



CAPÍTULO 18.
SEGURIDAD E HIGIENE EN LA OBRA



DIRECCIÓN GENERAL DE
SERVICIOS TÉCNICOS

CAPÍTULO 18. SEGURIDAD E HIGIENE EN LA OBRA



Túnel Desierto De Los Leones, Súper Vía Poniente, Distrito Federal

18.1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la construcción de túneles de carretera en los últimos años ha generado un desarrollo importante en la mecánica de rocas, suelos y en geología aplicada en la ingeniería de túneles. Así mismo, se ha presentado una evolución tecnológica en los equipos de construcción (jumbos, rozadoras, martillos hidráulicos, retroexcavadoras, etc.) y, se ha desarrollado una evolución sin precedentes en los sistemas de sostenimiento (marcos metálicos, concreto lanzado, anclajes, etc).

El tema de seguridad no podía quedarse atrás ya que constituye uno de los objetivos más importantes hacia los que deben enfocarse las acciones de prevención durante la construcción de túneles. La imagen negativa que los accidentes tienen en la vida social y laboral constituyen una grave preocupación por sus consecuencias humanas, sociales y económicas que es preciso reducir al máximo por sobre cualquier otro aspecto de la obra, utilizando todos los medios y recursos posibles; en el tema de seguridad no se debe escatimar.

La construcción de túneles es una de las operaciones más riesgosas, como método convencional se emplean explosivos y maquinaria pesada, además de un gran número de operarios que tienen que trabajar en espacios reducidos, con pisos mojados y resbaladizos, con luz artificial, expuestos a riesgos de accidentes por desprendimientos de rocas, inhalación de aire impuro, gases tóxicos, polvos, ruidos, etc., la excavación subterránea deberá llevarse a cabo de acuerdo con planes y el proyecto aprobado por la Dependencia y con una supervisión que trabaje en conjunto con el personal de seguridad de la Contratista.

En el túnel a construir se deberá, al menos una vez por semana, realizar inspecciones minuciosas de la maquinaria, equipos, ventilación, vías de circulación, vías de salida, almacenes, instalaciones de asistencia médica y sanitaria, así como de los lugares de trabajo.

Los principales riesgos de accidentes durante la construcción de un túnel se producen al encontrar condiciones de terreno imprevistas, como por ejemplo: derrumbes debido a saturación del terreno por la presencia excesiva de agua donde el tratamiento del terreno resulta inadecuado, inundaciones al encontrar durante la excavación agua subterránea contenida en acuíferos, contracciones del piso por la cantidad de humedad, pérdida de aire generalizada por falla de energía o avería de los ventiladores, explosión al encontrar gases inflamables; el uso de técnicas de construcción de túneles inadecuada en los casos de roca y suelos poco resistentes, construcción defectuosa (sin control de calidad), falta de oxígeno en las áreas de trabajo cerradas, fuego y explosiones prematuras y/o barrenos sin detonar.

Las operaciones de excavación, soporte, reforzamiento y revestimiento que se desarrollan durante la construcción del túnel, incluyen riesgos que dependen (además de los originados por el tipo de terreno) de los métodos de avance que se empleen, derivados del uso de explosivos, equipos de manipulación y transporte de materiales, instalaciones eléctricas y sistemas de aire, etc.

Tomando en consideración que el mayor riesgo de accidentes se presenta durante la excavación del túnel sobre todo cuando se encuentran tipos de terrenos imprevistos –pero no necesariamente imprevisibles–, como ya se ha dicho, se debe obtener toda la información razonable que sea relevante para la construcción de un túnel, antes de que esta comience y durante la misma efectuando también, como ya se ha descrito en capítulos anteriores, un seguimiento geológico-geotécnico para tratar dentro de lo posible, anticipar materiales que pongan en riesgo la estabilidad de la excavación y por consiguiente la seguridad de los obreros.

18.2. GENERALIDADES

La construcción de túneles requiere de supervisión de personas competentes y con experiencia, se debe planificar con anticipación un programa de seguridad efectivo y fácil de ponerse en práctica, que se deberá seguir rigurosamente.

Se debe aleccionar a los trabajadores las reglas de seguridad y exigir que las observen y respeten en todo momento. Todos los lugares subterráneos en los que haya personas trabajando, deberán ser objeto de inspección, por lo menos, una vez en cada turno de trabajo, así mismo los lugares donde trabaje una persona debe ser objeto de inspección, por lo menos dos veces en cada turno de trabajo.

Se deberán evacuar todos los trabajadores que estén en una obra subterránea:

- En caso de falla en la ventilación.
- Si existe un peligro inminente, por ejemplo de derrumbes, inundaciones, explosiones, incendio, emanaciones de gas u otro riesgo grave que exponga seriamente la integridad física de los trabajadores.

18.3. MEDIDAS PREVENTIVAS COMUNES PARA CUALQUIER SISTEMA DE EJECUCIÓN DE TÚNELES

18.3.1. Gafetes de identificación

Todo el personal que trabaje en el túnel deberá disponer de dos gafetes de identificación, uno de los cuales deberá quedarse en la caseta de registro del túnel con el objetivo de llevar un control de las personas que se encuentren en el interior del mismo, dichos gafetes deberán contener los datos personales del trabajador, actividad principal que desarrolla, tipo de sangre y teléfono de emergencia, el gafete que porte el trabajador deberá usarse en un lugar visible para su fácil identificación.

Para las visitas al túnel de personas ajenas a la obra, se les debe dar un gafete de visita numerada, quedando los datos en un registro en la oficina, este gafete se utiliza para el acceso al túnel.

18.3.2. Control de acceso al túnel y visitas al mismo

Se dispondrá de un punto de control de acceso en la boca del túnel durante el horario de trabajo como se observa en la figura 18.1. El objetivo de este punto de control es:

- Llevar a cabo el control de las personas que entran y salen del túnel, para saber en todo momento que número de personas está dentro. Se debe disponer de un sitio para el alojamiento de los gafetes identificadores de los trabajadores. Para los túneles en los que se empleen explosivos, el sitio será custodiado por un guardia de seguridad, que además del control de gafetes, controle la carga de barrenos, dejando acceder, únicamente a trabajadores que figuren en el listado entregado por el encargado de la obra correspondiente.
- En el punto de control se dotará del equipo de seguridad básico para aquellas personas no incluidas en el turno de trabajo (topógrafos, visitas, etc.) que requieran acceso al túnel y no presenten el equipo básico de seguridad.
- La caseta deberá contar con un equipo completo de primeros auxilios para su uso en caso de ser requerido ante un accidente, así mismo y dependiendo de la longitud del túnel, se deberá contar con los servicios de una ambulancia que permanezca en la obra tiempo completo.



Figura 18.1. Caseta de control de acceso a obra.

Cuando se presenten visitas técnicas a obra por personal ajeno a la obra (estudiantes y/o profesionistas, personal de gobierno o dependencia a cargo, etc.), será necesario la coordinación entre el personal a cargo de la obra y el coordinador de la visita, donde se establecerá la fecha y el horario de la misma, así como la cantidad de personas que asistirán a la obra, para establecer el programa de trabajo para el día de visita y no se vean afectados los trabajos que se estén ejecutando en campo y menos se ponga en riesgo su seguridad.

El coordinador de la visita informará al jefe responsable de obra con tiempo suficiente a la visita del número de personas que asistirán, para disponer en campo del material básico de seguridad (chaleco reflejante, cascos y tapones de oídos desechables), así mismo se debe informar al coordinador que los asistentes deberán acudir a la visita con zapatos de seguridad; de no contar con el calzado adecuado no podrán participar de la actividad.

El responsable de obra encargado de preparar y coordinar la visita tendrá que informar con anticipación a todo su personal, con objeto de evitar problemas con inspectores, contratistas y/o trabajadores.

De la misma forma se encargará de las siguientes acciones:

- A la llegada de los visitantes, serán divididos en pequeños grupos con objeto de verificar el uso de equipo de seguridad básico y/o en su caso proporcionar el equipo faltante, así mismo les será impartida una platica de protección civil donde se explicará la forma en que deberá ser llevada la visita, zonas e identificación de riesgos, acciones a seguir ante cualquier accidente, características generales de la obra. Dicha plática se realizará en las oficinas de campo y se podrá hacer uso de proyección de videos para mayor intercambio de información con los visitantes.



Figura 18.2. Proyección de video de protección civil y de información general de la obra en cuestión.

Se deberá contar con servicios médicos (ambulancia) para el caso de una emergencia o accidente que se presente durante la visita.

- Coordinará junto con el jefe de protección civil y de seguridad de obra, las zonas de tránsito de los visitantes así como la colocación de señalización (cintas y malla de precaución) necesaria en dichas zonas.



Figura 18.3. Verificación del equipo de seguridad e información de la ubicación de servicios médicos.

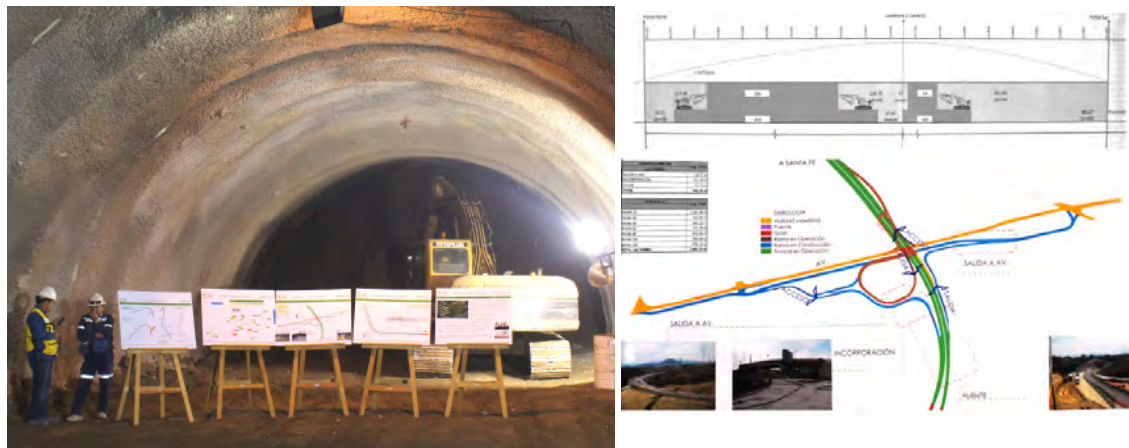


Figura 18.4. Exposición de obra a los visitantes.

Las zonas de recorrido de los visitantes deberán presentar señalización de seguridad y deberán estar totalmente identificados y confiados los puntos de peligro.



Figura 18.5. Señalización de seguridad en todas las zonas de tránsito de las visitas.

18.3.3. Señalización

Toda obra representa un riesgo a la seguridad del personal involucrado, ya sea peatones, conductores y/o trabajadores. Por este motivo, es necesario establecer medidas para el control y mitigación del riesgo minimizando la posibilidad de ocurrencia de accidentes o bien disminuir sus consecuencias.

A continuación se establecen algunos objetivos principales para el desarrollo de la señalización y medidas de seguridad a establecer durante la ejecución de la obra:

- Uniformizar la señalización de obra y apegarse a la utilización de elementos permitidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y su normatividad vigente.
- Establecer la correcta ubicación de los dispositivos de seguridad.
- Establecer condiciones de seguridad en todas las zonas del túnel donde se desarrollen trabajos.
- Proteger a los trabajadores y peatones, disminuyendo el riesgo y la posibilidad de sufrir un accidente mediante el correcto uso de elementos y dispositivos de seguridad.
- Establecer claramente la diferencia entre la zona de obras y la zona de tránsito vehicular y peatonal, así como las zonas de material peligroso, carga y descarga de material y almacenes.

- Se deberán considerar todas las fases constructivas que con lleve la obra y cómo evolucionará la señalización y dispositivos de seguridad de acuerdo a dichos cambios y avances, así como la asignación de un profesional cuya función principal sea el de verificar la correcta ejecución del control de seguridad para el desarrollo del túnel.

La señalización del túnel se desarrollará conforme a los trabajos de construcción del mismo, por ello al inicio de los trabajos en los accesos al túnel, se colocarán los carteles de señalización de seguridad (prohibición, advertencia y obligación) así como la señalización de emergencia (Figura 18.6).

Mediante la señalización informativa se deberá establecer el equipo obligatorio de protección personal para acceder al túnel, así como las normas de seguridad respecto al tránsito de vehículos dentro del mismo.



Figura 18.6. El uso obligatorio de los equipos de protección personal, quedará indicado en la zona del portal.

Así mismo, se señalizarán los accesos (pasillos, plataformas, etc.) para los trabajadores, suministros y visitas. A lo largo del túnel, se instalarán, según el ritmo de avance de los trabajos, la señalización correspondiente a las medidas preventivas, limitaciones y riesgos existentes, tales como:

- Riesgos por; ruido excesivo, corriente eléctrica y atropellos y/o transporte de material.
- Señalización de emergencia para localización de bocas de incendio e extintores y salidas de emergencia.
- Señalización de prohibición (restricción de velocidad, pasos de personas y paso de vehículos).

La señalización se realizará de forma continua a lo largo del túnel, no será improvisada y será de acorde a la situación y etapa de trabajo desarrollada en la zona donde se encuentre la señal.

Es importante tener presente que las señales que se emplearán en la obra deben estar en buenas condiciones, de tal forma que sean aptas para mantenerse en uso. Los criterios generales de aceptación de las señales obedecen no tan sólo a requisitos técnicos, sino también a cualidades y características funcionales en general, ya que deben ser necesarias, visibles, llamar la atención, legibles y fáciles de entender, deben dar tiempo suficiente al usuario para responder adecuadamente.



Figura 18.7. Zonas de tránsito y de trabajo delimitadas por cintas de precaución.

18.3.4. Iluminación durante la construcción

La iluminación durante la construcción de los túneles es una protección colectiva que resulta fundamental para la prevención de riesgos de caídas, atropellos, etc.

La instalación eléctrica para la generación de iluminación se ajustará a las necesidades del desarrollo de la obra, con independencia de su origen (red eléctrica o generadores eléctricos), dependiendo las condiciones del sitio de obra. Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no representen peligro de incendio ni de explosión y de tal modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contactos directos o indirectos.

La iluminación al interior del túnel debe cumplir las siguientes condiciones:

- La composición espectral de la luz debe ser adecuada a la tarea a realizar, de modo que permita observar y reproducir los colores en medida aceptable.
- El efecto estroboscópico (movimiento ilusorio) debe ser evitado.
- La iluminación debe ser adecuada a la tarea a efectuar, teniendo en cuenta el mínimo deslumbramiento a percibir, la reflexión de los elementos, el contraste y el movimiento.
- Las fuentes de iluminación no deben producir deslumbramiento, directo o reflejado, para lo que se distribuirán y orientarán convenientemente las luminarias y superficies reflectantes existentes en el lugar.
- La uniformidad de la iluminación, así como la sombras y contraste, deben ser adecuados a la tarea que se realice.

Respecto a estas instalaciones deberán verificarse y mantenerse con regularidad por personal calificado y autorizado. Se tendrá iluminación especial en lugares que se consideren peligrosos o poco visibles.



Figura 18.8. Deben estar iluminados todos los lugares de trabajo y vías de circulación.

Se debe proporcionar iluminación eléctrica, en cantidad y calidad suficiente, para permitir el paso seguro en todas las zonas. Los accesorios deberán ser no metálicos, resistentes al polvo y al agua. Las lámparas fijas utilizadas en el túnel, deberán estar provistas de un globo resistente de vidrio o de otro material transparente y protegidas con algún material resistente.

La iluminación del frente de excavación es fundamental para el desarrollo de la excavación, las luminarias se colocarán en áreas donde no se afecten las maniobras, toda maquinaria contará con iluminación propia para mejorar las condiciones de visibilidad durante las maniobras que ejecute.



Figura 18.9. Iluminación en los equipos de construcción e iluminación para ejecutar los trabajos.

Los aparatos de alumbrado fijo, deberán estar aislados convenientemente en su estructura externa, de tal forma que permita cambiar el foco o el tubo sin peligro de choque eléctrico.

Si se alimenta la instalación mediante un sistema de línea de contacto, el alumbrado deberá limitarse a las secciones del túnel por donde pase dicha línea de contacto y a sus inmediaciones.

La tensión de las lámparas portátiles no deberá exceder de la tensión extra baja de seguridad, además del alumbrado principal, se debería disponer de un alumbrado auxiliar, que en caso de emergencia, funcione el tiempo suficiente para que los trabajadores abandonen el lugar sin riesgo alguno.

Se deberán tener lámparas y otras luces de emergencia fácilmente disponibles, en los sitios en que una falla de corriente pueda ser peligrosa. Adicionalmente el equipo y maquinaria deberá contar con iluminación propia para que puedan ser fácilmente identificables por el personal en obra.

Los proyectores deberán:

- Instalarse únicamente en lugares cuya altura libre sea como mínimo de tres metros.
- Estar provistos de vidrios deslustrados y limpios.

Todos los cables de electricidad, deberán tener aislamiento reforzado y estar colocados a una altura visible y señalizada de acuerdo al voltaje que lleven.

No se enredarán o amarrarán en alcayatas, tubos, varillas o cualquier otro gancho provisional y se sostendrán en alto para evitar tropiezos. Los interruptores deberán estar resguardados y cumplir con las características y condiciones que señalan las normas para este tipo de elementos. Todo el equipo eléctrico, incluyendo las herramientas de mano, deberá tener una conexión a tierra permanente y segura.

Desde el punto de vista de prevención de riesgos laborales, los aspectos relacionados con los riesgos eléctricos son de suma importancia ya que, independientemente de la probabilidad de que ocurran accidentes de este tipo en los trabajos diarios, sus consecuencias en los trabajadores suelen tener un carácter grave y en algunos casos mortal, sobre todo porque casi siempre el túnel está mojado o tiene mucha humedad.

Las condiciones inadecuadas de iluminación en los lugares de trabajo pueden tener consecuencias negativas para la seguridad y la salud de los trabajadores; la disminución de la eficacia visual puede aumentar el número de errores y accidentes así como la carga visual y la fatiga durante la ejecución de las tareas; también se pueden producir accidentes como consecuencia de una iluminación deficiente en las vías de circulación, frente de excavación y otros lugares de paso.



Figura 18.10. Ejemplo de iluminación adecuada para el desarrollo seguro de las actividades.

Cuando los trabajos se desarrollen de noche o en períodos de baja visibilidad, se pueden utilizar reflectores para mejorar las condiciones de visibilidad de los trabajadores y obtener una mayor comprensión de la amplitud de los trabajos.

No existe restricción en cuanto a la intensidad de los reflectores; sin embargo, éstos no pueden deslumbrar o encandilar a los trabajadores. Su utilización es obligatoria en las zonas del portal y acceso al túnel.

Durante los trabajos desarrollados en horario nocturno se tendrá especial cuidado en la iluminación de los accesos al túnel mediante reflectores que ayuden a una mejor visibilidad y permitan mejorar las condiciones de seguridad.



Figura 18.11. El portal deberá tener mayor iluminación durante el desarrollo de trabajos nocturnos.

Los lugares de trabajo, o parte de los mismos, en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores, dispondrán de un alumbrado de emergencia que ayude a evacuar el túnel de una forma segura.

18.3.5. Iluminación de emergencia

Se colocarán luminarias a lo largo del túnel intercaladas cada 2 unidades, luminarias de emergencia con batería, o sistema independiente de suministro, en caso de fallo de la primera línea.



Figura 18.12. Sistema de iluminación de emergencia mediante torre de luz.

18.3.6. Ventilación durante la construcción

La atmósfera respirable en el interior del túnel debe ser similar a la de la calle, pero distintos motivos se asocian al aire que entra al túnel con otros gases, que lo pueden hacer irrespirable y muy nocivo para la salud; esta circunstancia adversa se combate mediante una correcta ventilación, que los diluye y a su vez los ayuda a controlar el polvo, regula la temperatura y la humedad ambiente.

En todas las obras de construcción de túneles carreteros, la atmósfera deberá purificarse suministrando aire respirable en toda la extensión del túnel, por medio de una corriente de aire que permita mantener las buenas condiciones ambientales de trabajo.

La calidad del aire en el frente de trabajo es un factor esencial para la seguridad y salud del personal que trabaja en el interior del túnel.



Figura 18.13. Sistema de generación de aire para ventilación del interior del túnel.

En particular se debe lograr:

- Evitar una elevación excesiva de la temperatura.
- Mantener la concentración de polvo, gases y humos nocivos dentro de límites admisibles.
- Impedir que el contenido en oxígeno de la atmósfera descienda por debajo del 19.5%.

Se deberá invertir la dirección de la corriente de aire en todo túnel, además de que cuando la ventilación natural sea insuficiente, se deberá prever un sistema de ventilación artificial que proporcione un mínimo de 3 metros cúbicos de aire por minuto, por trabajador.

El caudal del aire a suministrar viene determinado principalmente por la necesidad de evacuación de los gases procedentes de los motores de combustión interna, manteniendo los niveles de gases nocivos por debajo de los límites admisibles.

Para calcular el volumen de aire a aportar por los ventiladores se tendrá en cuenta las potencias de los motores diesel utilizados y el número de personas en el frente.

Como norma general, se colocará en la boca del túnel un ventilador, que mediante una manga de ventilación colocada a lo largo del túnel, suministre aire al frente de excavación y que esté dimensionado para una velocidad de retorno de entre 0.5 y 1 m/s.

Esta manga de ventilación se prolongará mediante la incorporación de más secciones mientras se continúa la excavación, se recomienda que esta manga se encuentre como máximo a 30 metros del frente de excavación.



Figura 18.14. Sistema de ventilación a lo largo del túnel, extendida cerca del frente de excavación.

El aire suministrado deberá estar exento de toda contaminación. Se deberán hacer pruebas frecuentes para buscar gases peligrosos y nocivos. No se deberán sobrepasar los siguientes límites:

- Monóxido de carbono 0.01%
- Bióxido de carbono 1.00%
- Metano 0.25 %
- Sulfuro de hidrógeno 0.001%

Si las pruebas indican que los gases arriba citados exceden los límites de tolerancia, se debe suministrar aire adicional para reducirlos o meterlos dentro de los límites.

Cuando se proceda con la voladura para el avance la excavación:

- Se deberá prever un sistema de ventilación artificial, que asegure la suficiente cantidad de aire en el frente de ataque.
- Después de cada voladura, se debe evacuar el polvo del frente de ataque.
- En la mayor cantidad posible, mediante ventilación por aspiración.
- Se deberá instalar un sistema de ventilación adicional para eliminar los humos, en caso de ser necesario o se tenga previsto una alta concentración de humos debido a la voladura.

Cuando la perforación se realiza mediante el empleo de medios mecánicos, como es el caso de la rozadora, es recomendable la adopción de un sistema de ventilación mixta, consistente en una ventilación soplante que impulsa el aire hacia el frente y un ventilador aspirante con decantador de polvo que toma el aire en el frente y lo expulsa hacia el exterior.

En el caso de tuneladoras, cuando la manga de ventilación llega a la parte trasera de ésta, se encuentran otros ventiladores de distintos tamaño con sus respectivas canalizaciones para hacer llegar el aire limpio a todas las zonas, incluido el frente de ataque.

Con la ventilación se consigue:

- Diluir los gases nocivos, emitidos por los motores de combustión interna y voladuras, hasta unas concentraciones dentro de los límites permitidos.

- Eliminación del polvo que pudiera producirse en la aplicación de los diferentes sistemas de excavación mecánica u otras tareas desarrolladas.
- Aporte del aire limpio necesario para la respiración humana.
- Mantener la temperatura del aire por debajo de ciertos límites.

Aspectos básicos de seguridad a tomar en cuenta para el sistema de ventilación a utilizar:

- La ventilación prevista será suficiente evitándose la recirculación
- La manga de ventilación se mantendrá en todo momento en correcto estado de funcionamiento.
- Los conductos de ventilación se prolongarán hasta el área de trabajo de las máquinas.
- Se conectarán adecuadamente las uniones de los tubos de ventilación.
- Se colocarán soportes a intervalos regulares para garantizar su correcta sujeción.
- Periódicamente se deben realizar las correspondientes mediciones de gases y polvo.
- Los conductos de aire fresco; se extenderán cerca del área de trabajo, se debe evitar colocarlos en curvas y recodos, reparando cualquier daño inmediatamente; asimismo se sellarán las uniones adecuadamente y los soportes serán colocados a intervalos regulares.

La ventilación del túnel en construcción debe ser tal que, en cada área de trabajo, la dilución de los humos y gases debe mantenerse por debajo de los límites peligrosos. La temperatura de estas zonas no deberá sobrepasar los 27° centígrados.

18.3.7. Circulación en obra

Se dispondrá a lo largo del túnel de una pasarela peatonal de seguridad, situada en el hastial del túnel que más cómodo resulte para el acceso (evitando cintas transportadoras, en caso de que existan, instalaciones de suministro, etc.) del personal que vaya a pie, dichas pasarelas tendrán un ancho mínimo de 80 cm, estarán conformadas por cintas de seguridad (con la leyenda “precaución” y/o “peligro”) así como por mallas de balizamiento para señalización color naranja, las cuales deberán ser colocadas de forma correcta (resistentes y estables).



Figura 18.15. Personal de obra circulando por los espacios destinados para el tránsito peatonal.

Cuando se desarrollen trabajos al interior del túnel relativos a banqueo central, se instalará doble pasarela de seguridad para circulación de personal y dejar libre la zona de tránsito de maquinaria pesada.



Figura 18.16. Interior del túnel con doble pasarela peatonal y zona de tránsito vehicular libre de personal.

Los trabajadores que son parte de una obra deben circular exclusivamente por las zonas de circulación protegidas, así mismo se deberán respetar dichas circulaciones peatonales, ya que existe el peligro de ser arrollado o empujado por vehículos en movimiento.



Figura 18.17. La correcta circulación del personal de obra es primordial para evitar ser atropellado.

Las zonas de trabajo, las cuales estén destinadas a las obras, operaciones de trabajadores, maquinarias y acopio de materiales, también deberán incluir barreras de protección (mallas de balizamiento de seguridad) para dar protección adicional a los trabajadores que por la naturaleza del trabajo que estén desarrollando represente algún peligro o se acerquen demasiado a la zona de tránsito vehicular.

En las zonas de tránsito destinadas al flujo vehicular, será necesario fijar y señalizar la velocidad máxima a la cual se debe transitar por ella.

Esta velocidad debe ser creíble y corresponderá a la máxima velocidad con la que los vehículos pueden transitar de manera segura tanto al interior del túnel como en las zonas exteriores del mismo.

Los trabajadores dentro y fuera del túnel deben tener cuidado de no cruzar intempestivamente la zona de tránsito de la maquinaria pesada, además de que en todo momento deben utilizar sus elementos de seguridad y protección personal, así mismo los operadores de la maquinaria pesada deberán extremar las precauciones de conducción respetando los límites de velocidad y tomar medidas preventivas de acuerdo a la tarea que se encuentre realizando.



Figura 18.18. El personal de obra deberá estar atento a la circulación vehicular en todo momento.

18.3.8. Telefonía

Los sistemas de comunicación a utilizar durante la construcción podrán ser:

- **Telefonía fija:** Se dispondrá de sistema de comunicación telefónica por cable desde el inicio del túnel (control de accesos), con las oficinas (mecánicos, jefes de turno o frente y residentes de obra) y con los servicios médicos.
- **Telefonía móvil:** Todos los residentes y jefes de turno o frente de la obra portarán consigo equipos de comunicación portátiles (celulares y/o radios).

18.3.9. Protección contra incendios

El conocimiento de las características de la obra del túnel a construir y de los trabajos a desarrollar es un factor fundamental para la planificación de las medidas contra incendios que permite prever las situaciones de emergencia antes del inicio de las diferentes actividades a llevarse a cabo para la construcción del mismo.

Por ello, para el esquema de las medidas a realizar y evitar incidentes posteriores, debe tomarse en cuenta que todo el personal al desempeñar una actividad dentro de obra debe conocer las características de la misma así como de los trabajos y/o áreas que representen algún peligro (como son líneas de conducción de energía eléctrica, depósitos de combustible y materiales tóxicos, almacenes de explosivos, etc.).

En todas las obras de túneles se dispondrá de un equipo apropiado de extinción de incendio, además, de tener conexiones para mangueras y mangueras de longitud suficiente, así mismo como ya se menciono en el párrafo anterior la instalación en todo el túnel de los equipos extintores de incendio portátiles necesarios y apropiados según las características y dimensiones de los trabajos, los cuales se situarán en lugares de fácil acceso y bien señalizados, en el exterior del túnel se colocarán en las zonas que representen alguna situación de riesgo.

Los extintores portátiles dentro del túnel deberán ser colocados próximos a puntos que representen un peligro de accidente y se debe tener fácil acceso a ellos.



Figura 18.19. Extintor colocado próximo al desarrollo de los trabajos teniendo fácil acceso a el.

Como norma general se debe disponer de lo siguiente:

- Un extintor de 6/25 kg cada 250 m de polvo polivalente (ABC) y/o CO₂ a lo largo del túnel.
- Cada máquina dispondrá de extintores propios (jumbo, robot, pala cargadora (payloader), camiones, etc.), así mismo en toda maquinaria o equipo instalado, operado o mantenido en el túnel, se deben prevenir calentamientos peligrosos por el tiempo de uso.
- Dispondrán de extintores dieléctricos las instalaciones eléctricas, áreas de transformadores eléctricos, cuadros de servicio, etc.
- En almacenes de materiales que por su origen sean inflamables.
- En las áreas de residuos y desechos peligrosos.
- Almacenes de combustible, aditivos y explosivos.



Figura 18.20. Jumbo equipado con dos extintores ubicados a ambos costados del mismo.

Se deberá instruir y capacitar personal en la prevención y combate de incendios, y todo el personal que desarrolla labores en el túnel, deberá estar advertido de las acciones a desplegar en caso de producirse un siniestro. Los equipos de extinción y cuadrillas entrenadas en la extinción de incendios deben estar disponibles en todo momento (continua comunicación con la estación de bomberos más próxima).

Se contará con un procedimiento bien estudiado y escrito de evacuación de personal del túnel en caso de incendio, además de disponer de personal capacitado para dirigir la evacuación y cuadrillas de rescate. No se deberá utilizar motores de gasolina, salvo en las condiciones que estipule la autoridad competente.

No se deberá instalar ninguna estructura combustible en la entrada del túnel. Se deberán mantener limpios de toda clase de desechos combustibles e inflamables, todos los lugares de trabajo al interior del túnel, así como fuera de los almacenes, depósitos y demás lugares pertenecientes a la obra.

No se deberá edificar ninguna construcción para combustible, como por ejemplo un local de almacenamiento, a menos de 30 metros de la entrada del túnel o de los locales donde se encuentren los ventiladores, de la misma manera todos los materiales combustibles se deberán almacenar en una construcción destinada para este fin, situada a una distancia mínima de 30 metros de la entrada del túnel; solo se almacenará abastecimiento de combustible para un día en el interior del túnel, en recipientes blindados, debidamente identificados y protegidos.

Se tendrán las precauciones necesarias para que, en caso de fuga en los recipientes que los contienen, los líquidos inflamables no puedan llegar a una distancia inferior a 30 metros de la entrada de un túnel.

Los residuos de madera y los restos de materiales que ya se han ocupado, deberán ser retirados de la obra después de su uso, al igual que se prohibirá la acumulación de desechos combustibles de cualquier tipo.

Los almacenes que contengan cualquier tipo de material para uso en los trabajos de la obra, deberán estar previstos de señalización de protección así como de extintores propios.



Figura 18.21. Almacén de residuos peligrosos con señalización y extintor propio.

En ninguna zona de obra deberá haber llamas (flamas) descubiertas, ni estar permitido fumar, ni introducir al túnel fósforos, encendedores, lámparas descubiertas u otros artículos capaces de producir un incendio y/o explosión.

Donde se efectúen trabajos de soldadura u oxicorte deberá existir:

- Pantallas antideflagrantes para proteger los elementos de entibación de madera y demás armazones o materiales combustibles.
- Se deberá disponer de extintores apropiados al alcance de la mano.
- Se deberá mantener una vigilancia constante para prevenir todo riesgo de incendio.
- No se debe comenzar con los trabajos de soldadura hasta después que se haya humedecido a fondo el lugar; una vez terminados estos y antes de abandonar el trabajo, el área debe humedecerse nuevamente y mantenerse bajo inspección alrededor de 8 horas.

Se deberá contar, individual o colectivamente, con agua potable destinada al consumo humano y necesidades básicas de higiene y aseo personal.

Cuando no se cuente con suministro permanente de agua, para garantizar la disponibilidad de ésta, deberá disponerse de un depósito de al menos 12,000 litros con equipo de presión, para su uso en la obra y/o en su caso se podrán usar las mangueras para la extinción de incendios en el caso de algún incidente con fuego.



Figura 18.22. Almacén de depósitos de agua previsto para el desarrollo de los trabajos en la obra.

18.3.10. Servicios de drenaje y servicios sanitarios

Para las aguas que se puedan encontrar a lo largo del túnel, provenientes de filtraciones, como para las producidas por los trabajos a realizar, se deberá disponer de cárcamos en los puntos que sean necesarios y el agua se bombeará al exterior.

Se deberán instalar servicios sanitarios en diferentes puntos de la obra, para ello se pueden utilizar sanitarios secos, de agua, químicos o carros sanitarios, los cuales se deberán limpiar diariamente y será responsabilidad del dueño y/o administrador de los mismos mantenerlos protegidos del ingreso de basura, de su estado físico y funcionamiento, así mismo con regularidad deberá suministrar desinfectantes y desodorantes.



Figura 18.23. Sanitarios portátiles colocados en un área próxima al portal del túnel.

18.3.11. Medidas de seguridad en el frente de excavación

En algunos casos la realización del túnel conlleva la excavación del mismo mediante la utilización de diversa maquinaria específica para movimientos de tierras.

En la realización de estas tareas intervienen distintas máquinas y equipos como son: bulldózer, retroexcavadora, martillo hidráulico, pala cargadora (payloader), motoniveladora, rodillo compactador, pipas de agua y combustible, grúas fijas y móviles, camión-pluma, camión-concretera, dúmper, maquinaria de perforación, corte, proyección e inyección y en general, las herramientas necesarias para el mantenimiento de estas máquinas y equipos de trabajo.

Por ello se debe instruir a todo el personal de obra sobre los riesgos y precauciones que se deben tener dentro y fuera del túnel debido a los trabajos que se realizan con maquinaria, los peligros y/o accidentes más comunes ante la presencia de máquinas a prevenir son:

- Choques y golpes contra objetos móviles.
- Atropellamientos por o entre máquinas.
- Exposición a temperaturas extremas resultado de los motores de las máquinas.
- Caída de personas de distintos niveles de altura, por mala operación de la maquinaria asignada para determinada tarea
- Caída de objetos por desplome, derrumbamiento o desprendidos provocados accidentalmente por alguna máquina en operación.
- Proyección de fragmentos o partículas, ya sea durante la excavación o cuando se encuentre la maquinaria en mantenimiento.

La mayoría de los accidentes surgidos entre personal y maquinaria pesada es debido a que el personal de obra se ubica en aquellas zonas del entorno de la máquina, cuya visibilidad desde la cabina es nula y por falta de coordinación con el operador o en su caso por accidente (distracción) de alguna de las partes involucradas. En tramos abiertos del túnel los accidentes son producto de exceso de velocidad e incumplimiento de la señalización por parte del operador.

El personal que labora en el túnel deberá respetar las zonas de seguridad del entorno de o las máquinas que se encuentren laborando y estar siempre atento a las maniobras de ésta. Toda máquina que se encuentre realizando alguna acción de trabajo deberá tener encendidas sus luces y respetar las medidas de seguridad indicadas a lo largo del túnel o en el exterior de este.



Figura 18.24. Personal de obra en zona de seguridad debido al retiro de material producto de la excavación.

La ejecución de trabajos de excavación en suelos se realiza habitualmente con retroexcavadoras provistas de martillo y en ocasiones, si la dureza del terreno lo permite, se puede usar directamente la cuchara de la retroexcavadora.

La maquinaria dispondrá de los correspondientes dispositivos de seguridad tales como girofaro destellante, señal acústica marcha atrás, el operador NO abandonará la máquina con el motor encendido.

La circulación de personal y maquinaria en la zona de excavación estará debidamente organizada y con la señalización requerida, así mismo el personal que intervenga en este proceso utilizará ropa con elementos reflectantes para facilitar la visión óptica del operador, ya que existe el riesgo de ser arrollado y/o aplastado por la misma maquinaria.



Figura 18.25. Evitar situarse o pasar entre la máquina y los hastiales mientras la retroexcavadora realiza la excavación.

A la retroexcavadora se le puede adaptar el rotomartillo hidráulico para desarrollo de actividades de excavación en suelos, de la misma forma se debe evitar situarse próximo a ella y estar atento a los posibles rebotes de material, así mismo en este caso la protección para los oídos debe ser más rigurosa para todo el personal debido al ruido producido por el funcionamiento del rotomartillo.



Figura 18.26. Retroexcavadora con rotomartillo hidráulico realizando excavación en el frente del túnel.

Para la realización de trabajos de excavación, a la retroexcavadora en algunas ocasiones cuando el suelo presenta baja resistencia se le adapta una cabeza o cabezas rotatorias provistas de herramientas de corte y que van montadas sobre el brazo articulado, en estas zonas de excavación se dispondrá de mayor seguridad del personal manteniéndolo a mayor distancia del frente, ya que el material que se excava puede desprenderse con mayor facilidad y provocar aplastamientos.



Figura 18.27. Frente de excavación excavado con retroexcavadora y cabezas rotatorias de corte.

El retiro de material producto de excavación se realizara mediante pala cargadora (payloader), el cual deberá circular por las zonas de tránsito y respetar los límites de velocidad marcados en la señalización (10 km/hr), llevar activas las señales acústicas y de luz (girofaros) todo el tiempo. El personal no deberá cruzarse intempestivamente por las zonas de tránsito.



Figura 18.28. El personal de obra no debe obstaculizar la circulación de maquinaria durante el retiro de material producto de excavación.

El sostenimiento en un túnel se realiza una vez realizado el avance y retiro de material producto de la excavación. Uno de los sistemas más complicados de instalar es la colocación de marcos metálicos, para ello se requiere que los obreros cuenten con equipos de trabajo versátiles y ligeros que faciliten la colocación del sistema.

Las operaciones de manipulación, montaje y colocación de marcos metálicos, consisten en la descarga de los mismos en paquetes desde el camión de transporte, el acopio en zona habilitada, transporte de las unidades hasta la zona de sostenimiento próxima al frente y la colocación de los mismos.

Los marcos metálicos se reciben desordenados en varios tramos para su posterior armado, la colecta o acopio se realiza en una zona habilitada en el exterior del túnel, lo más cerca posible de la plataforma de ejecución y armado de los mismos, el manejo se realizará con los equipos de elevación adecuados. Una vez en el frente de excavación se procederá al montaje del marco metálico, se colocarán las piezas sobre un hastial del túnel y se instalarán una a una utilizando medios mecánicos en su posición aproximada, calzados sobre tacos de madera, posteriormente se procederá a su fijación provisional.



Figura 18.29. Transporte de marco metálico hacia el frente de excavación mediante retroexcavadora.

En el montaje del marco metálico se evitará la presencia de personas ajenas dentro de la zona con riesgo de deslizamiento de la pieza, antes de manipular los marcos se asegurará que se encuentran convenientemente fijados. Cuando los marcos se manipulen en pendiente se realizará el recorrido en marcha atrás (contrapendiente).

Se levantará el marco metálico por la clave de este, mediante “útiles” (pinzas de acero) adecuados y se realizará el apriete definitivo garantizando su estabilidad. Una vez fijada la cercha se procederá al montaje de los tresillones (separadores metálicos) uniendo ésta con la anterior

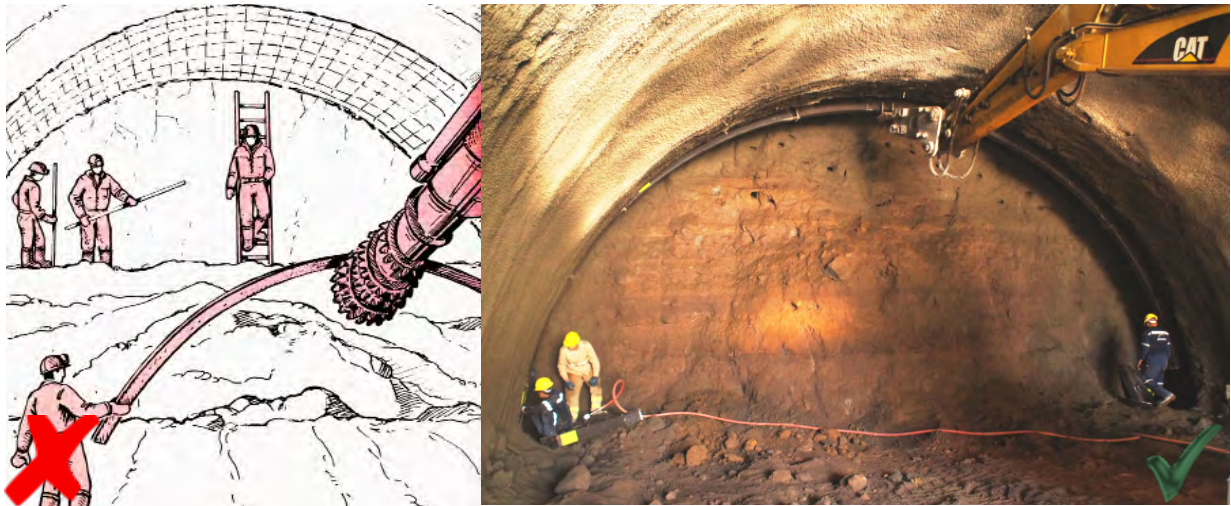


Figura 18.30. La colocación del marco metálico se realizará con la maquinaria adecuada para esta actividad.

Ya instalado el marco metálico, no se retirarán los elementos de fijación (cadenas, cables y seguros de acero) mientras que los trabajadores permanezcan dentro del radio de acción de dicha carga suspendida.

Los trabajos se realizarán de forma idónea a la ejecución del proceso constructivo a fin de evitar posibles golpes y cortes en áreas ya efectuadas, choques contra objetos inmóviles, sobre esfuerzos, posturas inadecuadas o movimientos repetitivos durante la colocación de marcos.

18.3.12. Otros elementos de protección y seguridad

- **Linternas:** Se colocará una dotación de linternas dentro de gabinetes en distintos puntos del túnel y tuneladora (en su caso), para su uso en caso de emergencia. El número de éstas será, como mínimo, igual al de trabajadores que compongan el turno.

Estas linternas se podrán adaptar al casco para uso de los trabajadores en caso de emergencia.

- **Plantas de Luz:** En la zona del portal del túnel se contará con un grupo de plantas de luz para la alimentación de emergencia de las instalaciones del túnel (ventilación, iluminación, etc.).
- **Complementos para equipos de trabajo automotores:** Para los distintos trabajos generalmente se utilizan equipos de trabajo (retroexcavadoras, pailoders, jumbos, etc.) con motores de combustión diesel. Estos deben disponer de filtro de gases; consistente éste en un sistema de combustión de dos tiempos con cámara de combustión de turbulencia, diseñada específicamente para trabajos en recintos cerrados que proporcionen un menor contenido de óxido nitroso, monóxido de carbono, hidrocarburo, hollín y humo.

Por otra parte, es conveniente que todas las máquinas utilizadas en el interior del túnel estén dotados del dispositivo de seguridad denominado “hombre muerto”, con el fin de detener la maquinaria o equipo en caso de que el operador se desvanezca o se ausente de la cabina.

Se debe tener control de la maquinaria pesada que se encuentre realizando trabajos al interior del túnel, ya que al existir varias máquinas laborando al mismo tiempo la acumulación de gases aumenta en el túnel, además se deberán tener bien trazadas las zonas de circulación y señalización de las mismas máquinas para evitar accidentes con personal de obra y entre ellas mismas.



Figura 18.31. Ubicación de 4 máquinas laborando al mismo tiempo en diferentes zonas del interior del túnel.

18.3.13. Mediciones de sustancias tóxicas

Para comprobar que los trabajadores no están expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (gases, vapores, polvos en general y de sílice), así como que la temperatura, iluminación y humedad sean las correctas, deben realizarse mediciones periódicas, en los lugares de trabajo y de tránsito, con equipos debidamente calibrados. Se mantendrá registro de los valores obtenidos en las mediciones realizadas.

SUSTANCIA	RIESGO	FUENTES PRINCIPALES	MEDIOS DE DETECCIÓN	MEDIOS DE PROTECCIÓN
Monóxido de carbono	Tóxico	Combustión interna y detonación de explosivos	Detectores e instrumentos de medición directa	Buena ventilación. Buen mantenimiento de las máquinas.
Dióxido de carbono	Asfixiante	Soldaduras y combustión interna de motores y soldaduras	Detectores e instrumentos de medición directa	Buena ventilación. Buen mantenimiento de las máquinas.
Oxido de nitrógeno	Tóxico	Combustión interna de motores y detonación de explosivos	Detectores e instrumentos de medición directa	Buena ventilación. Buen mantenimiento de las máquinas.
Sulfuro de hidrógeno	Tóxico y explosivo	Aparece en la naturaleza	Detectores e instrumentos de medición directa	Prevención. Buena ventilación.
Metano	Explosivo y asfixiante	Aguas subterráneas, residuos de materia orgánica y rocas carboníferas	Instrumentos de medida directa	Estudio previo de la zona. Buena ventilación.
Propano, butano y acetileno	Explosivo y asfixiante	Fugas de gas comprimido	Instrumentos de medida directa	Mantenimiento eficaz
Vapores de acetileno y diesel	explosivos	Derrames	Detectores	Manipulación eficaz. Buena ventilación
Ozono	Tóxico	Soldadura	Detectores	Buena ventilación
Oxígeno mezclado en el aire	Riesgo de fuego	Fugas de bombonas de oxígeno	Instrumentos de medida directa	Manipulación eficaz.
Grisú	Explosivo	Terrenos carboníferos	Detectores	Ventilación energética. Equipos.

Tabla 18.1. Tipos de gases en túneles.

En la Tabla 18.1 se indican los principales gases que se encuentran en obras de túneles, su riesgo, sus fuentes principales de producción, los medios de detección y los medios de protección, mientras que en la Tabla 18.2 se indican los límites de exposición para los distintos tipos de gases.

GAS	LÍMITE 8 HORAS (PPM)	LÍMITE MÁXIMO (PPM)
CO	50 ppm	100 ppm
CO ₂	5000 ppm	12500 ppm
Nitrosos	5 ppm	25 ppm
SO ₂	5 ppm	10 ppm

Tabla 18.2. Valores de exposición.

18.3.14. Equipos de protección individual (EPI's)

Se deberán efectuar estudios de las reales necesidades de elementos de protección personal para cada puesto de trabajo, en relación a los riesgos efectivos a que estén expuestos los trabajadores. No obstante, de no existir este estudio, se deberá exigir que todo el personal que sea parte de la obra, use además de casco y zapatos de seguridad, botas y ropas impermeables en aquellas zonas del túnel donde exista mucha humedad y protectores para la vista, respiratorios y auditivos en aquellas labores con proyección de partículas, emanaciones de polvo y ruido ambiental.

El uso de los elementos de protección personal (casco, zapatos de seguridad, botas, ropa impermeable, chaqueta o arnés reflectante, lámpara de seguridad, etc.) previene de los riesgos efectivos a que están expuestos los trabajadores.



Figura 18.32. El equipo de protección depende de la actividad a realizar al interior o exterior del túnel.

Todos los trabajadores y/o personal que sea parte del desarrollo de la obra deben contar con ropa especial que los haga perfectamente visibles, tanto de día como de noche o en períodos de baja visibilidad. Para lograr una adecuada visibilidad de todo el personal deben utilizarse materiales de un color tal que exista un adecuado contraste con el entorno.

Se establece para la vestimenta de los trabajadores un color de fondo que debe ser fluorescente (verde limón, naranja o rojo), que permita una adecuada visualización durante el día o cuando existe una baja visibilidad, como durante el amanecer, al atardecer o en el día con niebla o lluvia.

Para la noche, la visualización se logrará gracias a elementos reflectivos que estarán pegados sobre el color de fondo. Un caso particular es la vestimenta del banderero, la que siempre debe ser completa y de color de fondo naranja.

Un punto importante dentro de la seguridad personal es la protección auditiva, esto debido a los trabajos que se realizan al interior o exterior del túnel, a la maquinaria pesada en operación, a las máquinas de generación de luz y de aire, para ello es necesario el uso de tapones endoaurales, con niveles de atenuación entre 24 y 36 dB dependiendo del nivel de presión acústica de cada trabajo que se esté llevando a cabo y de la maquinaria que se encuentre en las zonas de tránsito. Estos tapones se podrán sustituir por orejeras adaptadas al casco de protección de la cabeza con los mismos niveles de protección en caso de que el trabajador lo desee.

Todo el personal debe usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualquier otro medio con el que desarrollar su actividad.

Se deberá revisar en forma periódica el estado de los elementos de protección personal y verificar su uso por parte de los trabajadores.

18.4. MEDIDAS PREVENTIVAS

18.4.1. Durante los trabajos de perforación

Durante la excavación de un túnel la perforación de los barrenos para alojar anclas o las cargas de material para voladuras, se realiza mediante martillos hidráulicos montados sobre maquinaria pesada denominada jumbo.

Para conseguir una voladura eficiente la perforación es muy importante, este trabajo debe efectuarse de forma correcta y con mucho cuidado para evitar accidentes durante todo el procedimiento, otro aspecto a considerar es que la calidad de los barrenos que se perforan están determinados por cuatro condiciones: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad del mismo, esto se logra empleando de forma adecuada la maquinaria destinada para la realización de dicho trabajo.

La máquina habitual de perforación es el jumbo, la cual puede estar dotada de dos o tres brazos articulados, según los modelos. El funcionamiento de los jumbos es eléctrico cuando están estacionados en situación de trabajo y pueden disponer también de un motor diesel para el desplazamiento, por ello es necesario que las zonas de tránsito se encuentren debidamente señaladas para evitar atropellamientos.

Si la perforación en la roca se realiza con inyección de agua, la perforadora deberá ser de un tipo tal que no pueda funcionar si no llega el agua. En la perforación con inyección de agua, esta deberá penetrar hasta el fondo del orificio en cantidad y con la presión suficiente para neutralizar el polvo.

La perforación mediante jumbo se deberá realizar con un frente libre de personal o que éste se mantenga fuera del área de peligro llevando consigo ropa de alta visibilidad, el operador como los demás trabajadores encargados del funcionamiento del jumbo deberán llevar consigo protección antirruído diferente a los tapones para oídos comunes, de la misma manera el jumbo deberá usar todas sus luces para aviso de movimiento y utilizar la perforación húmeda o eliminadores de polvo.



Figura 18.33. Trabajos de perforación con jumbo, las zonas de trabajo próximas deberán estar libres de personal de obra para evitar ser golpeado o aplastado.

En la colocación de anclas y limpieza de barrenos, la ubicación del manipulador telescópico y de la cesta en la propia plataforma de trabajo equivale a una mayor precisión en los movimientos de la misma, evitando accidentes ante una mala operación de la cesta por parte del maquinista, como caídas por parte del personal que se encargué de la colocación.



Figura 18.34. Instalación de anclas mediante maquinaria adecuada para la acción de trabajo a realizar.

Cuando se efectúen trabajos de perforación en roca, se deberán retirar los bloques de piedra inestables a fin de prevenir los riesgos de desprendimiento, y si no fuera posible hacerlo, se debe instalar una cubierta o una malla de protección por encima de los lugares de trabajo. Los encargados de realizar faenas de perforación, deberán llevar gafas protectoras y guantes gruesos, cuando la perforación de la roca se haga en seco, se deberá prever un sistema eficaz para aspirar y recoger el polvo.



Figura 18.35. Colocación de mallas de protección sobre la clave del túnel con apoyo de un manipulador telescópico con plataforma.

Antes de la colocación del sostenimiento del túnel es necesario el saneo o limpieza de la bóveda del túnel, todos estos trabajos deberán ser realizados mediante maquinaria pesada, para evitar la caída de rocas o del mismo material producto de la excavación sobre algún trabajador, el personal que se encuentre laborando cerca del frente deberá mantenerse a una distancia segura y en todo momento usar su equipo de seguridad y estar atento a las maniobras por parte del operador.

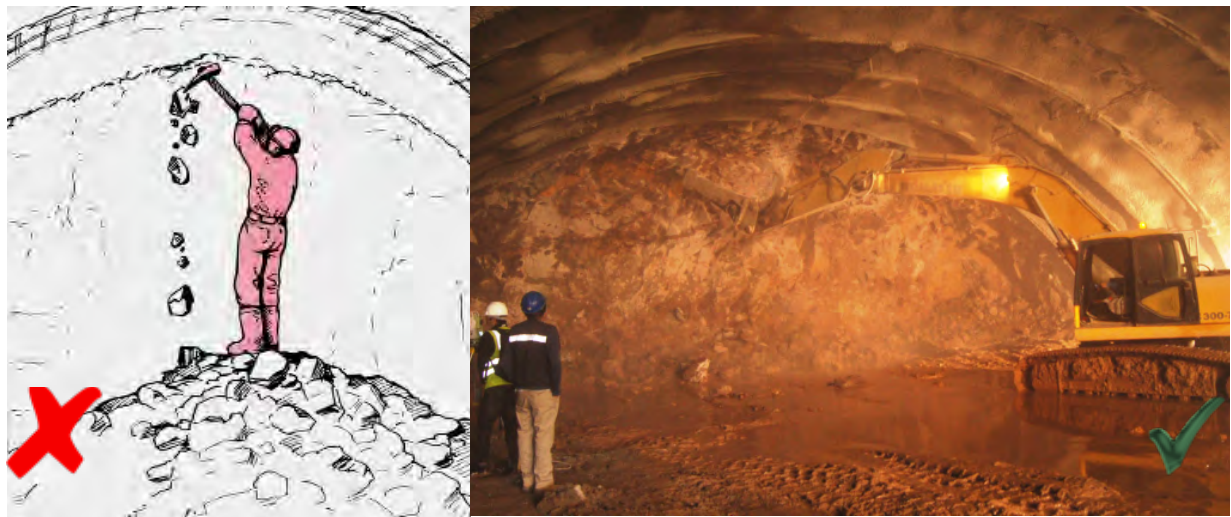


Figura 18.36. Saneo del frente de excavación mediante retroexcavadora con martillo hidráulico.

Las plataformas o andamios de operación altas, deberán estar provistas de medios de acceso seguro, barandillas y pedestales, así como de medios apropiados para guardar los barrenos, por ejemplo, tableros con ganchos o cajas. Se pueden utilizar pernos para asegurar los tramos relativamente macizos de roca; la roca despedazada y la tierra, pudieran requerir arriostramiento y apuntalamiento.

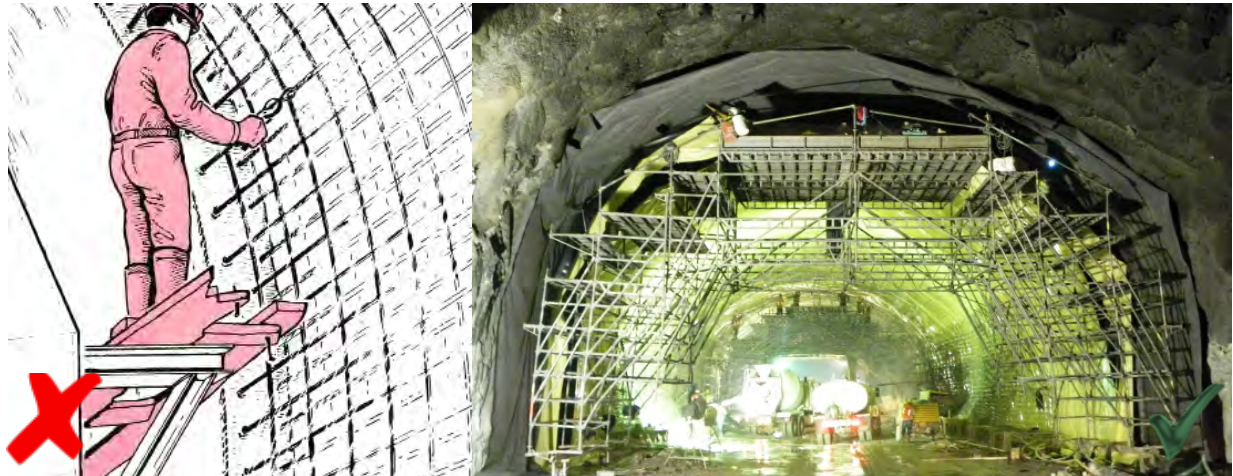


Figura 18.37. Los trabajos sobre andamios deben realizarse instalando dispositivos de seguridad adecuados.

Tanto las bombas y robots lanzadores de concreto descargan a menudo el material a alta velocidad, la abertura de descarga debe asegurarse y protegerse, así mismo verificar bien todos los puntos de las tuberías de alimentación.

No debe permitirse que ninguna persona trabaje en las proximidades de una tubería o manguera de descarga de alta velocidad. Las mezclas que se usan en el lanzamiento de concreto, contienen sustancias que pueden afectar a la piel y los ojos. Son esenciales las protecciones adecuadas de vestir para proteger la piel, las protecciones oculares, como también la respectiva protección respiratoria.

El sistema de concreto lanzado ya sea mediante bomba o robot para su uso en la obra debe regirse bajo la supervisión y realización de personal calificado para dichos trabajos, ya que al realizarse en una zona confinada (interior del túnel principalmente) se generan problemas de escasa visibilidad durante el lanzamiento, la humedad de la zona aumenta provocando escurrimientos o caídos de concreto y si no existe control de aire (poco o mucho en el robot) se incrementa el rebote de concreto, lo cual resulta peligroso si el operador no trae casco protector con mascarilla.



Figura 18.38. Lanzado de concreto usando manipulador telescópico para el caso de uso de bomba manual.

Cuando el lanzamiento de concreto se realiza con robot lanzador el operador debe mantenerse a una distancia mínima de 5 metros del área de lanzamiento y así no correr peligro de caídas de material, polvo excesivo o de rebote de concreto, es importante que el operador del robot use casco protector con mascarilla respiratoria y el área de trabajo este alumbrada adecuadamente.

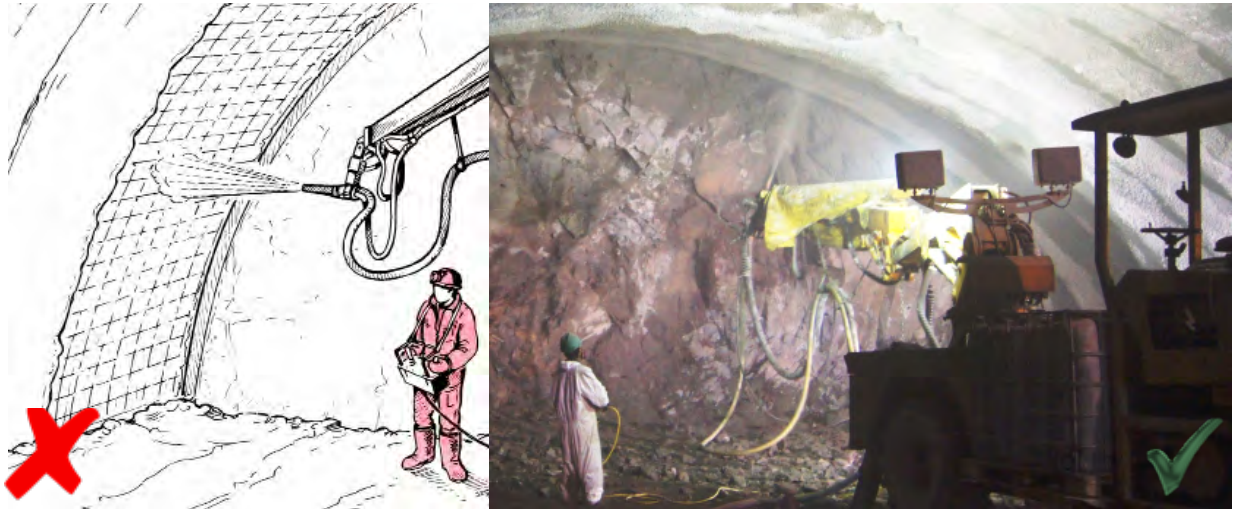


Figura 18.39. Lanzado de concreto mediante robot lanzador en el frente de excavación del túnel.

18.4.2. Durante los trabajos de preparación para la voladura

Los tipos de explosivos que deben utilizarse en túneles carreteros dependen de las características de la roca, principalmente de su densidad, resistencia a compresión y velocidad de propagación sónica de la roca. Además los explosivos, durante la detonación, deben generar gases no tóxicos, lo que limita el tipo de explosivos en interior. Algunos de explosivos más comunes usados para la realización de voladuras en túneles carreteros son: explosivos de nitroglicerina, dinamitas, oxígeno líquido, mezclas de nitrato amónico/ fuel oil (ANFO), bien en polvo o en forma pastosa.

Los principales accesorios son: mecha de seguridad (que tienen una velocidad regular de encendido), detonadores simples, detonadores eléctricos instantáneos o retardados, relés de detonación, mechas de detonación (no se queman sino que detonan a alta velocidad), cordel de ignición y conexasores explosores (aparatos o máquinas provocadoras de la explosión), comprobadores de circuito, cables de conexión, activadores del detonador e ignidores de mecha.

A los frentes de trabajo donde se realizara voladura se llevará solamente la cantidad de explosivo, mechas o guías de detonación y cordones detonantes, necesarios para el disparo y esto deberá hacerse en el momento de cargar los tiros.



Figura 18.40. Explosivo (izquierda), mechas o guías de detonación (centro) y cordones detonantes (derecha).

Los explosivos no podrán ser llevados a los frentes de trabajo sino en forma de cartuchos, en envases cerrados, dentro de cajas de madera, aluminio o envase original. Cada caja contendrá sólo una clase de explosivo y las lámparas de llama abierta o fuego se mantendrán lejos de estas cajas, las que se deberán proteger además, de caídas de rocas, de explosiones de tiros o de choques violentos, No se deberá sacar la dinamita de su envase original hasta el momento de cargarla en los orificios de barreno.



Figura 18.41. Personal capacitado para la manipulación de explosivos, colocación de cordón detonante.

Cuando exista explosivo sobrante, este deberá ser devuelto al almacén o a cajones de devolución con llave, especialmente diseñados y autorizados por la autoridad respectiva. No se deberá proporcionar a los trabajadores dinamita congelada o exudada; todo cartucho con cualquiera de estas características será entregado inmediatamente al supervisor, quien designará a un empleado especializado en la materia para que lo destruya conforme a la reglamentación establecida.

Los circuitos de voladura mediante pega eléctrica deberán ser independientes del circuito de energía eléctrica o de alumbrado o de cualquier otro circuito, además se deberán verificar los circuitos de voladura antes de incorporar los detonadores. No se deberá instalar ningún otro circuito eléctrico en el mismo lado del túnel donde haya un circuito de voladura. Antes de proceder a la pega se deberá poner fuera de tensión a todos los circuitos eléctricos, salvo el de la voladura, hasta una distancia suficiente del punto de la pega.

El alumbrado requerido para proceder al atacado de barrenos, deberá asegurarse exclusivamente con lámparas de pila apropiadas, así mismo no se deberán dejar sin vigilancia barrenos cargados al terminar el turno de trabajo si así resultara el caso.

En el momento oportuno antes del aviso final de voladura, los trabajadores deberán ponerse bajo resguardo en lugares seguros previamente fijados.

Es importante la supervisión al momento de la colocación de las cápsulas explosivas, mechas de seguridad, cables eléctricos y demás materiales de voladura, ya que deberán ajustarse a las disposiciones de los reglamentos y normas nacionales u otras reglamentaciones oficiales.

Un minuto antes de la voladura se deberá dar una señal audible e inconfundible; después de efectuada la voladura, una vez que la persona responsable se haya cerciorado de que no hay peligro, debería darse una señal acústica distinta de fin de peligro.



Figura 18.42. Supervisión de la colocación de explosivo (ANFO) en el frente de excavación.

Con el objeto de impedir la entrada de personas a la zona de “peligro” debido a la realización de trabajos de voladura se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

- Se colocará personal encargado de vigilar el alrededor de la zona de operaciones;
- Se desplegará banderines de aviso (empleo de explosivos) y precaución, los cuales deberán ser visibles y colocados en diferentes puntos alrededor de la zona de operaciones.

Todos los trabajadores deben salir del túnel antes de la voladura. El técnico en explosivos y el supervisor de turno serán los últimos en abandonar el túnel.

En barrenos mojados podrían utilizarse mechas, cápsulas de pega eléctrica o cápsulas atacadas debidamente a la mecha de seguridad.

La señalización de aviso e informativas de trabajos de voladura se deberá de colocar en la zona del portal del túnel, así mismo se indicará mediante señales acústicas y sistema de banderines el fin de peligro.



Figura 18.43. Colocación de cintas de precaución e informativas de voladura en la zona del portal del túnel.

Después de cada voladura deberán inspeccionarse las paredes y el techo, además se deberán retirar los bloques de piedra inestables mediante medios mecánicos.

Toda voladura origina, en mayor o en menor grado, gases tóxicos producidos por las diversas reacciones químicas que ocurren durante una explosión, el uso del ANFO, por ejemplo, genera diversos óxidos de nitrógeno los mismos, que aún en bajas concentraciones pueden resultar mortales.

Después de cada voladura se deberán tomar todas las precauciones posibles para evitar la contaminación por polvos en los trabajadores. El técnico en explosivos y el supervisor de turno, deben ser las primeras personas que entren al túnel después de la explosión. Se hará una inspección cuidadosa del frente y del derrumbe para buscar agujeros en el nivel del corte y barrenos cebados.



Figura 18.44. Verificación del frente de excavación después de la realización de la voladura.

18.5. HIGIENE Y PLANES DE EMERGENCIA

Considerando los trabajos que se realizan al momento de construir un túnel debemos tener presente que, además de los riesgos higiénicos derivados de la construcción en espacios al aire libre, hay que tener presente los derivados por la condición de trabajar en un espacio confinado, entendiendo como tal: “cualquier espacio con aberturas limitadas de entrada y salida, ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos, inflamables o explosivos, o tener deficiente en oxígeno, y que no está concebido para una ocupación continuada por parte del trabajador”.

En éste tipo de escenarios los riesgos específicos a controlar son:

- Atmósferas asfixiantes, cuando la concentración de oxígeno es inferior al 19.5% en volumen.
- Atmósferas inflamables/explosivas, cuando la concentración de combustible es superior al 20% del Límite Inferior de Explosividad (LIE).
- Atmósferas tóxicas, cuando las concentraciones de los agentes químicos presentes superan los valores de límites ambientales.

18.5.1. Contaminantes físicos

Los cuales se presentan en las siguientes condiciones:

- **Ruido:** debido a los equipos de excavación, perforación, plantas de luz, maquinaria pesada de transporte, compresores, equipos de filtrado, ventiladores internos, herramientas mecánicas.

Durante las actividades de perforación (barreno para anclas, drenes, etc.) al interior del túnel, la exposición por parte de los trabajadores de obra aumenta de manera considerable por ellos es necesario mitigar sus efectos dando mantenimiento a la maquinaria utilizada y principalmente el uso de protección auditiva adecuada al trabajo realizado.



Figura 18.45. Perforación de barreno para dren al interior del túnel.

- **Radiaciones:** las cuales se presentan en los trabajos de soldadura, por lo que es necesario la utilización de equipos de protección visual con cristales coloreados adecuados a la radiación (pantallas o gafas de soldadura).
- **Ambiente térmico:** baja/alta temperatura, corrientes de aire; por lo que se debe aplicar las medidas necesarias para proteger del frío/calor y de la humedad a los trabajadores expuestos, incluyendo el suministro de la ropa adecuada
- **Vibraciones:** la cual se presenta durante el manejo de máquinas (cuerpo entero), herramientas mecánicas (mano-brazo). Para evitar vibraciones en exceso es necesario la elección de equipo de trabajo adecuado, dar mantenimiento a la maquinaria, reducir en lo posible las irregularidades del terreno, tener cabinas y asientos con suspensión integrada, niveles de inflado adecuado de neumáticos, establecer las pausas correspondientes en el trabajo, así como tener empuñaduras anti vibratorias en las herramientas mecánicas (asas, mangos o cubiertas).
- **Iluminación:** generada en el frente de trabajo, zonas de paso emergencia y señalización, se debe tener presente el mantenimiento y limpieza de los diferentes tipos de luminarias, así como el alumbrado de emergencia deberá mantener los niveles de iluminación exigibles para evitar problemas con la iluminación temporal instalada.



Figura 18.46. Iluminación del frente de excavación donde no se presenta deslumbramiento ni brillo excesivo.

18.5.2. Contaminantes químicos

Los cuales se presentan en las siguientes condiciones:

- **Ambiente pulvígeno:** el cual se presenta en los trabajos de excavación, perforación, movimiento de maquinaria, y lanzado de concreto, por lo que se debe realizar una comprobación periódica de las condiciones ambientales, verificar nivel de sílice después del lanzado de concreto, seleccionar equipos con aspiración incorporada, empleo de vía húmeda.



Figura 18.47. Generación de polvo debido al lanzado de concreto en el frente de excavación.

- **Gases:** resultado de la combustión de la maquinaria y/o equipos, así como también los que son resultado de las voladuras, para evitar la concentración de gases es necesario la comprobación periódica de las condiciones ambientales, ventilación adecuada del sistema constructivo desarrollado, empleo de catalizadores en los motores de combustión, mantenimiento de la maquinaria.



Figura 18.48. Toda la maquinaria pesada usa como combustible diesel, generando CO₂ al interior del túnel.

El uso de maquinaria y equipos genera gases (principalmente dióxido de carbono (CO₂) el cual aumenta si la actividad a ejecutar requiere de mucho tiempo) esto debido al combustible que utilizan, por ello es necesario adoptar planes para el uso adecuado de la maquinarias dependiendo de la actividad a realizar y que los tiempos de uso se reduzcan. Para todo el personal es necesaria la utilización de protección respiratoria adecuada y la ventilación del túnel deberá ser la suficiente para limpiar y extraer los gases generados.

- **Vapores:** producto del uso de desencofrantes, aditivos, sellados y termosellados; para lo cual se recomienda la comprobación periódica de las condiciones ambientales, utilización de protección respiratoria adecuada al proceso realizado, adoptar las medidas previstas en la etiqueta y ficha de datos de seguridad del producto suministrado por el fabricante.
- **Sustancias cáusticas y/o corrosivas:** al momento de utilizar concreto lanzado, cementos, productos de limpieza (desincrustante), es necesario la utilización de equipos de protección individual adecuados a la actividad realizada y adoptar las medidas previstas en la etiqueta y ficha de datos de seguridad del producto, suministrada por el fabricante.

Finalmente existen los contaminantes biológicos, que son los causados por seres vivos: bacterias, picaduras de insectos, intoxicación por el contacto con plantas, etc. para ello es necesario que cada trabajador de obra tome sus propias precauciones como el ingerir alimentos y agua (evitar tomar agua estancada o de dudosa procedencia) en buen estado y limpios, así mismo deberá emplear repelentes para insectos si las condiciones de la zona de obra lo requieren.

18.5.3. Plan de autoprotección y emergencia

El objeto de realizar un Plan de Emergencia, alarma y evacuación, es con el objetivo de establecer un procedimiento que organice unas normas de actuación inmediatas, a la hora de hacer frente a situaciones potencialmente graves, que puedan producirse en los trabajos de construcción del túnel. Dicho procedimiento contempla la asistencia, evacuación y puesta a salvo del personal que trabaje o esté en la obra y personas ajenas a ella que permanezcan en las proximidades, así como la intervención oportuna de los servicios médicos y/o de emergencia para minimizar los daños, ya sean materiales o humanos.

La obra dispondrá de personal asignado para las labores de emergencia y seguridad, quien será el encargado de dirigir y coordinar las distintas actuaciones de emergencia que pudieran presentarse en el túnel, además de ser el encargado de informar y dar una visión general de la obra a desarrollar a todo el personal que forme parte de la obra, reflejando las diferentes unidades (túnel, talleres, oficinas, etc.) indicando la ubicación física y accesos a los diferentes áreas o zonas de trabajo.

Existirán servicios responsables de las distintas labores que pudieran resultar necesarias, como son:

- Extinción y socorrismo.
- Asistencia sanitaria.
- Evacuación.
- Mantenimiento de servicios e instalaciones.
- Otros trabajos.

Desde estos servicios se prestará el apoyo correspondiente a la organización de emergencia prevista en cada uno de los puntos de trabajo.

Así mismo, se identifican los apoyos externos que pudieran resultar necesarios para hacer frente a cualquier emergencia y se coordinarán, en su caso, las operaciones de los mismos con los servicios de emergencia exterior.

Para organizar una adecuada comunicación entre los diferentes niveles, en la obra se dispondrá de un centro de coordinación de Operaciones, que suele ser las oficinas de obra, donde se comunicarán las diferentes situaciones de emergencia.

El Plan de Emergencia desarrollado comprenderá la organización de los medios humanos y materiales para:

- Prevenir riesgos y garantizar la intervención inmediata de los servicios de emergencia.
- Garantizar la relación de primeros auxilios y la evacuación en situaciones de; accidentes laborales, incendios, generación de humos, inundaciones y hundimientos, etc.

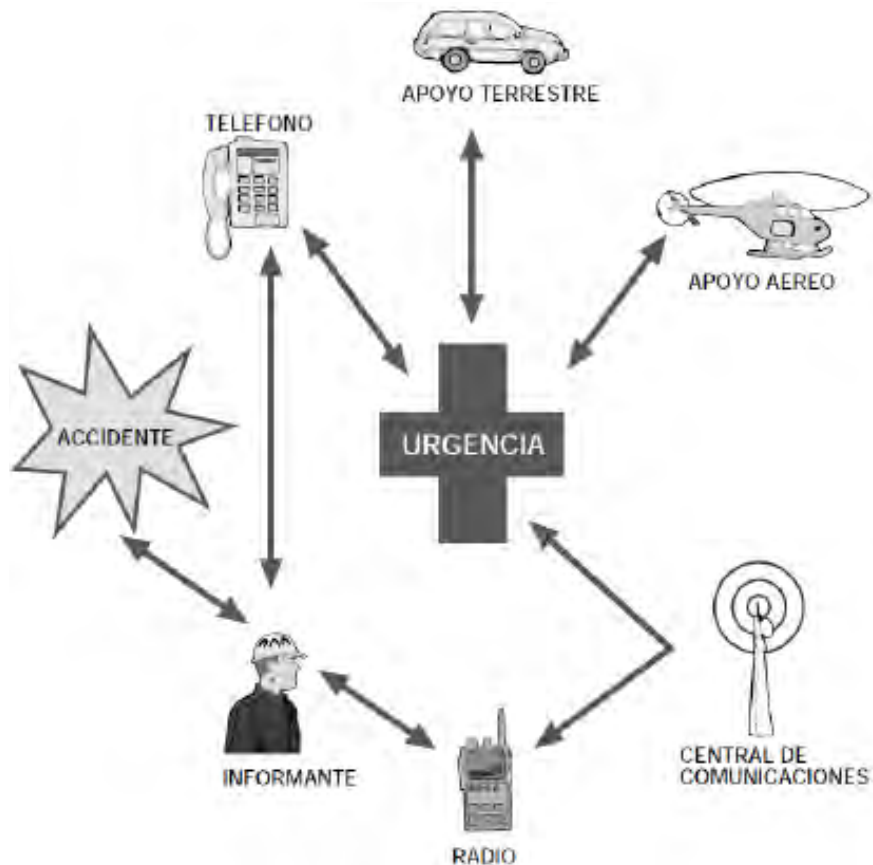


Figura 18.49. Procedimiento a seguir en caso de accidente.

Para tener un mejor control de la seguridad y autoprotección, se tendrán que realizar las siguientes actividades:

- Se revisarán y dará mantenimiento a los procedimientos de actuación en caso de accidentes, sea cual fuere su origen.
- Planificación de simulacros y actuación de los equipos intervinientes.
- Mantener relaciones de comunicación adecuadas con; apoyo exterior, autoridades competentes, medios de comunicación e información.

Se formarán equipos de primeros auxilios integrados por personal de obra de cada turno, con formación y entrenamiento adecuado en extinción de incendios, primeros auxilios, evacuación y rescate.

También existirá una brigada de seguridad encargada de la colocación y manteniendo de todas las medidas preventivas que se han descrito, así como de servicio médico dotado de local botiquín y ambulancia para la asistencia de accidentes.

18.5.4. Primeros auxilios

Cada proyecto de túnel deberá contar con la instalación de una unidad de primeros auxilios y personal capacitado para su atención. Los botiquines, camillas y demás equipamiento necesario para trasladar heridos deben mantenerse limpios y estar instalados en lugares accesibles listos para su uso.

Deberá existir, siempre disponible, una ambulancia o un vehículo de similares características para el traslado de accidentados a un centro asistencial, y un sistema de comunicaciones expedito con el centro asistencial previamente determinado.

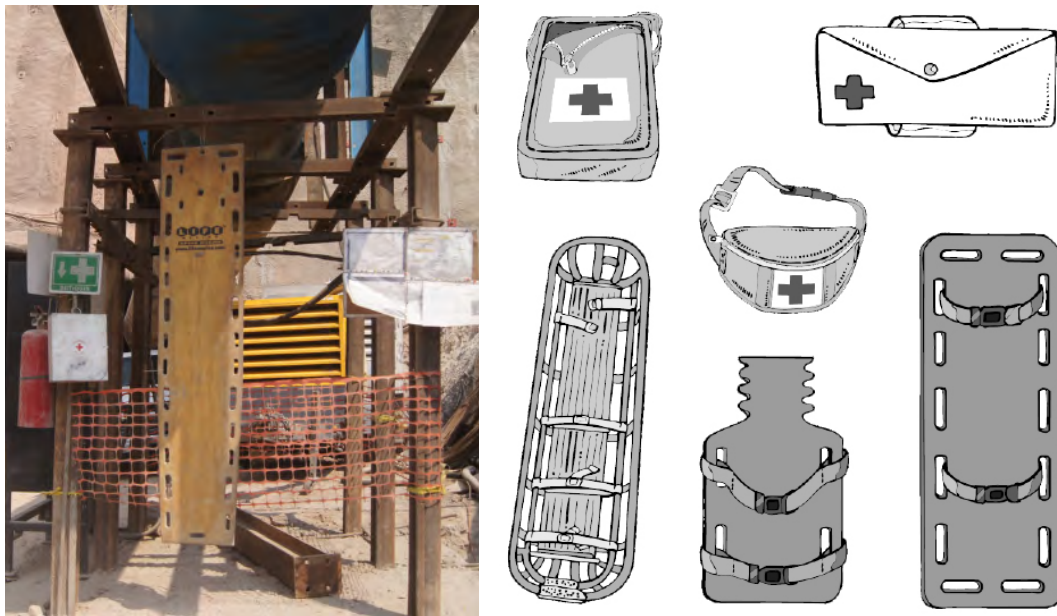


Figura 18.50. Equipo básico de primeros auxilios.

REFERENCIAS

- 1 López J. C. Manual de Túneles y Obras Subterráneas, Tomos I y II, Ingeniería de Túneles, 2011.
- 2 Seguridad en el Trabajo en la Construcción de Túneles. Preparado por TBG y STUVA en cooperación con el grupo ITA de Salud y seguridad en el Trabajo. Traducido al español por AMITOS y AETOS.
- 3 Abella A. / García I. / Hacar F. El Túnel, Un Paso Más en el Camino, Seguridad, Normativa e Instalaciones. Arts&Press, 2012.
- 4 Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), Control de Riesgos en Obras en Construcción (Construcción de Túneles), <http://www.achs.cl>, (2006)
- 5 Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales (OSALAN), Túneles; Guía para la PRL en la Ejecución de Túneles, <http://www.osalan.net>, (2012)
- 6 Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR), Manual de Túneles de Carretera, <http://www.piarc.org>, (2011)