

LIBRO: **CTR. CONSTRUCCIÓN**

TEMA: **CAR. Carreteras**

PARTE: **1. CONCEPTOS DE OBRA**

TÍTULO: 05. Túneles

CAPÍTULO: 008. *Revestimiento de Túneles*

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos a considerar en la construcción del revestimiento definitivo de túneles.

B. DEFINICIÓN

El revestimiento de túneles, cuando así lo establezca el proyecto, es el recubrimiento de concreto armado o simple colado en el sitio mediante cimbras, con el fin de proteger las superficies de la cavidad contra la erosión e intemperismo y proveer soporte adicional a la excavación.

C. REFERENCIAS

Son referencia de esta Norma, las Normas aplicables del Título 02. *Materiales para Concreto Hidráulico*, de la Parte 2. *Materiales para Estructuras*, 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
Acero para Concreto Hidráulico	N-CTR-CAR-1-02-004
Calidad del Concreto Hidráulico	N-CMT-2-02-005
Acero de Refuerzo para Concreto Hidráulico	N-CMT-2-03-001
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02

D. MATERIALES

- D.1.** Los materiales que se utilicen en la construcción del revestimiento de túneles, cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables del Título 02. *Materiales para Concreto Hidráulico*, de la Parte 2. *Materiales para Estructuras*, del Libro CMT. *Características de los Materiales* y la Norma N-CMT-2-03-001, *Acero de Refuerzo para Concreto Hidráulico*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Además, los agregados pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.
- D.2.** El agua estará limpia y libre de materia orgánica o de cualquier otra sustancia que afecte la calidad del concreto.
- D.3.** Si dados los requerimientos de la obra, se considera necesaria la utilización de aditivos o fibras, éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de aditivos o fibras, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y pruebas de calidad respectivas, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos o de las fibras.
- D.4.** No se aceptará el suministro y colocación de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.
- D.5.** 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 la construcción del revestimiento 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.

E.1. PLANTAS DE MEZCLADO

El concreto hidráulico se elaborará en plantas mezcladoras que cuenten como mínimo con:

- E.1.1.** Tolvas y silos para almacenar el material pétreo y el cemento Portland protegidos de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar lo agregados pétreos por tamaños.
- E.1.2.** Dispositivos que permitan dosificar los agregados pétreos por masa, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la cantidad requerida, y sólo en casos excepcionales y cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen. Los dispositivos deben permitir un fácil ajuste de la mezcla en cualquier momento para poder obtener la dosificación aprobada por la Secretaría.
- E.1.3.** Dispositivos que permitan dosificar el cemento Portland por masa, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento.
- E.1.4.** Dispositivos que permitan dosificar el agua, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la cantidad requerida y los aditivos con una aproximación de más menos tres (± 3) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento. En el caso del agua y los aditivos líquidos, pueden medirse por volumen con una precisión aceptable.

E.1.5. Cámara mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.

E.1.6. Un dispositivo de suma acumulada, sin restitución, para contar correctamente el número de bachas producidas durante su operación.

E.2. CIMBRAS

En caso de que el proyecto lo especifique, el colado se realizará con cimbras metálicas diseñadas para obtener la sección de proyecto. Deberán contar con ventanas en la zona de bóveda y muros para colocación del concreto, inspección visual del colado e introducción de vibradores.

E.3. VIBRADORES

Podrán ser de inmersión, en cuyo caso serán lo suficientemente rígidos para asegurar el control de la posición de operación de la cabeza de vibrado, garantizando la adecuada consolidación del concreto. También podrán ser de contacto, adheridos a la cimbra.

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 Título 02. *Materiales para Concreto Hidráulico*, de la Parte 2. *Materiales para Estructuras*, del Libro CMT. *Características de los Materiales* y la Norma N-CMT-2-03-001, *Acero de Refuerzo para Concreto Hidráulico*. Se sujetarán en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

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

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

G.2.1. Los materiales pétreos, el cemento Portland, los aditivos y las fibras que se empleen en la elaboración de concreto hidráulico, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir un concreto homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría; si es necesario, las dosificaciones se ajustarán en obra ante cambios en los agregados pétreos o por el efecto de temperatura en el sitio, entre otros factores, para que la mezcla cumpla con dichas características.

G.2.2. El proporcionamiento se determinará en el laboratorio para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Esta determinación será responsabilidad del Contratista de Obra.

G.2.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de agregados pétreos, el cemento Portland, los aditivos y las fibras, utilizados en la elaboración de concreto hidráulico, no se obtiene un concreto con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las 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.

G.3. TRABAJOS PREVIOS**G.3.1. 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.

G.3.2. Sistemas de seguridad

G.3.2.1. Los sistemas de seguridad durante la construcción del revestimiento 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 colocación 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.3.2.2. 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.3.2.3. 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, lámparas portátiles, arneses y cinturones de seguridad, entre otros.

G.3.2.4. 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.

G.3.2.5. Se contará con medios de comunicación efectivos para uso habitual y para casos de emergencia, entre el sitio donde se construya el revestimiento 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.

G.3.3. Preparación de la superficie

G.3.3.1. Inmediatamente antes del colado del concreto hidráulico, toda la superficie por recubrir, ya sea terreno natural

descubierto o algún revestimiento previo, estará debidamente preparada, sin material flojo, exenta de materias extrañas, polvo o grasa, controladas todas las filtraciones que hubieran existido y rellenas todas las oquedades producto de la excavación, que sean imputables al Contratista de Obra y que estén fuera de las tolerancias de proyecto para la excavación. La limpieza se hará con aire y agua a presión o cualquier otro método aprobado por la Secretaría. No se permitirá el colado sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.

G.3.3.2. Las operaciones de limpieza se llevarán a cabo de manera tal que los materiales sobre la superficie por revestir no se aflojen, agrieten o fragmenten.

G.3.3.3. Para el control de filtraciones, el Contratista de Obra suministrará e instalará los elementos de drenaje necesarios como tubos, mangueras, ranuras o cualquier otro sistema que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.

G.3.3.4. La superficie por recubrir se mantendrá húmeda desde el momento en que se termine la limpieza, hasta la colocación del concreto hidráulico.

G.4. HABILITADO Y COLOCACIÓN DEL ACERO

G.4.1. Cuando el revestimiento sea de concreto reforzado, el habilitado y colocación del acero se hará de acuerdo a la Norma N-CTR-CAR-1-02-004, *Acero para Concreto Hidráulico*.

G.4.2. El habilitado del acero, ya sea mediante varillas o malla electrosoldada prefabricada, se hará según lo que establezca el proyecto o apruebe la Secretaría, respetando los diámetros nominales o calibres, patrón de armado, longitudes mínimas de traslape y dobleces, entre otras características.

G.4.3. La colocación del acero se hará con el cuidado necesario para que se fije lo suficiente y no se mueva durante el colado, y para que no esté en contacto con la cimbra en ningún punto y se respete el recubrimiento mínimo que indique el proyecto.

G.5. ELABORACIÓN DEL CONCRETO

G.5.1. El procedimiento que se utilice para la elaboración del concreto hidráulico es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que el concreto cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en la Norma N-CMT-2-02-005, *Calidad del Concreto Hidráulico*.

G.5.2. Los agregados pétreos se protegerán de cambios de contenido de agua o bien, se ajustará la cantidad de agua necesaria para la mezcla ante dichos cambios. Si los agregados son regados con agua antes de su utilización, serán drenados el tiempo suficiente para obtener un contenido de agua uniforme. El tiempo de drenaje de los materiales será de:

- Ocho (8) horas para arena.
- Cinco (5) horas para grava menor de diecinueve (19) milímetros ($\frac{3}{4}$ ").
- Tres (3) horas para grava entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros ($1\frac{1}{2}$ " y diecinueve (19) milímetros ($\frac{3}{4}$ ").

G.5.3. Cuando el proyecto indique la utilización de aditivos o fibras, se observarán las recomendaciones del fabricante para su incorporación al concreto, cuidando que la mezcla del concreto sea uniforme en composición y consistencia en toda su masa y durante todo el proceso hasta su vaciado.

G.5.4. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de concreto a otro, hasta que las tolvas de la planta hayan sido vaciadas completamente y los depósitos de alimentación de los agregados pétreos sean cargados con el nuevo material.

G.5.5. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad del concreto hidráulico difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra la 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.

G.6. TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO

G.6.1. El concreto debe ser transportado por el Contratista de Obra al sitio de colado, con la trabajabilidad requerida y evitando su contaminación, utilizando métodos y equipos que prevengan la segregación o pérdida de ingredientes.

G.6.2. En la selección del equipo para transportar el concreto se deberá contar con equipo auxiliar de apoyo, para evitar interrupciones de colado.

G.6.3. Si el Contratista de Obra es el responsable de la excavación, el relleno con concreto hidráulico de oquedades que, a juicio de la Secretaría, no sean causadas por condiciones geológicas, geotécnicas o hidráulicas impredecibles, no será objeto de medición y pago, y correrá por cuenta y costo del Contratista de Obra.

G.7. CONSOLIDACIÓN

Inmediatamente después de colocado el concreto hidráulico, se consolidará para eliminar el aire atrapado, mediante el uso de vibradores, evitando la segregación o sangrado excesivo de la mezcla. El vibrado se hará uniformemente en toda la superficie del revestimiento. Si se utilizan vibradores de inmersión, se tendrá cuidado de que no entren en contacto con la cimbra.

G.8. CURADO

En algunas ocasiones, el concreto hidráulico debe curarse inmediatamente después de colocado, durante el tiempo que indique el proyecto o apruebe la Secretaría. No requerirá curado si la humedad relativa en la zona donde fue colocado se mantiene a un mínimo de ochenta y cinco (85) por ciento, durante por lo menos siete (7) días a partir de la fecha de colado.

El curado se realizará manteniendo húmeda la superficie de concreto durante un periodo de al menos siete (7) días o por otro método aprobado por la Secretaría.

G.9. ACABADO

El revestimiento colocado tendrá una superficie uniforme, que no muestre acero de refuerzo expuesto, oquedades o segregación por deficiencia del vibrado y que no interfiera con la sección libre teórica del túnel.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

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

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que el revestimiento de túneles se considere terminado y sea aceptado 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 DEL CONCRETO HIDRÁULICO

H.1.1. Que los agregados pétreos, cemento Portland, aditivos y fibras utilizados en el concreto hidráulico, cumplan con las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.

H.1.2. Que las características del concreto hidráulico fresco cumplan con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.1.3. Que la resistencia a compresión simple en especímenes cilíndricos del concreto hidráulico a los veintiocho (28) días de edad (f_c), determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de número aleatorios conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, cumpla con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría.

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = A/200$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad inmediata superior

A = Superficie del tramo colado en un día trabajo, (m^2)

H.1.3.2. Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos, perpendicularmente a la superficie del concreto hidráulico, con una longitud igual al espesor aplicado más dos coma cinco (2,5) centímetros que deberá penetrar la broca en la pared de la excavación.

H.1.3.3. El diámetro de los corazones se establecerá de acuerdo con lo siguiente:

- Será de cinco (5) centímetros cuando el espesor de concreto hidráulico colado sea igual o menor de siete coma cinco (7,5) centímetros.
- Será de siete coma cinco (7,5) centímetros cuando el espesor de concreto hidráulico colado sea mayor de siete coma cinco (7,5) centímetros.

H.1.3.4. El Contratista de Obra llevará un registro preciso de todas las extracciones, incluyendo una descripción de las condiciones encontradas, características del concreto hidráulico perforado y la localización de cualquier grieta, junta o ranura en los corazones. Este registro estará a disposición de la Secretaría el mismo día de la extracción de cada corazón.

H.1.3.5. La resistencia a la compresión simple promedio de cada cinco (5) corazones consecutivos, debe ser igual o mayor que la resistencia establecida en el proyecto.

H.1.3.6. Cuando menos cuatro (4) de los cinco (5) corazones a que se refiere el Párrafo anterior, deben tener una resistencia a la compresión mayor o igual que el noventa (90) por ciento de la resistencia establecida en el proyecto.

H.1.4. En caso de que la resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico no cumpla con lo establecido en los Párrafos H.1.3.5. y H.1.3.6. de esta Norma, el Contratista de Obra, previa aprobación de la Secretaría, podrá elegir entre demoler y reemplazar el concreto hidráulico en el tramo defectuoso, por su cuenta y costo o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, debida a la resistencia insuficiente del concreto hidráulico y de acuerdo con el criterio establecido en la Fracción J.2. de esta Norma.

H.1.5. La demolición de la capa de concreto hidráulico, se realizará mediante métodos aprobados por la Secretaría, de tal manera que todos los lados del corte formen entre sí ángulos mayores de noventa (90) grados y sin dañar otros tramos o capas.

H.1.6. Cuando debido a resistencias bajas u otras deficiencias en la capa de concreto hidráulico, se deban adoptar medidas de soporte adicionales a las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría en el tramo defectuoso, los trabajos adicionales se harán por cuenta y costo del Contratista de Obra.

H.2. ESPESORES

H.2.1. Que la colocación de la cimbra se haga con el cuidado suficiente para que el espesor colocado no sea menor que el espesor mínimo que indique el proyecto.

H.2.2. Que el revestimiento no invada la sección que debe quedar libre de acuerdo a lo establecido en el proyecto.

I. MEDICIÓN

I.1. Cuando el revestimiento de túneles se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutado 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 revestimiento terminado, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a un décimo (0,1), considerando el límite interior del recubrimiento de proyecto y la sección teórica de excavación de proyecto.

- I.2.** El sobreespesor de concreto utilizado para relleno de oquedades, debidas a condiciones geológicas, geotécnicas o hidráulicas impredecibles y no imputables al Contratista de Obra responsable de la excavación, que hayan sido previamente aprobadas por la Secretaría, se medirá tomando como unidad el metro cúbico de sobreespesor colocado, según su tipo, mediante levantamiento de la sección donde se presente dicho sobreespesor.
- I.3.** El acero se medirá y pagará como un concepto independiente, considerando lo establecido en la Norma N-CTR-CAR-1-02-004, *Acero para Concreto Hidráulico*.

J. BASE DE PAGO

- J.1.** Cuando el revestimiento de túneles se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medido de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de revestimiento terminado, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen, según el caso, lo que corresponda por:

J.1.1. Para volúmenes de proyecto

- Valor de adquisición del cemento Portland, el agua y los aditivos o fibras que en su caso se requieran.
- Limpieza de los vehículos en que se transporten, movimientos en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga y cargo por almacenamiento.
- Desmonte y despalme de los bancos, extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones, cribados y desperdicios de los cribados, trituración parcial o total, lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales, cargas, descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos; instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Clasificación del material pétreo separándolo por tamaños.
- Dosificación, mezclado de los agregados pétreos, cemento Portland y aditivos.

- Los sistemas de seguridad en la obra a que se refiere el Inciso G.3.2. de esta Norma.
- Limpieza de la superficie sobre la que se colocará el concreto.
- Cargas en la planta del concreto hidráulico al equipo de transporte o carga de los materiales al vehículo mezclador para la elaboración del concreto hidráulico, y su transporte al lugar del colado.
- Suministro y colocación de cimbras.
- Colocación, consolidación y curado del concreto.
- La iluminación y ventilación.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- La conservación del revestimiento hasta que haya sido recibido por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

J.1.2. Para volúmenes de sobreespesores no imputables al Contratista de Obra

La colocación de sobreespesores de concreto causados por condiciones geológicas, geotécnicas o hidráulicas no predecibles y no imputables al Contratista de Obra responsable de la excavación, que hayan sido previamente aprobados por la Secretaría, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de concreto para sobreespesores. Este precio incluye todos los conceptos establecidos en la Fracción anterior.

- J.2.** Cuando procedan sanciones por incumplimiento de calidad, de acuerdo con la resistencia a la compresión simple del concreto, que se obtengan según se señala en el Inciso H.1.3., se le hará al Contratista de Obra una deducción, calculada para el tramo medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, mediante la siguiente fórmula:

$$S = V \cdot PU \cdot (FRC - 1)$$

Donde:

S = Sanción aplicada como deducción, (\$)

V = Volumen del revestimiento del tramo, (m^3)

PU = Precio unitario del revestimiento fijado en el contrato, ($\$/m^3$)

FRC = Factor de sanción debida a la resistencia insuficiente del revestimiento, determinado como se indica en la Fracción J.3. de esta Norma, (adimensional)

J.3. El factor de sanción (FRC) que proceda según la resistencia a la compresión simple (f_c) del revestimiento en el tramo medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, se determina como sigue:

J.3.1. Se calcula el promedio de las resistencias obtenidas, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\bar{f}_c = \frac{\sum_{i=1}^n f_{c_i}}{n}$$

Donde:

\bar{f}_c = Promedio de las resistencias a la compresión simple obtenidas, (MPa)

f_{c_i} = Resistencias a la compresión simple individuales de los corazones probados, (MPa)

n = Número de corazones probados

J.3.2. Se obtiene la desviación estándar como sigue:

$$\sigma_{f_c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c_i} - \bar{f}_c)^2}{n-1}}$$

Donde:

σ_{f_c} = Desviación estándar de las resistencias a la compresión simple obtenidas, (MPa)

f_{c_i} , \bar{f}_c y n tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

- J.3.3.** Se calcula el coeficiente de variación aplicando la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{\sigma_{f_c}}{\bar{f}_c}$$

Donde:

C_v = Coeficiente de variación, (adimensional)

\bar{f}_c y σ_{f_c} tienen el significado indicado en los Incisos J.3.1 y J.3.2. de esta Norma, respectivamente.

- J.3.4.** Se obtiene la resistencia relativa equivalente, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$f_{c_{RE}} = \frac{\left(\frac{\bar{f}_c}{f'c} - 0,8 \right) \cdot 0,2}{C_v} + 0,8$$

Donde:

$f_{c_{RE}}$ = Resistencia relativa equivalente, (adimensional)

$f'c$ = Resistencia de proyecto, (MPa)

\bar{f}_c y C_v tiene el significado indicado en los Incisos J.3.1. y J.3.3. de esta Norma, respectivamente.

- J.3.5.** Se determina el factor de sanción por resistencia insuficiente utilizando la gráfica mostrada en la Figura 1 de esta Norma, donde se localiza el valor de la resistencia relativa equivalente ($f_{c_{RE}}$) en la escala horizontal y se lleva una línea vertical hasta interceptar la curva correspondiente al número de especímenes probados (n); de la intersección se lleva una línea horizontal hasta interceptar la escala vertical, donde se lee el factor de sanción que se aplicará, aproximado a cinco centésimas (0,05). Cuando el valor de $f_{c_{RE}}$ sea menor de setenta y cinco céntesimas (0,75), no se aceptará el revestimiento y el Contratista de Obra tendrá que reponer el tramo defectuoso por su cuenta y costo, a satisfacción de la Secretaría.

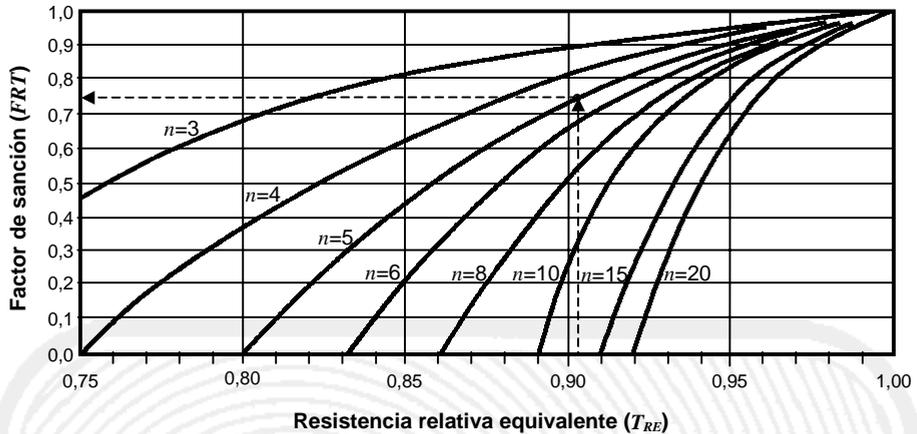


FIGURA 1.- Gráfica para determinar el factor de sanción por resistencia insuficiente del revestimiento (FRC)

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago del revestimiento, 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 concluido el revestimiento, la Secretaría lo aprobará y al término de la obra, cuando el túnel sea operable, lo 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.