

# SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES



## MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES DE CARRETERA

2 0 1 6



DIRECCIÓN GENERAL DE  
SERVICIOS TÉCNICOS



**Lic. Gerardo Ruiz Esparza**

Secretario

**Lic. Raúl Murrieta Cummings**

Subsecretario de Infraestructura

**Ing. Clemente Poon Hung**

Director General de Servicios Técnicos

Este Manual puede consultarse en la página  
web de la Dirección General de Servicios Técnicos:  
**[www.dgst.sct.gob.mx](http://www.dgst.sct.gob.mx)**

**Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

**Subsecretaría de Infraestructura**

**Dirección General de Servicios Técnicos**

Av. Coyoacán No. 1895  
Col. Acacias  
Delegación Benito Juárez  
03240 México, D.F.

Primera edición 2016





## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---



## CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL TRAZO Y DE LA SECCIÓN TIPO

### 2.1. TRAZO EN PLANTA Y PERFIL

- 2.1.1. Topografía.
- 2.1.2. Delimitación del área de estudio
- 2.1.3. Grado de precisión
- 2.1.4. Levantamiento topográfico de detalle para diseño de portales y obras exteriores (cuartos o edificios de control)
- 2.1.5. Replanteo en campo previo a la construcción
- 2.1.6. Criterios generales para seleccionar túnel contra tajo
- 2.1.7. Criterios generales para la definición de los emportalamientos

### 2.2. PERFIL LONGITUDINAL

- 2.2.1. Perfil del terreno

### 2.3. SECCIÓN TRANSVERSAL

- 2.3.1. Gálibos horizontal y vertical
- 2.3.2. Criterios generales para la configuración geométrica de la sección
  - 2.3.2.1. *Evolución de la calzada en función del trazo y su influencia en la definición de la sección interior*
  - 2.3.2.2. *Definición del ancho de calzada*
  - 2.3.2.3. *Acotamientos*
  - 2.3.2.4. *Banquetas*
- 2.3.3. Sección geométrica para túneles en carreteras Tipo A2
  - 2.3.3.1. *Túneles de longitud menor a 500 m*
  - 2.3.3.2. *Túneles de longitud mayor a 500 m*
- 2.3.4. Sección geométrica para túneles en carretera Tipo A4
- 2.3.5. Sección geométrica para túneles en carretera Tipo A4 S
  - 2.3.5.1. *Túneles de longitud menor a 500 m*
  - 2.3.5.2. *Túneles de longitud mayor a 500 m*
- 2.3.6. Sección tipo en túneles con contrabóveda
- 2.3.7. Zapatas del revestimiento y juntas de construcción
- 2.3.8. Faja separadora central
- 2.3.9. Área para instalaciones
- 2.3.10. Bahías de emergencia
  - 2.3.10.1. *Criterios generales para la ubicación de bahías de emergencia*
- 2.3.11. Túneles de escape o de emergencia
- 2.3.12. Galerías de conexión

## CAPÍTULO 3. ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y EXPLORACIÓN

### 3.1. INTRODUCCIÓN

### 3.2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

### 3.3. GEOLOGÍA REGIONAL

### 3.4. GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.4.1. Levantamiento geológico de detalle

### 3.5. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

#### 3.5.1. Método Sísmico

#### 3.5.2. Métodos Eléctricos

##### 3.5.2.1. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

##### 3.5.2.2. Calicatas Eléctricas

##### 3.5.2.3. Dipolo-dipolo o pseudosecciones

##### 3.5.2.4. Métodos electromagnéticos

##### 3.5.2.5. Geofísica en el interior de sondeos

### 3.6. EXPLORACIÓN DIRECTA

#### 3.6.1. Sondeos exploratorios

## CAPÍTULO 4. INTEGRACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO PRELIMINAR

### 4.1. INTRODUCCIÓN

### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA MATRIZ EN FUNCIÓN DE SU RESISTENCIA

#### 4.2.1. Ensayos de laboratorio para rocas

#### 4.2.2. Tipos de comportamiento

#### 4.2.3. Sistemas de clasificación ingenieril para la roca matriz

#### 4.2.4. Integración de resultados del estudio de resistencia de la roca matriz

### 4.3. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

#### 4.3.1. *RQD* (Deere, 1966)

#### 4.3.2. Clasificación *RMR* (Bieniawski, 1989)

#### 4.3.3. Sistema *NGI (Q)*

#### 4.3.4. Geological strength index, *GSI* (Hoek, 1985)

#### 4.3.5. Consideraciones sobre el empleo de clasificaciones geomecánicas

### 4.4. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD Y RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

#### 4.4.1. Estimación de las propiedades de deformabilidad del macizo, $E_m$ y $\nu_m$

##### 4.4.1.1. Correlación entre $Q$ , *RMR* y *GSI*

- 4.4.1.2. *Correlación entre calidad y módulo de Young*
- 4.4.1.3. *Coefficiente de Poisson,  $\nu_m$*
- 4.4.2. Ley de resistencia del macizo rocoso según el criterio de Hoek y Brown
  - 4.4.2.1. *Estimación de parámetros del criterio de rotura de Hoek-Brown para el macizo rocoso*
  - 4.4.2.2. *Parámetros de Mohr-Coulomb para el macizo rocoso a partir del criterio de Hoek y Brown*
  - 4.4.2.3. *Parámetros de resistencia para el macizo rocoso a partir de datos experimentales*
  - 4.4.2.4. *Consideraciones finales sobre los parámetros de resistencia del macizo.*
- 4.5. **MODELOS GEOMECÁNICOS**
  - 4.5.1. Parte geológica-geomorfológica
    - 4.5.1.1. *Topografía*
    - 4.5.1.2. *Litología y estructura geológica:*
    - 4.5.1.3. *Esfuerzos In Situ*
  - 4.5.2. Parte geométrica y constructiva
    - 4.5.2.1. *Geometría*
    - 4.5.2.2. *Modelación de las fases y etapas de excavación y sostenimiento*
  - 4.5.3. Parte constitutiva
- 4.6. **CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**
  - 4.6.1. *Recomendaciones derivadas de las clasificaciones geomecánicas*
  - 4.6.2. *Definición de Unidades y Condiciones Geotécnicas*
  - 4.6.3. *Definición de procedimientos constructivos para distintas condiciones geotécnicas*
  - 4.6.4. *Recomendaciones constructivas para las distintas condiciones geotécnicas*
  - 4.6.5. *Secciones tipo de sostenimiento y procedimientos de excavación*
- 4.7. **CONCLUSIONES**

## CAPÍTULO 5. PROYECTO DE LOS TAJOS DE ACCESO

- 5.1. **CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LOS PORTALES**
- 5.2. **DEFINICIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LAS EXCAVACIONES**
- 5.3. **MODELOS GEOMECÁNICOS DE LOS TALUDES**
- 5.4. **MÉTODOS ANALÍTICOS DE CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD**
  - 5.4.1. *Roturas planas*
  - 5.4.2. *Roturas en cuña*

- 5.4.3. Rotura circular
  - 5.4.4. Inestabilidad por vuelco de bloques
  - 5.4.5. Resistencia al corte de las discontinuidades
    - 5.4.5.1. *Módulo de Mohr-Coulomb*
    - 5.4.5.2. *Modelo de Patton*
    - 5.4.5.3. *Modelo de Barton*
- 5.5. TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN
  - 5.5.1. Medidas de estabilización
  - 5.5.2. Medidas de protección superficial
  - 5.5.3. Medidas de drenaje
  - 5.5.4. Elementos estructurales resistentes
  - 5.5.5. Muros y elementos de contención
- 5.6. DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS
  - 5.6.1. Cálculo de anclajes pasivos
  - 5.6.2. Cálculo de anclajes activos
- 5.7. DISEÑO ESTÉTICO Y PAISAJÍSTICO

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE EXCAVACIONES

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. GENERALIDADES Y DEFINICIONES
  - 6.2.1. Consideraciones previas a los análisis y los diseños
  - 6.2.2. Selección de los criterios de cálculo
  - 6.2.3. Cálculo numérico
    - 6.2.3.1. *Modelización de las fases y etapas de excavación y sostenimiento*
    - 6.2.3.2. *Parte constitutiva*
    - 6.2.3.3. *Medios continuos, discontinuos y continuo-equivalentes*
    - 6.2.3.4. *Modelos continuos en medios no estructurados*
    - 6.2.3.5. *Modelos de medio continuo equivalente*
    - 6.2.3.6. *Modelos discontinuos*
    - 6.2.3.7. *Métodos discretos vs continuo equivalente*
  - 6.2.4. Modelización de la excavación de acuerdo a la naturaleza litológica del terreno
- 6.3. ANÁLISIS PARA DISTINTAS CONDICIONES DE RESPUESTA DEL MEDIO
  - 6.3.1. Presiones activas o de montaña
    - 6.3.1.1. *Consideraciones básicas para el análisis bajo presiones de montaña*
  - 6.3.2. Excavaciones en túneles sujetos a presiones de aflojamiento



- 6.3.3. Túneles en roca fluyente
  - 6.3.3.1. *Consideraciones empíricas*
- 6.3.4. Túneles en materiales expansivos
  - 6.3.4.1. *Fenomenología*
  - 6.3.4.2. *Tipos de expansividad*
- 6.3.5. Túneles sujetos a desprendimiento de bloques o cuñas
  - 6.3.5.1. *Representación estereográfica de las cuñas y/o bloques potencialmente inestables*
  - 6.3.5.2. *Formulación para los análisis de estabilidad del túnel*
  - 6.3.5.3. *Determinación de las propiedades de las discontinuidades*
  - 6.3.5.4. *Análisis de sensibilidad*
- 6.4. **MODELOS DE CÁLCULO TENSO-DEFORMACIONAL**
  - 6.4.1. Generalidades
  - 6.4.2. Simulación del estado inicial de esfuerzos
  - 6.4.3. Análisis de las distintas etapas constructivas
    - 6.4.3.1. *Análisis en 2D. Criterios para la simulación de la excavación y el efecto del avance del frente en la colocación y el desempeño de los sostenimientos*
    - 6.4.3.2. *Avance de la excavación y el sostenimiento*
  - 6.4.4. Ejemplo de análisis tenso-deformacional de un túnel carretero
    - 6.4.4.1. *Caracterización geológico-geotécnica*
    - 6.4.4.2. *Procedimiento constructivo*
    - 6.4.4.3. *Primera aproximación: modelización en dos dimensiones*
    - 6.4.4.4. *Modelización en tres dimensiones*

## CAPÍTULO 7. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXCAVACIÓN
- 7.3. DEFINICIÓN DE FASES Y SECUENCIAS DE EXCAVACIÓN
- 7.4. EXCAVACIÓN MEDIANTE EL USO DE EXPLOSIVOS
  - 7.4.1. Generalidades
  - 7.4.2. Procedimiento
  - 7.4.3. Maquinaria de perforación
    - 7.4.3.1. *Martillos manuales*
    - 7.4.3.2. *Jumbos*
    - 7.4.3.3. *Track-drill e hidro-track*
    - 7.4.3.4. *Canastilla de servicios*
    - 7.4.3.5. *Accesorios de perforación*

- 7.4.4. Explosivos, iniciadores y accesorios
  - 7.4.5. Cálculo de parámetros
  - 7.4.6. Control de vibraciones
    - 7.4.6.1. *Proceso para la obtención del permiso para el uso y manejo de explosivos*
    - 7.4.6.2. *Funcionamiento de los explosivos*
    - 7.4.6.3. *Monitoreo*
    - 7.4.6.4. *Criterios de seguridad*
- 7.5. EXCAVACIÓN MECÁNICA
  - 7.5.1. Martillos hidráulicos pesados
  - 7.5.2. Pistola Neumática
  - 7.5.3. Rozadoras
  - 7.5.4. Máquinas de precorte
  - 7.5.5. Máquina tuneladoras
    - 7.5.5.1. *Tuneleras para roca*
- 7.6. EXTRACCIÓN DE MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN
  - 7.6.1. Generalidades
  - 7.6.2. Equipos para carga y retiro de material
    - 7.6.2.1. *Pala excavadora*
    - 7.6.2.2. *Cargador frontal*
    - 7.6.2.3. *Cargador LHD*
    - 7.6.2.4. *Cintas Transportadoras*
    - 7.6.2.5. *Retiro de material con ferrocarril*

## CAPÍTULO 8. SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO

### 8.1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES

- 8.1.1. Generalidades
- 8.1.2. Definiciones

### 8.2. TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE SOSTENIMIENTOS

- 8.2.1. Concepto de auto-sostenimiento o auto-soporte
- 8.2.2. Tipos de sostenimientos
- 8.2.3. Clasificación de sostenimientos

### 8.3. CONCRETO LANZADO

- 8.3.1. Generalidades
  - 8.3.1.1. *Concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada*
  - 8.3.1.2. *Concreto lanzado reforzado con fibras*
- 8.3.2. Ventajas del concreto lanzado y requerimientos de diseño
  - 8.3.2.1. *Ventajas*
  - 8.3.2.2. *Requerimientos de diseño*

- 8.3.3. Sistemas de aplicación
  - 8.3.4. Propiedades de los materiales
    - 8.3.4.1. *La mezcla de concreto*
    - 8.3.4.2. *Malla electrosoldada*
    - 8.3.4.3. *Fibras de acero*
    - 8.3.4.4. *Fibras sintéticas*
    - 8.3.4.5. *Aditivos*
  - 8.3.5. Dosificaciones típicas para el concreto lanzado
  - 8.3.6. Equipos de lanzado
    - 8.3.6.1. *Aplicación manual*
    - 8.3.6.2. *Robots de lanzado*
- 8.4. ANCLAS TENSADAS Y ANCLAS DE FRICCIÓN
  - 8.4.1. Introducción
  - 8.4.2. Ventajas de utilización
  - 8.4.3. Sistema de anclaje por fricción
    - 8.4.3.1. *Elementos de anclaje*
    - 8.4.3.2. *Tipos de fijación*
  - 8.4.4. Sistemas de anclaje activo
  - 8.4.5. Propiedades de los materiales
    - 8.4.5.1. *Generales*
    - 8.4.5.2. *Barras de fibra de vidrio*
    - 8.4.5.3. *Resinas*
    - 8.4.5.4. *Anclas auto-perforantes*
    - 8.4.5.5. *Pernos tipo Swellex*
    - 8.4.5.6. *Pernos tipo Split-Set*
- 8.5. MARCOS METÁLICOS
  - 8.5.1. Introducción
  - 8.5.2. Tipologías y consideraciones de diseño
    - 8.5.2.1. *Perfiles estructurales tradicionales*
    - 8.5.2.2. *Perfiles TH*
    - 8.5.2.3. *Marcos de celosía*
  - 8.5.3. Otras tipologías
  - 8.5.4. Propiedades de los materiales
    - 8.5.4.1. *Perfiles estructurales*
    - 8.5.4.2. *Conexiones*
- 8.6. SISTEMAS DE ENFILAJE FRONTAL
  - 8.6.1. Generalidades
  - 8.6.2. Tipologías
    - 8.6.2.1. *Paraguas ligeros*
    - 8.6.2.2. *Paraguas pesados*

- 8.6.2.3. *Paraguas de Jet-Grouting*
- 8.6.3. Propiedades de los materiales
  - 8.6.3.1. *Lechadas de cemento*
  - 8.6.3.2. *Barras de refuerzo (varillas)*
  - 8.6.3.3. *Micropilotes*
- 8.7. CONCRETO COLADO *IN SITU*
  - 8.7.1. Generalidades
  - 8.7.2. Propiedades de los materiales
    - 8.7.3.1. *Concreto*
    - 8.7.3.2. *Acero de refuerzo*

## CAPÍTULO 9. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO

- 9.1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES
- 9.2. MODELIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS
  - 9.2.1. Modelos para la simulación de conexiones
  - 9.2.2. Elementos tipo barra
  - 9.2.3. Modelos estructurales para el cálculo de elementos continuos de concreto
    - 9.2.3.1. *Elementos tipo placa*
    - 9.2.3.2. *Elementos tipo cascarón*
    - 9.2.3.3. *Elementos tipo viga*
  - 9.2.4. Modelización de elementos de reforzamiento del terreno
  - 9.2.5. Modelización de elementos estructurales para anclas de fricción
  - 9.2.6. Modelización de elementos estructurales para marcos metálicos y puntales
  - 9.2.7. Modelización de elementos estructurales para micropilotes
  - 9.2.8. Modelización de estructuras de concreto mediante elementos de medio continuo
  - 9.2.9. Condiciones de carga y frontera para el análisis de los elementos de soporte
- 9.3. PRESIONES Y CARGAS DEL TERRENO SOBRE EL SOPORTE Y ELEMENTOS DE ESTABILIZACIÓN Y REFORZAMIENTO DEL MEDIO
  - 9.3.1. Presiones de montaña
  - 9.3.2. Cargas de aflojamiento
    - 9.3.2.1. *Determinación de las presiones de aflojamiento mediante métodos empíricos*
    - 9.3.2.2. *Consideraciones sobre los métodos empíricos de estimación de las presiones de aflojamiento*
    - 9.3.2.3. *Técnicas de análisis*

- 9.3.3. Presiones de hinchamiento
  - 9.3.3.1. *Criterios de diseño*
- 9.3.4. Presiones por roca fluyente
- 9.3.5. Cargas por desprendimiento de cuñas
- 9.4. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL**
  - 9.4.1. Criterios generales
  - 9.4.2. Análisis y diseño estructural de elementos de concreto lanzado
    - 9.4.2.1. *Consideraciones sobre la modelización del concreto lanzado*
    - 9.4.2.2. *Capacidad estructural del concreto lanzado*
    - 9.4.2.3. *Mecanismos de interacción del concreto lanzado*
    - 9.4.2.4. *Concreto lanzado con malla electrosoldada*
    - 9.4.2.5. *Concreto lanzado con fibras de acero*
      - 9.4.2.5.1. *Estados límite de servicio de agrietamiento*
  - 9.4.3. Análisis y diseño estructural de marcos metálicos
    - 9.4.3.1. *Consideraciones generales*
    - 9.4.3.2. *Análisis por cargas de aflojamiento*
    - 9.4.3.3. *Cargas por desprendimiento de cuñas*
    - 9.4.3.4. *Conclusiones de los análisis y el diseño de los marcos metálicos*
  - 9.4.4. Análisis y diseño estructural de elementos de concreto colado *in situ* (Revestimientos)
    - 9.4.4.1. *Consideraciones preliminares*
    - 9.4.4.2. *Metodología básica*
    - 9.4.4.3. *Concreto simple*
    - 9.4.4.4. *Concreto armado*
    - 9.4.4.5. *Secciones compuestas*
  - 9.4.5. Análisis y diseño estructural de sistemas de enfilaje frontal
    - 9.4.5.1. *Consideraciones de cálculo y diseño*
    - 9.4.5.2. *Estados límite: Cálculo analítico de micropilotes*
    - 9.4.5.3. *Diseño estructural*

## **CAPÍTULO 10. TÚNELES FALSOS Y BOQUILLAS**

### **10.1. INTRODUCCIÓN**

### **10.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DETERMINAR SU LONGITUD**

### **10.3. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL**

- 10.3.1. Aspectos físicos a considerar en los análisis
  - 10.3.1.1. *Interacción terreno-estructura*
  - 10.3.1.2. *Condiciones estáticas*
  - 10.3.1.3. *Cargas en el sistema estructural*
  - 10.3.1.4. *Efectos Geométricos*
  - 10.3.1.5. *Efectos que induce el procedimiento constructivo*

- 10.3.2. Modelización y análisis
  - 10.3.2.1. Condiciones de contorno
  - 10.3.2.2. La estructura de la bóveda, su rigidez y representación en el modelo de elementos finitos
  - 10.3.2.3. El material de relleno, sus propiedades de deformabilidad y resistencia
  - 10.3.2.4. Efectos no lineales
  - 10.3.2.5. Módulo de elasticidad del relleno lateral compactado
  - 10.3.2.6. Módulo de Poisson ( $\nu$ )
  - 10.3.2.7. Ángulo de fricción interna del relleno lateral compactado ( $\phi$ )
  - 10.3.2.8. Presión lateral del relleno sobre el túnel falso
  - 10.3.2.9. Especificaciones para los rellenos
  - 10.3.2.10. Estructura del túnel falso
  - 10.3.2.11. Modelo para cálculo
  - 10.3.2.12. Análisis estructural
  - 10.3.2.13. Estudio de sensibilidad
- 10.3.3. Revisión estructural
- 10.3.4. Resultados
- 10.4. CONCLUSIONES

## CAPÍTULO 11. REVESTIMIENTO DEFINITIVO Y ACABADOS

### 11.1. INTRODUCCIÓN

### 11.2. REVESTIMIENTO DEFINITIVO

- 11.2.1. Criterios estructurales
- 11.2.2. Concreto colado reforzado con varillas
- 11.2.3. Concreto colado reforzado con fibra
- 11.2.4. Concreto colado sin acero de refuerzo
- 11.2.5. Concreto lanzado como revestimiento definitivo
- 11.2.6. Elementos prefabricados (Dovelas)
- 11.2.7. Paneles

### 11.3. APARIENCIA Y ACABADOS

- 11.3.1. Concreto hidráulico
- 11.3.2. Concreto lanzado
- 11.3.3. Paneles de acero esmaltado
- 11.3.4. Pinturas cerámicas

## CAPÍTULO 12. DRENAJE E IMPERMEABILIZACIÓN

### 12.1. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN

- 12.1.1. Requisitos del sistema de impermeabilización

- 12.2. GEOTEXTIL
  - 12.2.1. Características
  - 12.2.2. Instalación
- 12.3. GEOMEMBRANA
  - 12.3.1. Características
  - 12.3.2. Propiedades
  - 12.3.3. Instalación
  - 12.3.4. Otros elementos del sistema
  - 12.3.5. Pruebas de hermeticidad
- 12.4. DRENAJE INTERIOR
  - 12.4.1. Drenes en túnel
  - 12.4.2. Subdrenaje incluyendo pozos de visita
    - 12.4.2.1. Pozos de visita
    - 12.4.2.2. Bocas de tormenta
- 12.5. DRENAJE EXTERIOR
  - 12.5.1. Cunetas y contracunetas en portales
    - 12.5.1.1. Cunetas
    - 12.4.1.2. Contracunetas
  - 12.5.2. Lavaderos en portales
  - 12.5.3. Alcantarillas
  - 12.5.4. Drenes profundos en taludes

## CAPÍTULO 13. SEGUIMIENTO TÉCNICO Y AUSCULTACIÓN

- 13.1. INTRODUCCIÓN
- 13.2. OBJETIVO
- 13.3. INTERACCIÓN ENTRE LAS PARTES INVOLUCRADAS EN LA OBRA
- 13.4. ACTIVIDADES DEL SEGUIMIENTO TÉCNICO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES
- 13.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES
  - 13.5.1. Integración y análisis del expediente de la Constructora, de los estudios y proyecto constructivo del túnel
  - 13.5.2. Verificación topográfica de los tajos de acceso y de los soportes de estabilización, incluyendo en su caso las adecuaciones al proyecto que se requieran
  - 13.5.3. Seccionamiento de la excavación y confrontación de la geometría y los aspectos geotécnicos relevantes de las secciones excavadas del túnel
  - 13.5.4. Cartografía geológica y caracterización geotécnica durante la excavación del túnel y obras de acceso

- 13.5.5. Verificación y seguimiento en obra del suministro y colocación de los sistemas de excavación, soporte y sostenimiento (enfilaje, concreto lanzado, anclas, marcos, etc.). Incluye soluciones a problemas que se presenten durante la construcción
- 13.5.6. Verificación, integración e interpretación de las mediciones de comportamiento de las excavaciones del túnel y obras de acceso
  - 13.5.6.1. *En obras a cielo abierto*
  - 13.5.6.2. *Integración e interpretación de la instrumentación y mediciones en el interior del túnel*
- 13.5.7. Verificación de la construcción del drenaje, del revestimiento definitivo del túnel, túneles falsos y pavimento
- 13.5.8. Recopilación, revisión y procesamiento de los datos de los ensayos de laboratorio
- 13.5.9. Elaboración de planos de obra “as built”

## CAPÍTULO 14. CONTROL DE CALIDAD

### 14.1. INTRODUCCIÓN

### 14.2. GENERALIDADES

### 14.3. CONTROL DE CALIDAD

### 14.4. JEFE DE LA UNIDAD DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE OBRA

### 14.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

#### 14.5.1. Terracerías

#### 14.5.2. Estructuras

##### 14.5.2.1. *Control de calidad de concreto lanzado*

##### 14.5.2.2. *Control de calidad de concreto hidráulico.*

##### 14.5.2.3. *Control de calidad de acero de refuerzo*

##### 14.5.2.4. *Control de calidad de acero estructural*

#### 14.5.3. Materiales para obras de Drenaje y Subdrenaje

#### 14.5.4. Materiales para obras de pavimentos

### 14.6. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

#### 14.6.1. Suelos y materiales para terracerías

##### 14.6.1.1. *Muestreo de Materiales para Terracerías*

##### 14.6.1.2. *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*

##### 14.6.1.3. *Secado, Disgregado y Cuarto de Muestras*

##### 14.6.1.4. *Agua*

##### 14.6.1.5. *Densidades Relativas y Absorción*

##### 14.6.1.6. *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*

##### 14.6.1.7. *Límites de Consistencia*

##### 14.6.1.8. *Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica*



- 14.6.1.9. Compactación AASHTO
  - 14.6.1.10. Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio
  - 14.6.1.11. Valor Soporte de California (CBR) en el lugar
- 14.6.2. Materiales para estructuras
  - 14.6.2.1. Muestreo de Cemento Portland
  - 14.6.2.2. Muestreo de Concreto Hidráulico
  - 14.6.2.3. Revenimiento de Concreto Hidráulico
  - 14.6.2.4. Resistencias a la compresión simple de cilindros de concreto
  - 14.6.2.5. Superficie de Rodamiento (Índice de Perfil)
- 14.6.3. Materiales para señalamiento y dispositivos de seguridad
- 14.7. ENSAYOS DE LABORATORIO
- 14.8. ANÁLISIS Y CRITERIOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD
  - 14.8.1. Causas de variación en las características por controlar
  - 14.8.2. Proceso bajo control estadístico
  - 14.8.3. Proceso fuera de control estadístico
  - 14.8.4. Análisis estadísticos
- 14.9. INFORMES DE CONTROL DE CALIDAD
  - 14.9.1. Requisitos que debe cumplir un informe de control de calidad
  - 14.9.2. Tipos de informes de control de calidad
  - 14.9.3. Informes de control de calidad
- 14.10. CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD

## CAPÍTULO 15. ILUMINACIÓN

- 15.1. INTRODUCCIÓN
- 15.2. DEFINICIONES RELACIONADAS CON EL ALUMBRADO DE TÚNELES
- 15.3. TÚNEL, TIPOS Y CLASIFICACIÓN
  - 15.3.1. Clasificación de túneles
  - 15.3.2. Instalaciones en túneles
- 15.4. ALUMBRADO
  - 15.4.1. Características y zonas del túnel
    - 15.4.1.1. Composición del tráfico
- 15.5. RECOMENDACIONES IMPORTANTES
- 15.6. DISTANCIA EN TÚNELES LARGOS Y CORTOS
- 15.7. SISTEMAS DE ALUMBRADO
  - 15.7.1. Alumbrado simétrico
  - 15.7.2. Alumbrado a “contraflujo” (CBL)
  - 15.7.3. Alumbrado a favor del flujo

- 15.8. ASPECTOS COMUNES DE DISTINTOS MÉTODOS DE DISEÑO
  - 15.8.1. Efecto Flicker o parpadeo
  - 15.8.2. Limitación del deslumbramiento
  - 15.8.3. Control de alumbrado
- 15.9. TÉRMINOS RELACIONADOS CON EL TRÁFICO
  - 15.9.1. Velocidad de diseño
  - 15.9.2. Densidad de tráfico
- 15.10. TRÁNSITO Y GEOMETRÍA DE LA CALZADA
  - 15.10.1. Tránsito
  - 15.10.2. Túneles divididos y no divididos
- 15.11. PROBLEMÁTICA VISUAL EN LOS TÚNELES
  - 15.11.1. Efecto Visual
  - 15.11.2. Fenómenos visuales
    - 15.11.2.1. *Efecto de adaptación*
    - 15.11.2.2. *Fenómeno de inducción*
    - 15.11.2.3. *Luminancia de velo*
    - 15.11.2.4. *El aspecto del campo de visión en función de la orientación geográfica del túnel*
    - 15.11.2.5. *Distancia mínima de seguridad de frenado (DMSF)*
- 15.12. ALUMBRADO DE TÚNELES LARGOS
- 15.13. ALUMBRADO ARTIFICIAL DE TÚNELES CORTOS
- 15.14. SEÑALES DE TRÁFICO
- 15.15. MÉTODO PARA DETERMINAR LA LUMINANCIA EN LAS DIFERENTES ZONAS AL INTERIOR DEL TÚNEL
  - 15.15.1. Método aproximado
  - 15.15.2. Método más exacto
  - 15.15.3. Método de  $L_{20}$  ponderado con el tráfico
    - 15.15.3.1. *Clases de túneles*
    - 15.15.3.2. *Determinación de la luminancia de umbral  $L_{th}$*
    - 15.15.3.3. *Longitud de la zona de umbral y de transición*
    - 15.15.3.4. *Determinación de la luminancia en la zona interior del túnel*
    - 15.15.3.5. *La zona de salida*
    - 15.15.3.6. *Uniformidades de luminancia*
    - 15.15.3.7. *Alumbrado nocturno*
- 15.16. DECISIÓN SOBRE LA ILUMINACIÓN O NO DE TÚNELES CORTOS
- 15.17. INFLUENCIA SOBRE EL PORCENTAJE DE VISIÓN A TRAVÉS
- 15.18. MÉTODO ALTERNATIVO O SIMPLIFICADO
- 15.19. PUBLICACIÓN CIE NO. 88:2004

## CAPÍTULO 16. VENTILACIÓN

### 16.1. GENERALIDADES

### 16.2. ALCANCE DE LA VENTILACIÓN NATURAL

### 16.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

### 16.4. SISTEMAS DE VENTILACIÓN

16.4.1. Ventilación natural

16.4.2. Ventilación Longitudinal

16.4.3. Ventilación semitransversal

16.4.4. Ventilación transversal

16.4.5. Cuartos técnicos

### 16.5. SISTEMA DE VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO

16.5.1. Comportamiento del humo en el interior de un túnel

16.5.2. La seguridad ante un incendio

16.5.3. Extracción del humo en un incendio

16.5.4. Recomendaciones de la Asociación Internacional Permanente de los congresos de carreteras (P.I.A.R.C.) sobre ventilación transversal

16.5.5. Ámbito Normativo

### 16.6. VENTILACIÓN DE EMERGENCIA

16.6.1. Generalidades

16.6.2. Control de humo

16.6.3. Objetivos del diseño

16.6.4. Bases del diseño

### 16.7. ENSAYOS EN TÚNELES

16.7.1. Ensayo sin humos

16.7.2. Ensayos con humos

16.7.2.1. *Ensayo de humo frío*

16.7.2.2. *Ensayo de humo caliente*

## CAPÍTULO 17. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL

### 17.1. INTRODUCCIÓN

### 17.2. SISTEMAS DE SEGURIDAD EN TÚNELES

17.2.1. Instalaciones generales

17.2.2. Factores geométricos

17.2.3. Longitud del túnel

17.2.4. Número de cuerpos y número de carriles

17.2.5. Gálibo vertical y horizontal

17.2.6. Bahías de emergencia

- 17.2.7. Galerías de conexión y salidas de emergencia
- 17.3. EQUIPAMIENTO DE TÚNELES**
  - 17.3.1. Iluminación
  - 17.3.2. Sistema de extracción de humos
  - 17.3.3. Ventilación
  - 17.3.4. Detección de incendios
  - 17.3.5. Estaciones de emergencia
  - 17.3.6. Postes de emergencia (postes SOS)
  - 17.3.7. Abastecimiento de agua
- 17.4. SEÑALAMIENTO EN TÚNELES**
  - 17.4.1. Señalamiento Horizontal**
    - 17.4.1.1. *Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A2*
    - 17.4.1.2. *Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A4*
    - 17.4.1.3. *Señalamiento horizontal para túneles en carreteras tipo A4S*
    - 17.4.1.4. *Señalamiento horizontal en aproximación a bahía de emergencia*
  - 17.4.2. Señalamiento vertical**
    - 17.4.2.1. Señales preventivas**
      - 17.4.2.1.1. Señal SP-6 Curva
      - 17.4.2.1.2. Señal OD-12 Indicadores de curvas peligrosas
    - 17.4.2.2. Señales restrictivas**
      - 17.4.2.2.1. Señal SR-15 Altura libre restringida (Gálibo)
      - 17.4.2.2.2. Señal SR-18 Prohibido rebasar
      - 17.4.2.2.3. Señal SR-9 Velocidad
    - 17.4.2.3. Señales informativas**
      - 17.4.2.3.1. Señal Nombre del túnel
      - 17.4.2.3.2. Señales “Conserve su carril” y “Túnel próximo encienda sus luces”
      - 17.4.2.3.3. Señal Bahía de emergencia
      - 17.4.2.3.4. Señal Salida a Galería de conexión
      - 17.4.2.3.5. Señal extintor y SOS.
  - 17.4.3. Paneles de señalamiento y mensajes variables**
- 17.5. RADIO**
- 17.6. CENTRO DE CONTROL**
- 17.7. SISTEMAS DE VIGILANCIA**
  - 17.7.1. Sistemas de Televisión de Circuito Cerrado (CCTV)
  - 17.7.2. Registros
  - 17.7.3. Detección de Incendios
- 17.8. EMERGENCIAS**

- 17.9. EQUIPOS PARA EL CIERRE DEL TÚNEL
- 17.10. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN
- 17.11. INCIDENCIAS
  - 17.11.1. Sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI)
- 17.12. SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DE EMERGENCIA
- 17.13. RESISTENCIA A LOS EQUIPOS DE FUEGO
- 17.14. FACTORES DE PROTECCIÓN CONTRA FUEGO Y DE SEGURIDAD HUMANA CONTRA INCENDIOS
- 17.15. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

## CAPÍTULO 18. SEGURIDAD E HIGIENE EN LA OBRA

- 18.1. INTRODUCCIÓN
- 18.2. GENERALIDADES
- 18.3. MEDIDAS PREVENTIVAS COMUNES PARA CUALQUIER SISTEMA DE EJECUCIÓN DE TÚNELES
  - 18.3.1. Gafetes de identificación
  - 18.3.2. Control de acceso al túnel y visitas al mismo
  - 18.3.3. Señalización
  - 18.3.4. Iluminación durante la construcción
  - 18.3.5. Iluminación de emergencia
  - 18.3.6. Ventilación durante la construcción
  - 18.3.7. Circulación en obra
  - 18.3.8. Telefonía
  - 18.3.9. Protección contra incendios
  - 18.3.10. Servicios de drenaje y servicios sanitarios
  - 18.3.11. Medidas de seguridad en el frente de excavación
  - 18.3.12. Otros elementos de protección y seguridad
  - 18.3.13. Mediciones de sustancias tóxicas
  - 18.3.14. Equipos de protección individual (EPI's)
- 18.4. MEDIDAS PREVENTIVAS
  - 18.4.1. Durante los trabajos de perforación
  - 18.4.2. Durante los trabajos de preparación para la voladura
- 18.5. HIGIENE Y PLANES DE EMERGENCIA
  - 18.5.1. Contaminantes físicos
  - 18.5.2. Contaminantes químicos
  - 18.5.3. Plan de autoprotección y emergencia
  - 18.5.4. Primeros auxilios

**CAPÍTULO 19. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**19.1. GENERALIDADES**

**19.2. EL MANUAL DE OPERACIÓN**

**19.3. PLAN GENERAL DE OPERACIÓN**

19.3.1. Objetivos

19.3.2. Actividades

**19.4. PLANES PARCIALES**

19.4.1. Plan de Operaciones Normales (P.O.N.)

19.4.2. Plan de Emergencia Interior (P.E.I.)

19.4.3. Plan de Mantenimiento (P.M.)

*19.4.3.1. Tipos de mantenimiento*

*19.4.3.2. Organización del mantenimiento*

*19.4.3.3. Recursos asociados al plan de mantenimiento*

*19.4.3.4. Procedimientos de mantenimiento*

*19.4.3.5. Ejecución de los trabajos*

19.4.4. Plan de implantación y seguimiento

*19.4.4.1. Objetivos del plan de implantación y seguimiento*