

Acero inoxidable en Construcción y Aplicaciones de Túneles

Contenido

Acero inoxidable en construcción y aplicaciones de túneles.....	3
¿Por qué usar acero inoxidable en túneles?	3
Acero inoxidable en túneles de carretera.....	4
Incendios en túneles de carreteras	4
Casos de estudio	4-8
Acero inoxidable en túneles ferroviarios.....	9
Túneles de metro	9
Caso de estudio: Metro de Londres	9
Túneles ferroviarios	10
Largos túneles ferroviarios submarinos	10
Caso de estudio: El túnel del Canal	10-12
Conclusiones	13
Referencias	13
Anexo A: Orientación adicional	14
Agradecimientos	15

Aviso legal

[International Stainless Steel Forum \(ISSF\)](#) cree que la información presentada es técnicamente correcta. Sin embargo, ISSF no representa ni garantiza la exactitud de la información contenida en este documento o su idoneidad para cualquier uso general o específico. El material contenido en este documento es por necesidad, general en su naturaleza; no debe utilizarse o servir de base para ninguna aplicación específica o general sin obtener, primero, asesoramiento competente. ISSF, sus miembros, personal y los consultores renuncian a toda responsabilidad de cualquier tipo por pérdida, daño o lesión resultante del uso de la información contenida en este folleto.

Acero inoxidable en construcción y aplicaciones de túneles

por David J. Cochrane, Consultor del Nickel Institute; Bernard Heritier, ISSF; y Alenka Kosmac, Euro Inox

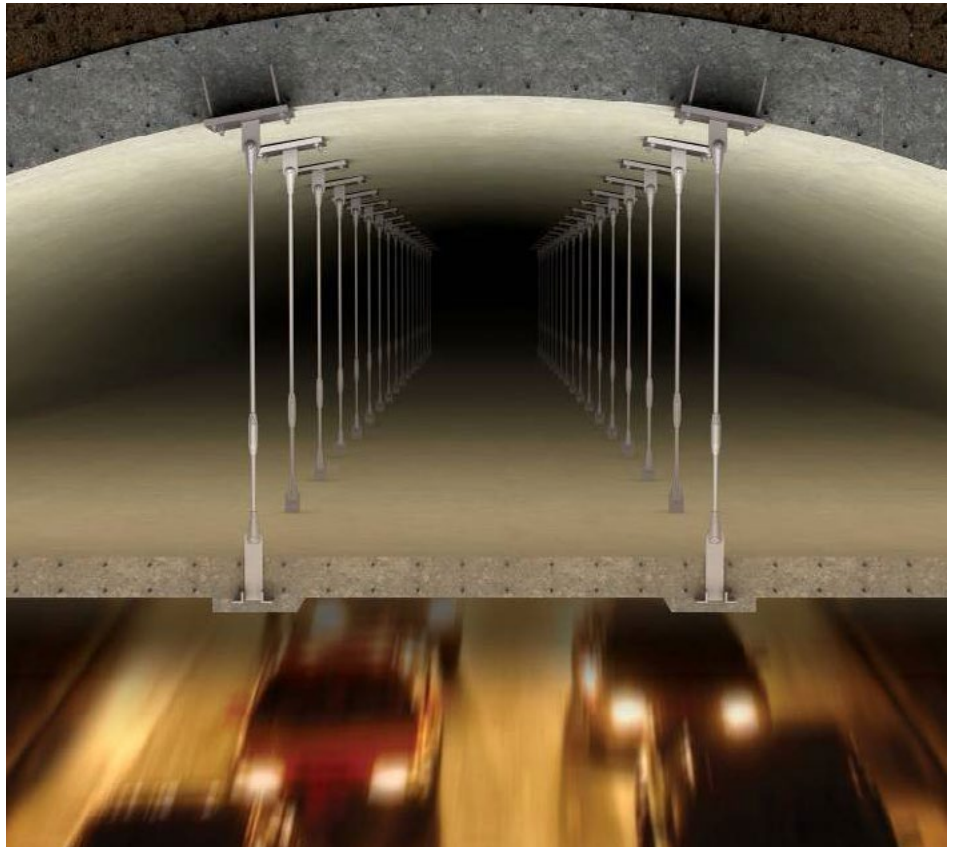
Los túneles son un camino muy eficiente para mejorar el flujo de la carretera y el tráfico ferroviario y reducir los tiempos de viajes. Se utilizan para transportar tanto a las personas como cargas y pueden ser desde de unos pocos metros hasta 50 kilómetros y mayores, en longitud.

Por definición, los túneles son siempre subterráneos sin embargo, las condiciones por las que atraviesan pueden variar ampliamente. Algunos pasan bajo el mar, mientras otros son excavados cruzando montañas. Esta amplia gama de condiciones significa que cada túnel es único en lo que concierne a los materiales que deben intervenir en su construcción. Todos los túneles deben funcionar relativamente libres de mantenimiento durante muchas décadas. Los materiales elegidos para su construcción deben ser capaces de cumplir con estos criterios, en condiciones que puedan ser corrosivas o de riesgo. El uso del túnel también afecta a los materiales que pueden ser utilizados en su interior. Como se muestra en los casos de estudio en esta publicación, las condiciones atmosféricas en los túneles pueden variar enormemente dependiendo de si son utilizados por vehículos en carretera o trenes eléctricos.

Este documento proporciona casos de estudio de túneles existentes de todo el mundo. Todos utilizan aceros inoxidables, en particular los tipos que contienen níquel, por su mejora en eficiencia operativa a largo plazo y sus significativas ventajas económicas.

¿Por qué usar acero inoxidable en túneles?

El acero inoxidable está disponible en una gama de aleaciones y formas de producto y puede cumplir con las más arduas condiciones. No requiere protección adicional contra la corrosión y sus propiedades de alta resistencia a tracción y resistencia al fuego proporcionan una vida útil larga y duradera, con mínimo o nulo mantenimiento. Los ingenieros de túneles emplean aceros inoxidables tanto en elementos visibles, tales como puertas y barreras corta fuego, como aplicaciones no visibles, como refuerzos.



La circunvalación Norte-Sur en Brisbane es el túnel de carretera más largo de Australia

El monitoreo de la atmósfera a largo plazo y las condiciones por parte de los operadores de túneles ha llevado a la obligatoriedad de especificar acero inoxidable en componentes tales como fijaciones. Los accesorios a prueba de fallas son cruciales para una segura instalación de todos los componentes clave, incluidos la iluminación, ventilación y equipos de extinción de incendios. Una fijación rota puede tener consecuencias fatales y provocar interrupciones o el cierre del túnel. Tipos específicos de acero inoxidable son prescritos para las fijaciones en túneles, ya que pueden soportar una atmósfera corrosiva severa y la corrosión, particularmente en la unión con pared o roca.

Las condiciones individuales dentro de cada túnel siempre deben determinar qué materiales se especifican para la construcción y aplicaciones interiores. El nivel de mantenimiento que debe proporcionar el operador del túnel también debe ser definido durante la fase de planificación, cuando se especifica el material. Siempre se debe buscar el consejo de un ingeniero de corrosión competente o de un productor de acero inoxidable. También se puede consultar la documentación de referencia local (lista en apéndice A, página 14).

Acero inoxidable en túneles de carretera

El tipo más común es el túnel de carretera. Pueden pasar a través de roca y bajo ríos, lagos y puertos. En el caso de un accidente en el interior, el túnel puede ser sometido a fuerzas explosivas y fuego. Incluso en uso normal, los túneles de carretera están sujetos a variaciones de temperatura y altos niveles de sustancias químicas corrosivas por emisiones y sales de deshielo que, en climas más fríos, son llevadas al túnel sobre los neumáticos de vehículos.

El ambiente en los túneles de carretera suele contener sustancias químicas como dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ácido sulfhídrico (H₂S) de emisiones de gases de escape (ver tabla 1). Otras emisiones incluyen piezas de neumático desgastadas, depósitos de minerales pesados, polvo, hollín y cloruros solubles en agua. Las mediciones en el túnel del Mont Blanc han mostrado que la atmósfera contiene un 3,5% de cloruros solubles en agua. El contenido de cloruro del polvo en el túnel era entre 0,1 y 0,7% cuando se realizaba limpieza periódica, y de 0,7 a 3,5% cuando no se realizaba limpieza.

El efecto corrosivo de estos productos químicos en la atmósfera puede hacer que los puntos de anclaje fallen. En la junta entre pared y una fijación se forma una película de solución clorada ácida y actúa como electrolito. La concentración aumenta a medida que el túnel pasa por ciclos de secado periódico. Los puntos de anclaje pueden ser extremadamente difíciles de acceder, por lo que la limpieza es costosa o virtualmente imposible.

El resultado es una corrosión por hendiduras que puede llevar al fallo de la fijación, a menos que sea especificado un acero inoxidable adecuado. Para eliminar el mantenimiento y mejorar la durabilidad, los operadores del túnel del Mont Blanc especifican que los aceros inoxidables utilizados deben contener un mínimo del 6% de molibdeno.

Incendios en túneles de carreteras

Muchas vidas se han perdido en los túneles de carreteras. Aparte de fatalidades, los incendios también

pueden provocar el cierre de los túneles y requerir costosas reparaciones. El incendio de 1999 en el túnel Mont Blanc es un ejemplo típico. El fuego comenzó en un camión de transporte de harina y margarinas y ardió durante 53 horas. Las temperaturas alcanzaron más de 1000°C y se cobró la vida de 39 personas. Como resultado de este incendio, el túnel estuvo cerrado por tres años y la reparación costó más de 450 millones de euros. Soluciones para prevenir o minimizar los efectos devastadores de incendios en túneles de carretera utilizan inevitablemente el acero inoxidable. Esto se debe a su excelente comportamiento a las elevadas temperaturas generadas por los fuegos de hidrocarburos.



Incendios en túneles de carreteras pueden causar daños catastróficos a personas y túneles.

Casos de estudio

Los siguientes casos de estudio proporcionan información sobre el uso del acero inoxidable para resolver problemas de la vida real en los túneles de carretera alrededor del mundo. En algunos casos, el uso del acero inoxidable ha sido especificado en la construcción original del túnel. En otros ejemplos, el acero inoxidable se ha renovado para resolver un problema que estaba afectando al uso seguro del túnel.

Tabla 1: Los túneles de carretera muestran variaciones significativas en la humedad, temperatura y condiciones atmosféricas.

Túnel	Humedad relativa	Temperatura	Atmósfera		
			SO ₂	NO ₂	H ₂ S
Gottard (Suiza)	25 a 81%	3 a 27°C	81 ppm	3 ppm	27 ppm
Mont Blanc (Francia – Italia)	41 a 95%	6 a 25°C	95 ppm	6 ppm	25 ppm
San Bernadino (Suiza)	Media: 73%	-20 a 17°C	-	73 ppm	20 ppm
Seelisberg (Suiza)	7 to 72%	14 a 28°C	72 ppm	14 ppm	28 ppm

Hormigón en los túneles de autopistas italianas

Las condiciones atmosféricas agresivas han causado el deterioro de los revestimientos de hormigón en muchos túneles de carreteras en las autopistas A7, A10 y A12 de Italia. La atmósfera altamente corrosiva es causada por una combinación de factores que incluyen: mezcla de compuestos sulfurosos altamente concentrados de las emisiones de escape de vehículos; el clima marino local; vibraciones; y humedad extrema.

Solo en la A10 (Génova a Savona), 25 túneles han requerido extensas reparaciones para detener la caída a la autopista del desprendimiento de hormigón. Se utilizaron más de 12.000 m² de malla de acero inoxidable. (EN 1.4401 / AISI 316) para revestir los túneles. La malla atrapa cualquier trozo de hormigón que caiga y lo dirige fuera de la superficie de la vía.



Más de 12,000 m² de malla de acero inoxidable protegen el tráfico del hormigón desconchado

El sistema anti-fuego fijo en el túnel de Kehu, cerca de Helsinki, produce una neblina fija que es muy eficaz en la extinción de incendios.



Sistema fijo contra incendios en el túnel de Kehu, Finlandia

El túnel Kehu en Helsinki utiliza un sistema fijo anti-incendios que consta de cinco filas de tubo inoxidable de 16 mm de diámetro y boquillas de aspersión. En caso de incendio en el túnel, el sistema de alta presión produce una neblina de agua que se ha comprobado es eficaz para apagar los incendios en el túnel. Se utiliza el acero inoxidable (EN 1.4404 / AISI 316L) para todo el sistema debido a su resistencia mecánica y sus propiedades de resistencia a la corrosión y al fuego. El sistema no solo aumenta la seguridad, sino que también reduce el daño y la interrupción del túnel en caso de incendio.

Acero inoxidable en túneles de carretera.

Casos de estudio

Inoxidable dúplex utilizado en sistemas de extracción de humo y calor, Australia.

El túnel de carretera más largo de Australia es el bypass norte-sur (también conocido como el Túnel de Clem Jones o CLEM7) en Brisbane. Compuesto por dos túneles de doble carril de 4,8 km, el CLEM7 se ha construido bajo el río Brisbane. El acero inoxidable dúplex (EN 1.4462 / ASTM-UNS S32205 / S31803) se especificó para su uso en todo el túnel debido a su capacidad de soportar el ambiente altamente corrosivo. Las aplicaciones incluyeron el uso de 33.000 postes de acero inoxidable de espesor fino como soportes del revestimiento del túnel.



La circunvalación norte-sur de Brisbane utiliza 33.000 postes de acero inoxidable de calibre ligero como soportes de revestimiento en una atmósfera altamente corrosiva

En el caso de un incendio o una explosión, un sistema de alta tecnología de extracción extrae rápidamente el humo a un conducto longitudinal por encima de la vía utilizando 100 ventiladores de chorro. Losas de hormigón macizo cuelgan de un sistema de suspensión de acero inoxidable para formar el conducto de ventilación. El sistema utiliza el tipo EN 1.4462 (ASTM-UNS S32205 / S31803) que es capaz de cumplir con la norma requerida de resistencia al calor y proporciona un buen rendimiento a largo plazo, sin mantenimiento, en una atmósfera corrosiva.

Ventiladores de chorro de acero inoxidable en el túnel del Mont Blanc

Para eliminar el mantenimiento y mejorar la durabilidad, los operadores del túnel del Mont Blanc. Especificaron que debe utilizarse acero inoxidable con un contenido mínimo de molibdeno del 6%. Se instalaron ventiladores de acero inoxidable (EN 1.4404/AISI 316L) como parte de un programa de renovación en 2011. Las escaleras de cable en el túnel también se fabrican a partir del mismo tipo de acero.

Después de un incendio en 1999, el túnel del Mont Blanc fue cerrado por tres años. Ahora se usa acero inoxidable extensamente.



El nuevo paso subterráneo utiliza acero inoxidable en cubierta y soportes, Inglaterra

El paso subterráneo en Cradlewell es un importante enlace costero en el norte de Inglaterra. Durante su construcción, se utilizaron 256 toneladas de acero inoxidable (EN 1.4401/AISI 316) en la cubierta del túnel y soportes. El tipo EN 1.4401/AISI 316 fue seleccionado por su capacidad para soportar la corrosión de las sales de deshielo utilizadas en periodos invernales. La escorrentía del agua es llevada por tubos ubicados en el piso. Si se hubiera utilizado refuerzo de acero al carbono en lugar de acero inoxidable, cualquier fuga habría sido catastrófica y extremadamente cara de reparar.

Cercano a la costa, el paso en Cradlewell contiene más de 250 Tm de acero inoxidable para resistir la corrosión.



SUSTAINABLE STAINLESS

Nueva estructura y revestimiento de acero inoxidable, Escocia

El túnel Clyde de Glasgow ofrece un importante enlace de transporte entre las zonas norte y sur de Glasgow. Compuesto de dos túneles paralelos de 762 metros, es utilizado por más de 65.000 vehículos al día.

Durante la remodelación de Clyde (2005-2010) se conservó la estructura primaria original de hierro fundido de la década de 1950. Un nuevo marco secundario fue fabricado a partir de acero inoxidable (EN 1.4401/AISI 316) unido a la estructura original. El marco secundario soporta un revestimiento inoxidable del túnel que, en caso de incendio, está diseñado para mantener la temperatura dentro del túnel por debajo de 300°C.

Un marco secundario de acero inoxidable fue agregado al túnel Clyde (debajo) para soportar un revestimiento de acero inoxidable.



Acero inoxidable en túneles de carretera.

Casos de estudio

Las juntas de cubierta de acero inoxidable previenen la corrosión

Situada al este de Londres, la travesía del río Dartford pasa por debajo del río Támesis y es un enlace clave entre el norte y sur de la ciudad. Forma parte de la autopista de circunvalación M25 de Londres.

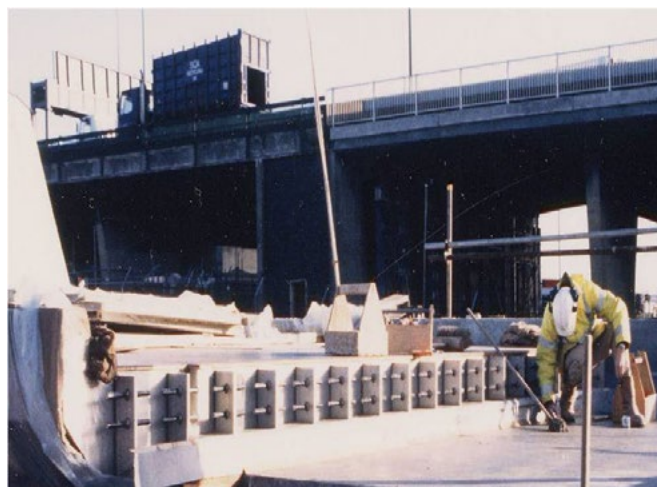
Su reforma se hizo necesaria después de tan solo 20 años de servicio ya que la armadura de acero al carbono de la cubierta de la calzada se había corroído. Esto fue en gran parte debido a que el agua que contiene cloruros (de las sales de deshielo que se aplican durante el invierno), había penetrado en la losa, provocando la corrosión del refuerzo de acero al carbono.

Para evitar que los bordes de la losa se rompieran permitiendo la penetración de más agua, se incorporaron 396 toneladas de juntas de cubierta de acero inoxidable austenítico (EN 1.4401/AISI 316), en las losas de hormigón a intervalos de 4,5 m.

Rutas de evacuación y sistemas de ventilación.

En el túnel de Lioran en Francia, el acero inoxidable (EN1.4404/AISI 316L) se usa en las puertas de escape. Este tipo tiene excelente resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas cuando se somete a calor. Se utilizó acero inoxidable para las puertas de escape, desde el túnel hasta el área de seguridad, y en las puertas que conectan la zona de seguridad con la vía de escape. Los conductos de ventilación en los túneles de carretera están sometidos a altos niveles de gases atmosféricos corrosivos. Las tapas de los conductos de ventilación que extraen el aire del túnel son las más afectadas. Sin embargo, las entradas de aire fresco también están sujetas a la atmósfera corrosiva. El túnel de Lioran utiliza tapas fabricadas en acero inoxidable (EN 1.4404/AISI316L) para prevenir la corrosión.

El acero inoxidable es ampliamente utilizado en el Túnel de Lioran en aplicaciones de ventilación y seguridad contra el fuego (abajo y derecha)



Se instalaron juntas de cubierta de acero inoxidable en Cruce del río Dartford para contrarrestar el efecto corrosivo de las sales de deshielo.

Reduciendo el efecto del fuego en el túnel Elb, Alemania

Para minimizar los efectos de un incendio, el Túnel Elb, en Hamburgo fue revestido con 1.500 toneladas de chapa de acero inoxidable (EN 1.4571/AISI 316Ti). El plate fue unido al túnel utilizando 60 toneladas de tornillos y fijaciones los cuales fueron fabricados del mismo tipo de acero inoxidable.

SUSTAINABLE STAINLESS



Acero inoxidable en túneles ferroviarios

Para satisfacer la demanda de transporte de pasajeros y aliviar la congestión de tráfico, los planificadores urbanos están acudiendo cada vez más a los sistemas ferroviarios subterráneos. Las redes ferroviarias de alta velocidad también se están convirtiendo en enlaces importantes entre las principales poblaciones urbanas e incluso entre países.

En muchos países en desarrollo, el rápido crecimiento de las redes de ferrocarril ya está en marcha. En China, por ejemplo, 21 ciudades planean desarrollar sistemas ferroviarios ligeros. La construcción de estas redes ya ha comenzado en al menos siete de estas áreas urbanas.

Durante el año 2012, China también recibía una entrega adicional de 120 trenes de alta velocidad para recorrer los 6.000 km de la vía de alta velocidad que ya se ha tendido en el país. India es otro país que está desarrollando su ferrocarril urbano con Infraestructura con redes de metro anunciadas o bajo consideración en al menos una docena de ciudades. Esta sección describe las diferentes consideraciones para túneles en metro (o subterráneos), ferroviario y líneas de largo recorrido de tren bajo el mar y cómo el acero inoxidable contribuye a su larga y segura vida de servicio.

Túneles de metro

Los trenes que usan redes subterráneas en las ciudades son generalmente alimentados por electricidad, por lo que la corrosión atmosférica es menor problema que en los túneles de carretera. Sin embargo, los factores ambientales locales pueden afectar a los materiales que se seleccionan para la construcción del túnel. Estos incluyen elementos químicos en las rocas o en la tierra que rodea el túnel y la filtración de agua de carreteras, ríos o incluso de redes de alcantarillado y abastecimiento de agua la ciudad.

Durante el uso, los túneles de metro también pueden verse afectados por incendios y esto también debe ser considerado durante la fase de especificación del proyecto.

Caso de estudio: metro de Londres

Partes del metro de Londres están a 67 m por debajo del nivel de la calle y 21 m bajo el nivel del mar. Las filtraciones de agua en la red de túneles contiene un ion cloruro que es altamente corrosivo y dañino.

Tras el desastroso incendio en Kings Cross, en 1987, el metro de Londres comenzó a especificar el uso de materiales que no despiden humo ni emisiones tóxicas para los trabajos de construcción y renovación de la red del metro. Como el acero inoxidable cumple con estos requisitos, ha sido significativamente utilizado en nuevos trabajos en la red como muestran estos ejemplos.

Extensión Jubilee Line

El acero inoxidable fue ampliamente utilizado en los túneles y estaciones de la línea Jubilee de Londres cuando esta se



London's Underground network has 270 stations and relies on stainless steel to keep people moving - and safe!



extendió a la zona portuaria renovada al este de la capital. Cada estación puede ser visualmente identificada por el acabado del acero inoxidable. Mientras que los diferentes acabados dan a cada estación su propia apariencia individual, el acero inoxidable también tiene un propósito funcional. Es económico a largo plazo ya que solo requiere un lavado de vez en cuando para conservar su aspecto.

Filtración en Victoria Line

Durante la remodelación de la línea Victoria, se utilizó chapa con forma sinusoidal en el arco de túneles de pasajeros para desviar esta filtración de agua hacia desagües de drenaje. Se utilizaron más de 560 toneladas de acero inoxidable austenítico (EN 1.4401/AISI 316) de 1,2 mm de espesor. En caso de incendio, el acero inoxidable conservará su resistencia por más tiempo que otros metales sin emitir humo o vapores tóxicos.

Northern Line: actualización de Old Street

En la estación Old Street, de la Línea Norte del metro de Londres, las condiciones ácidas del suelo causaron severa corrosión del revestimiento de fundición original del túnel. Fueron reemplazados 3.500 segmentos curvos de fundición, por alrededor de 750 toneladas de un acero inoxidable superdúplex patentado que contiene 8% de níquel. Los segmentos del túnel fueron unidos por pernos utilizando 20.000 fijaciones de acero inoxidable (EN 1.4501/ASTM-UNS S32760.)

Acero inoxidable en túneles ferroviarios y submarinos

Túneles ferroviarios

Los túneles ferroviarios deben acomodar ya sean trenes con motor eléctrico o diésel, y en algunos casos ambos. Mientras los trenes eléctricos son relativamente limpios, los que funcionan con motores diésel emiten gases de dióxido de azufre que pueden corroer o dañar materiales utilizados dentro del túnel. El nivel de emisiones depende de factores tales como la frecuencia de los trenes, la velocidad que llevarán, la longitud del túnel, y qué equipo se ha instalado en el túnel para controlar la temperatura y la humedad. Deben buscarse datos sobre polución local y atmosférica antes de hacer la selección del material.

Largos túneles ferroviarios submarinos

Los datos disponibles sobre la idoneidad y rendimiento de los materiales y las condiciones en los túneles ferroviarios submarinos largos son limitados ya que existen pocos. El más antiguo es el Túnel Seikan de 53,9 km (23,3 km submarino) que une las islas japonesas de Honshu y Hokkaido. Actualmente se está actualizando para acomodar el tren de alta velocidad Shinkansen.

Caso de estudio: el acero inoxidable se comporta bien en ensayos de materiales en el túnel del canal

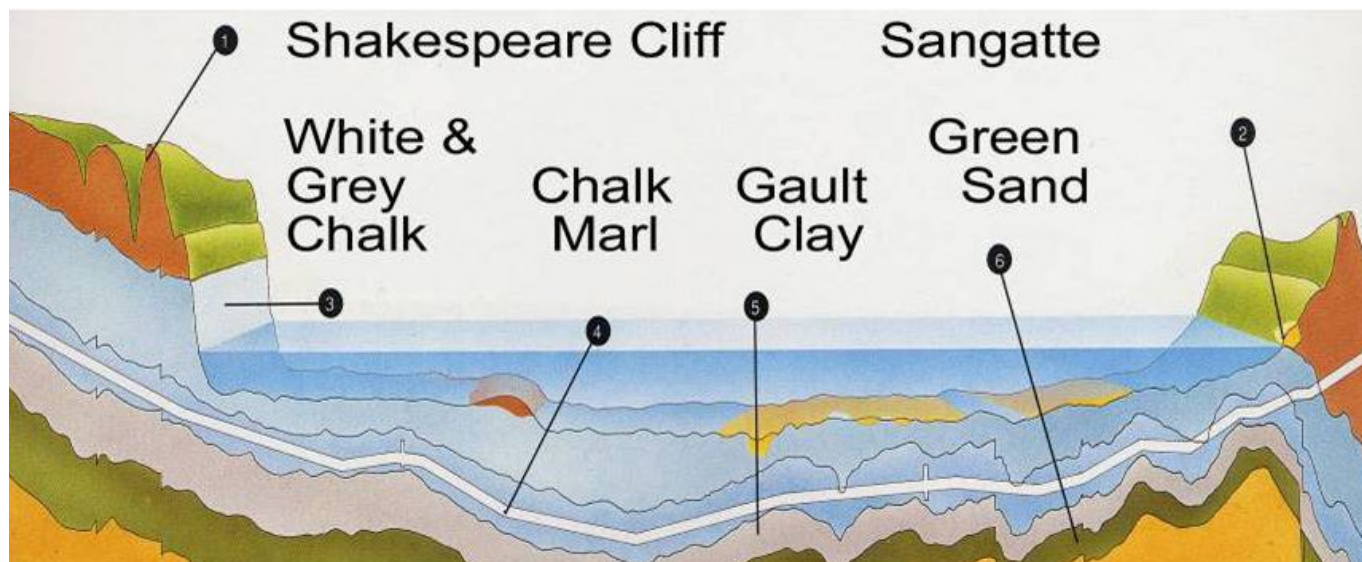
Si bien los datos de rendimiento de los materiales no están disponibles para el túnel de Seikan, se ha ganado algo de experiencia con el Túnel del Canal (49,2 km de largo, 37,5 km submarino) que une Inglaterra y Francia. Las pruebas en acero inoxidable y otros materiales se han realizado en diferentes puntos a lo largo del túnel para medir su rendimiento en este entorno único.

La primera prueba para evaluar el material fue realizada por Nickel Development Institute, (ahora Nickel Institute), en 1994. Productores de inoxidable francés y británico crearon probetas de ensayo de diferentes calidades de acero inoxidable. De acuerdo con el operador de Eurotunnel, se instalaron en varias posiciones tanto en los túneles de recorrido como de servicios.

Tipos requeridos con contenido de Níquel

En 1994, los conocimientos existentes indicaban que el tipo de acero inoxidable austenítico con contenido en níquel y molibdeno EN 1.4401/AISI 316 sería probablemente adecuado para muchos de los componentes dentro del túnel. Cumplió los requisitos de buena resistencia a corrosión, resistencia al fuego, y bajo mantenimiento exigidos por muchas de las aplicaciones clave del túnel. Por ejemplo, hay 17.000 cajas de distribución de electricidad, que deben permanecer completamente funcional a temperatura de 1.000°C.

SUSTAINABLE
STAINLESS



El Túnel del Canal atraviesa una variedad de tipos de suelo y roca en su viaje desde el Reino Unido a Francia.

Acero inoxidable en túneles submarinos



Vista interior de uno de los túneles de recorrido

Utilizando el tipo EN 1.4401/AISI 316 para su construcción se aseguró el logro de ese objetivo conforme con las pruebas de fuego.

Pruebas de materiales ampliadas

El programa de prueba inicial para evaluar los diferentes tipos de acero inoxidable se extendió posteriormente por parte de Eurotunnel para incluir una gama más amplia de materiales. Se instalaron probetas de ensayo en estantes colocados en varios puntos a lo largo del túnel según las diferentes condiciones de una parte del túnel a la siguiente.

Se mantiene una temperatura casi constante, que oscila entre 20 y 25°C, en tuberías gemelas de 400 mm de diámetro llenas de agua que recorren la longitud total del túnel. Sin embargo, la humedad varía de 45 a 76% dependiendo de la ubicación y el contenido salino de la atmósfera

Cóctel atmosférico

Los trenes de pasajeros y de carga que utilizan el túnel son de motor eléctrico, pero el tren de mantenimiento es de motor diésel. El ambiente por lo tanto contiene pequeñas cantidades de dióxido de azufre de los humos de escape. Las pruebas han demostrado que la atmósfera contiene polvo de cemento del revestimiento del túnel y partículas de hierro resultantes del contacto entre las ruedas del tren y la vía. Los iones de cloruro también están presentes como resultado de la atmósfera marina.

Combinado con alta humedad, el cóctel atmosférico puede ser severamente corrosivo si se fija sobre las superficies. El potencial de corrosión se refuerza debido

a la capacidad de viento creado a medida que los trenes pasan por el túnel a velocidades de hasta 140 km/hora. Esto tiene dos efectos:

1. Las partículas de polvo húmedo pueden adherirse a algunas superficies, particularmente aquellas que se enfrentan a la dirección del viaje y a 90° de las fuerzas que amortiguan.
2. La combinación de velocidad del viento, polvo de hormigón y las partículas de hierro pueden erosionar los recubrimientos protectores, ya que están bajo constante bombardeo de los medios abrasivos.

Rápidamente se hizo evidente que la acumulación de suciedad no podía tolerarse y se implementó un régimen de lavado rutinario por Eurotunnel. La superficie lisa del acero inoxidable también ayuda a prevenir una acumulación de suciedad corrosiva en la superficie y hace que el lavado y limpieza sea fácil.

Tabla 2: Cloruro y niveles de humedad en los puntos de prueba

Referencia	Cloruros (mg/m ² /día)	Humedad*
PK1511	74	< 10 H/A
PK2102	400	2500 < 5500 H/A
PK3574	142	< 10 H/A
PK3575	80	< 10 H/A
PK5052	228	3 < 30 H/A
PK5877	75	3 < 30 H/A

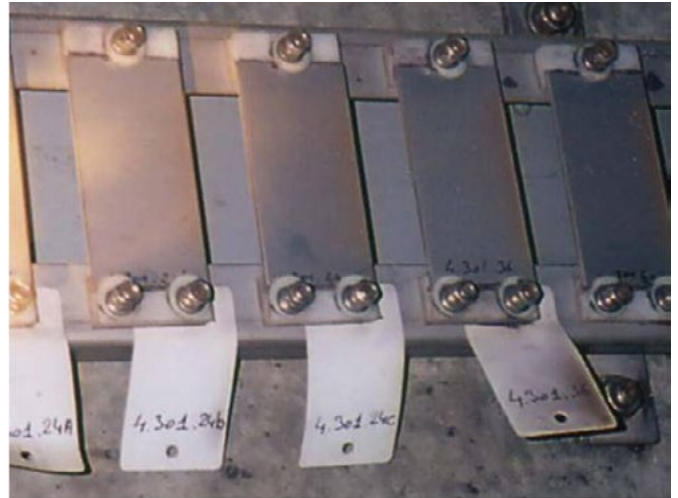
*Horas/año [medida del condensado]

Acero inoxidable en túneles submarinos

Mientras que gran parte del Túnel del Canal está razonablemente seco, los ensayos con probetas mostraron que las condiciones variaban significativamente. La probeta de acero al carbono fue incluida en el ensayo para obtener resultados comparables.

En la tabla 2 se muestra el resumen de los niveles de cloro y humedad en cada ubicación.

En todas las ubicaciones, los niveles de dióxido de azufre eran menores de 10 mg/m²/día, un nivel considerado insignificante.

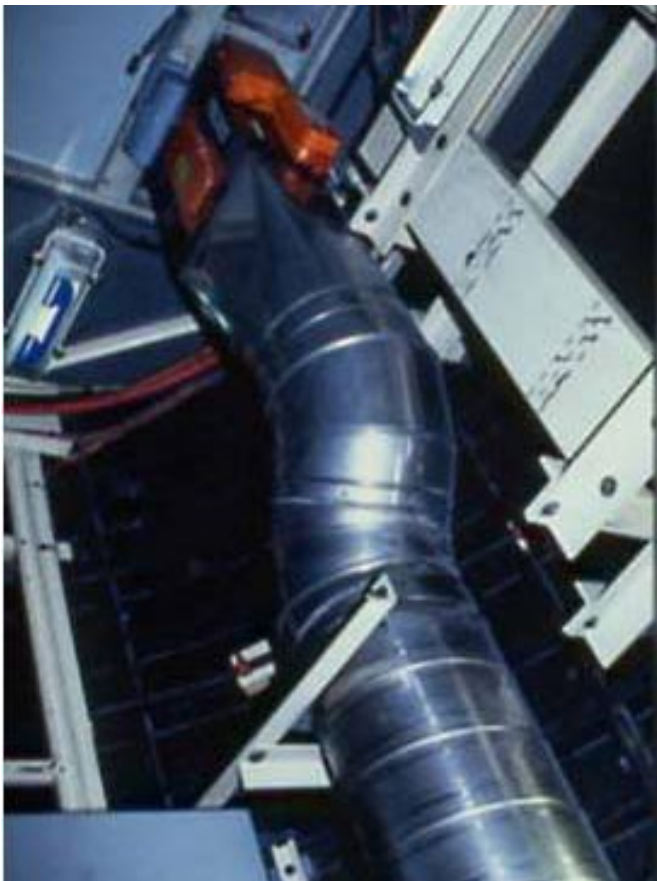


Probetas de ensayo en su posición dentro del Túnel del Canal

Tabla 3: Pérdida de peso en g/m²/año

Referencia	EN 1.4306/AISI 304L	EN 1.4318/AISI 301LN	EN 1.4404/AISI 316L	Acero al carbono
PK1511	0,01	0,04	0,00	10,39
PK2102	2,00	8,49	7,34	276,26
PK3574	0,01	0,06	0,00	10,10
PK3575	0,03	0,02	0,02	7,94
PK5052	0,07	0,15	0,05	27,79
PK5877	0,03	0,07	0,01	40,16

Nota: La alta tasa de pérdida de peso del tipo EN 1.4404/AISI 316L en PK2102 se debió a una fuga de agua que directamente afectó algunas, pero no todas, las probetas en ese lugar. La probeta de acero al carbono no resultó afectada.



SUSTAINABLE STAINLESS

El acero inoxidable es ampliamente utilizado en el Túnel del Canal para aplicaciones tales como ventilación (izquierda) y cajas de distribución eléctricas(debajo)



Conclusiones

Los túneles varían considerablemente en longitud, ubicación y propósito. Están contruidos para reducir el tiempo de viaje y para reducir las congestiones de tráfico, por lo tanto se solicitan grandes exigencias a los materiales utilizados en su construcción para minimizar el mantenimiento y la reparación que representan un importante desembolso para gobiernos y operadores y deben permanecer en servicio durante muchas décadas sin problemas para recuperar esa inversión.

Estos requisitos hacen del acero inoxidable el material ideal para la construcción de túneles y los equipos internos de operación. El acero inoxidable:

- No emite humos tóxicos a niveles elevados de temperatura.
- Mantiene una alta proporción de resistencia mecánica a temperaturas superiores a 900°C.
- No requiere ninguna protección adicional de la superficie para resistir corrosión
- Está disponible en una gama de tipos productos que proporcionan una larga vida con poco o ningún mantenimiento.

Los aceros inoxidables ya están ampliamente implementados en la construcción de túneles y en su equipamiento operativo fundamental, en todo el mundo.

Para diseñadores y operadores de túneles, el acero inoxidable es un material clave que proporciona seguridad, con bajos costes de mantenimiento y una larga vida de servicio de los equipamientos vitales y del propio túnel.

Referencias

- Gumpel, P: *Localised corrosion and pitting in tunnel construction*. Fisher Connect It; Issue 6, 2005.
- *CFA Guidance Note: Fixings and Corrosion*; 2002.
- *Products in Application: Tunnel Construction*. Halfen Deha. (www.halfen.co.uk)
- *Design Fires in Road Tunnels*. NCHRP Synthesis 415, 2011
- Haselmair, H; Morach, R; and Boehni, H: *Field and laboratory testing of high alloy steels and nickel alloys used in fasteners in road tunnels*. Corrosion Engineering; pp 160-168, February 1994.
- Cochrane, D.J.; Grattepanche, E; Baltenneck, S; Baxter, C: *The Channel Tunnel: Interim results of materials undergoing performance tests at different tunnel locations*. Proceedings of Stainless Steel World Conference 2001, The Hague, the Netherlands: 13-15 November 2001.

Anexo A: Orientación adicional

Disponen de orientación sobre la utilización de materiales en túneles en su autoridad local competente o en las diferentes asociaciones de construcción nacionales. Las siguientes referencias sirven de ejemplo:

Alemania

ZTV-ING Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (Inglés: Additional technical specifications and guidelines for civil engineering). Última edición: abril 2010.

El documento facilita información sobre túneles de carretera construidos utilizando tanto el método abierto como cerrado. Algunos aceros inoxidable se especifican en aplicaciones en túneles.

Italia

ANAS es la agencia nacional de carreteras en Italia y fija las directivas para la seguridad del tráfico en túneles. Para túneles viarios ANAS estipula que cualquier material expuesto en el túnel debe ser no tóxico, resistente al fuego y no debe generar gases.

Equipamiento como ventiladores y partes de los sistemas de iluminación deben resistir temperaturas hasta 400°C durante un mínimo de 90 minutos. La capacidad del acero inoxidable de soportar temperaturas por encima de 900°C ha sido probada en ensayos reales, una temperatura que excede con mucho la capacidad del aluminio.

Suiza

SIA (Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos) facilita asesoramiento y enlaces para constructores de túneles y operadores. www.sia.ch (parcialmente en inglés)

Reino Unido

El Departamento británico de carreteras, tiene un recurso integral online “Design Manual for Roads and Bridges (DMRB). La información sobre túneles se facilita en el Volumen 2: “Highway Structures: Design (Substructures & Special Substructures), Materials”.

www.dft.gov.uk/ha/standards/dmrb/

Agradecimientos

ISSF querría agradecer a Nickel Institute por su apoyo y ayuda al realizar este proyecto. Además le gustaría reconocer la ayuda facilitada por las siguientes organizaciones:

Annabelle Wilson, Ancon Ltd., Reino Unido

Vittorio Boneschi, Centro Inox, Italia

ISSF también querría agradecer a las siguientes organizaciones y profesionales, la autorización en el uso de las fotografías e imágenes utilizadas en este documento:

- Ancon Ltd (Reino Unido)
- Cedinox (España)
- Centre d'Etude des Tunnels (Francia)
- Centro Inox (Italia)
- D.J. Cochrane, Nickel Institute
- Euro Inox (Bélgica)
- Eurotunnel
- Japan Stainless Steel Association
- Marrioff Corp. (Finlandia)

Este documento ha sido traducido a coreano gracias a Korea Iron and Steel Association (KOSA) y a español gracias a Cedinox, la Asociación para la Investigación el Desarrollo del Acero Inoxidable en España



cedi
nox



International Stainless Steel Forum (ISSF)

Rue Colonel Bourg 120
B-1140 Brussels, Bélgica

T: +32 2 702 8915

F: +32 2 702 8912

www.worldstainless.org

SUSTAINABLE
STAINLESS