



CAPÍTULO 13. SEGUIMIENTO TÉCNICO Y AUSCULTACIÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE
SERVICIOS TÉCNICOS

CAPÍTULO 13. SEGUIMIENTO TÉCNICO Y AUSCULTACIÓN



Túnel Luis Cabrera, Supervía Poniente. Consultec Ingenieros Asociados, S.C.

13.1. INTRODUCCIÓN

La construcción de un túnel generalmente se afronta con un cierto grado de indeterminación e incertidumbre debido a las dificultades de investigación y reconocimiento del terreno antes y durante la excavación. Por ello es imprescindible realizar un control permanente durante el proceso de construcción.

Tomando en consideración las incertidumbres geotécnicas en el entorno geológico en que se construyen los túneles de carretera, así como los problemas constructivos que posiblemente se presenten, se requiere contar con empresas especializadas en túneles para brindar una Asesoría y/o Seguimiento Técnico permanente y detallado durante la construcción para orientar el debido apego al proyecto o, en su caso, proponer y/o avalar las adecuaciones que resulten pertinentes.

13.2. OBJETIVO

Contar con una empresa o consorcio de empresas especialistas en túneles para dar seguimiento Técnico al Proyecto, teniendo la responsabilidad de vigilar que las obras se ejecuten con apego al proyecto del túnel y a las especificaciones generales y particulares contenidas en el mismo; realizando con oportunidad todas las aclaraciones y precisiones necesarias, a efecto de facilitar que la construcción progrese y avance sin demoras y con la mayor seguridad posible.

Asimismo, la empresa de Seguimiento Técnico o de Proyecto de túneles debe revisar toda la información existente del o los proyectos y dar seguimiento a las posibles adecuaciones que se generen como consecuencia de los procedimientos y equipos de construcción específicos que utilizarán los Constructores, o bien por condiciones naturales no previstas, con objeto de poder revisar y validar en conjunto con la SCT las soluciones lo antes posible. Por lo que respecta a los aspectos geológicos y geotécnicos, la empresa de Seguimiento de Proyecto, tendrá a su cargo y responsabilidad la verificación de las consideraciones originales de los túneles indicadas en el proyecto, haciendo en su caso las adecuaciones necesarias durante la construcción del túnel.

La Asesoría y/o Seguimiento Técnico en obra del proyecto ejecutivo del o los túneles, debe incluir las adecuaciones, modificaciones y los requerimientos que se presenten durante el periodo de su construcción, las que serán debidamente comunicadas y sustentadas ante la SCT para su manejo contractual correspondiente.

La base para llevar a cabo el Seguimiento será el proyecto, la información contenida en los planos, especificaciones, informes, estudios y demás documentos constructivos, mismos que serán proporcionados por la SCT y, entregados a la empresa contratista que llevará a cabo la construcción del túnel.

13.3. INTERACCIÓN ENTRE LAS PARTES INVOLUCRADAS EN LA OBRA

La empresa especialista en túneles que dará Asesoría y Seguimiento Técnico al proyecto durante su construcción, deberá trabajar en completa coordinación con el personal técnico de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) y/o personal de la Dirección General de Carreteras (DGC) de la SCT, así como con las Residencias de obra y los Centros SCT de la zona correspondiente, la Supervisión de la obra (en su caso) y la Empresa Contratista encargada de la construcción.

De manera complementaria a las actividades de la Supervisión, y sin que éstas se dupliquen, la empresa que brindará la Asesoría y/o Seguimiento Técnico durante la Construcción del túnel, tendrá un carácter especializado dirigido a vigilar y ajustar todos los aspectos técnicos del proyecto que se requieran durante la construcción; en algunos casos, sí la Secretaría lo considera conveniente la misma empresa podrá realizar los trabajos de supervisión, sobre todo cuando se trate de uno o dos túneles de la misma carretera. En caso de que en la misma carretera existan tres o más túneles es conveniente que exista una figura de Supervisión y otra de Asesoría y Seguimiento Técnico o de proyecto. En caso de que existan las dos figuras, debe tenerse el cuidado necesario para que no exista duplicidad de actividades.

La empresa de seguimiento deberá mantener con la Residencia y el Centro SCT correspondiente, una comunicación continua para reportar oportunamente la correspondencia entre el proyecto y la obra. Asimismo deberá reportar las adecuaciones necesarias al proyecto que se recomiendan debido a la actualización de la información geotécnica que se genere durante el Seguimiento de Técnico; así mismo deberá revisar las propuestas efectuadas por la Constructora y, en conjunto con la SCT dar una respuesta de su aplicación o no y en su defecto proponer una mejor propuesta de solución.

13.4. ACTIVIDADES DEL SEGUIMIENTO TÉCNICO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

Las actividades específicas que se recomiendan llevar a cabo como parte del Seguimiento Técnico del Proyecto de túneles y que serán coordinadas por la SCT, son las siguientes:

- a) Integración y análisis del expediente de la Constructora, de los estudios y proyecto constructivo del (los) túnel (s).
- b) Verificación topográfica de los tajos de acceso y de los soportes de estabilización, incluyendo en su caso las adecuaciones al proyecto que se requieran.

- c) Seccionamiento de la excavación y confrontación de la geometría y los aspectos geotécnicos relevantes de las secciones excavadas del túnel.
- d) Cartografía geológica y caracterización geotécnica durante la excavación del túnel y obras de acceso.
- e) Verificación y seguimiento en obra del suministro y colocación de los sistemas de excavación, soporte y sostenimiento (concreto lanzado, anclas, marcos, etc.). Incluyendo soluciones a problemas que se presenten durante la construcción.
- f) Verificación, integración e interpretación de las mediciones de comportamiento de las excavaciones del túnel y obras de acceso.
- g) Verificación de la construcción del drenaje, del revestimiento definitivo del túnel, túneles falsos y pavimento.
- h) Recopilación, revisión y procesamiento de los datos de los ensayos de laboratorio.
- i) Elaboración de planos “as built”.

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

En una etapa previa al inicio de las obras de construcción deberá llevarse a cabo la recopilación e integración de los estudios y planos constructivos del túnel, efectuando una revisión exhaustiva y detallada del proyecto ejecutivo del túnel y de las obras de emportalamiento. La integración y revisión del proyecto deberá realizarse paralelamente con recorridos de campo por parte del geólogo de la empresa de Seguimiento de Proyecto para verificar la geología del sitio y la consistencia del modelo geológico de proyecto dónde será construido el túnel.

De ser posible, se deberán de revisar los núcleos extraídos de los sondeos durante la etapa de proyecto. También será necesario verificar los datos topográficos y de trazo de las obras tales como elevaciones, alineamientos vertical y horizontal, alturas de los cortes y la no afectación de estos a estructuras preexistentes en superficie, etc.

Se deberá elaborar un informe sobre la calidad y consistencia del proyecto, previendo posibles problemas que no hubieran sido detectados en la etapa de estudios.

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

La primera actividad que debe desarrollar la empresa de Seguimiento de Proyecto al llegar al sitio donde se construirá el túnel, es replantear en campo los ceros de corte y ubicar las contracunetas (en caso de existir) del tajo de acceso al túnel, verificando no invadir el derecho de vía. También debe trazarse en campo el espacio para alojar el cuarto de control y monitoreo del túnel.

Debe evitarse que durante la construcción de los caminos de acceso se perturbe o altere la geometría de los taludes y la posición del emportalamiento de proyecto. Una vez iniciada la construcción del portal, se debe llevar a cabo una rigurosa verificación para que el tajo de acceso al túnel se realice conforme a proyecto, verificando la geométrica y pendiente de los taludes; que los banqueos se realicen con las alturas adecuadas y con un diseño de las voladuras (en caso de roca) que brinden la mejor calidad y eficiencia posible. Así mismo se debe verificar que para cada banqueo se implementen oportuna y adecuadamente los tratamientos previstos en el proyecto, ya sea concreto lanzado con malla o fibra, anclajes activos o pasivos y drenes profundos, por mencionar algunos. Se debe evitar excavar completamente el corte y después ejecutar los tratamientos.

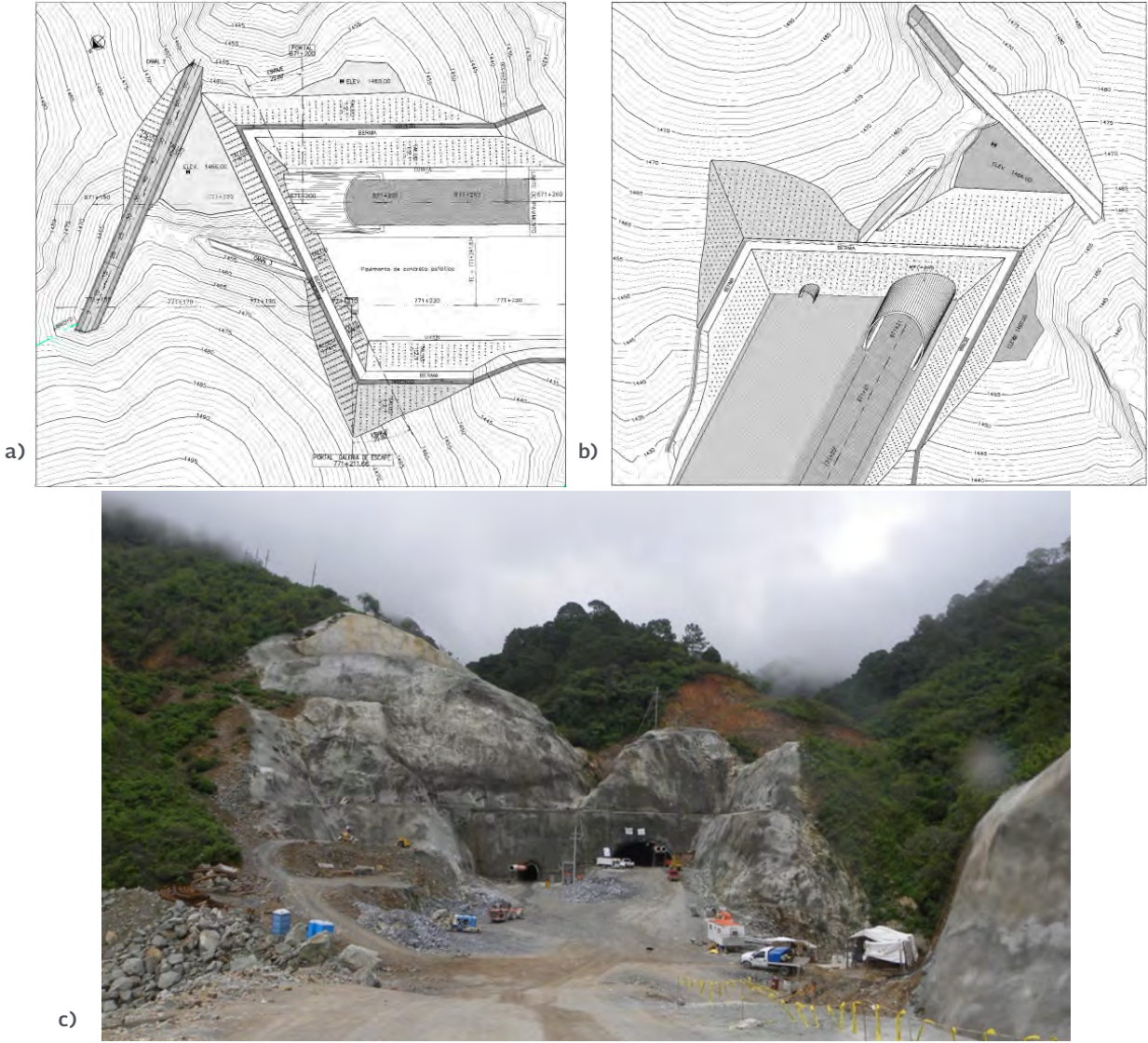
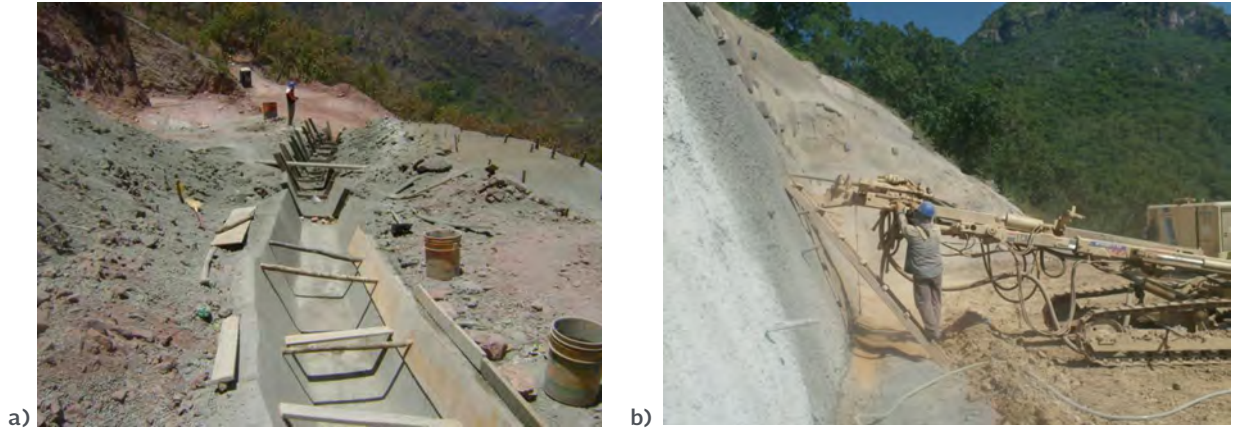


Figura 13.1. Ejemplo del emportalamiento de un túnel: a) Vista en planta; b) Isométrico y c) Fotografía durante la construcción.



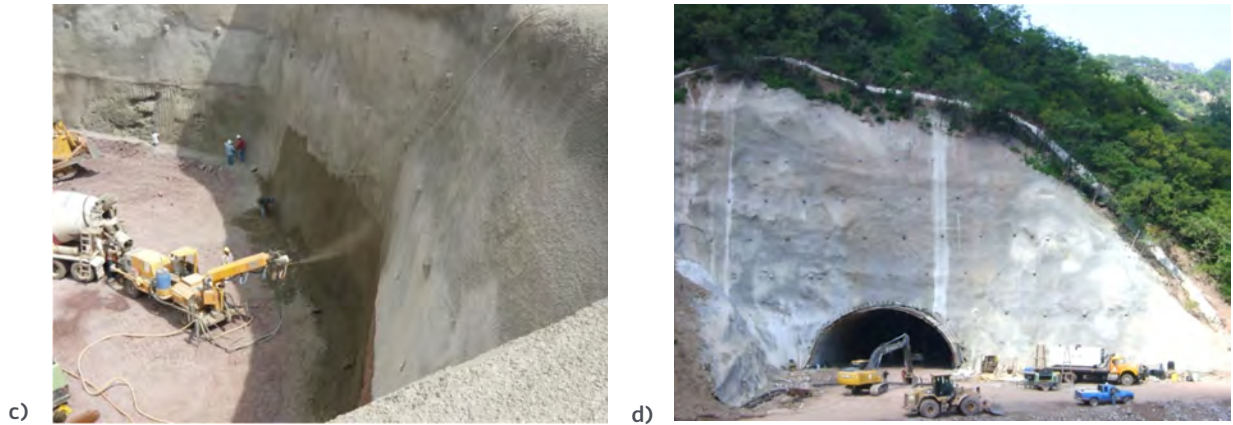


Figura 13.2. Ejemplo de ejecución de obras en el emportalamiento de un túnel: a) Construcción de contracuneta; b) Instalación de drenes; c) Estabilización de taludes mediante concreto lanzado y d) Vista de un portal terminado.

13.5.3. Seccionamiento de la excavación y confrontación de la geometría y los aspectos geotécnicos relevantes de las secciones excavadas del túnel

Para precisar los datos topográficos de campo, la empresa de Seguimiento de Proyecto entregará a la Constructora el trazo del túnel, tomando como base las referencias y los bancos de nivel con los que fue proyectado. Al término parcial y/o total de esta actividad, deberá informar a la SCT anexando acta de entrega-recepción firmada por ambas partes.

En caso de que a la Constructora ya se le haya entregado el trazo y los bancos de nivel por parte de la SCT, la empresa de Seguimiento de Proyecto deberá llevar a cabo el replanteo de trazo y revisión de bancos de nivel para compararlo con lo entregado, sustituyendo el acta de entrega – recepción por un informe detallado de los trabajos en los que describa (si es el caso), las diferencias encontradas respecto al proyecto y/o lo entregado por la SCT, así como sus recomendaciones para corrección, en su caso.

Con los datos de control topográfico conciliados, la empresa de Seguimiento de Proyecto deberá: verificar que los cortes a cielo abierto sigan la geometría definida en proyecto o la definida en la fase de adecuación del proyecto; procurar que los alineamientos vertical y horizontal propios del trazo de la carretera se cumplan; revisar el trazo de las excavaciones subterráneas y controlar que éstas no se desvíen de los alineamientos.

Una de las actividades fundamentales que debe llevarse a cabo es verificar que las excavaciones del túnel se realicen conforme a lo establecido en el proyecto, cuidando en especial que se respete su geometría, las fases y los avances de excavación especificados en proyecto, o en las adecuaciones efectuadas al mismo.

Durante la excavación del túnel se debe efectuar un seccionamiento para compararlo con la sección teórica de excavación del proyecto y verificar que no se esté sobreexcavando o subexcavando y, verificar si las imprecisiones en el perfil excavado están dentro de los límites tolerables o en su defecto, sugerir mejoras en las voladuras, equipos, etc. (Figura 13.3). Asimismo, una vez lanzado el concreto en el contorno de la excavación, se debe repetir la operación de seccionamiento para verificar que los espesores de concreto lanzado cumplan lo especificado en proyecto. Esta herramienta es de gran utilidad para verificar la calidad de las excavaciones y los sistemas de estabilización (concreto lanzado) y obtener volúmenes reales de excavación y tratamiento.

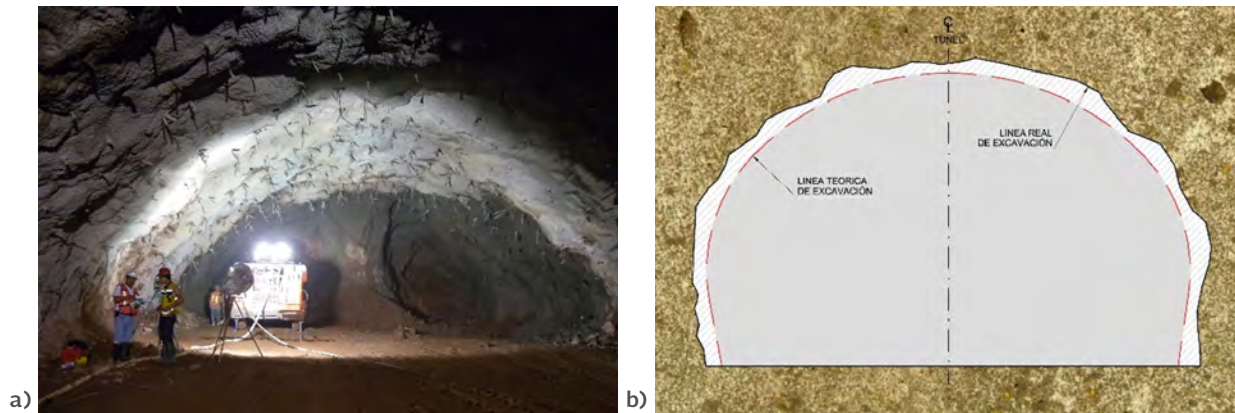


Figura 13.3. a) Seccionamiento del túnel y b) Comparativa de la sección de excavación.

13.5.4. Cartografía geológica y caracterización geotécnica durante la excavación del túnel y obras de acceso

Todo proyecto de túnel incluye una versión de la geología y la geotecnia del macizo, basada en la cantidad de exploración que fue posible realizar durante la etapa de estudios y proyecto y en la experiencia de los técnicos que elaboraron los estudios. Por otro lado, ningún túnel está exento de que su modelo geológico sea actualizado durante las excavaciones, de que sus caracterizaciones geotécnicas sean revaloradas y de que sus aspectos constructivos tales como geometría de las secciones de excavación, longitud de los avances y sistemas de estabilización, soporte y reforzamiento, sean revaloradas y recalculadas a medida que avanza la excavación del túnel.

Con base en lo anterior, durante la construcción del túnel, el geólogo y geotecnista de frente deberán llevar el control geológico-geotécnico de las obras para cada avance de las excavaciones, estos profesionales deberán levantar una cartografía o mapeo riguroso del terreno que incluye: definición litológica de los materiales; levantamiento estructural de discontinuidades (fracturas, estratos, contactos, fallas, etc.) y determinación de sus propiedades físicas y de resistencia (espaciamiento, rugosidad, relleno, humedad, persistencia, etc.); clasificación geomecánica (índices de calidad del macizo); estimación de parámetros de resistencia; aforos de entrada de agua a las excavaciones; evaluación cualitativa de la estabilidad de las excavaciones; registro fotográfico; etc. En la Figura 13.4, se observa al geólogo efectuando el levantamiento estructural en el frente de excavación de un túnel.



Figura 13.4. Levantamiento geológico estructural del frente de excavación en un túnel.

Con base en estos datos se deben elaborar fichas geológico-geotécnicas en estaciones para avances de al menos 5 metros de excavación o cuando se presenten cambios litológicos; presencia de fallas o zonas de materiales de mala calidad (Figura 13.5).

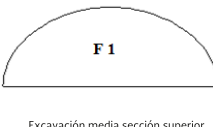
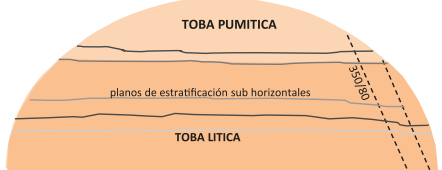
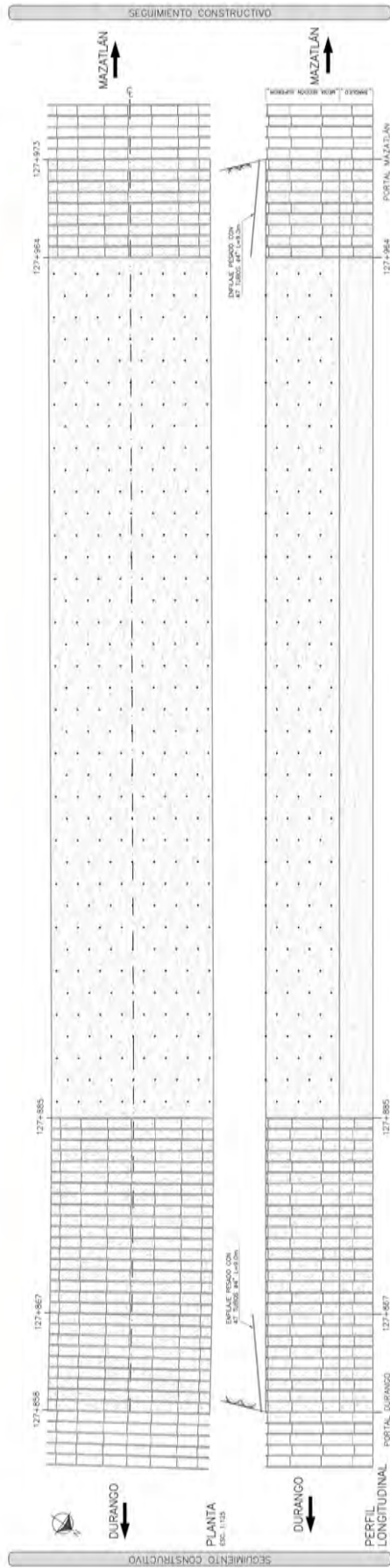
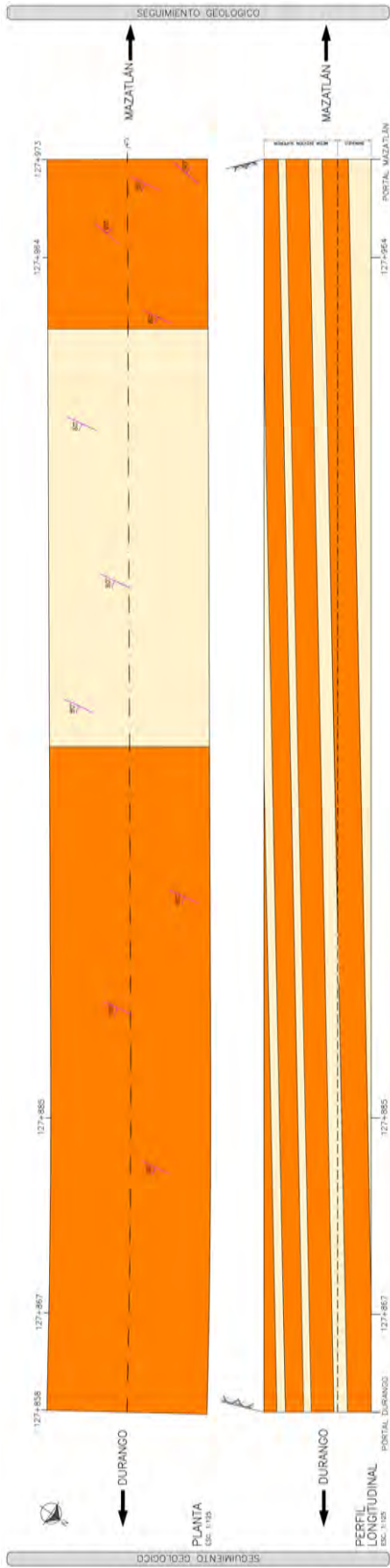
SEGUIMIENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL "LEONERAS II"										
FICHA GEOTÉCNICA DE FRENTE										
TUNEL:	Leoneras II			SOSTENIMIENTO			DESCRIPCIÓN DEL FRENTE Y OBSERVACIONES			
Frente	Durango			Andaje sistemático en patrón de 2.00 x 2.00 m y 10 cm de concreto			La litología que se observa en el frente de excavación es una toba pumítica de coloración blanca la cual se encuentra pseudoestratificada debido a su génesis, se encuentra en contacto inferior un toba lítica, la primera de coloración marrón posee fragmentos líticos de entre los 3 y los 5 cm. La segunda posee fragmentos líticos mayores a los 5 cm y se encuentra ligeramente húmeda.			
Fecha	27-jun-11			lanzado de f'c=300 kg/cm ² reforzado con fibras metálicas a razón de						
Cadenamiento	127+941.50			40 kg/m ³ .						
Longitud de avance	27.50 m									
RCS (Kg/cm ²)										
>2500	2500-1000	1000-500	500-250	250-50	50-10	<10	VALOR			
15	12	7	4	2	1	0	4			
ROD (%)										
90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	VALOR		Número de familias	Familia	Rumbo echado	Echado
20	17	13	6	3	13	1	1	350°	80°	
Separación (m)										
>2.00	0.6-2.0	0.2-0.6	0.06-0.20	<0.06	VALOR					
20	15	10	8	5	10					
Estado de las discontinuidades (familia principal)										
Persistencia (m)	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20	VALOR	 <p>Excavación media sección superior</p>			
	6	4	2	1	0	1				
Apertura (mm)	0	<0.10	0.1 a 1.0	1 a 5	>5	VALOR				
	6	5	3	1	0	1				
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Espejo	VALOR				
	6	5	3	1	0	3	FASES DE EXCAVACIÓN EN DIRECCIÓN DEL CADENAMIENTO			
Relleno	Sin relleno	Relleno duro	Relleno blando	VALOR						
	6	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm	6	ESQUEMA DE LA SECCIÓN DE EXCAVACIÓN: MEDIA SECCIÓN SUPERIOR			
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto	VALOR				
	6	5	3	1	0	5				
SUMA										43
Presencia de agua										
Seco	Algo húmedo	Húmedo	Goteo	Fluyendo	VALOR		RMR	CLASE		
15	10	7	4	0	10		48	III Calidad Media		
							Q Barton	CLASE		
							1.5596	Roca Mala		
Corrección por orientación de discontinuidades										
Dirección perpendicular al túnel					Dirección paralela al túnel		Subhorizontal			
Excavación hacia echado		Excavación contra echado								
45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	45° a 90°	20° a 45°	< 20°	VALOR			
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5				
CADENAMIENTO PORTALES DEL TÚNEL LEONERAS II										
PORTAL DURANGO				127+858						
PORTAL MAZATLÁN				127+973						
Cadena mient o 127+941.50										

Figura 13.5. Ficha geológico-geotécnica del frente de excavación de túnel.

Así mismo se debe llevar a cabo una redefinición del modelo geológico del macizo; mapas geológico-geotécnicos de la excavación; una tramificación geomecánica de la obra en función de las distintas calidades geotécnicas detectadas; un modelo del funcionamiento hidrogeológico del macizo, en los casos donde se presente flujo de agua hacia el interior de la excavación; un reporte de los sistemas de estabilización, soporte y reforzamiento empleados, así como de las longitudes y geometrías de avance de la excavación. En la Figura 13.6 se muestra un ejemplo del tipo de planos de seguimiento geológico – geotécnico, que se recomienda se lleven a cabo durante la construcción del túnel.



ESTACION	PROYECTO	CONSTRUCCION	DESCRIPCION	PROYECTO	CONSTRUCCION	DESCRIPCION
127+858	127+858	127+858	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+858	127+858	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+867	127+867	127+867	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+867	127+867	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+885	127+885	127+885	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+885	127+885	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+903	127+903	127+903	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+903	127+903	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+921	127+921	127+921	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+921	127+921	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+939	127+939	127+939	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+939	127+939	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+957	127+957	127+957	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+957	127+957	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.
127+973	127+973	127+973	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.	127+973	127+973	SE DISEÑA LA MEDA EN UNA FAJE BARRIDO DE 7.17% EN DOS FASES.

Figuras 13.6. Ejemplo de plano de seguimiento geológico-geotécnico.

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

En cuanto al control de sostenimientos, los técnicos de obra deberán llevar un control riguroso de la implementación de los distintos sistemas de soporte, estabilización y reforzamiento implementados en el túnel; esto es: verificar que los marcos metálicos sean implementados oportunamente, que sean colocados adecuadamente y que cumplan su función estructural (Figura 13.7); revisar el proceso de lanzado de concreto, checar que los espesores lanzados sean los requeridos en proyecto, que la mezcla sea adecuada, que el rebote no sea excesivo, que la implementación sea oportuna (Figura 13.8); examinar el proceso de colocación de los anclajes, revisar su oportuno emplazamiento, su separación, verificar que la inyección sea adecuada, etc. (Figura 13.9). Elaborar un reporte por lo menos quincenal de la calidad de la implementación de estos sistemas.

Por otro lado, se debe verificar que las excavaciones se efectúen con los equipos y procedimientos adecuados, así como con las debidas previsiones de drenaje, a fin de no alterar las condiciones del macizo rocoso. En la Figura 13.10, se muestra el frente de excavación de un túnel en el que se efectúan los trabajos de barrenación para realizar una voladura.



Figura 13.7. Verificación durante la implementación de los marcos metálicos.



Figura 13.8. Verificación de la colocación del concreto lanzado.



Figura 13.9. Verificación durante la perforación e instalación del anclaje.



Figura 13.10. Frente de excavación en el que se efectúan trabajos de barrenación para preparar una voladura.

Finamente, respecto a las adecuaciones de proyecto, el trabajo consistirá en lo siguiente: con toda la información geológico-geotécnica recabada y procesada por el geotecnista de frente, se reevaluarán y recalcularán los distintos sistemas de sostenimiento para, en su caso, reforzarlos o aligerarlos, contribuyendo así a una optimización en materiales o a un refuerzo de la seguridad de la obra. Así mismo, esta actividad incluye la adecuación de las geometrías y las longitudes de los avances de las excavaciones.

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

Como parte de las actividades del Seguimiento de Proyecto, durante los primeros metros de excavación de los taludes para alojar el emportalamiento y con base en el seguimiento geológico-geotécnico de los portales, se debe valorar la posibilidad de que en el caso de taludes que presenten síntomas de posible inestabilidad se recomiende oportunamente la instalación de inclinómetros (Figura 13.11) para detectar un posible mecanismo de deslizamiento; piezómetros para detectar una posible saturación y flujo de agua que pudieran desestabilizar el corte; referencias topográficas para colimación y/o nivelación de precisión (Figura 13.12). Asimismo, sí se implementan sistemas de anclaje activo en el macizo, recomendar la utilización de celdas de presión en su caso para verificar el trabajo de dichos anclajes.



Figura 13.11. Instalación de inclinómetros en el emportalamiento de un túnel.

Por otro lado, en los casos en que los primeros metros de excavación del túnel se encuentre a una profundidad escasa y que en las proximidades de la obra existan estructuras cuya estabilidad no se puede comprometer (p.e. torres de alta tensión, carreteras, acueductos, casas, etc.) se puede proponer que se coloquen referencias topográficas para nivelación de precisión y así poder detectar cualquier movimiento inducido por la excavación del túnel.



Figura 13.12. Medición de referencias topográficas en el portal de un túnel.

13.5.6.2. Integración e interpretación de la instrumentación y mediciones en el interior del túnel

La empresa de Seguimiento de Proyecto deberá revisar que durante la excavación del túnel, se implemente el plan de instrumentación previsto en el proyecto. Asimismo deberá integrar, interpretar y verificar los resultados de las mediciones que realice la empresa Constructora, lo anterior con objeto de detectar a tiempo posibles situaciones de riesgo durante la excavación del túnel y, en su caso, reforzar los sistemas de sostenimiento.

Las mediciones de convergencia se deben medir con aparatos de tipo cinta extensométrica o referencias topográficas “dianas reflectoras”, ambas con precisión milimétrica y/o “Distometer” de precisión de centésimas de milímetro (Figura 13.13). La implementación de un sistema u otro depende de lo especificado en cada proyecto en particular. En la Figura 13.14, se muestra la medición de una sección típica de convergencias y su correspondiente gráfica.



Figura 13.13. Equipos de medición: a) Distometer y b) Cinta Extensométrica.

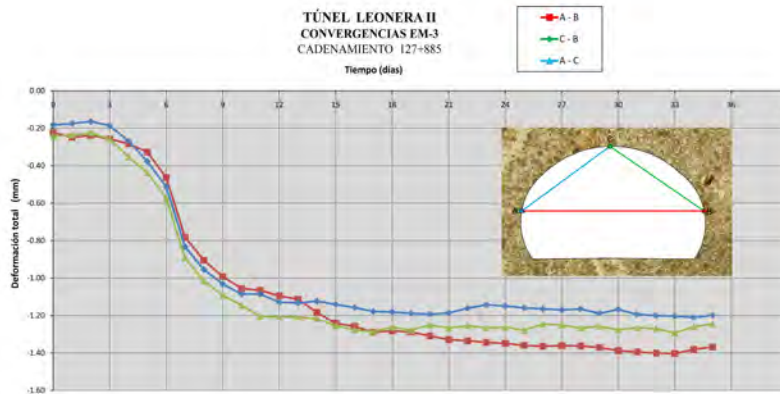


Figura 13.14. Mediciones de convergencias en túneles y gráfica.

En los casos en que la excavación atraviese zonas en las que pueda estar comprometida la estabilidad de la obra (roca extremadamente mala, zonas de falla, etc.), como parte del Seguimiento de Proyecto se podrá solicitar que se implementen sistemas de instrumentación adicionales a las de proyecto con objeto de monitorear lo mejor posible el comportamiento del túnel.

En casos extremos, sobre todo cuando los túneles se encuentren a profundidades mayores a los 150 metros, se podrá solicitar la instalación de extensómetros de varilla para medir las deformaciones en todo el entorno de la sección estudiada, con el mismo objetivo que el de las mediciones de convergencias.

En los casos en los que el flujo de agua hacia el interior de la excavación sea de magnitud importante y pueda comprometer la estabilidad de la obra o repercutir en el posterior funcionamiento del túnel, se recomienda implementar estaciones de aforo con objeto de medir el gasto y conducirlo adecuadamente, además de prever las medidas necesarias para la operación del túnel.



Figura 13.15. Presencia de agua durante la excavación de la galería de emergencia, túnel El Sinaloense.

13.5.7. Verificación de la construcción del drenaje, del revestimiento definitivo del túnel, túneles falsos y pavimento

La presencia de agua en el terreno puede originar filtraciones que durante la obra son controlables con el diseño de un buen drenaje, sin embargo una vez implementados los sostenimientos quedan filtraciones no controladas hacia el interior del túnel a través del revestimiento; esto debido a la presencia de algunas fisuras y juntas de construcción.

Como parte del proyecto ejecutivo del (los) túnel (es) para evitar y controlar las filtraciones, se prevé de un sistema de impermeabilización (Figura 13.16). Como parte del Seguimiento de Proyecto y con objeto de garantizar dicha impermeabilización, se deberá verificar que los materiales cumplan con lo especificado en proyecto, además de que durante su instalación se deberá revisar su correcta colocación, verificando que las longitudes de traslape sean las correctas y que las uniones entre lienzos sean termofusionadas; además se deben solicitar y estar presentes durante las pruebas de hermeticidad (Figura 13.16).

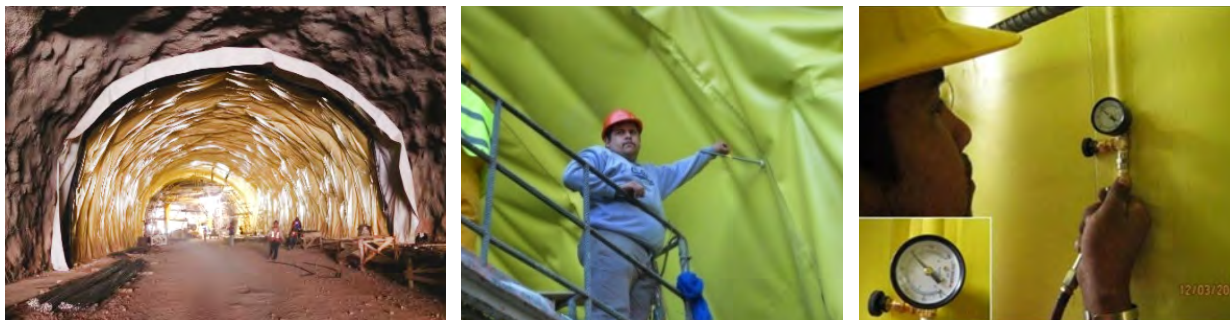


Figura 13.16. Impermeabilización del túnel, termofusionado y pruebas de hermeticidad.

En fase de construcción del revestimiento definitivo, se debe verificar los armados y traslapes de las zapatas y guarniciones, además de revisar que se desplanten en los niveles correctos y se construyan con los materiales y la calidad especificada en proyecto. Asimismo se debe verificar la correcta colocación y posicionamiento de la cimbra, evitando una junta deficiente entre el colado de la zapata y la bóveda del túnel.



Figura 13.17. Armado de la bóveda y colado completo del revestimiento definitivo.

Finalmente, se debe verificar que la estructura del pavimento del túnel sea construido con los materiales, especificaciones y la calidad establecida en el proyecto; verificando que los resultados de los ensayos de laboratorio estén dentro de las especificaciones de proyecto y/o de la normativa de SCT, descritos en el Capítulo 14, Control de Calidad.



Figura 13.18. Construcción de la base hidráulica y pavimento de concreto en el interior del túnel.

13.5.8. Recopilación, revisión y procesamiento de los datos de los ensayos de laboratorio

Con los datos de control de calidad proporcionados por la empresa Constructora, la empresa de Seguimiento de Proyecto deberá realizar una verificación de resultados y efectuará una revisión minuciosa de que los materiales suministrados cumplan con las especificaciones de proyecto, comprobando que se realicen análisis estadísticos de las resistencias del concreto lanzado a distintas edades (Figura 13.19), no sólo para verificar que se cumplan las resistencias de proyecto, sino además para establecer leyes de evolución de la resistencia con el tiempo que permitan modelar adecuadamente el comportamiento de la excavación y su interacción con este sistema de estabilización, así como una verificación estadística de la resistencia de los anclajes implementados en las excavaciones y verificación de la resistencia del concreto del revestimiento definitivo con fines de llevar a cabo una revisión estructural del mismo (Figura 13.20 a y b).

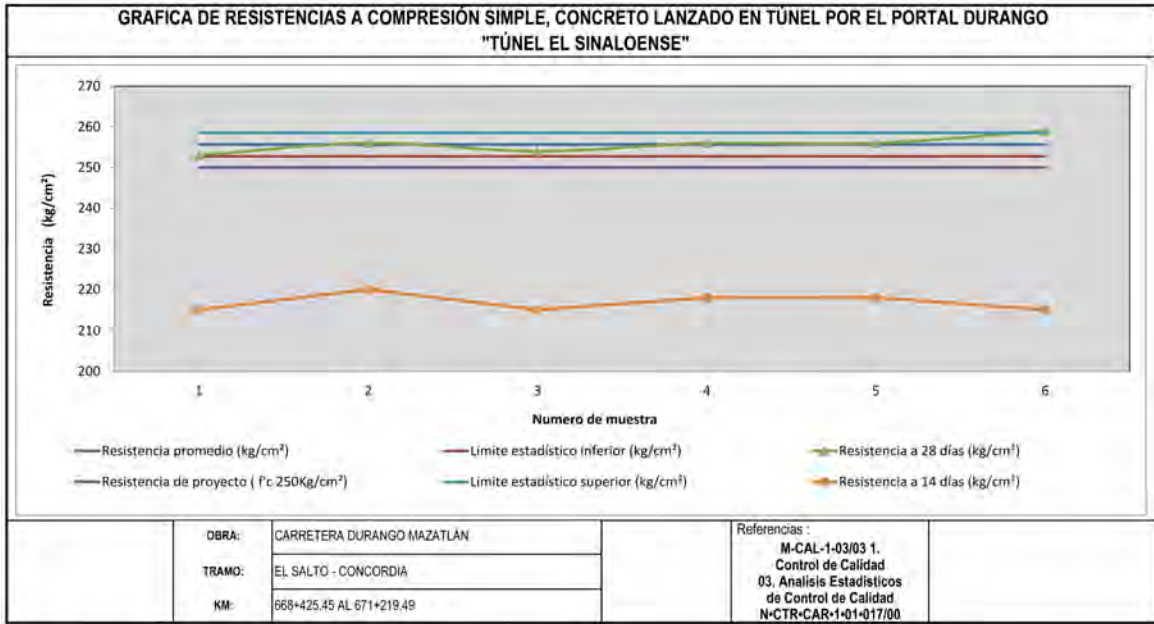


Figura 13.19. Análisis estadístico de la resistencia de concreto lanzado.

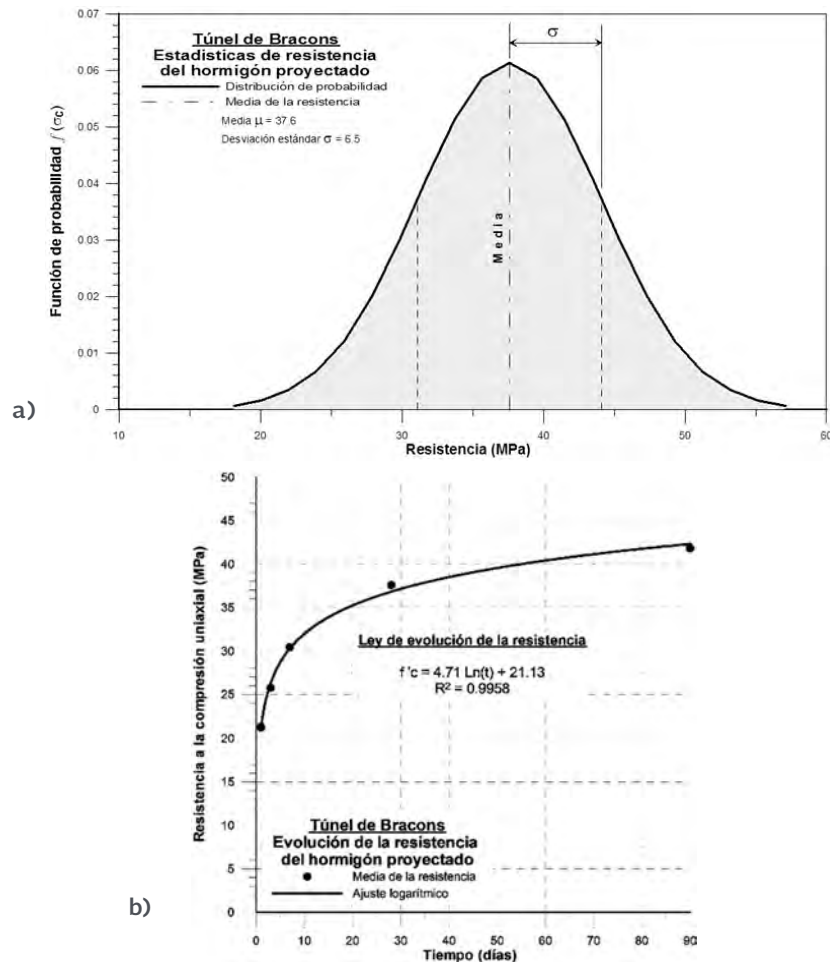


Figura 13.20. Ejemplos de resultados del estudio de las pruebas de laboratorio: a) Distribución de probabilidades de la resistencia a la compresión simple del concreto lanzado; b) Ley de evolución de la resistencia del concreto lanzado.

13.5.9. Elaboración de planos de obra “as built”

La empresa de Seguimiento de Proyecto de Túneles, tendrá entre sus misiones la de ir elaborando, conforme avanzan los trabajos de construcción, los planos definitivos de las distintas partes que componen el proyecto del túnel: planos de tajos de acceso, tratamientos de estabilización, secciones de excavación del túnel, sistemas de sostenimiento, geología, geotecnia, revestimiento definitivo, pavimento, etcétera. Estos planos permiten tener un registro real de la obra, para el acervo de la SCT y que pueden ser de gran utilidad en futuros proyectos. Además, estos planos permiten tener un documento fundamental para cualquier aclaración.