

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA

TÍTULO: 05. Túneles

CAPÍTULO: 002. Excavación de Túneles con Máquinas Perforadoras de Frente Pleno en Roca

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos a considerar en la excavación de túneles en roca mediante máquinas perforadoras de frente pleno, conocidas también como Topos o Tunneling Boring Machines (TBM).

B. DEFINICIÓN

Los túneles excavados mediante máquinas perforadoras mecánicas de frente pleno, son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutadas mediante máquinas capaces de excavar en toda la superficie del frente de avance. La excavación se realiza mediante la trituración de la roca por acción mecánica de un cabezal giratorio equipado con cortadores de alta resistencia al desgaste y el impulso de sistemas hidráulicos que se apoyan directamente sobre las paredes de la cavidad, o bien, en el sistema de soporte que es colocado por el propio equipo.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N·LEG-3
Anclas para Soporte de Túneles.....	N·CTR·CAR·1·05·004
Malla Electrosoldada en Túneles.....	N·CTR·CAR·1·05·005

Concreto Lanzado en Túneles..... N-CTR-CAR-1-05-006

Marcos Metálicos en Túneles..... N-CTR-CAR-1-05-007

D. EQUIPO

El equipo que se utilice para la excavación de túneles, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

D.1. MÁQUINA PERFORADORA

- D.1.1.** La selección de la perforadora mecánica de frente pleno a utilizar se hará considerando la información geotécnica disponible.
- D.1.2.** Será capaz de excavar a sección completa el frente de avance de la obra, controlando las condiciones previstas en el proyecto.
- D.1.3.** Tendrá la capacidad de girar para corregir desviaciones de alineamiento vertical u horizontal.
- D.1.4.** Tendrá facilidad de acceso a la cámara plena de la máquina para inspeccionar el frente de avance o retirar obstrucciones.
- D.1.5.** Dispondrá de los medios para colocar el ademe primario o anillo erector de dovelas.
- D.1.6.** Dispondrá de un sistema de rezaga del material producto de la excavación.

D.2. SISTEMA DE VENTILACIÓN

Capaz de inyectar la cantidad de aire fresco suficiente de acuerdo al tipo de equipo que se utilice para la excavación, con los dispositivos necesarios para conducir el aire desde quince (15) metros fuera de la boca del túnel hasta el frente de ataque.

D.3. EQUIPO DE TRANSPORTE

Puede ser vehículos, vagones, bandas, o ductos, de acuerdo al tipo de material que se esté excavando y las dimensiones del túnel. Tendrá una capacidad compatible con la velocidad de excavación.

E. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Los residuos producto de la excavación, se cargarán y transportarán al sitio o banco de desperdicios que apruebe la Secretaría, en vehículos con cajas cerradas y protegidos con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen. Cuando se trate de materiales que no vayan a ser aprovechados posteriormente y que hayan sido depositados en un almacén temporal, serán trasladados al banco de desperdicios lo más pronto posible. El transporte y almacenamiento de los residuos, se sujetarán en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

F. EJECUCIÓN**F.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

Para la excavación de túneles con maquinaria perforadora mecánica de frente pleno, se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

F.2. TRABAJOS PREVIOS**F.2.1 Especificaciones del equipo**

El Contratista de Obra presentará a la Secretaría, con dos (2) meses de anticipación al inicio de los trabajos, un manual de procedimientos detallado de la máquina perforadora y de sus sistemas complementarios, incluyendo, modos de operación,

capacidad, monitoreo y control de los principales sistemas de la máquina, como son: gatos de empuje, cabezal y cortadores, así como métodos para cambio de los mismos; motores; anillo erector de dovelas; sistemas de recolección y separación de rezaga; sistemas hidráulicos y bandas transportadoras.

En el manual, además de lo anterior, incluirá los procedimientos detallados de la instalación de revestimiento primario, control de aguas subterráneas y su desalojo, ventilación y supresión de polvos, paros programados para mantenimiento y lubricación, planes de contingencia para remoción de obstáculos, inyecciones en el frente y sondeos exploratorios.

F.2.2. Trazo

La Secretaría entregará al Contratista de Obra, por una sola vez, las referencias para el trazo. El Contratista de Obra efectuará el trazo en el interior de los túneles y tendrá la obligación de rehacerlo cuantas veces sea necesario, ajustándose a los datos de proyecto; la Secretaría verificará dicho trazo con la frecuencia que considere conveniente.

F.2.3. Accesos

F.2.3.1. Los cortes de acceso a los túneles se excavarán hasta la estación establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

F.2.3.2. Los taludes frontales y laterales de los cortes de acceso, tendrán la inclinación indicada en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

F.2.3.3. No podrá iniciarse el emportalamiento del túnel en tanto no se termine la excavación de los cortes de acceso, incluyendo sus obras de estabilización.

F.2.3.4. Las cunetas en los cortes de acceso se construirán lo antes posible y de tal forma que su desagüe no dañe la excavación del túnel, los cortes de acceso, o los terraplenes.

F.2.4. Sistemas de seguridad

- F.2.4.1.** Los sistemas de seguridad durante la excavación del túnel son responsabilidad del Contratista de Obra, por lo que antes de iniciar los trabajos debe implementarlos, por su cuenta y costo, de forma que garanticen la integridad del personal. En ningún caso se permitirá la ejecución de los trabajos de excavación mientras no se cumpla con lo establecido en este Inciso. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.
- F.2.4.2.** Se tomará en cuenta todo lo referente al equipo, señalamiento y dispositivos de seguridad que establece la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.
- F.2.4.3.** El Contratista de Obra proporcionará al personal el equipo adecuado para su protección, como cascos, anteojos inastillables, mascarillas contra el polvo, dispositivos para la protección contra el ruido, botas antiestáticas de seguridad, ropa protectora, guantes, entre otros.
- F.2.4.4.** En la obra se contará como mínimo con un instructivo visible en que se consignen los detalles sobre la forma de actuar en casos de emergencia, instalaciones de rescate y primeros auxilios, extintores de incendio adecuados, luces de emergencia y filtros para monóxido de carbono en túneles de más de quinientos (500) metros.
- F.2.4.5.** Se contará con medios de comunicación efectivos para uso habitual y para casos de emergencia, entre el frente de la excavación y el exterior del túnel. En el caso de que se interrumpa dicha comunicación, la Secretaría suspenderá de inmediato los trabajos hasta que la comunicación sea restablecida. La Secretaría decidirá si la interrupción se debió a causas atribuibles al Contratista de Obra, en cuyo caso, los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

F.3. EXCAVACIÓN

El procedimiento que se emplee para la excavación del túnel, utilizando el equipo indicado en el proyecto, es responsabilidad del Contratista de Obra, teniendo los cuidados necesarios para cumplir con la sección teórica de proyecto dentro de las tolerancias ahí establecidas y no provocar caídos o dañar la estructura del terreno excavado más allá de las líneas de excavación mostradas en la Figura 1 de esta Norma.

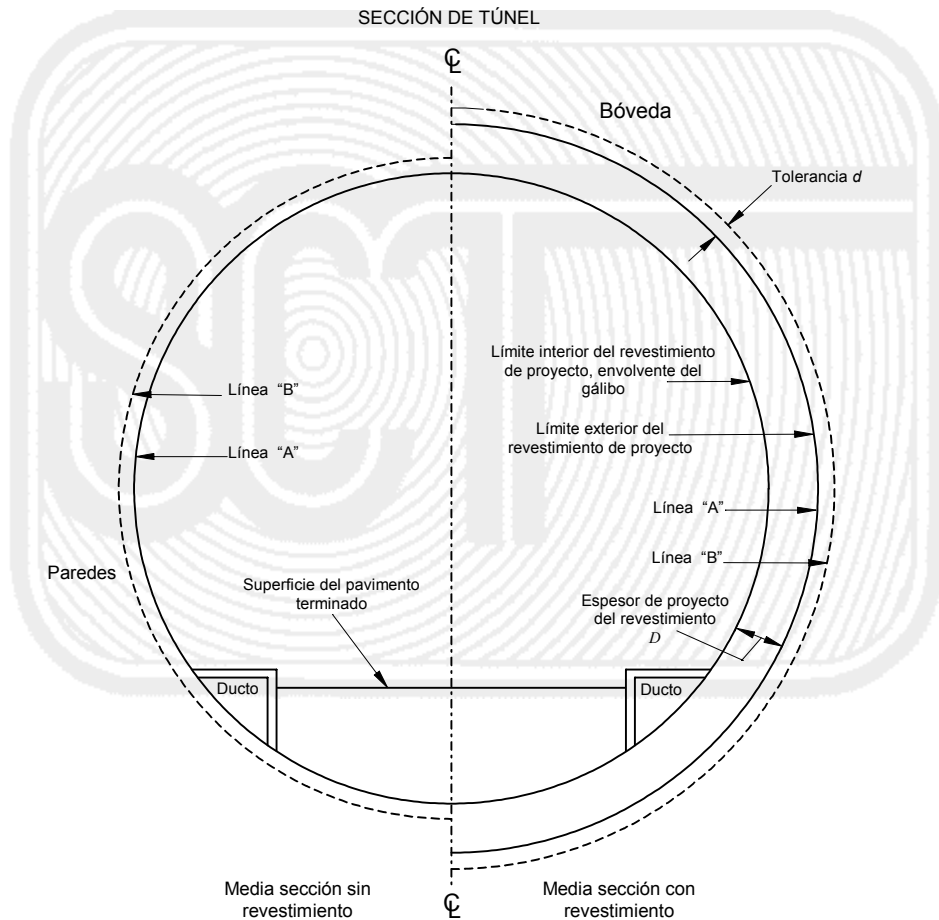


FIGURA 1.- Líneas de excavación

F.3.1. Avance de la máquina perforadora

Durante el avance de la excavación, el Contratista de Obra:

F.3.1.1. Dispondrá de registros actualizados de todas las funciones fundamentales de la máquina y sus sistemas complementarios, manteniéndolos en la obra para su verificación por parte de la Secretaría.

F.3.1.2. Presentará a la Secretaría un informe semanal que contenga como mínimo:

- a) Los registros a que se refiere el Párrafo F.3.1.1. de esta Norma.
- b) Las condiciones de alineamiento y nivel de la máquina perforadora, así como su giro e inclinación. La Secretaría se reserva el derecho de solicitar la Contratista de Obra la verificación del trazo y nivel cuando lo considere pertinente.
- c) Las actividades y distribución de tiempos de la máquina perforadora, incluyendo:
 - Horas disponibles (lapso en que la máquina se encontraba en condiciones de ser operada).
 - Tiempo de trabajo efectivo (lapso correspondiente a la realización de alguna actividad con alguna parte de la máquina).
 - Tiempo de avance efectivo (tiempo en que la máquina realizó perforación en el frente y avance de la excavación).
 - Velocidad de avance instantánea (considerada como la velocidad de avance real durante la perforación).
 - Otros datos relevantes (velocidad media por jornada y por semana, horas de paro por mantenimiento, cambios de cortadores, lubricación, horas de paro por descomposturas y reparaciones, entre otros).

F.3.1.3. Con base en los informes a que se refiere el Párrafo anterior, presentará a la Secretaría, al menos una vez cada dos semanas, un análisis de las relaciones entre, la durabilidad de los cortadores y las velocidades de avance instantáneas, las características de operación de la máquina, las características y propiedades de la roca triturada, resistencia a la abrasión y resistencia en compresión no confinada.

F.3.2. Sección teórica de excavación y sobreexcavaciones

F.3.2.1. Los túneles se excavarán de acuerdo con la forma, sección y dimensiones que establezca el proyecto o apruebe la Secretaría. Se observará el cumplimiento tan exacto como sea posible del perfil teórico de excavación indicado en los perfiles normales de proyecto, tomando en cuenta que las dimensiones indicadas corresponden a las medidas mínimas aceptables.

F.3.2.2. La sección teórica de excavación corresponderá a la línea entre el terreno y el soporte o revestimiento del túnel, definida como *Línea A*, según se muestra en la Figura 1 de esta Norma, dentro de la cual no deberá existir o quedar material alguno.

F.3.2.3. El Contratista de Obra podrá solicitar desviarse de las dimensiones del perfil teórico de la excavación, previa demostración y justificación técnica presentada a la Secretaría, para su aprobación.

F.3.2.4. Al excavar los túneles, se evitará aflojar el material de las paredes y bóveda más allá de la superficie teórica fijada en el proyecto.

F.3.2.5. Con objeto de evitar posibles desprendimientos de las paredes y bóveda de la excavación, se emplearán anclas estabilizadoras o banderillas, cuyo tipo, espaciamiento y profundidad de anclaje deberán ser los que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.

F.3.2.6. Las estructuras de ventilación e instalaciones de apoyo durante la construcción, entre otras, serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, así como todos los gastos que se generen por estos conceptos.

- F.3.2.7.** La carga, transporte y descarga del material producto de la excavación, del frente de trabajo hasta el portal o boca del túnel, se hará según lo indicado en el proyecto o aprobado por la Secretaría.
- F.3.2.8.** La disposición final de los materiales producto de la excavación, se hará a la brevedad posible, en la forma y sitio que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.
- F.3.2.9.** Durante la ejecución de la excavación, el Contratista de Obra facilitará, la instalación y operación del sistema geotécnico de instrumentación que implementará la Secretaría, para monitorear el comportamiento de la roca, tanto en el interior de la excavación como en la superficie del terreno, según sea necesario.

F.3.3. Iluminación e instalaciones eléctricas

- F.3.3.1.** La iluminación artificial será eléctrica.
- F.3.3.2.** Ningún sector de la obra subterránea tendrá una intensidad de iluminación menor de cincuenta (50) luxes.
- F.3.3.3.** Las instalaciones serán a prueba de intemperie, dotadas de apartarayos y deberán estar acondicionadas de manera que garanticen un nivel de iluminación adecuado y un servicio continuo en todos los sitios de la obra en que sean requeridas.
- F.3.3.4.** Todas las instalaciones eléctricas deben ser realizadas, inspeccionadas, probadas y mantenidas por personal competente debidamente capacitado.
- F.3.3.5.** Para la fijación de instalaciones eléctricas en el interior de la excavación, deben utilizarse soportes firmes sujetos a las paredes de la misma.

F.3.4. Ventilación

- F.3.4.1.** Los frentes de ataque deben ventilarse por medios mecánicos, a partir de una longitud de sesenta (60) metros medidos desde la boca del túnel, a menos que el proyecto indique otra cosa o lo apruebe la Secretaría.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-05-002/00

- F.3.4.2.** No se permitirá utilizar el aire comprimido destinado a la operación del equipo.
- F.3.4.3.** El aire que se suministre debe ser fresco y limpio; para ello, la toma del mismo se hará prolongando la tubería de conducción como mínimo quince (15) metros fuera de la boca del túnel, a una altura mínima de cinco (5) metros del nivel de la subrasante. Debe evitarse recircular el aire.
- F.3.4.4.** La boca de la tubería de ventilación deberá quedar, como máximo, a veinte (20) metros del frente de ataque.
- F.3.4.5.** El volumen de aire que se inyecte no deberá ser menor de dos (2) metros cúbicos por minuto por cada caballo de fuerza, cuando se utilicen motores diesel dentro de la excavación, o doce (12) metros cúbicos por minuto por cada metro cuadrado de sección del túnel, cuando no se utilicen motores diesel dentro de éste. Por ningún motivo se aceptarán motores de gasolina para trabajar dentro de la excavación.
- F.3.4.6.** Los motores diesel que se empleen dentro de la excavación, deben estar bien ajustados y sus inyectores en buenas condiciones; el combustible que se emplee deberá ser centrifugado antes de cargar los depósitos del equipo.
- F.3.4.7.** En caso de fallas o daños en el sistema de ventilación, el Contratista de Obra suspenderá de inmediato los trabajos hasta que el sistema funcione adecuadamente. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

F.3.5. Instalaciones de apoyo

Las instalaciones de apoyo requeridas por el proceso constructivo serán responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y correrán por su cuenta y costo.

F.3.6. Sistemas de soporte temporal

Si bien los sistemas de soporte temporal se consideran como un concepto independiente de la excavación para fines de

medición y pago, es importante mencionar en esta Norma, que el Contratista de Obra debe colocarlos tan pronto como la secuencia de las operaciones de excavación lo permitan, a fin de que las superficies excavadas se sostengan adecuadamente dentro de un periodo inferior al tiempo de autosoporte de la roca, y considerando lo establecido en las Normas N-CTR-CAR-1-05-004, *Anclas para Soporte de Túneles*, N-CTR-CAR-1-05-005, *Malla Electrosoldada en Túneles*, N-CTR-CAR-1-05-006, *Concreto Lanzado en Túneles*, y N-CTR-CAR-1-05-007, *Marcos Metálicos en Túneles*.

F.3.7. Drenaje de la excavación

Cuando la excavación no pueda drenarse por gravedad, el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, instalará el equipo de bombeo con la capacidad adecuada para mantener la excavación libre de depósitos de agua.

F.4. ACABADO

Las paredes de la excavación deben quedar libres de residuos y materias extrañas, sin rocas flojas o material suelto.

F.5. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la excavación hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando el túnel sea operable.

G. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la excavación de un túnel se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará que se haya efectuado conforme a la sección teórica establecida en el proyecto, correspondiente a la *Línea A*, según se muestra en la Figura 1 de esta Norma, considerando:

- G.1.** Que como tolerancia para el Contratista de Obra, se establecerá el contorno delimitado por la *Línea B*, según se muestra en la Figura 1 de esta Norma, el que será considerado para el cálculo de los volúmenes de excavación para fines de pago. La *Línea B* será la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, en función del tipo de material y del procedimiento constructivo que utilice el Contratista de Obra.
- G.2.** Que salvo que el proyecto indique otra cosa, la *Línea B* podrá sufrir modificaciones a solicitud del Contratista de Obra, o bien, por cambios aprobados por la Secretaría en la geometría del túnel para alojar el soporte temporal o definitivo.
- G.3.** Que la solicitud de ajuste de la *Línea B*, se hará mediante un estudio técnico que lo justifique, donde se demuestre que en la excavación existen aspectos geológicos, geotécnicos o hidráulicos no previstos en el proyecto, a fin de que la Secretaría proceda a su revisión, análisis y aprobación, en su caso.
- G.4.** Que la solicitud de ajuste de la *Línea B*, corresponderá a unidades geotécnicas en proceso de excavación, en ningún caso procederán solicitudes que anticipen ajustes correspondientes a unidades geotécnicas por excavar.
- G.5.** Que cuando la excavación requiera revestimiento y se sobrepase la *Línea B*, el volumen sobrexavado será restituido por cuenta y costo del Contratista de Obra, con el material y en la forma que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.
- G.6.** Que la sobrexavación causada por negligencia del Contratista de Obra, se considera como evitable, por lo que el costo que se genere por medidas de soporte adicionales, consumos de concreto y otros conceptos que resulten, serán por cuenta del Contratista de Obra.

H. MEDICIÓN

Cuando la excavación de túneles con maquinas perforadoras de frente pleno, se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la

cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de excavación terminada, para cada tipo de material considerado en el catálogo de conceptos, con aproximación a un décimo (0,1).

- H.1.** La excavación se considerará separadamente por cada tramo de túnel que fije el proyecto o apruebe la Secretaría, referidos a la boca o brocal del túnel, tomando como base los volúmenes que indique el proyecto considerando la *Línea B* a que se refiere la Fracción G.1. de esta Norma.
- H.2.** En caso de ramificaciones o cruzamiento de galerías o túneles, no se medirán volúmenes duplicados.
- H.3.** El material producto de derrumbes ocasionados por causas ajenas al Contratista de Obra, debidos a condiciones geológicas, geotécnicas o hidráulicas locales, una vez aprobado por la Secretaría, se clasificará y medirá directamente en el sitio del derrumbe, mediante seccionamiento y siguiendo el método de áreas extremas o se cubicará en el equipo de transporte de la rezaga, tomando como unidad el metro cúbico.

I. BASE DE PAGO

Cuando la excavación de túneles con máquinas perforadoras de frente pleno se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula H. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cubico de excavación terminada, para cada tipo de material considerado en el catálogo de conceptos.

I.1. PARA VOLÚMENES DE PROYECTO

Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Caminos de acceso.
- Trazo.
- Los sistemas de seguridad en la obra a que se refiere el Inciso F.2.4. de esta Norma.

- Excavación.
- Remoción, carga, transporte y descarga del material producto de la excavación, hasta el portal del túnel o lumbrera.
- Carga en el portal del túnel o lumbrera y descarga en el sitio y forma que indique el proyecto o apruebe la Secretaría, de los materiales producto de la excavación.
- Mantenimiento periódico del equipo y los tiempos requeridos para dicho mantenimiento.
- Tiempos muertos por demoras debidas a condiciones geológicas y control de filtraciones.
- Control de filtraciones y drenaje de la excavación, ya sea por gravedad o por bombeo.
- La iluminación y ventilación.
- Las instalaciones de apoyo necesarias.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes durante las cargas y las descargas.
- La conservación de la excavación hasta que haya sido recibida por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

I.2. PARA VOLÚMENES DE DERRUMBES NO IMPUTABLES AL CONTRATISTA DE OBRA

Los volúmenes de derrumbes no imputables al Contratista de Obra se pagarán al precio convenido, en cada caso, entre la Secretaría y el Contratista de Obra, para el metro cúbico de material de derrumbe en cada caso. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Andamios, plataforma y maniobras.
- Desprendimiento del material flojo.
- Moneo, remoción, carga, transporte y descarga del material producto del derrumbe, hasta el portal del túnel o lumbrera.

- Carga en el portal del túnel o lumbrera y descarga en el sitio y forma que indique el proyecto o apruebe la Secretaría, del material producto del derrumbe.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes durante las cargas y descargas.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

I.3. SOBREXCAVACIONES

Para los casos en que se deban adoptar medidas de soporte adicionales a las consideradas en el proyecto, o debidas a aspectos geológicos, geotécnicos o hidráulicos no previstos en el mismo, las sobreexcavaciones ejecutadas con aprobación de la Secretaría, se pagarán al precio convenido, en cada caso, entre la Secretaría y el Contratista de Obra, para el metro cúbico de sobreexcavación. Cuando las sobreexcavaciones no cuenten con aprobación de la Secretaría no procederá pago alguno por este concepto. Si el perfil de excavación ha sido ampliado por el Contratista de Obra fuera de la *Línea B*, por desvío de la excavación del trazo topográfico u otra causa imputable a él, sólo será objeto de medición y pago la cantidad convenida dentro de la *Línea B* aprobada para el tramo en cuestión. En este caso, el Contratista de Obra absorberá todos los gastos que se deriven de la sobreexcavación, como: aflojamiento del terreno, adopción de refuerzos locales del sistema de soporte, mayor volumen de concreto en el revestimiento, inyecciones de contacto y rellenos, entre otros.

J. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de la excavación de túneles, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

K. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la excavación del túnel, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando el túnel sea operable, la recibirá conforme con lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I, de la misma Norma.