidad, y otros); y,
- Ensayos de laboratorio (por ejemplo, compresión uniaxial, parámetros elásticos, propiedades básicas).

Dado que la naturaleza de los riesgos geotécnicos puede variar enormemente entre un proyecto y otro, no existe una regla que permita definir de antemano la cantidad y tipo de investigaciones a ejecutar en cada etapa. Es decir, éstas se deben diseñar independientemente para cada proyecto y cada etapa, considerando las características del túnel, las condiciones geológicas esperadas, la accesibilidad del terreno y el clima, el método constructivo a utilizar y las restricciones ambientales del sector, entre otros aspectos.

Se debe destacar que, usualmente, el principal factor a optimizar en el diseño de un túnel vial es su alineamiento, pues es lo que mayor impacto tiene en sus inversiones y plazos. El trazado óptimo debe combinar aspectos más diversos que la sola geología, como pendientes, curvas y longitud. Sin embargo, es clave que el trazado permita minimizar los riesgos geotécnicos, y con ello los plazos y costos de construcción, y asimismo, los gastos del mantenimiento posterior del túnel.

Como parte de los documentos de licitación para la construcción de un túnel, todos los estudios geológicos y geotécnicos deberán ser compilados en un único informe. La idea de dicho informe es proveer a los contratistas, de la manera más transparente posible, de toda la información

factual e interpretativa disponible. Sin embargo, se debe aclarar que el documento es meramente informativo, y no representa una línea base contractual.

4.2. DURANTE LA ETAPA DE DISEÑO

Los estudios geológicos y geotécnicos durante la etapa de diseño de un túnel son un elemento fundamental para la selección del trazado, el método constructivo, el diseño del soporte y la estimación de costos y plazos, entre otros aspectos claves. La calidad geotécnica de los túneles viales del MOP se evaluará mediante el uso del método Q, de acuerdo con la última versión disponible del manual de uso publicado por el Norwegian Geotechnical Institute (NGI).

El método Q permite asignar al macizo rocoso distintas categorías o clases de calidad geotécnica, mediante la medición y combinación de algunos parámetros claves para la estabilidad de un túnel. El método está ampliamente cubierto en la literatura y por tanto no se detallará aquí. En casos particulares, la División de Túneles de la Dirección de Vialidad podrá aprobar el uso de otros métodos para clasificar el macizo rocoso.

Considerando túneles de aproximadamente 10 m de diámetro, se utilizarán los rangos de clasificación que se incluyen en la Tabla N°2 a continuación:

Índice Q	**Clase de Roca**	
Q > 10	Muy Buena	R1
4 < Q < 10	Buena	R2
1 < Q < 4	Regular	R3
0,1 < Q < 1	Mala	R4
0,01 < Q < 0,1	Muy Mala	R5a
Q < 0,01	Extremadamente Mala	R5b

Tabla N°2: Índices Q (1)

(1) https://www.ngi.no/eng/Services/Technical-expertise/Engineering-geology-and-rock-mechanics/Q-system

Las principales características geológicas y geotécnicas estimadas a lo largo del trazado en cada etapa de ingeniería, deberán resumirse en un perfil geológico que contenga, a lo menos, lo siguiente:

- Litología
- Sobrecarga (cobertura) y riesgo de sobreesfuerzos
- Nivel freático y riesgo de infiltración de aguas
- Resistencia a la compresión uniaxial (UCS)
- Fallas geológicas

- Exploraciones realizadas
- Clase de roca de acuerdo con el índice Q
- Indicación de la incertidumbre de la información disponible y de las estimaciones realizadas.

Adicionalmente a la clasificación geotécnica, durante el diseño es necesario estudiar algunos riesgos que, dado el alto impacto que tienen en los costos y plazos, merecen especial atención. Estos son:

- Fenómenos kársticos o de subsidencia por la presencia de minerales solubles al agua, tales como caliza y yeso;
- Sobresfuerzos que se manifiesten como estallido de roca, en caso de rocas competentes, o deformación plástica (squeezing), en caso de rocas de comportamiento más dúctil;
- Presencia de minerales expansivos como anhidrita, arcillas tipo montmorillonitas u otras, que pudieran generar daños en la fortificación del túnel durante la construcción o la operación;
- Presencia de fallas de gran magnitud y/o potencialmente activas;
- Ingreso de aguas con gran caudal y/o gran presión;
- Presencia de aguas termales o agresivas hacia los elementos de sostenimiento;
- Presencia de gases tóxicos
- Estabilidad de los taludes en las zonas adyacentes a los portales.
- Otros riesgos naturales: sismos, inundaciones, avalanchas, etc.

Todos los estudios deberán abordar los riesgos mencionados con el objetivo de descartarlos o cuantificarlos, incorporando un plan de investigaciones para poder acotarlos en etapas futuras.

Dado que la mayor incertidumbre en los proyectos de túneles radica en la cantidad y tipo de soporte a utilizar, lo aconsejable al estimar el nivel de imprevistos de un proyecto es asignar porcentajes diferentes a las distintas partes de obra, siendo estos mucho mayores para el ítem de sostenimiento, intermedios para el ítem de excavaciones subterráneas y bastante menores para las obras civiles exteriores y los equipamientos.

Con el objeto de evaluar los costos y cantidades de elementos asociados al tratamiento de infiltración de aguas en la frente del túnel, entendida esta como el sector correspondiente a la roca recién expuesta en el ciclo de excavación, se definen las siguientes categorías de condición de agua:

CAg 1:

Sin presencia de agua en la frente del túnel o con goteos o chorrillos menores, que en su conjunto no superen los 15 lt/min.

CAg 2:

Presencia moderada de agua en la frente, de hasta 150 lt/min, sin presión o con menos de 2 bares de presión.

CAg 3:

Presencia media de agua en la frente, de hasta 900 lt/min y presión de hasta 10 bar. También aplica a la categoría CAg 2, para presiones superiores a 2 bar.

CAg 4:

Gran presencia de agua en la frente, mayor que 900 lt/min con cualquier nivel de presión. También aplica a la categoría CAg 3, para presiones superiores a 10 bar.

Los criterios anteriores se resumen a continuación:

	Caudal (l/min)	**Presión (bar)**	**Observaciones**
CAg 1	<15	-	-
CAg 2	15 - 150	< 2	P>2bar pasa a CAg 3
CAg 3	150 - 900	2 - 10	P>10bar pasa a CAg 4
CAg 4	>900	-	-

4.3. DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

El análisis geológico y geotécnico durante la construcción tiene tres objetivos principales:

- Estimar las condiciones delante de la frente, de modo de prepararse para adoptar las medidas que corresponda, por ejemplo, zonas de falla o infiltración de aguas. La principal técnica para esto es el uso de perforaciones a roto-percusión desde la frente de excavación (efectuadas habitualmente con el propio Jumbo de perforación), las que, mediante medición de los parámetros de perforación como avance, presión y torque, así como la observación del líquido de retorno, permiten estimar indirectamente la calidad de la roca perforada. En condiciones puntuales se puede utilizar también sondajes con recuperación de testigos y/o algunas técnicas geofísicas.

- Definición del sostenimiento inicial. Después de cada tronadura se realiza un mapeo geotécnico de detalle de la frente del túnel. Esto permite definir los tipos y cantidades de soporte más adecuados para cada ciclo excavado, de modo de asegurar la estabilidad de la obra durante la construcción.

- Definición del sostenimiento adicional (definitivo). Por otra parte, una vez instalado el soporte inicial es necesario hacer un seguimiento de las zonas soportadas, para cuantificar el grado de deformación que éstas presentan y/o el nivel de exigencia al que está siendo sometido el soporte instalado. Esto se hará mediante la inspección visual del túnel, mapeo de grietas en el shotcrete, el uso de instrumentación geotécnica (prismas de convergencia, huincha extensométrica, extensómetros, celdas de carga, etc.) y, eventualmente, el uso de otras técnicas como, por ejemplo, ensayos in situ (medición de esfuerzos, módulo de

deformación del macizo rocoso, permeabilidad, etc.) y de laboratorio (resistencia a la compresión simple - UCS, ensayos de hinchamiento libre y de presión de hinchamiento, propiedades elásticas, etc.).

Las condiciones geológicas y geotécnicas observadas durante la construcción, así como los afloramientos de agua, los tratamientos de impermeabilización y todo el soporte instalado, deben ser registrados en los planos As Built del proyecto, que deberá elaborar la Asesoría de la Inspección Fiscal.

4.4. DURANTE LA OPERACIÓN (INSTRUMENTACIÓN)

Dependiendo principalmente de las características del macizo rocoso y de las restricciones medioambientales de cada proyecto, podrá ser necesaria la instalación de instrumentos que serán de utilidad durante la operación del túnel, tales como extensómetros, celdas de carga, fisurómetros, celdas de presión, piezómetros, medidores de vibración (acelerómetros) u otros. La cantidad, tipo y ubicación de los instrumentos dependerá de cada túnel y sus desafíos, y por tanto no es posible predefinir un criterio de antemano.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA DE DISEÑO Y DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE

5.1. ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE SOPORTE (O SOSTENIMIENTO)

Durante las etapas de ingeniería previas a la construcción, el objetivo del diseño del soporte es definir de la mejor manera posible las cantidades (cubicaciones) a utilizar en el proyecto. Esto permitirá una buena estimación de los costos y plazos de construcción, y será la base para definir el cuadro de precios que se incluirá en los documentos de licitación.

Para todos los efectos de estos estándares, se debe entender como “soporte” (o “sostenimiento”), a todos aquellos elementos, actividades y procesos destinados a asegurar la estabilidad de la sección excavada del túnel, tanto durante la construcción, como durante su posterior operación.

Considerando túneles de aproximadamente 10 m de diámetro en proyectos excavados mediante el uso de explosivos, las cantidades de los elementos básicos de soporte que se incluirán en el Cuadro de Precios serán los que se indican en la Tabla N°3, Tabla N°4 o Tabla N°5 siguientes, según sea la clase de roca prevista y el tipo de túnel de que se trate (dos pistas, galería vehicular, galería peatonal).

Otros elementos complementarios, tales como pernos de diferentes tipos, diámetros y longitudes, se determinarán según el modelo de Cuadro de Precios incluido en la Tabla N°6, a criterio del proyectista, de modo de disponer de precios unitarios para todos los elementos

posibles de utilizar para enfrentar situaciones especiales, pero con cantidades menores para no distorsionar el presupuesto del contrato.

Túnel Principal 2 Pistas	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE Va	CLASE Vb
Indice Q	Q>10	4<Q<10	1<Q<4	0.1<Q<1	0.01<Q<0.1	Q<0.01
Hormigón Proyectado con Fibra (cm)	8	10	12	15	20	25
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - % de la longitud	-------	-------	-------	30%	100%	100%
Marcos noruegos (RRS) (1) (2)- Tipo de Marco	-------	-------	-------	RRS1: S30/6 Φ18-ancho 0,8 m	RRS2: D45/8 Φ18-ancho 0,8 m	RRS3: D55/10 Φ18-ancho 0,8 m
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - Espaciamiento	-------	-------	-------	cada 2,5 m	cada 2,0 m	cada 1,2 m
Pernos radiales lechados o autoperforantes (L=4 m)	1 cada 6,25m2 Lechados	1 cada 4,41 m2 Lechados	1 cada 3,24 m2 Lechados	1 cada 2,25 m2 Lechados	1 cada 1,44 m2 Lechados	1 cada 1,00 m2 Autoperforantes
Longitdud con Contrabóveda (%)	-------	-------	-------	10%	60%	100%
Espesor de Contrabóveda (3) - Excavación (m)	-------	-------	-------	1,2	1,5	2,0
Malla en Contrabóveda	-------	-------	-------	C 378 doble	C 378 doble	C 378 doble
Disparos Cortos	-------	-------	-------	20%	100%	100%
División en Cabeza y Banco o Avance con Pechuga (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	25%	50%
Estabilización de la Frente (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	50%	100%
Pernos Paraguas o Spilling tipo Titán 40/16 o similar - % de la longitud (4)	-------	-------	-------	-------	60%	100%

Tabla N°3: Estimación del Soporte para Túnel de 2 Pistas

Galería Vehicular	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE Va	CLASE Vb
Indice Q	10 <Q	4 <Q<10	1 <Q<4	0.1<Q<1	0.01<Q<0.1	Q<0.01
Hormigón Proyectado con Fibra (cm)	5	5	8	12	20	25
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - % de la longitud	-------	-------		30%	100%	100%
Marcos noruegos (RRS) (1) (2)- Tipo de Marco	-------	-------	-------	RRS1: S30/6 Φ18-ancho 0,8 m	RRS2: D45/8 Φ18-ancho 0,8 m	RRS3: D55/10 Φ18-ancho 0,8 m
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - Espaciamiento	-------	-------	-------	cada 2,5 m	cada 2,0 m	cada 1,2 m
Pernos radiales (L=3,0 m)	1 cada 6,25 m2 Lechados	1 cada 2,89 m2 Lechados	1 cada 2,25 m2 Lechados	1 cada 1,69 m2 Lechados	1 cada 1,00 m2 Lechados	1 cada 1,00 m2 Autoperforantes
Longitud con Contrabóveda (%)	-------	-------	-------	10%	60%	100%
Espesor de Contrabóveda (3) - Excavación / Hormigón (m)	-------	-------	-------	0,4	0,7	1,0
Malla en Contrabóveda	-------	-------	-------	C 378 doble	C 378 doble	C 378 doble
Disparos Cortos	-------	-------	-------	20%	100%	100%
División en Cabeza y Banco o Avance con Pechuga (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	25%	50%
Estabilización de la Frente (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	50%	100%
Pernos Paraguas o Spilling tipo Titán 40/16 o similar - % de la longitud (4)	-------	-------	-------	-------	60%	100%

Tabla N°4: Estimación del Soporte para Galería Vehicular

Galería Peatonal	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE Va	CLASE Vb
Indice Q	Q>10	4<Q<10	1<Q<4	0.1<Q<1	0.01<Q<0.1	
Hormigón Proyectado con Fibra (cm)	5	5	10	15	20	
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - % de la longitud	-------	-------	-------	30%	100%	
Marcos noruegos (RRS) (1) (2)- Tipo de Marco	-------	-------	-------	RRS1: S30/6 Φ18- ancho 0,8 m	RRS2: D45/8 Φ18- ancho 0,8 m	
Marcos noruegos (RRS) (1) (2) - Espaciamiento	-------	-------	-------	cada 3,5 m	cada 2,5 m	
Pernos radiales (L=2,4 m)	1 cada 4 m2 Lechados	1 cada 2,89 m2 Lechados	1 cada 1,69 m2 Lechados	1 cada 1,00 m2 Lechados	1 cada 1,00 m2 Autoperforantes	
Longitdud con Contrabóveda (%)	-------	-------	-------	-------	30%	N/A
Espesor de Contrabóveda (3) - Excavación (m)	-------	-------	-------	-------	0,4	
Malla en Contrabóveda	-------	-------	-------	-------	C 378 doble	
Disparos Cortos	-------	-------	-------	20%	100%	
División en Cabeza y Banco o Avance con Pechuga (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	-------	
Estabilización de la Frente (espesor=5 cm)	-------	-------	-------	-------	50%	
Pernos Paraguas o Spilling tipo Titán 40/16 o similar - % de la longitud (4)	-------	-------	-------	-------	50%	

Tabla N°5: Estimación del Soporte para Galería Peatonal

(1) Nomenclatura para marcos RRS: SX/n Φy
- RRS: Reinforced Ribs of Shotcrete
- S: una hilera de barras; D: doble hilera de barras
- X: espesor de shotcrete del marco en centímetros
- n: número de barras
- Φy: diámetro de las barras en mm
- Se consideran marcos de 80 centímetros de ancho

(2) Los marcos noruegos podrán reemplazarse por marcos reticulados

(3) Profundidad excavada del invert o “contrabóveda”

(4) Se asumirá que la cantidad de pernos paraguas o “spilling” se distribuyen en cantidades iguales para largos de 4m, 6m, 9m y 12m (por tanto el total de cada uno corresponde al 25% de lo que se determine según la Tabla N°5).

Debe tenerse en cuenta que el soporte determinado según las Tablas N°s 3, 4 y 5, no es necesariamente el que se instalará durante la construcción del túnel, sino que corresponde a la estimación de las cantidades a incluir en el Cuadro de Cantidades, con el único objetivo de estimar los costos y plazos del proyecto.

El uso de modelos numéricos puede ser de gran utilidad en algunas circunstancias, o de ninguna utilidad en otras, y deberá, por tanto, ser acordado previamente entre el consultor y la División de Túneles.

La tabla de soporte indicada no será válida en condiciones geotécnicas extremadamente adversas, como por ejemplo presencia de fenómenos kársticos, o sobreesfuerzos muy elevados.

En estos casos, el consultor deberá proponer y acordar con la División de Túneles los soportes más adecuados.

Para efectos de estimar costos y plazos de las actividades relacionadas con el control de las filtraciones, se contempla la ejecución de los siguientes trabajos en función de la clasificación descrita en el punto 4.2, para las diferentes condiciones de agua en la frente del túnel producto de infiltración de aguas subterráneas. Se consideran los siguientes tratamientos:

CAg 1:

Sondajes de exploración: 1 a 2 sondajes de 30 m de longitud sistemáticos, con un traslape mínimo de dos ciclos normales de avance (o 7 m para ciclos más cortos), independientemente de las condiciones geológicas que se puedan observar en la frente.

Para esta condición de aguas en la frente no se contemplan inyecciones de impermeabilización.

CAg 2:

Sondajes de exploración: 2 a 4 sondajes de 30 m de largo delante la frente, con un traslape mínimo de dos ciclos normales de avance (o 7 m para ciclos más cortos). También corresponde la pre inyección de lechada en 9 - 15 perforaciones de 15 - 30 metros por delante de la frente, más 3 a 6 perforaciones para monitorear los resultados de la pre inyección.

Para efectos de cubicaciones, se estimarán 200 kg de cemento por metro de túnel en esta condición de aguas.

CAg 3:

Sondajes de exploración: 3 - 5 sondajes de 30 m de largo delante la frente, con un traslape mínimo de tres ciclos normales de avance (o 10 m para ciclos más cortos). También corresponde la pre inyección de lechada en 15 - 25 perforaciones de 20 - 25 metros por delante de la frente, más 5 - 10 perforaciones para monitorear los resultados de la pre inyección.

Para efectos de cubicaciones, se estimarán 500 kg de cemento por metro de túnel en esta condición de aguas.

CAg 4:

Sondajes de exploración: 3 - 5 sondajes de 30 m de largo delante la frente, con un traslape mínimo de tres ciclos normales de avance (o 10 m para ciclos más cortos). También corresponde la pre inyección de lechada en 20 - 30 perforaciones de 25 - 30 metros por delante de la frente, más 6 - 12 perforaciones para monitorear los resultados de la pre inyección.

Para efectos de cubicaciones, se estimarán 1.000 kg de cemento por metro de túnel en esta condición de aguas.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las actividades a incluir en el Cuadro de Precios, en función de la condición esperada de las filtraciones de agua hacia el túnel:

	N° Sondajes	Largo (m)	Traslape (N° avances)	Pre-inyección	Impermeabilización (kg/metro túnel)
CAg 1	1 a 2	30	2	-	-
CAg 2	2 a 4	30	2	En 9-15 perforaciones de 15-30m delante del frente	200
CAg 3	3 a 5	30	3	En 15-25 perforaciones de 20-25 m delante del frente + 5-10 perforaciones de monitoreo	500
CAg 4	3 a 5	30	3	En 20-30 perforaciones de 25-30m delante de la frente + 6-12 perforaciones de monitoreo	1.000

5.2. DEFINICIÓN DEL SOPORTE INICIAL

El soporte inicial se definirá una vez realizado el mapeo de la frente excavada. A diferencia de lo indicado en el punto anterior, durante la construcción no se utilizarán clases de soporte predefinidas asociados a distintas calidades de roca, pues ello tiende a instalar más soporte que el que es realmente necesario (es usual que en una misma sección existan, por ejemplo, rocas de variada calidad). El soporte inicial se definirá considerando los elementos de soporte incluidos en un menú de elementos de soporte preparado por el MOP (Cuadro de Precios), combinando de la mejor manera posible los elementos de acuerdo con las características observadas del macizo rocoso.

El tipo, cantidad y ubicación del sostenimiento inicial será propuesto por el contratista y requerirá la aprobación de la División de Túneles de la Dirección de Vialidad para su instalación.

Salvo casos especiales debidamente aprobados por la División de Túneles, todos los elementos que se seleccione para el sostenimiento inicial deberán poder formar parte del soporte definitivo, por lo que deberán cumplir con todos los requisitos de calidad y durabilidad definidos de acuerdo con la vida útil y características del proyecto.

5.3. DEFINICIÓN DEL SOPORTE ADICIONAL

El soporte adicional busca cubrir las diferencias entre los requisitos de estabilidad del túnel durante la construcción y durante la operación. Debe destacarse que, en general, en los túneles viales las condiciones en las que se construye y se opera el túnel no presentan grandes variaciones, y, por tanto, la diferencia entre soporte inicial y final podría no ser tan significativa. Esto difiere de, por ejemplo, los túneles mineros, donde los esfuerzos durante la operación

(explotación) pueden ser muy superiores a los de la construcción, o de los túneles hidráulicos donde la operación incluye las cargas y requerimientos asociados al paso del agua. Sin embargo, en algunos casos, la diferencia puede ser significativa en un túnel vial.

Un buen ejemplo de esto es cuando el túnel presenta arcillas expansivas, pues estas pueden mostrar un buen grado de estabilidad en el corto plazo, y por ende no requerir un soporte inicial muy pesado para la etapa de construcción, pero en el mediano o largo plazo, producto del deterioro de las arcillas en función del tiempo, pueden requerir un aumento significativo del soporte. La diferencia entre soporte inicial y final también puede darse por el hecho de que el factor de seguridad requerido durante la operación es mayor al de la construcción. En este sentido, el soporte inicial podría, por ejemplo, prescindir del uso de shotcrete en un tramo de muy buena calidad de roca, sin embargo, el soporte definitivo de un túnel vial en esa misma calidad geológica en ningún caso aceptará tramos con menos de 8 centímetros de hormigón proyectado de piso a piso.

El soporte adicional, o definitivo, se definirá de acuerdo con el resultado de las investigaciones que se realicen durante la construcción, tales como el monitoreo geotécnico, los ensayos in situ y los ensayos de laboratorio. Éstos permitirán evaluar con mayor detalle las características del macizo rocoso, su comportamiento después de la excavación, y con ello, la necesidad de elementos adicionales para asegurar la estabilidad en el largo plazo.

Como regla general, la División de Túneles no considera necesario el uso de revestimiento de hormigón en todo el túnel como soporte definitivo, pues la tecnología actual del shotcrete permite cumplir ese objetivo de igual o mejor manera. En este sentido, se recomienda tener presente el documento “Permanent Sprayed Concrete Linings”, publicado el año 2020 por la Asociación Internacional de Túneles (ITA), a fin de promover el uso del shotcrete como revestimiento definitivo en espacios subterráneos.

5.4. EJEMPLO DE UN ITEMIZADO TIPO PARA UN FRENTE DE EXCAVACIÓN DE TÚNEL

Sin pretender ser exhaustivos en el itemizado que se presenta en la Tabla N°6, en el sentido que en algunos casos pueda requerirse de otros elementos de soporte o tratamiento de la roca, ésta muestra la estructura típica del documento que finalmente se constituye en el Cuadro de Precios del Contrato.

En las columnas aparece, para cada ítem, la unidad de medida, la cantidad esperada, el tiempo unitario equivalente, el tiempo de construcción equivalente total, los precios unitarios y el precio esperado del ítem. Los conceptos de Tiempo Unitario Equivalente y de Tiempo de Construcción Equivalente Contratado se explican en el Capítulo 10.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PU / SA	UNIDAD	CANTIDAD	Tiempo Equivalente		Precio	
					Tiempo Unitario (hr/unidad)	Tiempo total (hr)	Unitario (UF/Unidad)	Total (UF)
3	OBRAS SUBTERRÁNEAS - EXCAVACIÓN TÚNELES							
3.1	EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA							
3.1.1	EXCAVACIÓN TÚNEL							
3.1.1.1	Excavación subterránea túnel desde Portal (PK 3+375) hasta Límite Fronterizo (PK 2+022) L= 1.353 m., sección neta mínima de 55,46 m² (descontado sección actual túnel) Avance normal (L)= m.	PU	m		2,150			
3.1.1.2	Excavación subterránea del túnel. Sobre excavación adicional autorizada	PU	m³		0,030			
3.1.1.3	Excavación subterránea del túnel. Adicional por ciclo de voladura corta. Largo de Avance ≥ 40% y < 70% de avance normal (L) informado por contratista	PU	m		1,100			
3.1.1.4	Excavación subterránea del túnel. Adicional por ciclo de voladura muy corta. Largo de avance < 40% de avance normal (L) informado por contratista	PU	m		1,350			
3.1.1.5	Excavación subterránea del túnel. Adicional por subdivisión en cabeza y banco.	PU	m		0,100			
3.1.1.6	Excavación de contra bóveda en suelos	PU	m³		0,170			
3.1.1.7	Excavación de contra bóveda en roca mala	PU	m³		0,200			
	SUBTOTAL 3.1							
3.2	DRENAJE							
3.2.1	Ingreso de agua. Estación de medición en Portal de Acceso.	PU	c/u		-----			
3.2.2	Drenaje del túnel (Agotamiento por tramos de 300 l/min, excluyendo los primeros 300 l/min e incluídos en el P.U. de los ítems de excavación)	PU	sem		-----			
	SUBTOTAL 3.2							
3.3	SONDAJES EXPLORATORIOS Y GROUTING							
3.3.1	Perforación de exploración (percusión), diámetro mínimo 45 mm. Profundidad 0 a 35 m. En la frente	PU	m		0,050			
3.3.2	Perforación de exploración (percusión), diámetro mínimo 45 mm. Profundidad 0 a 35 m. Detrás de la frente	PU	m		0,050			
3.3.3	Pruebas de agua (ensayos lugeon)	PU	c/u		0,330			
3.3.4	Grouting. Instalación de Packer. Profundidad 0-5m. En la frente	PU	c/u		0,200			
3.3.5	Grouting. Instalación de Packer. Profundidad 0-5m. Detrás de la frente	PU	c/u		0,200			
3.3.6	Inyecciones Tipo 1. Cementicia. En la frente	PU	ton		tiempo efectivo			
3.3.7	Inyecciones Tipo 1. Cementicia. Detrás de la frente	PU	ton		tiempo efectivo			
3.3.8	Inyecciones Tipo 2. Poliuretano.	PU	ton		tiempo efectivo			
3.3.9	Costos dependientes del tiempo para inyecciones. En la frente	PU	hr		-----			
3.3.10	Costos dependientes del tiempo para inyecciones. Detrás de la frente	PU	hr		------			
	SUBTOTAL 3.3							
3.4	SOSTENIMIENTO							
3.4.1	Acuñadura adicional autorizada. En la frente	PU	m²		tiempo efectivo			
3.4.2	Acuñadura adicional autorizada. Detrás de la frente	PU	m²		tiempo efectivo			
3.4.3	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes, galvanizados, de anclaje, inyectados con resina. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m	PU	c/u		0,110			
3.4.4	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes, galvanizados, de anclaje, inyectados con resina. Detrás de la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m	PU	c/u		0,100			
3.4.5	Pernos Helicoidales galvanizados ,de anclaje, inyectados con lechada y cabeza expansiva. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m	PU	c/u		0,110			
3.4.6	Pernos Helicoidales galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada y cabeza expansiva. Detrás de la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m	PU	c/u		0,100			
3.4.7	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m.	PU	c/u		0,110			
3.4.8	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. Detrás de la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 2,5 m.	PU	c/u		0,100			
3.4.9	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 3,0 m	PU	c/u		0,125			
3.4.10	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. Detrás de la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 3,0 m	PU	c/u		0,110			
3.4.11	Pernos helicoidales galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada y cabeza expansiva. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 3,0 m	PU	c/u		0,125			
3.4.12	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con resina. En la frente. D=22 mm. Profundidad en roca 3,0 m	PU	c/u		0,110			
3.4.13	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. En la frente. D=25 mm. Profundidad en roca 4,0 m	PU	c/u		0,150			
3.4.14	Pernos acero A630-420H, barra con resalte galvanizados, de anclaje, inyectados con lechada. Detrás de la frente. D=25 mm. Profundidad en roca 4,0 m	PU	c/u		0,130			

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PU / SA	UNIDAD	CANTIDAD	Tiempo Equivalente		Precio	
					Tiempo Unitario (hr/unidad)	Tiempo total (hr)	Unitario (UF/Unidad)	Total (UF)
3.4.15	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje, inyectados con resina. En la frente D=25 mm. Profundidad en roca 4,0 m	PU	c/u		0,150			
3.4.16	Pernos acero A630-420H, barra con resaltes galvanizados, de anclaje inyectados con resina. D= 32 mm, profundidad en roca 4,0 m. (para conexión de galerías)	PU	c/u		0,150			
3.4.17	Pernos autoperforantes tipo Titán 40/16 Largo 3,0 m. para zonas de spilling	PU	c/u		0,220			
3.4.18	Pernos autoperforantes tipo Titán 75/36 Largo 9,0 m.	PU	c/u		0,250			
3.4.19	Pernos de Fibra de Vidrio de barra maciza, inyectados con lechada. En la frente de avance D= 32 mm, profundidad en suelo 4,0 m., con placa de fibra de vidrio y cuña de soporte.	PU	c/u		0,250			
3.4.20	Anclaje de cables de acero calidad St 1570/1770 con protección anti corrosión	PU	m		0,200			
3.4.21	Malla electro soldada, 150x150x6,5 C 221, fija a pernos. En la Frente	PU	m²		0,130			
3.4.22	Malla electro soldada, 150x150x6,5 C 221, fija a pernos. Detrás de la frente.	PU	m²		0,080			
3.4.23	Hormigón proyectado G40. Simple. En la frente y/o en la cara de avance.	PU	m³		0,275			
3.4.24	Hormigón proyectado G40. Simple. Detrás de la frente.	PU	m³		0,225			
3.4.25	Hormigón proyectado G40. Reforzado con fibra metálica. En la frente.	PU	m³		0,275			
3.4.26	Hormigón proyectado G40. Reforzado con fibra metálica. Detrás de la frente	PU	m³		0,225			
3.4.27	Microfibras de Polipropileno (2 Kg/m³ de hormigón proyectado)	PU	kg		-			
3.4.28	Suministro e instalación de marcos noruegos (RRS1)	PU	kg		0,010			
3.4.29	Suministro e Instalación de marcos noruegos (RRS2)	PU	kg		0,011			
3.4.30	Suministro e Instalación de marcos noruegos (RRS3)	PU	kg		0,012			
3.4.31	Suministro e Instalación de marcos reticulados para refuerzo de hormigón proyectado. En la frente, Túnel principal, Tipo 95.28-22 de 216,27 Kg/marco	PU	c/u		1,000			
3.4.32	Suministro e Instalación de marcos reticulados para refuerzo de hormigón proyectado. Detrás de la frente.Túnel principal, Tipo 95.28-22 de 216,27 Kg/ marco	PU	c/u		1,000			
3.4.33	Suministro e Instalación de marcos reticulados para refuerzo de hormigón proyectado. En la frente, Túnel GIV-4, en encuentro con túnel principal, Tipo 95.28-22 de 196,56 Kg/marco	PU	c/u		0,800			
3.4.34	Suministro e Instalación de marcos reticulados para refuerzo de hormigón proyectado. En la frente, Túnel GIP-5, en encuentro con túnel principal, Tipo 95.28-22 de 131,31 Kg/marco	PU	c/u		0,800			
3.4.35	Suministro e Instalación de marcos reticulados para refuerzo de hormigón proyectado. En la frente, Túnel Centro de Transformación GCT2, en encuentro con Galería GIV 4, Tipo 95.28-22 de 148,86 Kg/marco	PU	c/u		0,800			
3.4.36	Hormigón proyectado G40 de contra bóveda. En la frente	PU	m³		0,200			
3.4.37	Hormigón de relleno G10 de contra bóveda .En la frente	PU	m³		0,175			
3.4.38	Refuerzo malla C378 de contra bóveda.	PU	m²		0,010			
	SUBTOTAL 3.4							
3.5	**INVESTIGACIÓN E INSTRUMENTACIÓN**							
3.5.1	Tiempo por detención de faenas para la realización de pruebas y ensayos	PU	hr		tiempo efectivo			
3.5.2	Sondaje con recuperación de testigo. Instalación en cada ubicación para sondaje.	PU	c/u		4,000			
3.5.3	Sondaje con recuperación de testigo, diámetro mínimo 76 mm. Profundidad de 0 a 30 m	PU	m		0,800			
3.5.4	Sondaje con recuperación de testigo, diámetro mínimo 76 mm. Profundidad de 30 a 100 m	PU	m		1,000			
3.5.5	Sondaje con recuperación de testigo. Relleno o estabilización. Consumo de cemento.	PU	kg		tiempo efectivo			
3.5.6	Sondaje con recuperación de testigo, diámetro Tipo BQ. Profundidad 5 m.	PU	m		0,500			
3.5.7	Provisión y remoción de instrumento para inspección de inclinación y desviación.	SA	gl		-----			
3.5.8	Provisión y remoción de instrumentos de inspección para orientación del testigo.	SA	gl		-----			
3.5.9	Medición de inclinación y desviación del sondaje	SA	gl		tiempo efectivo			
3.5.10	Medición para determinar la orientación del testigo en cada sondaje.	PU	c/u		tiempo efectivo			
3.5.11	Puntos de control de convergencias con cinta extensométrica	PU	c/u		---			
3.5.12	Colocación de extensómetros	PU	c/u		----			
3.5.13	Estaciones de convergencia. Máx. 5 pins.(prisma)	PU	c/u		---			
	SUBTOTAL 3.5							
3.6	**IMPERMEABILIZACIÓN TÚNEL**							
3.6.1	Aplicación hormigón proyectado de nivelación con granulometría fina	PU	m²		---			
3.6.2	Aplicación membrana proyectable de impermeabilización 150% de elasticidad, 1 Mega pascal de adherencia y espesor 3 mm.	PU	m²		---			
	SUBTOTAL 3.6							
	TOTAL COSTO SECCIÓN 3 (PU + SA)							

Tabla N°6: Ejemplo del Cuadro de Precios para un Contrato de Túneles

CAPÍTULO 6

IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE

6.1. AFLORAMIENTOS DE AGUA

Es usual durante la construcción de un túnel que aparezcan filtraciones o afloramientos de agua, y su manejo y sistema de control dependerá en gran medida de las dificultades que su presencia les imponga a los procesos de excavación y sostenimiento del túnel, y de los requisitos de estanqueidad definidos para éste.

Por lo general, goteos y chorrillos menores distribuidos, de hasta 1 lt/s/km, no implican mayores problemas durante la construcción. Para caudales mayores o flujos concentrados sin presión, se podrá utilizar barbacanas o elementos similares que desvíen las aguas hacia las tuberías de drenaje. En sectores con afloramientos de agua en alta presión lo habitual es tratar el macizo rocoso con inyecciones cementicias o eventualmente químicas.

En el caso de barbacanas u otras técnicas que apunten a drenar el macizo rocoso, se deberá considerar las restricciones ambientales del lugar, con el objetivo de no deprimir la napa si ello tuviera algún efecto no deseado.

En sectores de túnel donde exista presencia de agua, o donde se presuma que ella pueda existir, es imperativo la ejecución de sondajes exploratorios a rotopercusión con medición de parámetros, a fin de anticipar las necesidades de inyecciones de impermeabilización.

Durante la operación de un túnel vial no es aceptable la presencia de goteos o caída de agua hacia la calzada, por lo que durante la construcción del túnel se deberá controlar su existencia, sea canalizándola hacia los sistemas de drenaje ubicados bajo las bermas, o impermeabilizando la roca circundante.

6.2. INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN

Las inyecciones en un túnel podrán ser cementicias, químicas o una combinación de ambas, y se utilizarán para controlar e impermeabilizar el macizo rocoso donde se ubica el túnel, o mejorar la calidad de la roca para asegurar condiciones adecuadas de constructibilidad. El proyectista del túnel deberá especificar las dosificaciones y tipo de inyección a utilizar, las que deberán ser aprobadas por la División de Túneles.

El proyectista del túnel podrá proponer a la División de Túneles otras técnicas de impermeabilización, como alternativa a la ejecución de inyecciones.

6.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS

Todas las aguas efluentes desde los sistemas de drenaje del túnel deberán ser tratadas antes de restituirlas a los cauces naturales, y su tratamiento dependerá de la calidad de ellas. Como

mínimo se deberá incluir la eliminación de aceites y otras sustancias derivadas del paso de los vehículos, conforme la legislación ambiental vigente.

CAPÍTULO 7

DISEÑO GEOMÉTRICO

7.1. SECCIÓN TRANSVERSAL

Salvo para las galerías auxiliares o de emergencia de sección menor que 25 m2, cuya sección transversal podrá ser de arco de medio punto (paredes verticales, bóveda circular y piso plano), todos los túneles deberán tener sección herradura normal u ovoidal (esta última cuando se requiere contra bóveda), si son excavados mediante el uso de explosivos, o circular, si ella se realiza mediante máquinas tuneleras (TBM) convencionales.

7.1.1. Secciones Típicas

a. Túneles Viales

Las secciones típicas para los túneles viales deberán tener pistas de circulación, bermas y gálibo según se indica en la Tabla 7 de este documento. La geometría libre de obstáculos deberá tener el gálibo indicado en dicha tabla, el ancho de la o las pistas de circulación y más el ancho de las bermas a ambos costados del túnel, según se puede apreciar en la figura N°1, donde las dimensiones están en m:

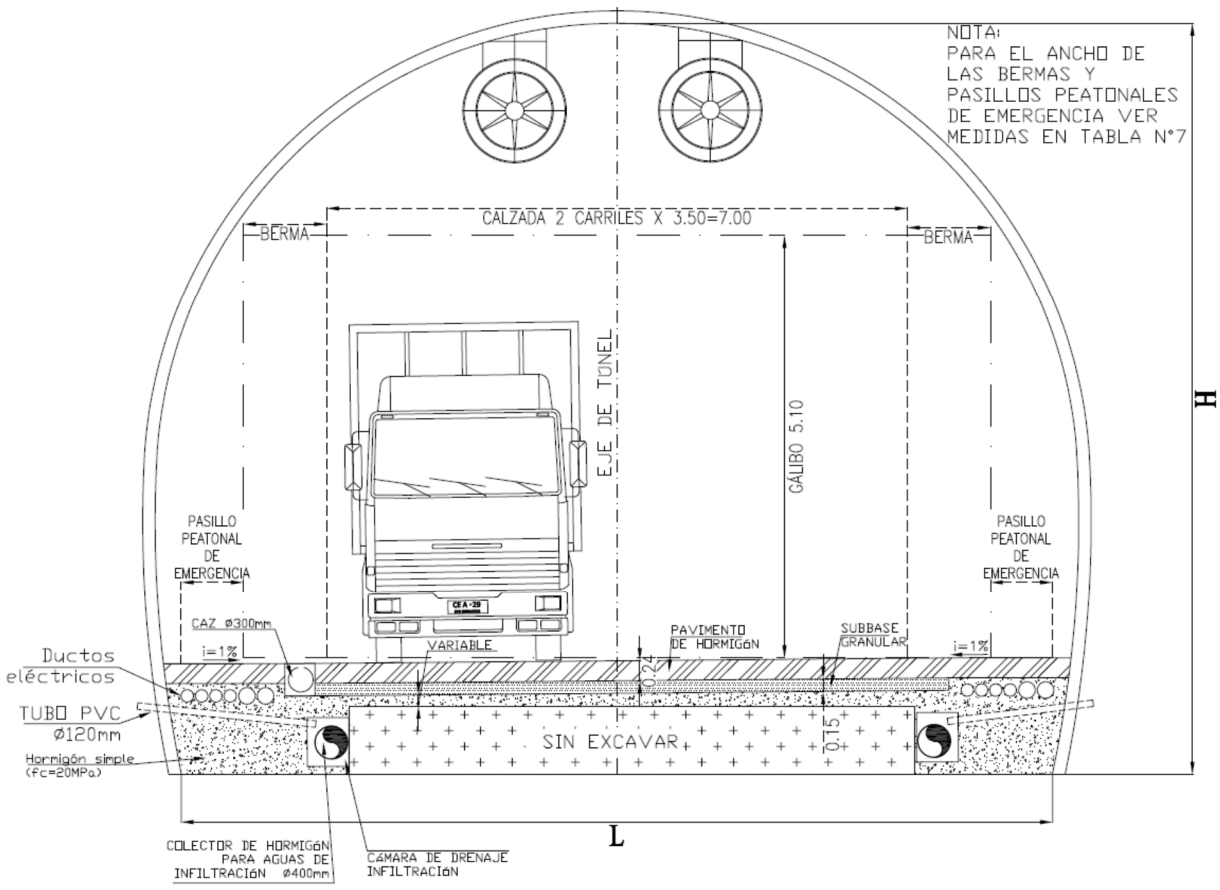

Figura N°1: Sección Transversal Tipo para Túnel de dos Pistas

La separación entre la calzada y los pasillos peatonales de escape deberán demarcarse con pintura y tachas reflectantes.

La pendiente transversal de la calzada deberá ser de un 1%, independientemente del número de pistas y si el túnel es bidireccional o unidireccional.

Para efectos de determinar la sección de excavación, se deberá tener en cuenta que todo el soporte que requiera el túnel según las condiciones de la geología, así como los requerimientos de espacio para los equipos que deban instalarse en ella, deberán quedar fuera de la geometría libre de obstáculos.

b. Galerías Peatonales de Escape

Las secciones típicas para galerías peatonales deberán tener una geometría libre de obstáculos de 2,50 m de ancho y 2,20 m de alto, según se puede apreciar en la figura N°2, donde las dimensiones están en m:

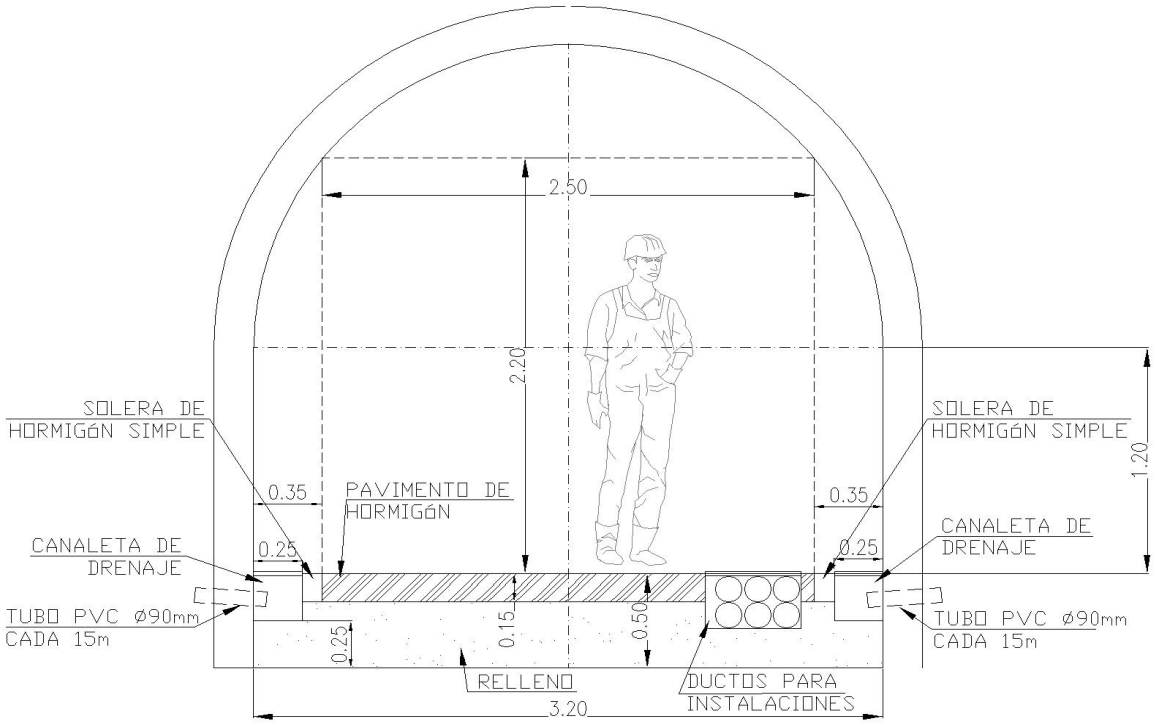

Figura N°2: Sección Transversal Tipo para Galerías Peatonales

c. Galerías Mixtas de Escape (vehiculares y Peatonales)

Las secciones típicas para galerías mixtas (vehiculares y peatonales) deberán considerar una geometría libre de obstáculos de 3,60 m de ancho y 4,00 m de alto, según se puede apreciar en la figura N°3, donde las dimensiones están en m.

La separación entre la calzada y los pasillos peatonales de escape deberán demarcarse con pintura y tachas reflectantes.

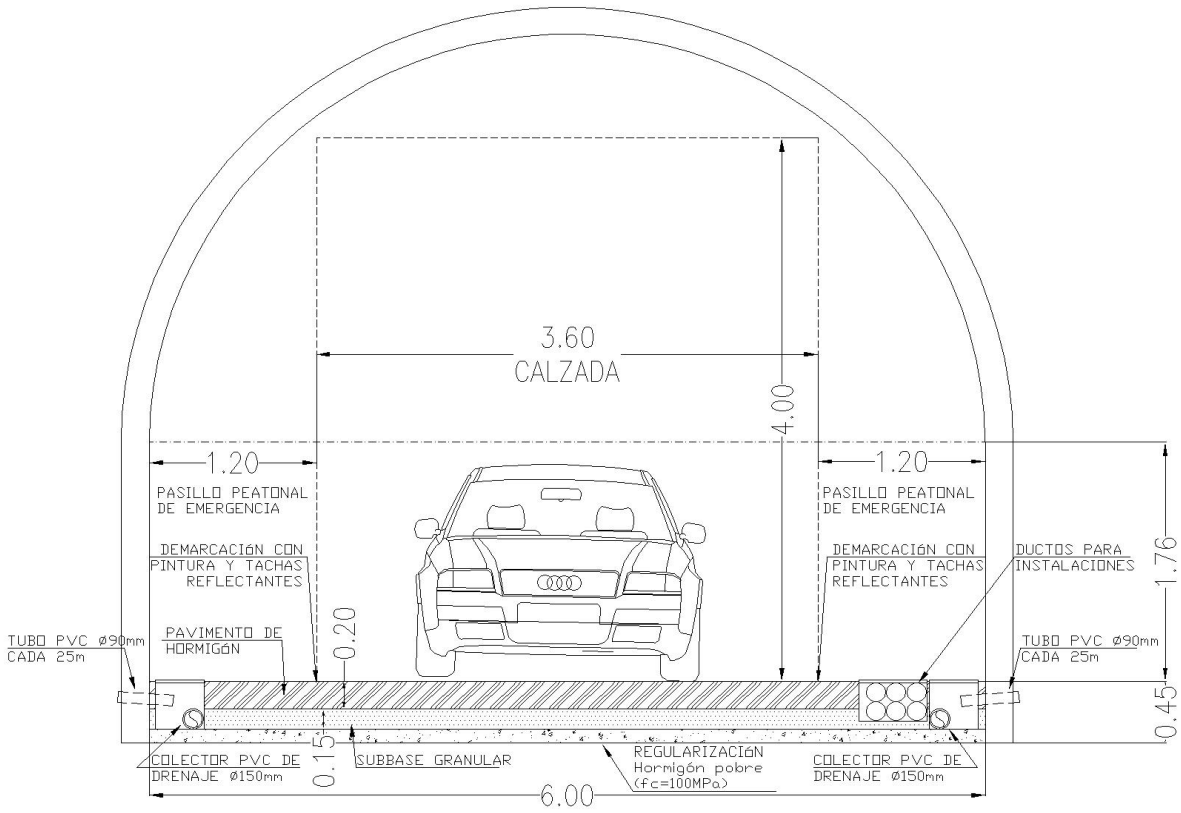

Figura N°3: Sección Transversal Tipo para Galerías Mixtas

7.1.2. Bahías de Estacionamiento

En túneles de más de 500 m de longitud se deberá incluir bahías de estacionamiento cada 500 m por sentido de tránsito, distribuidas en lo posible de manera simétrica entre las bocas del túnel, con teléfonos de emergencia, 2 extintores de incendios portátiles y mangueras. La zona estará constituida por ensanches del túnel de 3,5 m de ancho de pista, 5,1 m de gálibo libre, 30 m de longitud útil (sin tomar en cuenta las transiciones con la sección normal del túnel), transiciones de 6 m cada una y 0,50 m de berma. En túneles con tráfico bidireccional deben ubicarse intercaladas.

7.1.3. Galerías o Salidas de Emergencia

Cuando corresponda según la categoría del túnel, se deberá incluir salidas de emergencia peatonales cada 500 m de túnel, usualmente conectadas a un túnel de emergencia paralelo al túnel vial, interconectadas a otro túnel paralelo vehicular si es de doble tubo, o también a un refugio o una galería de emergencia ubicada bajo la calzada vehicular.

Las salidas de emergencia mixtas (vehiculares y peatonales) deberán ubicarse, según corresponda por la categoría del túnel, cada 1.500 m de distancia entre ellas.

7.2. ALINEAMIENTO

El alineamiento es el elemento más importante en el proyecto de un túnel y debe combinar las necesidades viales con las restricciones que le impone la naturaleza.

Desde el punto de vista geométrico, las variables más importantes a tener en cuenta son las siguientes:

7.2.1. Velocidad de Diseño

La velocidad máxima para el desplazamiento de vehículos dentro de un túnel debe ser consecuente con velocidad máxima permitida para la vialidad exterior, considerando el estándar que tendrían sus accesos en una proyección a 20 años, con un máximo de 100 km/hr y un mínimo de 70 km/hr.

Para el diseño geométrico del túnel, se considerará la velocidad máxima operacional determinada según el criterio anterior, más 20 km/hr.

7.2.2. Curvas Horizontales

El radio de las curvas horizontales en el interior de los túneles será, como mínimo, el que se establece en el Manual de Carreteras (sección 3.203 y 3.802.2), en función de la velocidad de diseño adoptada para el túnel. No obstante lo anterior, cuando la construcción se efectúe con máquinas tuneleras (TBM), éstas no podrán ser inferiores a las establecidas por los fabricantes para estos equipos.

Dentro de lo posible, y en particular para túneles de más de 500 m de longitud, se deberá incorporar una curva horizontal en los primeros 100 m de túnel en ambos accesos, de modo de evitar lo más posible la visión de la luminosidad exterior cuando se está conduciendo dentro del túnel, y, asimismo, facilitar la gradualidad de ésta en sus entradas.

En túneles largos de más de 2,0 km, se deberá incorporar, en la medida de lo posible, curvas horizontales u otros mecanismos para romper la monotonía de la conducción dentro del túnel.

7.2.3. Curvas Verticales

Los radios de las curvas verticales en el interior de los túneles serán los mismos que se establecen en el Manual de Carreteras (Sección 3.204). Cuando la construcción del túnel se efectúe con máquinas tuneleras (TBM), éstos no podrán ser inferiores a los establecidos por los fabricantes para estos equipos.

7.2.4. Pendientes

Todos los túneles, cualquiera sea su longitud y características, deberán tener pendiente positiva los primeros 20 m como mínimo, desde el portal hacia el interior (subiendo hacia adentro del túnel), y de a lo menos un 0, 50%, con la finalidad de evitar el ingreso de aguas desde los accesos. Se exceptúan de esta norma los túneles urbanos en que las condiciones de la vialidad

local no lo permitan, pero siempre y cuando se incluyan sistemas apropiados de drenaje de aguas lluvia en sus entradas.

No se permitirán puntos bajos en el alineamiento vertical del túnel, por lo que sólo se aceptará un punto alto, independientemente de los cambios de pendiente que se proyecten a lo largo de su desarrollo.

Sin perjuicio que las pendientes ideales para un túnel no deberían superar entre un 3% a un 4%, las pendientes medias máximas permisibles para los tramos de túnel entre sus portales y el punto más alto de su trazado, serán las siguientes:

- Hasta 500 m de longitud: 6,00%
- Entre 501 y 1.000 m: 5,75%
- Entre 1.001 y 1.500 m: 5,50%
- Entre 1.501 y 2.000 m: 5,25%
- Longitudes mayores a 2.000 m: 5,00%

Asimismo, la pendiente máxima puntual para tramos cortos no podrá exceder de un 8,00%.

Las pendientes medias máximas señaladas son válidas para flujos medios diarios de hasta 7.500 vehículos/día por sentido. En caso que los flujos esperados a 20 años superen este valor, las pendientes máximas deberán corregirse por el factor:

$$f = Imax * (1 - ((Fe – 7.500) /Fe)^2) \quad \text{para } Fe > 7.500$$

Donde:

f: factor de corrección
Imax: pendiente media máxima
Fe: flujo medio diario esperado a 20 años

En los casos en que exista una marcada diferencia estacional, donde la relación del flujo medio diario del trimestre con mayor tráfico respecto al promedio anual, sea mayor que 1,25, o que la relación entre el promedio anual de las 8 horas de mayor tráfico diario respecto del promedio anual sea también mayor que 1,25, el valor de Fe para su aplicación en la fórmula anterior se deberá incrementar según el porcentaje resultante, considerando el más desfavorable de ambos casos.

Aplicado este procedimiento, la pendiente máxima sólo se corregirá si el resultado de aplicarla arroja una pendiente máxima superior al 3%. En caso contrario, se adoptará un 3%.

En casos calificados por condiciones particulares de un proyecto, en los cuales su factibilidad dependa directamente de la pendiente media (por condiciones topográficas, por ejemplo), y no se pueda cumplir con los límites señalados anteriormente, se deberá justificar fundadamente la pendiente media requerida y se deberán proponer medidas especiales de seguridad, para asegurar condiciones operacionales equivalentes a las que se derivan de los límites establecidos.

7.3. PAVIMENTOS

El pavimento a utilizar en el interior de los túneles viales deberá ser hormigón G-35, con un espesor mínimo de 22 cm (o superior si lo indica el cálculo). Éste deberá ir apoyado sobre una sub-base granular de 15 cm de espesor y de un CBR ≥ 50 % y sobre una capa de espesor variable que servirá como capa nivelante entre la roca excavada y la sub-base.

Los pavimentos de la calzada en el interior del túnel tendrán una pendiente transversal de un 1% hacia un solo lado, de modo de recoger las aguas que pudieran caer a la calzada, en un solo costado.

La construcción del pavimento se regirá por los mismos estándares que indica el Manual de Carreteras para la construcción de “Pavimentos de Hormigón” en caminos, de acuerdo a la sección 5.410 y, además, sus juntas de acuerdo a las subsecciones 5.410.310 (1) a (4), las láminas 4.201.102 y 4.201.103 y los sellos de acuerdo a la subsección 5.410.311. Se deberá tener en cuenta que el pavimento será controlado por lo indicado en la subsección 5.410.315 y en especial por lo señalado en los puntos 3 y 4 de esa subsección, para la medición de la rugosidad (IRI) y de la lisura. Además, para el pavimento dentro del túnel se debe incluir el cepillado de su superficie.

En el caso de túneles de dos tubos unidireccionales, en las galerías peatonales de conexión entre ellos o en las salidas de emergencias, el pavimento, base y sub-base serán de iguales condiciones a las del túnel principal, disminuyendo el espesor de hormigón a 15 cm. Asimismo para las galerías vehiculares de conexión entre dos tubos, variará el espesor de hormigón a 20 cm, manteniendo las demás características indicadas anteriormente.

7.4. CANALIZACIONES

Todas las canalizaciones que contengan cables, sean éstos de potencia o de instrumentación y control, se ubicarán preferentemente en ambos costados del túnel. En tanto, aquellas destinadas al drenaje del túnel irán bajo las bermas.

En el caso de túneles con ventilación transversal o semitransversal, es aceptable la utilización de la galería de ventilación para instalar las canalizaciones.

En cualquier caso, no está permitido al interior de los túneles el uso de canalizaciones, ductos o conductores que puedan emitir gases tóxicos.

CAPÍTULO 8

SEGURIDAD VIAL EN TÚNELES

8.1. PRINCIPIOS GENERALES

Las condiciones de seguridad vial en un túnel son resultado de la interacción entre la infraestructura vial (incluyendo los sistemas de señalización), las características y el estado de los vehículos, la conducta de las personas usuarias del túnel, y de la gestión efectuada por las

organizaciones responsables de su operación. Cabe destacar que el tránsito de bicicletas y peatones no se permite en túneles, salvo casos excepcionales previamente autorizados.

Así, la obtención de altos niveles de seguridad en túneles requiere la confluencia de condiciones asociadas a su diseño, explotación, gestión de emergencias y, por supuesto, a la conducta de sus usuarios. Cabe destacar en esto el rol de la organización, los recursos humanos y materiales, los procedimientos de explotación y de intervención, el equipamiento de seguridad, incluida la señalización vial y la gestión del tráfico. Resultan claves la formación y el entrenamiento de los miembros de los servicios de emergencia y personal de explotación, la gestión de incidentes, la información anticipada dirigida a los usuarios sobre la mejor manera de actuar en un túnel, así como la comunicación entre los responsables y los servicios de emergencia.

En casos no contemplados en la normativa nacional, se recomienda adoptar los criterios establecidos en la Directiva Europea 2004/54/CE, la norma estadounidense NFPA 502 “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Access Highways”, u otras similares.

8.2. SISTEMAS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD VIAL

Los principales elementos y dispositivos de seguridad vial en un túnel deberán cumplir, como mínimo, con los siguientes requisitos, dependiendo de la categoría del túnel:

Componente	Item	Subitem	Categoría del Túnel				
			A	B	C	D	E
INFRAESTRUCTURA	Proyecto Seguro	Calzada	3,5 m	7,0 m	7,0 m	7,0 + 7,0 m	Diseño especial con Estudio de Riesgos
		Bermas	0,75 m a ambos costados	1,00 m a ambos costados	1,00 m a ambos costados	1,00 m a ambos costados	
		Pasillo Peatonal de Emergencia	0,75 m a ambos costados	0,75 m a ambos costados	0,75 m a ambos costados	0,75 m a ambos costados	
		Galibo - Area Libre de Obstáculos	5,1 m alto por 5,0 m de ancho	5,1 m alto por 9,0 m de ancho	5,1 m alto por 9,0 m de ancho	5,1 m alto por 9,0 m de ancho	
		Equipamento	Según lo indicado en Capitulo 9				
		Barreras	Según requerimientos del Depto. de Seguridad Vial				
		Señalización	Según Capitulo 8.2.1, con aprobación del Depto. de Seguridad Vial				
		Saneamiento	Según necesidades y conforme al Manual de Carreteras				
		Bahías de Emergencia	cada 500 m	cada 1.000 m por pista (o sentido)	cada 1.000 m por pista (o sentido)	cada 1.000 m por pista	
		Salidas de Emergencia Peatonales	Refugio cada 500 m	Salida Peatonal o Refugio cada 500 m	Salida Peatonal cada 500 m	Salida Peatonal cada 500 m	
		Salidas de Emergencia Mixtas (Vehiculares y Peatonales)	-----	-----	Cada 1.500 m	Cada 1.500 m	
		Estacionamiento exterior	Si	Si	Si	Si	
	Construcción Segura	Señalización Transitoria	Solo entre sectores de obras y vias de circulación en operación				
		Gestión de Flujos	Si	Solo entre sectores de obras y vias de circulación en operación			

Tabla N°7: Requisitos de Seguridad según la Categoría del Túnel

8.2.1. Señalización Fija y Variable

La señalización deberá cumplir con los requisitos generales de la Ley de Tránsito, las disposiciones del Manual de Señalización de Tránsito editado por el Ministerio de Transportes

y Telecomunicaciones, el Manual de Carreteras y con los instructivos de la Dirección de Vialidad que resulten pertinentes, lo que será verificado por el Departamento de Seguridad Vial. Cualquier señalización especial que no se encuentre contemplada en las normativas recién mencionadas, deberá ser aprobada por las autoridades correspondientes.

Los dispositivos de señalización de todo tipo (verticales, horizontales, fijos, variables u otros), constituyen sistemas integrados para guiar e informar a los usuarios. Por lo tanto, deberán ser concebidos, diseñados, instalados, operados y mantenidos como conjuntos inseparables. Se deberá asegurar compatibilidad y consistencia de los sistemas de señalización usados en el túnel con aquéllos existentes en el exterior del mismo.

8.2.2. Zonas de Seguridad y Vías de Escape / Evacuación

La galerías o salidas de emergencia / evacuación / escape tendrán una señalización adicional específica, con señalización foto luminiscente a lo largo de todo el túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos. Se deberá utilizar como referencia la normativa NFPA 502 “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Access Highways”, la Directiva Europea 2004/54/CE y Convención de Viena sobre Señalización Vial suscrita por Chile, en sus versiones más recientes.

8.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCIDENTES

Los túneles son infraestructuras que configuran un medio psicológicamente menos amigable para los conductores por varios motivos:

- Cambio de las condiciones ambientales y físicas en la entrada y salida del túnel, (sección, luz, ventilación, etc.).
- Espacio limitado a la sección transversal.
- Efectos psicológicos que pueden incidir sobre el conductor (estrés, claustrofobia u otros).
- Mayor repercusión que a cielo abierto, de cualquier avería, accidente o incendio.

A su vez, y salvo en sus accesos, los túneles pueden ofrecer mayor seguridad que el exterior frente a sismos y condiciones climáticas, así como también, en caminos ubicados en zonas montañosas expuestos a caídas de roca, derrumbes, avalanchas u otros riesgos.

La evaluación del riesgo ligado al transporte por carretera y en particular a lo largo de un tramo en túnel, puede ser abordada siguiendo de forma metodológica seis pasos: definición del sistema, identificación de posibles accidentes y/o incidentes, análisis de consecuencias y probabilidad de ocurrencia, descripción del riesgo y evaluación del mismo.

Existen muchas técnicas o métodos que permiten la identificación y cuantificación de posibles accidentes e incidentes en túneles. El proyectista podrá proponer los métodos que considere más desarrollados y estructurados para su revisión y aprobación, tanto por el Departamento de Seguridad Vial, como por la División de Túneles de la Dirección de Vialidad.

8.4. CARGAS PELIGROSAS

Como norma general, los vehículos que transporten combustibles u otros productos considerados como cargas peligrosas, o una combinación de productos que pueda ser considerados carga peligrosa, y pueden ocasionar incendios en el interior del túnel de intensidad superior a 30 MW (tasa de liberación de energía superior al incendio de un camión o autobús de transporte), no podrán circular libremente junto con el resto del tráfico de vehículos. Su paso deberá ser regulado para momentos de tráfico mínimo, debidamente custodiado y/o vigilado por el personal a cargo del túnel.

8.5. VEHÍCULOS ESPECIALES O CON SOBREANCHO

Su paso estará limitado al gálibo libre de obstáculos correspondiente al túnel, según sea su categoría. No se permitirá el paso de vehículos que, si bien tengan una dimensión menor a la de la sección del túnel, excedan, aunque sea puntualmente, dicho gálibo.

Sea que se trate de túneles unidireccionales de una o más pistas, o bidireccionales de dos o más pistas por sentido, su paso deberá ser regulado para momentos de tráfico mínimo, y debidamente custodiado por el personal a cargo del túnel.

Tratándose de túneles bidireccionales de una pista por sentido, su paso deberá ser programado por el personal a cargo del túnel, en condiciones de tráfico interrumpido para el resto de los vehículos.

CAPÍTULO 9

EQUIPAMIENTO EN TÚNELES

Todos los túneles, cualquiera sea su longitud y categoría, requieren equipamientos específicos para mejorar la seguridad del usuario, tanto en situación normal de servicio como en caso de accidente.

Para reducir los riesgos de accidente, limitar sus posibles consecuencias y para proporcionar un adecuado nivel de seguridad y comodidad a los usuarios, se debe proyectar la instalación de una gran variedad de equipamientos de acuerdo a estándares internacionales, adaptados a las condiciones locales. Se recomienda la integración de los diversos sistemas y subsistemas a través de programas de Gestión de la Infraestructura del Túnel (Supervisión, Control y Adquisición de Datos adaptados y actualizados), que permitan una adecuada gestión integral.

En general, el nivel de equipamiento mínimo a instalar en un túnel deberá seguir las indicaciones de la Tabla N°8 siguiente:

EQUIPAMIENTO	CATEGORÍA TÚNEL (Según tabla N° 1)				
	A	B	C	D	E
Iluminación normal	x	x	x	x	x
Iluminación de seguridad		x	x	x	x
Iluminación de evacuación		x	x	x	x
Equipos eléctricos de emergencia		x	x	x	x
Ventilación	o	x	x	x	x
Red de Incendio		x	x	x	x
Extintores		x	x	x	x
Cámaras Televisión CCTV		o	x	x	x
Cámaras para incidentes DAI		o	x	x	x
Galerías de evacuación		o	x	x	x
Galerías de conexión a otro tubo			o	x	x
Altavoces		x	x	x	x
Estaciones de emergencia		x	x	x	x
Estaciones SOS		x	x	x	x
Semáforos	o	o	o	x	x
Paneles informativos (variables)			x	x	x
Señaletica Vial Lateral	o	x	x	x	x
Señaletica Vial Horizontal	o	x	x	x	x
Señaletica de emergencia		o	x	x	x
Centro de Control		o	x	x	x
o optativo					
x obligatorio					

Tabla N°8: Equipamiento de Seguridad por Categoría de Túnel

La División de Túneles de la Dirección de Vialidad podrá autorizar, para túneles de menos de 500 m de longitud, la omisión de algunas de estas exigencias e indicar equipamientos específicos para esa situación.

Los requisitos para los equipamientos más importantes se indican a continuación.

9.1. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico deberá contemplar fuentes de abastecimiento redundantes. Si el suministro habitual proviene de la red pública, la redundancia se tendrá que obtener mediante grupos electrógenos. Si no existe red pública, mediante generación propia, respaldada también con grupos electrógenos, los que deberán tener una autonomía mínima de 24 horas de funcionamiento continuo.

Tanto la fuente rutinaria de abastecimiento, como la de respaldo, se deberán dimensionar para el 150% de la potencia total instalada en el equipamiento del túnel.

Adicionalmente, y para todo el equipo de control esencial para la operación, se tendrá que disponer de bancos de baterías o fuentes ininterrumpidas de potencia (UPS), con capacidad para operar aisladamente de la red durante 3 horas como mínimo.

En caso de aquellos túneles en donde se contemple salas de transformadores en puntos intermedios del túnel, éstas deberán situarse en nichos cerrados resistentes al fuego o en cavernas diseñadas especialmente para alojar a estos equipos (Ver 8.4.3).

Para el caso de ventilación longitudinal, la alimentación eléctrica y de control de los ventiladores deberá canalizarse preferentemente por ductos independientes ubicados bajo los pasillos peatonales de emergencia y luego subir por los hastiales hasta llegar directamente a los equipos. Alternativamente se podrán canalizar en tuberías resistentes al fuego en los hastiales del túnel, a 2,5 m del piso como mínimo, y fuera del área libre de obstáculos.

En caso de ventilación transversal o semi transversal, las canalizaciones podrán instalarse en la galería de ventilación o servicio.

Los cables y canalizaciones expuestas de alimentación y conexión a los equipos deberán cumplir la reglamentación de la Norma NCH Elec 4/2003 y ser resistentes al fuego, según norma aceptada por la División de Túneles de la Dirección de Vialidad (DIN, UNE, IEC, BS, NFPA).

Se aceptan canalizaciones interiores al túnel, longitudinales o transversales (bandejas, escalerillas, cables), de electricidad, control e instrumentación, en aquellos lugares donde necesariamente se requieran utilizar, siempre que se sitúen fuera del gálibo del túnel y se construyan mediante materiales autorizados en la Norma NCH Elec 4/2003 (libres de gases tóxicos) y ser resistentes al fuego según norma aprobada por la División de Túneles de la Dirección de Vialidad (DIN, UNE, IEC, BS, NFPA).

9.2. ILUMINACIÓN

Se debe abordar tanto lo inherente a la iluminación al interior del túnel como la que sea requerida en las calzadas de acceso al exterior de éste.

9.2.1. Iluminación Interior

En general, todo el sistema de iluminación interior del túnel debe ubicarse en los hastiales de éste y sobre la línea del ecuador (salvo la iluminación de evacuación).

Sin perjuicio de lo que establece la última versión de la Sección 6.704, Diseño Luminotécnico de Túneles, del Capítulo 6.700 del Volumen 6 del Manual de Carreteras, la iluminación interior del túnel deberá incluir:

a) Iluminación Normal:

El alumbrado en túneles puede ser simétrico, a contraflujo o a favor del flujo. En el primer caso la iluminación es simétrica respecto al plano perpendicular y un objeto en medio de la vía quedaría suficientemente iluminado para ser percibido por el conductor con el tiempo suficiente para detener el vehículo. Con el sistema de alumbrado a contraflujo, la iluminación va dirigida en sentido contrario al de la circulación del tráfico y se detectaría el elemento en

medio de la vía por contraste negativo. En los sistemas a favor del flujo, la intensidad luminosa va en el mismo sentido que el tráfico.

El nivel de luz en la entrada del túnel debe variar en función del nivel de luz exterior, para ello se suelen usar luminancímetros para medir el nivel de luz delante de la entrada del túnel, y en función de si el día es soleado, nublado, crepuscular o nocturno se deben ajustar los niveles de iluminación.

En las entradas y salidas se debe considerar iluminación gradual en intensidad, de modo que los conductores, tanto al entrar como al salir del túnel, adapten progresivamente el diafragma ocular y no resulten deslumbrados.

El siguiente esquema ilustra una sección longitudinal de un túnel largo con una representación de las distintas zonas de iluminación (M C. Figura 6.704.2.A).

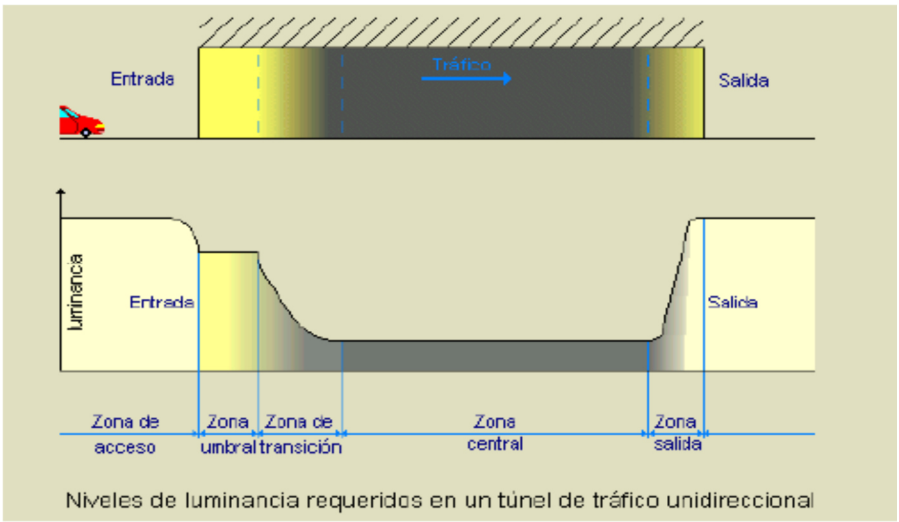

Figura N°4: Sección Longitudinal Zonas de Iluminación

El nivel de iluminación de cada una de estas zonas difiere en función de las características del túnel, tales como la velocidad de entrada, el número de carriles, la intensidad de tráfico, del porcentaje de cielo visible en el campo de visión del conductor, etc. Por esto es imprescindible realizar un estudio lumínico completo para definir el tipo de luminarias, la potencia necesaria, la cantidad, la distancia entre las luminarias, su orientación, etc. (Manual de Carreteras 6.704).

La iluminación normal debe controlarse por medio de un medidor de luminancia (luminancímetro) próximo a la boca de acceso del túnel, preferentemente a una distancia equivalente a la Distancia de Parada (Sección 6.704.13 del Capítulo 6.700 del Volumen 6 del Manual de Carreteras), correspondiente a las características del túnel. Se instalará en una estructura (poste, marco) independiente y dedicada solamente al equipo.

Deberá conectarse al Centro de Control del Túnel para las operaciones de encendido-apagado de circuitos conforme al nivel de iluminación programado para cada zona.

b) Iluminación de seguridad - Sistema de Alimentación ininterrumpida:

Esta instalación corresponde a la iluminación guía para evacuación de los usuarios en sus vehículos ante un corte de luz. El alumbrado de evacuación por interrupción del suministro se instalará a lo largo de todo el túnel, con un nivel de luminancia indicado en el estudio lumínico, El alumbrado de evacuación se consigue mediante un Sistema de Alimentación Ininterrumpido (SAI) de las luminarias del nivel nocturno.

La iluminación de seguridad debe controlarse por medio del sistema de Gestión de la Infraestructura del Túnel, según lo indicado al comienzo de este Capítulo.

c) Iluminación de Evacuación:

Corresponde a la iluminación guía para permitir la evacuación a pie de los usuarios del túnel. Estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un nivel de iluminación definido por un estudio lumínico. La autonomía de los equipos no podrá ser inferior a los 60 minutos, y durante dicho tiempo, el flujo luminoso del equipo deberá permanecer constante. (Referencia: European Parliament and the Council, Directive 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. 2004 (29 de abril de 2004).

La iluminación de evacuación debe controlarse por medio del sistema de Gestión de la Infraestructura del Túnel, según lo indicado al comienzo de este Capítulo.

9.2.2. Iluminación Exterior

Se deben iluminar las calzadas de acceso y la de salida en un tramo equivalente a la Distancia de Parada correspondiente a las características del túnel.

La iluminación exterior puede controlarse conforme a la reglamentación de la Norma NCH Elec. 4/2003 o por medio del sistema de Gestión de la Infraestructura del Túnel indicado a comienzos de este Capítulo 9.

9.3. VENTILACIÓN

La ventilación en los túneles es necesaria tanto para su explotación normal como en situaciones de emergencia. En condiciones de explotación normal, su finalidad es garantizar en el interior del túnel aire limpio y una adecuada visibilidad, evitando la acumulación de partículas y contaminantes.

En situación de emergencia se requiere la ventilación forzada para adecuar el flujo del humo y de los productos de combustión, con el objeto de crear un entorno más seguro que permita la evacuación de los usuarios y la intervención de los servicios de emergencia. Los requerimientos de ventilación, deben determinarse conforme a las recomendaciones de la Asociación Mundial de la Carretera PIARC del año 2015 y a las modificaciones posteriores.

Incendio de Diseño

El incendio de diseño para efectos del dimensionamiento mínimo del sistema de ventilación debe cumplir con los siguientes requisitos:

Un incendio de diseño se define como la tasa de liberación de calor (HRR - Heat Release Rate), en MW, en función del tiempo y proporciona las características del incendio que se utiliza para establecer el tamaño del equipamiento en los túneles y los escenarios a tomar en cuenta cuando se elaboran planes de respuesta ante emergencias.

El incendio de diseño no representa el peor incendio posible que se pueda producir, sino una elección consciente entre un incendio probable que pueda surgir y la capacidad de lograr soluciones prácticas de diseño para un incendio menos probable y de mayor magnitud. El Incendio de Diseño debe tener una magnitud mínima de 30 MW.

El proyectista podrá proponer incendios de diseño mayores o diferentes del exigido, dependiendo de las características del proyecto (túneles en zonas urbanas, características del tráfico proyectado, y otras situaciones especiales), lo que deberá ser aprobado por la División de Túneles de la Dirección de Vialidad.

Los materiales utilizados en la construcción de la estructura y en el equipamiento, no deberán arder ni producir grandes cantidades de gases y humos peligrosos. Deberán proyectarse para asegurar una resistencia al fuego, que permita en lo posible su funcionalidad luego de un incendio de 30 MW como mínimo. También los principales equipos de seguridad deben tener la capacidad para permanecer funcionando mientras dure la evacuación y la lucha contra el fuego. (Ref. PIARC Fire and Smoke Control in Road tunnels – 1999. PIARC Technical Committee on Road Tunnels).

Para verificar el comportamiento del túnel frente a incendios de estas características, deben hacerse las pruebas de recepción que se indican a continuación.

Prueba de Humos Calientes

El objetivo de este ensayo es la verificación de la seguridad frente a un incendio, mediante la realización de una prueba que permita validar las pautas de actuación del sistema de ventilación y de su capacidad para extraer los gases producidos por el incendio. El hecho de realizar ensayos de incendio en túneles, bien sean túneles ya en servicio, o túneles de obra nueva, es la única forma de:

- Verificar el funcionamiento del sistema de control de incendios del túnel, en las condiciones más próximas posibles a un incendio real, así como el comportamiento de los humos dentro del túnel.
- Validar el diseño del sistema de ventilación y sus pautas de actuación en caso de incendio.

- Analizar el comportamiento de parámetros tales como: velocidad de evacuación por extracción forzada de humos, hermeticidad frente al humo de las puertas entre tubos y vías de evacuación, propagación del frente de humos aguas arriba del incendio y estratificación de humos.

- Evaluar el nivel de capacitación de los equipos de seguridad, extinción, evacuación y rescate, tanto para aquellos a cargo de la operación del túnel, como a los de protección civil (ambulancia, bomberos y carabineros), en una emergencia de incendio en el túnel, detectando así necesidades, oportunidades y carencias.

Este ensayo es obligatorio para túneles nuevos y forma parte de los requisitos para la recepción de la obra, al término de su construcción. Se debe realizar por instituciones y especialistas en Incendios en Túneles Viales.

Estas pruebas generan una gran cantidad de humo, mediante la combustión de un combustible líquido en palanganas de acero y requieren una cuidadosa preparación. El incendio producido permitirá verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de detección de incendio y la capacidad del sistema de ventilación, entre otros. La potencia de la prueba final debe ser del orden de 7 MW, lo que corresponde a 2 o 3 vehículos incendiados. Para el emplazamiento de estas pruebas se debe seleccionar uno de los tramos más desfavorables del túnel, tomando en consideración factores tales como la longitud, la pendiente, la dirección del flujo, efectos atmosféricos, etc.

Prueba de Humos Fríos

Los ensayos con humos fríos, pretenden, mediante bateas de humo abiertas a un cierto ritmo, reproducir el comportamiento de los gases de los vehículos dentro del túnel y ver cómo evolucionan según la ventilación existente. Son empleados habitualmente para verificar la capacidad global de extracción del sistema de ventilación.

Estos ensayos son opcionales y complementarios al de humos calientes.

Otras Pruebas

Los sistemas eléctricos deberán cumplir con una resistencia al fuego mínima aceptable (700-1000° centígrados a los 30 y 60 minutos). El proyectista deberá proponer si corresponde ensayos individuales o al sistema completo, utilizando DIN 4102-12 para un sistema eléctrico con sus actualizaciones, o normas asimilables.

Todos los equipos instalados en el túnel se deben probar individualmente primero y luego integrados al sistema global, de modo de verificar que los sistemas funcionan en conjunto conforme lo proyectado y corregir los eventuales defectos o malfuncionamiento.

Este tipo de ensayos debe realizarse periódicamente para asegurar su correcta operación en las situaciones de emergencia, lo que deberá estar incluido en el Manual de Operación y

Mantenimiento del Túnel. En general se considera razonable realizar estas pruebas cada 6 meses.

En los sistemas de ventilación longitudinal es necesario comprobar la correcta operación de los equipos, y que las exigencias de caudal previstas son alcanzadas en las situaciones más extremas.

En los sistemas de ventilación semitransversal o transversal, es necesario verificar que los caudales de soplado y extracción se cumplen, que las celosías/trampillas de extracción de humos se abren y cierran correctamente (de forma local o automática), y que por último el sistema de control pueda gestionar todos los sistemas en tiempo real, incluso en caso de situaciones críticas con gran número de fallas en el sistema o de situaciones anómalas. En caso de que exista un sistema de ventilación auxiliar para otras dependencias o locales habrá que verificar también la capacidad de esos sistemas.

9.4. CÁMARAS DE TELEVISIÓN (CCTV) Y DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES (DAI)

Se deberá instalar un circuito cerrado de televisión, con cámaras ubicadas como mínimo cada 200 m en cada sentido del tránsito, ubicadas en los hastiales entre el ecuador y la clave del túnel, y con recepción de las imágenes en monitores ubicados en el centro de control del túnel.

Su finalidad es apoyar a los operadores del Centro de Control en la detección de condiciones de tránsito irregulares y detectar incidentes y a la vez permitir una gestión más efectiva de la red. La Detección Automática de Incidentes (DAI) utiliza computadoras con software para procesar información y monitorear permanentemente las condiciones del tránsito (incidentes, detenciones, caídas de objetos y filas o atochamientos de vehículos entre otros).

La tecnología (sensibilidad, movimientos, profundidad de campo, etc.) de las cámaras deberá cumplir con los requerimientos del sistema DAI.

9.5. MEGAFONÍA / ALTAVOCES

Se deberá instalar altavoces como mínimo cada 100 m de túnel, colocados en los hastiales entre el ecuador y la clave del túnel. Se trata de un sistema de emergencia que se utiliza principalmente en caso de detención vehicular y evacuación y, por tanto, se considera un sistema crítico para la seguridad del túnel.

Los altavoces serán de características adecuadas a las condiciones del túnel, en cuanto a potencia y reverberación y se deberán conectar al Centro de Control del Túnel para operar el sistema advertencias, alarmas y monitoreo de tráfico.

9.6. CONTROL DE TRÁFICO

9.6.1. Semáforos

Los semáforos interiores deben ir colocados por encima del gálibo, sobre los carriles correspondientes, y como mínimo cada 250 m de túnel.
Los semáforos exteriores se instalarán a distancia conveniente de la boca de entrada, en estructuras (postes o marcos) definidos solamente para ellos y se conectarán al Centro de Control del Túnel para operar el sistema de control de tráfico. Como complemento a los semáforos se deberá contemplar barreras en esos mismos lugares.

9.6.2. Detección de Velocidad

Se deberá instalar un sistema de detección de velocidad, sea mediante el procesamiento de imágenes de las cámaras de TV a través del Sistema DAI, o con un sistema de detección mediante lazos inductivos construidos a distancias convenientes en la calzada de circulación del túnel.

En cualquier caso, las señales obtenidas se enviarán al Centro de Control del Túnel para operar el sistema de control de tráfico, el que podrá actuar manual o en forma automática, sobre los dispositivos de información del túnel.

9.7. PANELES DE MENSAJE VARIABLE (SMV) INTERIORES Y EXTERIORES

Los paneles informativos, al igual que los semáforos se instalarán en la zona de acceso del túnel y en el interior.

En la Zona de acceso al túnel los SMV serán Tipo A. El proyectista deberá definir la estructura en que se sustente la señal (asegurando materiales livianos alta capacidad de absorción de energía en caso de impacto y resistentes, que permitan la seguridad del usuario).

Serán señales permanentes con hasta 4 líneas de información, con un mínimo de 16 caracteres cada una. Pueden ser capaces de mostrar 1 o 2 aspectos en cada secuencia de operación, lo cual otorga una capacidad máxima de 8 líneas de información. (Manual de Señalización de Tránsito – CONASET Cap. 8).

Al interior del túnel los SMV serán Tipo C, deberán ir sobre la calzada por encima del gálibo y serán señales permanentes con una línea de información, con un mínimo de 12 caracteres. Deben ser capaces de mostrar 1 o 2 aspectos en cada secuencia de operación, lo cual proporciona una capacidad máxima de 2 líneas de información (Manual señalización Tránsito. CONASET. Capítulo 8). Se deben diseñar para transmitir información en forma de mensajes escritos y dibujos, y deben ubicarse como mínimo cada 250 m de túnel por sentido.

Cuando no sea necesaria la entrega de un mensaje relevante para la seguridad del conductor o la fluidez del tránsito, los SMV deben permanecer apagados. Sin embargo, para no dar la impresión de que la señal no está funcionando, ocasionalmente, en períodos de bajo tránsito,

pueden utilizarse para entregar información de carácter general (fecha y hora del día, etc.), así como también para contribuir a difundir mensajes relacionados con campañas de seguridad vial. (Recomendación CONASET).

9.8. COMUNICACIONES (POSTES SOS)

Se deberá instalar como mínimo sistemas de comunicación en postes SOS en el túnel, cada 500 m, con comunicación al Centro de Control.

El sistema de comunicación debe ser mediante interfonos, con características de citófonos de conexión directa a una central de comunicaciones, instalada en el Centro de Control del Túnel.

9.9. DETECTORES

9.9.1. Opacímetros

Los opacímetros tienen por misión detectar falta de visibilidad producida por los humos emitidos por los escapes de los motores de los vehículos. Deben ir colocados en los hastiales aproximadamente a la altura del ecuador, cada 250 m como mínimo, y accionar automáticamente la ventilación forzada al detectar polución. También podrán ajustarse para detectar los humos de incendio para el Sistema de Detección de Incendio.

Deberán estar conectados con el Centro de Control vía software de integración (SCADA) para operar el sistema de ventilación y el sistema de alarmas de incendio. También podrán incorporarse a la aplicación de Detección Automática de Incidentes (DAI), la detección de opacidad en el túnel.

9.9.2. Detectores de Monóxido de Carbono (CO)

Los detectores de CO tienen por misión medir la cantidad de este gas emitido por los escapes de los motores de combustión de los vehículos que transitan dentro del túnel. Deben ser ajustados para detectar la presencia de niveles peligrosos de CO, ir colocados en los hastiales aproximadamente a la atura del ecuador cada 250 m como mínimo, y estar conectados al Centro de Control del Túnel de modo de accionar automáticamente la ventilación forzada cuando se excedan los niveles permitidos.

9.9.3. Detectores de NOx

Los detectores de NOx tienen por misión medir la cantidad de este gas emitido por los escapes de los motores de combustión de los vehículos que transitan dentro del túnel. Deben ser ajustados para detectar la presencia de niveles peligrosos del gas, ir colocados en los hastíales aproximadamente a la atura del ecuador, cada 250 m como mínimo, estar conectados al Centro de Control del Túnel y ser capaces de accionar automáticamente la ventilación forzada cuando se excedan los niveles permitidos.

9.10. COMBATE DE INCENDIOS

9.10.1. Extinción de Incendios

Se deberá disponer de gabinetes de incendio con toma de incendio clase III, (separados como mínimo cada 100 m) equipados con mangueras de 1,5" (incluye pitón, y de 50 m de longitud como mínimo), y 2 extintores ABC de 6 kg con polvo químico seco (deseable fosfato monoamónico al 90%), que cumpla exigencias de normas NFPA 10 - Standard for Portable Fire Extinguishers-1998 Edition, (y sus actualizaciones), y Norma Chilena (Decreto Supremo Nº44, de 2015, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que aprueba reglamento que establece requisitos de seguridad y rotulación de extintores portátiles (y sus modificaciones).

El abastecimiento de agua deberá ser redundante, uno mediante bombeo y el segundo, de respaldo, gravitacional desde un estanque de acumulación. La capacidad del sistema de cañerías y bombas debe ser tal que, en la boquilla del pitón conectado al gabinete más desfavorable, se entregue 5 lt/s con una presión tal que el chorro alcance 20 m de distancia.

Todo el sistema de cañerías deberá ubicarse preferentemente bajo una de las bermas. El estanque de acumulación del sistema de respaldo deberá tener un volumen útil de, a lo menos, 50 m3.

Se deberá instalar como mínimo, un sistema de comunicación en el túnel cercano a cada gabinete de incendio, con comunicación al centro de control.

Tanto los gabinetes de incendio como las válvulas y estanques, tendrán elementos indicadores de estado, con conexión directa a la Central de Control de Incendios ubicada en el Centro de Control del Túnel.

9.10.2. Detección de Incendios

Para la detección de incendio, se deben ajustar los opacímetros a valores de detección de incendio para evitar confusión por opacidad por exceso de tráfico. Alternativamente, pueden instalarse detectores de opacidad específicos para detección de incendio. No son aconsejables los detectores térmicos o infra rojos.

Los detectores de incendio deben tener conexión directa a la Central de Control de Incendios ubicada en el Centro de Control del Túnel.

9.11. SEÑALIZACIÓN DE EMERGENCIA

Deberá instalarse señalización fotoluminiscente a lo largo de todo el túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos. Esta señalización deberá ubicarse cada 200 m y en ambos sentidos.

9.12. CENTRO DE CONTROL DEL TÚNEL (LOCAL Y/O REMOTO)

A un costado de uno de los portales del túnel se deberá disponer de un Centro de Control equipado con al menos 2 puestos de trabajo completos, con capacidad para visualizar, a través de pantallas de cámaras CCTV y mediante esquemas informáticos desplegables y entendibles para el operador, todos los sistemas operativos instalados en el túnel.

Este sistema integrado deberá tener capacidad para actuar manualmente desde el Centro de Control, así como también, con capacidad para controlar o ser operado remotamente desde otras instalaciones de la Dirección de Vialidad.

La infraestructura de este Centro de Control deberá incluir como mínimo la Sala de Control propiamente tal, baños, cafetería y sala de reuniones, y estar equipada con internet y telefonía celular de fuentes redundantes (en casos de mala cobertura local se deberá considerar enlace satelital). Se deberá incluir estacionamientos para al menos 10 vehículos.

CAPÍTULO 10

ESTRUCTURA DEL CONTRATO DE CONSTRUCCIÓN PARA TÚNELES

10.1. TIPO DE CONTRATO Y ASIGNACIÓN DE RIESGOS

El tipo de contrato aplicable a la construcción de Túneles y Obras Subterráneas en general, es el de Serie de Precios Unitarios para todas aquellas actividades que dicen relación con la geología. En particular, para las siguientes:

- Excavaciones subterráneas
- Drenaje
- Sondajes exploratorios e inyecciones (grouting)
- Sostenimiento
- Investigación e Instrumentación
- Impermeabilización y revestimiento

Las demás partidas del Cuadro de Precios podrán ser establecidas a precios unitarios (para las excavaciones exteriores en los portales del túnel, por ejemplo), o a suma alzada (para el equipamiento a instalar dentro del túnel, por ejemplo), lo que dependerá del nivel de detalle de los diseños disponibles al momento de licitar.

Tal como lo señalado en el punto 3.1, y dada la imposibilidad de anticipar las reales condiciones en las que se ejecutará la obra, las variaciones en las cantidades de obra que sean producto de las condiciones geológicas del terreno y que por ende obedezcan a la especial naturaleza de la construcción de túneles, serán de responsabilidad del mandante, y en ningún caso podrán ser consideradas como producto de fuerza mayor o caso fortuito. Por otro lado, el contratista asume todos aquellos riesgos propios de su gestión, incluyendo la seguridad de los trabajadores, la calidad de las obras y los rendimientos de su ejecución.

En otras palabras, el riesgo de la variación en las cantidades de obra a ejecutar dentro del túnel recae en el mandante, tanto en cuanto a los costos que ello implica, como a las variaciones que ellas pudieren representar en los plazos del contrato. El contratista por su parte, asume que su estructura de costos quedará cubierta con los precios unitarios, cualquiera sea la cantidad de sostenimiento que tenga que instalar y/o las actividades vinculadas a la geología que haya que desarrollar en definitiva.

10.2. RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO

La responsabilidad del diseño del sostenimiento del túnel, así como de la definición de las demás actividades vinculadas a la geología (inyecciones de consolidación o de impermeabilización, perforaciones de exploración con recuperación de testigos, pruebas de agua y otras), recae en la Asesoría Geológica a la Inspección Fiscal, según las directrices de la División de Túneles. Para estos efectos, se establecen en el Cuadro de Precios cantidades de obra esperadas, constituyendo un "Menú" de elementos, a partir de los cuales, y mediante combinaciones entre ellos, se definirán las soluciones específicas para cada condición geológica particular que se detecte a lo largo del túnel.

Se consultan dos fases para la determinación del soporte. La primera, de sostenimiento "inicial", a instalar en cada ciclo de excavación, tanto en la frente como detrás de ésta, y cuyo propósito es asegurar condiciones suficientes de seguridad y estabilidad del túnel durante el proceso mismo de construcción, pero al mismo tiempo, permitir avances y ciclos de excavación eficientes. Este sostenimiento inicial es propuesto por el Contratista y aprobado por el Inspector Fiscal, previo V°B° de la División de Túneles. En caso de discrepancia con lo propuesto por el Contratista, prima lo que establezca la División de Túneles.

El requisito esencial del sostenimiento inicial, es que debe estar constituido por elementos de soporte que puedan formar parte del soporte adicional, de modo de constituir ambos, en su conjunto, el sostenimiento definitivo del túnel. Por tanto, excepto casos excepcionales, todo elemento de soporte inicial debe cumplir con las características de durabilidad necesaria para ser parte del soporte definitivo.

La segunda fase, denominada de sostenimiento "adicional", se define luego de una observación prolongada del comportamiento del macizo rocoso con el túnel ya excavado y con su soporte inicial instalado, y de efectuar mediciones y ensayos de laboratorio según se requiera. Habitualmente este soporte adicional, complementario del colocado inicialmente, se instala una vez concluidas las actividades de excavación, y simultáneamente con el retiro de las instalaciones de construcción (ventilación, iluminación, agua, aire comprimido, etc.), y en paralelo con la limpieza final del túnel.

En casos muy particulares de las condiciones geológicas del túnel, es posible que todo el soporte, tanto inicial como adicional, sea instalado directamente en la frente, lo que deberá ser determinado exclusivamente por los especialistas de la Asesoría Geológica a la Inspección Fiscal, bajo la supervisión de la División de Túneles.

10.3. ESTRUCTURA DEL CUADRO DE CANTIDADES (CUADRO DE PRECIOS)

El Cuadro de Cantidades (o Cuadro de Precios), corresponde al documento base para el diseño del túnel y para la administración y control comercial de la obra. Está constituido, además de todas las partidas usuales en un contrato de construcción, por un itemizado detallado de todos los posibles elementos de soporte y otras actividades vinculadas a la geología que pudiesen ser necesarios para enfrentar cualquier condición geológica particular, con cantidades esperadas producto de los estudios geológicos previos.
A modo de ejemplo, para el caso de los pernos de anclaje, se incluyen de diferentes largos y diámetros, con anclaje puntual en el fondo de la perforación (activos) o completamente inyectados (pasivos), con lechada de cemento, anclaje mecánico, resina, etc.

10.3.1. Variaciones en las Cantidades

Las cantidades de los elementos incluidos a serie de precios unitarios en el Cuadro de Precios pueden variar significativamente, sin que ello sea causal para que el contratista pretenda modificar tales precios unitarios. En otras palabras, los contratos de construcción deben establecer que los precios unitarios son fijos e invariables, cualquiera sea la cantidad final ejecutada, y el contratista deberá tener en cuenta esta condición en sus análisis de precios y asignación de gastos generales.

10.3.2. Variaciones en los Plazos - Tiempos de Construcción Equivalente

En el Cuadro de Precios se incluye, para cada elemento de soporte o ítem relacionado con la geología (inyecciones de consolidación o de impermeabilización, perforaciones de exploración a rotopercusión, pruebas de agua y otras), y cuya variación pueda tener efectos en los plazos de la obra, un tiempo unitario de ejecución para ese ítem, de modo que la sumatoria de los productos de dichos tiempos unitarios (Tiempos Unitarios Equivalentes), por las cantidades de obra esperadas, constituye el “Tiempo de Construcción Equivalente Contratado”, expresado en horas efectivas de trabajo.

El Tiempo Unitario Equivalente de cada elemento es fijado por el MOP sobre la base de los rendimientos estándares de la industria para cada uno ellos.

Una vez terminada la construcción del túnel, se calcula el “Tiempo de Construcción Equivalente Real” con las cantidades efectivamente ejecutadas de los elementos de soporte e ítems antes reseñados.

La diferencia entre ambos valores, siempre que sea positiva, le dará derecho al contratista a obtener un mayor plazo igual a los días corridos correspondientes a esa diferencia, conforme la estructura de turnos de trabajo que se haya establecido para la obra. Asimismo, le da derecho a percibir los gastos generales función del tiempo correspondiente, en la medida que ello afecte la ruta crítica del proyecto. Si la diferencia es negativa, no se modifica el plazo original del Contrato ni se ajustan los gastos generales función del tiempo original. Lo anterior evita toda discusión posterior sobre la incidencia que los cambios en las condiciones geológicas a lo largo del túnel pudieran tener en los plazos del Contrato.

10.4. ESTRUCTURA DE LOS GASTOS GENERALES Y UTILIDADES

Este elemento de costos en el contrato de construcción se divide en 4 conceptos:

- **Gastos Generales Fijos:**

Son todos aquellos gastos fijos no atribuibles a un ítem o partida de obra en particular, y que no dependen de las cantidades de los ítems del cuadro de precios, y que tampoco varían en relación a la duración del contrato (ejemplo: adquisición de computadores para las oficinas de las faenas). Estos gastos generales se deberán cotizar separadamente como una suma alzada.

- **Gastos Generales Dependientes de la Cantidad**

Son todos aquellos gastos generales no fijos y no dependientes del tiempo, pero que si varían en función de las cantidades de obra (ejemplo: fletes de materiales). Estos gastos generales se deberán incluir en los precios unitarios de los ítems del cuadro de precios del contrato, según corresponda.

- **Gastos Generales Función del Tiempo**

Son todos aquellos gastos generales que varían en función de la duración de la actividad en un frente específico. Se deben cotizar como una suma alzada para el plazo inicial del contrato, separados por cada frente independiente de trabajo y para las instalaciones generales de faena, lo que permite establecer el gasto general diario que es función del tiempo, para cada frente.

- **Utilidades**

Corresponde a la utilidad esperada por el contratista para el contrato en su conjunto, independientemente de las cantidades de obra que realmente ejecute (mayores o menores que las del cuadro de precios), y de la duración final del contrato. Se debe cotizar separadamente de los gastos generales, y como una suma alzada.

CAPÍTULO 11

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TÚNELES

11.1. CONSIDERACIONES GENERALES

En este capítulo se resumen las actividades básicas correspondientes a la fase de operación de un túnel, las cuales, en general, deben seguir los lineamientos establecidos en el Manual de Operación y Mantenimiento, elaborado como parte de la Ingeniería de Detalles del Túnel.

Este manual debe cubrir, como mínimo, los siguientes temas:

- Condiciones para la operación normal
- Operación restringida por indisponibilidad de algunos equipos
- Tránsito de vehículos con cargas peligrosas o con sobreancho

- Procedimientos en casos de emergencia o siniestros
- Manuales de puesta en marcha, operación y mantenimiento de los equipos
- Plan de Monitoreo del túnel

Las actividades básicas durante la operación de un túnel son las siguientes:

- Control de la Operación
- Mantenimiento funcional del túnel
- Mantenimiento estructural del túnel

11.2. CONTROL DE LA OPERACIÓN

Comprende todas las actividades necesarias para conocer, en tiempo real, lo que sucede con el tráfico vehicular dentro del túnel y en sus accesos inmediatos, así como también, el comportamiento de todos los equipos instalados en él, teniendo en cuenta, además, lo señalado en el Manual de Operación y Mantenimiento.

Dependiendo de la Categoría del Túnel se podrá optar por un Centro de Control local, uno remoto o ambos, en los cuales se deberá poder visualizar toda la información proveniente del túnel y a la vez, poder tomar acciones vía telecomando sobre los equipos instalados en su interior y en sus accesos, incluyendo la información a los usuarios vía señalización electrónica y megafonía.

Cuando la situación lo amerite, el Operador de la Sala de Control podrá dar instrucciones a las cuadrillas de emergencia o de mantenimiento estacionadas en las vecindades del túnel, para tomar las acciones que correspondan.

11.3. MANTENIMIENTO FUNCIONAL DEL TÚNEL

Los lineamientos específicos para la Operación y Mantenimiento Funcional de cada túnel deben quedar establecidos en el Manual que debe elaborar el proyectista que desarrolle la Ingeniería de Detalles. Para el caso de los túneles existentes en que no se cuente con dicho Manual, será responsabilidad de la Unidad de la Subdirección de Mantenimiento a cargo del mantenimiento de estas obras la encargada de establecerlo, sobre la base de los manuales elaborados por los fabricantes de los equipos, lo contemplado en los presentes estándares y de la Categoría del túnel.

Asimismo, esta Unidad de la Subdirección de Mantenimiento a cargo del mantenimiento de los túneles será la responsable de establecer los requerimientos de maquinaria, equipos y personal, que deberán estar disponibles en la cercanía del túnel para tomar acción cuando lo requiera el Centro de Control, y para efectuar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e instalaciones del túnel.

El Manual de Operación y Mantenimiento del túnel deberá incluir consideraciones sobre la seguridad vial en situaciones operacionales no usuales, sea por condiciones de emergencia, o por trabajos de mantenimiento o reparación.

11.4. MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL DEL TÚNEL

El Mantenimiento Estructural del túnel dependerá del comportamiento del soporte instalado en su interior, lo que se puede evaluar en función de la información obtenida del monitoreo rutinario del túnel, así como también, de visitas periódicas expertas a terreno de la División de Túneles, de ingenieros geólogos, geólogos o especialistas en diseño de obras subterráneas.

El plan de monitoreo deberá ser propuesto por el proyectista que diseñe el túnel y aprobado por la División de Túneles, plan que incluirá una definición de los puntos del túnel a monitorear, los instrumentos y las mediciones a realizar en esos puntos, la frecuencia con que se deberá medir y el sistema de registros y transmisión de los datos a la División de Túneles.

Los especialistas de la División de Túneles, eventualmente con apoyo de Consultores externos contratados al efecto, analizarán la información obtenida del monitoreo, efectuarán visitas periódicas a los túneles en operación y definirán las medidas correctivas a aplicar, las que serán informadas a la Subdirección de Mantenimiento, para su implementación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS MÁS COMUNES EN TUNELERÍA

- **Acuñadura**: Es una técnica obligatoria, permanente y de manera controlada, para detectar y botar toda roca o material que se encuentre suelto, abierto, ligeramente desprendido del techo o las cajas del túnel, o con posibilidades de soltarse, para evitar que estos caigan en un momento imprevisto y que puedan ocasionar daños o lesiones.

- **Caverna**: Excavación de dimensiones mayores a las de un túnel convencional y cuya finalidad es albergar salas de máquinas, transformadores, edificios o cualquier otra construcción o estructura requerida.

- **Chimenea:** Excavación inclinada o vertical en la roca, que cumple objetivos de extracción, ventilación, drenaje, exploración, etc**.**

- **Disparo:** En general, es la detonación de cualquier explosivo mediante iniciadores o cordones detonantes. Se utiliza también como sinónimo de la longitud de avance de cada ciclo de perforación.

- **Estallido de Roca (Rock Burst):** Es la proyección explosiva de rocas desde las paredes, frente o piso de un túnel, como consecuencia de los estados tensionales presentes en el macizo rocoso, en rocas de comportamiento frágil o elástico**.**

- **Frente:** Sector del túnel donde se realizan los trabajos de perforación para producir un ciclo de avance**.**

- **Galería:** Túnel auxiliar para fines específicos.

- **Gálibo:** Corresponde a las dimensiones máximas, tanto en altura como en ancho, que se permite para pasar por un túnel, y que corresponde a la sección libre de obstáculos**.**

- **Línea de Excavación Teórica:** Es la que se indica en los Planos, y corresponde a aquella dentro de la cual no podrá quedar material sin excavar.

- **Marina:** Roca fracturada producto de las tronaduras o de la acción de perforación de las máquinas tuneleras.

- **Material Común o Suelo:** Todo el material que no corresponde a roca.

- **Portal:** Toda entrada a los túneles, usualmente de hormigón armado, destinado a proteger el acceso al túnel de las caídas de rocas de las laderas.

- **Shotcrete:** Hormigón fabricado con áridos finos que se instala por proyección a distancia.

- **Sobreexcavación:** Corresponde a la excavación por fuera de la línea teórica de excavación definida en los planos.

- **Sostenimiento (o soporte):** Corresponde a todo trabajo de refuerzo, para estabilizar la sección de los túneles.

- **Sostenimiento Inicial:** Trabajo de sostenimiento necesario para asegurar condiciones de trabajo seguras y mantener la forma de la excavación durante el período de construcción.

- **Sostenimiento Adicional:** Trabajo de sostenimiento complementario para asegurar la estabilidad permanente de las excavaciones durante la etapa de operación.

- **Spilling:** Conjunto de pernos de refuerzo, colocados a ángulos bajos (10-15° de la horizontal) por sobre la zona de la clave del túnel, previo al avance de la excavación como medida de pre soporte.

- **TBM:** Por sus siglas en inglés Tunnel Boring Machine, máquina capaz de excavar túneles a sección circular completa.

- **Tronadura:** Es la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos depositados en su interior.

- **Tronadura Amortiguada:** En este tipo de tronadura las perforaciones de contorno se ubican relativamente próximas una de otra y llevan carga explosiva liviana. La ignición de las cargas de contorno se hace con posterioridad a la ignición de las cargas principales.

- **Tronadura de Precorte:** El principio de precorte difiere del de tronadura amortiguada, principalmente por su menor carga y su esquema de ignición.

- **Túnel:** Vía subterránea, abierta artificialmente para el paso de personas y vehículos u otros fines.

- **Túnel Falso:** Se ubican en general en los portales de los túneles, y corresponden a una prolongación de la estructura del revestimiento del túnel propiamente tal.

División de Túneles
Enero 2023

ANÓTESE Y COMUNÍQUESE

Jaime Huidobro Medel
Director (S) de Vialidad
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRE
Dirección de Vialidad
2023-03-23 13:11

DIRECTOR NACIONAL DE VIALIDAD (S)

LSB.

Distribución:

- Subdirección de Obras
- Subdirección de Desarrollo
- Subdirección de Mantenimiento
- Subdirección de Presupuesto y Finanzas
- División de Ingeniería
- Directores Regionales de Vialidad, Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén, Magallanes.
- División Jurídica
- Secretaría Técnica - DV
- División de Túneles – DV
- Oficina de Partes – DV

PROCESO Nº 16825182

LSB CMD MB

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la Ley Nº 19.799