

**LIBRO:** CTR. CONSTRUCCIÓN

**TEMA:** CAR. Carreteras

**PARTE:** 1. *CONCEPTOS DE OBRA*

**TÍTULO:** 05. Túneles

**CAPÍTULO:** 009. *Inyecciones en Túneles*

## **A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los aspectos a considerar en los tratamientos al terreno mediante inyecciones de mezclas de materiales cementantes en túneles.

## **B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**

Las inyecciones son tratamientos que consisten en introducir al terreno mezclas cementantes, como lechadas de cemento, morteros, productos químicos o la combinación de éstos, con el fin de mejorar alguna propiedad mecánica o hidráulica del terreno, proporcionar cohesión entre bloques de roca o llenar fisuras, grietas u oquedades. Según su función, los tratamientos de inyección se clasifican en:

### **B.1. INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN**

Las inyecciones de consolidación son aquellas que se realizan para mejorar la resistencia o reducir la deformabilidad del terreno.

### **B.2. INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN**

Las inyecciones de impermeabilización son aquellas que se realizan para reducir la permeabilidad del terreno o impedir flujos de agua subterránea a través de discontinuidades como fisuras, grietas u oquedades.

**B.3. INYECCIONES DE CONTACTO**

Las inyecciones de contacto son aquellas que se realizan para consolidar el terreno y llenar los huecos dejados entre el revestimiento del túnel y el terreno.

**C. REFERENCIAS**

Son referencias de esta Norma, las Normas aplicables del Libro CMT. *Características de los Materiales*.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras .....	N-LEG-3
Criterios Estadísticos de Muestreo .....	M-CAL-1-02

**D. MATERIALES**

- D.1.** Los materiales que se utilicen en las inyecciones en túneles, cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables del Libro CMT. *Características de los Materiales*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría.
- D.2.** No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción anterior, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.
- D.3.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

**E. EQUIPO**

El equipo que se utilice para las inyecciones en 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 remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

**E.1. BARRENADORA**

Con la versatilidad suficiente para que se adapte fácilmente al patrón de barrenación y para que su transporte a lo largo del túnel sea compatible con la velocidad de inyección.

**E.2. PLATAFORMAS**

Contarán con canastillas telescópicas, de accionamiento hidráulico y neumático, cuya versatilidad de movimientos permitan acercar y retirar el equipo, materiales y personal. Contarán con barandales y piso antiderrapante.

**E.3. TURBOMEZCLADORA**

El equipo será del tipo de bomba centrífuga, con la capacidad para desarrollar como mínimo mil doscientos cincuenta (1 250) revoluciones por minuto, y contará con malla o filtros para retener grumos o basura.

**E.4. AGITADORES**

Deben ser de baja velocidad, con la capacidad para desarrollar como mínimo sesenta (60) revoluciones por minuto.

**E.5. TUBERÍAS**

Serán reforzadas, con capas helicoidales de trenzado de alambres de acero, resistentes al paso de vehículos y capaces de resistir una presión de cinco (5) veces la presión máxima de trabajo indicada en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

**E.6. CONEXIONES**

Serán capaces de resistir una presión de cinco (5) veces la presión máxima de trabajo indicada en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

**F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO**

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas aplicables del Libro CMT. *Características de los Materiales*. Se sujetarán en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

**G. EJECUCIÓN****G.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

Para las inyecciones en túneles se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

**G.2. TRABAJOS PREVIOS****G.2.1. Sistemas de seguridad**

**G.2.1.1.** Los sistemas de seguridad durante la inyección en túneles 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 inyección 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.

**G.2.1.2.** 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*.

- G.2.1.3.** 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 de seguridad, ropa protectora, guantes, lámparas portátiles, arneses y cinturones de seguridad, entre otros.
- G.2.1.4.** 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 de primeros auxilios, extintores de incendio adecuados, luces de emergencia y filtros para monóxido de carbono en túneles de más de quinientos (500) metros.
- G.2.1.5.** Se contará con medios de comunicación efectivos para uso habitual y para casos de emergencia, entre el sitio de inyección y el exterior del túnel. En el caso 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.

### **G.2.2. Localización y trazo del barreno**

Previo a la inyección, los barrenos por perforar se ubicarán en el sitio mediante el auxilio de trazos topográficos, con base en la distribución espacial establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

### **G.3. BARRENACIÓN**

- G.3.1.** Las perforaciones se harán sin interrupción en la longitud y posición establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- G.3.2.** Si durante el proceso de barrenación se presenta flujo de agua, se procederá a sellar el barreno, inyectándolo con el

obturador colocado a un (1) metro antes del punto donde se presentó el flujo de agua, hasta alcanzar la presión de rechazo establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría. Una vez terminada la inyección, se removerá el obturador y se lavará o reparará el tramo para continuar la perforación del barreno hasta su profundidad total.

#### **G.4. LAVADO DEL BARRENO**

- G.4.1.** Inmediatamente antes de realizar la inyección o antes de efectuar pruebas de permeabilidad en el barreno perforado en roca, éste se lavará con agua y aire a la presión suficiente para desalojar los detritos de la perforación hasta que el agua retorne limpia.
- G.4.2.** A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, los barrenos en suelos no deberán lavarse.

#### **G.5. PRUEBAS DE PERMEABILIDAD**

- G.5.1.** Las pruebas de permeabilidad se realizarán de acuerdo con lo establecido en el proyecto o aprobado por la Secretaría.
- G.5.2.** Las pruebas de permeabilidad se realizarán en barrenos de reconocimiento, con obtención de núcleos de roca.
- G.5.3.** En caso de que se requieran realizar pruebas de permeabilidad en barrenos recientemente inyectados, a menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, el tiempo necesario entre el final de la inyección y la prueba de permeabilidad no será menor de veinticuatro (24) horas.

#### **G.6. FABRICACIÓN DE MEZCLAS**

- G.6.1.** Las dosificaciones y preparación de las mezclas que se utilizarán para la inyección, serán responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra, debiendo cumplir con la resistencia establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría.
- G.6.2.** La mezcla se mantendrá en agitación dentro del turbomezclador por un lapso no menor de dos (2) minutos,

contado a partir de que haya sido adicionado el último componente, posteriormente se enviará a los agitadores de baja velocidad de las estaciones de inyección, que funcionen como mínimo a sesenta (60) revoluciones por minuto; las estaciones de inyección se mantendrán en agitación mientras dure el proceso de inyectado o durante la vida útil de la mezcla. El Contratista de Obra podrá solicitar a la Secretaría un ajuste en el tiempo de mezclado, previa demostración mediante pruebas de laboratorio ejecutadas en especímenes fabricados en el sitio y bajo las condiciones de la obra, de la obtención de resultados satisfactorios.

- G.6.3.** La mezcla que permanezca en los agitadores durante un tiempo superior a una (1) hora se desechará y no será objeto de pago. El Contratista de Obra podrá solicitar a la Secretaría un ajuste en este tiempo, previa demostración mediante pruebas de laboratorio ejecutadas en especímenes fabricados en el sitio y bajo las condiciones de la obra, de la obtención de resultados satisfactorios.
- G.6.4.** No deben utilizarse aditivos de fraguado rápido cáusticos, tóxicos o inflamables.
- G.6.5.** No se permitirá el uso de agitadores manuales para la preparación de mezclas.
- G.6.6.** A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, la bentonita debe prehidratarse con al menos veinticuatro (24) horas de anticipación a su utilización.
- G.6.7.** En caso de que se utilice alguna clase de aditivo, éste se añadirá directamente a la mezcla y será el último ingrediente que se agregue a la misma.
- G.6.8.** A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, el orden de preparación de los tipos de mezcla más comunes, será el indicado en la Tabla 1 de esta Norma.
- G.6.9.** Si el agua subterránea fluye a través del terreno, la viscosidad y el tiempo de fraguado de la mezcla deben ser tales que aseguren su retención en la zona bajo tratamiento. La mezcla no debe ser diluida ni presentar lixiviación.

**TABLA 1.- Orden de elaboración de los tipos de mezcla más comunes**

<b>Mezcla</b>	<b>Orden de los ingredientes</b>
Agua-cemento-bentonita	1. Lodo bentonítico 2. Cemento
Agua-cemento-arena-bentonita	1. Lodo bentonítico 2. Cemento 3. Arena
Agua-cemento-arena-silicato de sodio	1. Agua 2. Silicato de sodio 3. Cemento 4. Arena
Agua-cemento-arena-bentonita-silicato de sodio	1. Agua 2. Silicato de sodio 3. Lodo bentonítico 4. Cemento 5. Arena

**G.7. INYECCIÓN**

- G.7.1.** Los métodos o técnicas de inyección a utilizar serán las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- G.7.2.** En presencia de agua subterránea se debe verificar la acidez o alcalinidad del agua o presencia de sulfatos, a fin de verificar la compatibilidad del cementante con el terreno.
- G.7.3.** La presión de inyección debe ser la suficiente para vencer la presión hidráulica y permitir el flujo adecuado de la mezcla en el terreno bajo tratamiento.
- G.7.4.** A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, no se realizarán inyecciones de contacto en revestimientos cuyo concreto no tenga una edad mínima de catorce (14) días, ni en zonas dentro de un radio de quince (15) metros de tramos que no cumplan con este requisito.

**G.8. INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO**

Es responsabilidad del Contratista de Obra que los trabajos de inyección no generen desplazamientos del terreno o del sistema de soporte del túnel, que afecten a éste o a obras vecinas



superficiales o subterráneas, para lo cual debe implementar la instrumentación y monitoreo requeridos para verificar los movimientos inducidos por la inyección. La instrumentación que se adoptará será la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría. Los resultados del monitoreo serán informados a la Secretaría en forma diaria.

### **G.9. REGISTROS DE CONTROL**

El Contratista de Obra llevará un registro completo de las actividades de barrenación e inyección, el cual estará disponible en todo momento en la obra y en el que se consignarán al menos los siguientes aspectos:

- G.9.1.** Durante la ejecución de barrenos de investigación se llevará un registro meticuloso de los tipos de materiales muestreados, dificultades de perforación y velocidades de avance.
- G.9.2.** Durante la barrenación se indicará el tipo de material cortado, registro de las profundidades en las que se hayan presentado problemas de estabilidad, pérdida del fluido de perforación o cualquier otro incidente, así como la velocidad de avance de la perforación en tramos de cero coma cinco (0,5) a un (1) metro.
- G.9.3.** Durante la inyección de mezclas se llevará un registro detallado de presiones aplicadas, consumo de mezclas, problemas de taponamientos, incrementos de presión o cualquier incidente que se haya presentado.

### **G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS**

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de las inyecciones en túneles hasta que hayan sido recibidas por la Secretaría, cuando el túnel sea operable.

## **H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO**

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que las inyecciones en túneles se consideren terminadas y sean aceptadas 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:

**H.1. CALIDAD DE LA MEZCLA**

Que la calidad de la mezcla de inyección, cumpla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

**H.2. EFICIENCIA DE LAS INYECCIONES**

**H.2.1.** Que la mezcla de las inyecciones, inspeccionada en núcleos de roca o suelos inyectados en barrenos de reconocimiento ubicados mediante un procedimiento objetivo basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya alcanzado la zona a tratar y que no existan huecos y oquedades que a juicio de la Secretaría afecten la calidad del tratamiento.

**H.2.2.** Que la permeabilidad, inspeccionada en barrenos de reconocimiento ubicados como se indica en el Inciso anterior, cumpla con lo establecido en el proyecto o aprobado por la Secretaría.

**I. MEDICIÓN**

Cuando las inyecciones en túneles se contraten a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean ejecutadas conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirán 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, considerando que:

**I.1. BARRENACIÓN**

La barrenación para inyecciones se medirá tomando como unidad el metro de barreno perforado, medido a partir del brocal del barreno, según su tipo, con aproximación a un décimo (0,1).

**I.2. INYECCIÓN**

La inyección de mezclas se medirá tomando como unidad el metro cúbico de mezcla inyectada, según su tipo, con aproximación a cinco décimos (0,5).

**J. BASE DE PAGO**

Cuando las inyecciones en túneles se contraten a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean medidas de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagarán como sigue:

**J.1. BARRENACIÓN**

La barrenación para inyecciones se pagará al precio fijado en el contrato para el metro de barreno perforado, según su tipo. 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:

- Ademes, plataformas y demás equipo auxiliar para la barrenación.
- Valor de adquisición y suministro del fluido de perforación.
- Localización y trazo del barreno.
- Perforación y limpieza del barreno.
- Iluminación y ventilación cuando el Contratista de Obra no sea el responsable de realizar la excavación.
- La conservación de los barrenos hasta que hayan sido inyectados.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

**J.2. INYECCIONES**

La inyección de mezclas se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de mezcla inyectada, según su tipo. 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, plataformas y demás equipo auxiliar para la inyección.

- Valor de adquisición o fabricación de las mezclas de inyección. Carga, transporte y descarga de todos los materiales hasta el sitio de su utilización y cargo por almacenamiento.
- Inyección de la mezcla.
- Instrumentación y monitoreo de desplazamientos.
- Iluminación y ventilación cuando el Contratista de Obra no sea el responsable de realizar la excavación.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- La conservación de las inyecciones hasta que hayan sido recibidas por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

**K. ESTIMACIÓN Y PAGO**

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

**L. RECEPCIÓN DE LA OBRA**

Una vez concluidas las inyecciones en túneles, la Secretaría las aprobará y al término de la obra, cuando el túnel sea operable las recibirá conforme a 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.