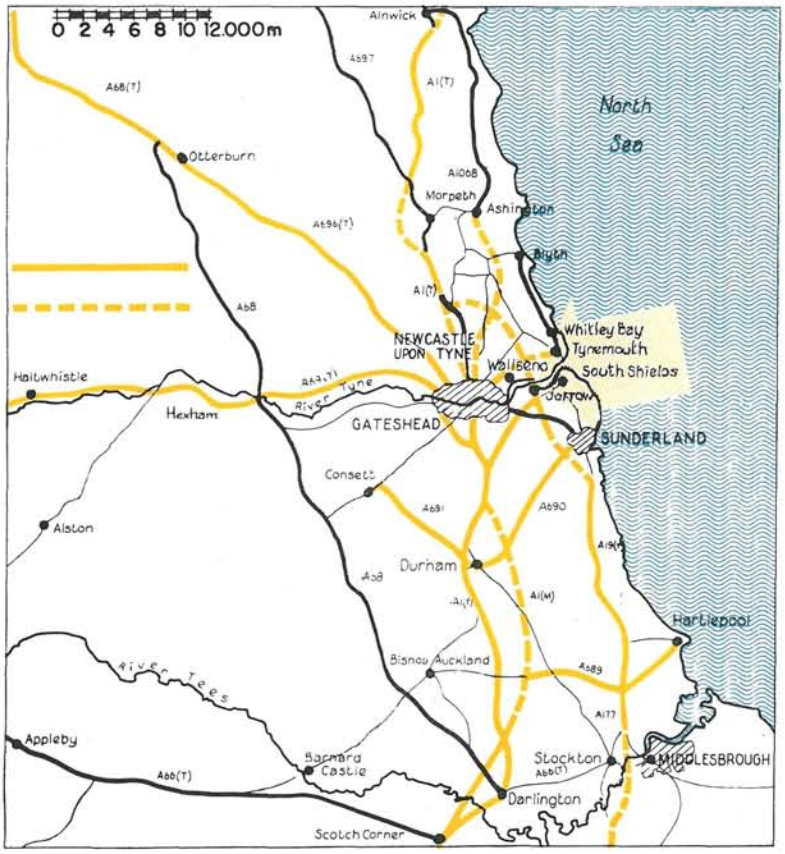
Informes de la Construcción Vol. 23, nº 221
Junio de 1970



situación

el túnel del Tyne

INGLATERRA

MOTT, HAY and ANDERSON, ingenieros

575-8

sinopsis

El túnel del Tyne, que atraviesa el río del mismo nombre, es el más importante de su clase en Gran Bretaña. Sus dimensiones son: longitud, 1.676,4 m; diámetro interior, 9,456 m; anchura total, 7,315 m; altura libre mínima, 4,877 m. Alberga una carretera con dos sentidos de circulación. Hay dos túneles menores, paralelos al principal, destinados a ciclistas y peatones, que sirvieron, en cierto modo, de túneles piloto, permitiendo reconocer el terreno y prevenir las dificultades que aparecerían al excavar el grande.

Fue excavado mediante un sistema de aire comprimido.

Las carreteras de acceso suman un total de 4,8 km, con una anchura de 7,315 m, ampliable a 10,973 en caso de necesidad. Fue preciso construir tres puentes sobre ferrocarril, un viaducto y tres puentes de carretera.

La ventilación, iluminación, servicios, etc., han sido muy cuidados y se han dotado de todos los adelantos modernos.

Introducción

Comprende tres galerías bajo el río Tyne desde Jarrow, en el condado de Durham, hasta Howdon, en el condado de Northumberland. Hay otros dos túneles independientes para peatones y ciclistas, cada uno de 274,32 m de longitud y con diámetros respectivos de 3,198 m y de 3,658 m, que fueron inaugurados con anterioridad. En sus extremos disponen de ascensores y escaleras mecánicas, estando alojadas estas últimas en túneles de 60,96 m de longitud y con un desplazamiento vertical de 25,908 metros.

El túnel para vehículos tiene una longitud de 1.676,4 m, con un diámetro interior de 9,456 m, y es el de mayor longitud y diámetro construido en Gran Bretaña con auxilio de sistemas de aire comprimido. Su construcción supuso la excavación de 137.610 m³ de tierra y el empleo de 45.000 t de revestimientos primarios de fundición, 350.000 pernos de 3,81 cm de diámetro y 380 t de calafateo de plomo. El techo del túnel está a 15,24 m bajo el lecho del río y a 27,432 m bajo el nivel superior de las aguas.

Este túnel sólo sirve para los vehículos de propulsión mecánica, incluyendo las motocicletas, quedando excluidos los de tracción animal, las bicicletas y los peatones. Su calzada es de 7,315 m de anchura y proporciona una vía de 3,657 m para cada sentido de circulación, siendo la mínima altura libre, sobre la línea del encintado, de 4,877 m. La carretera está calculada para el paso de vehículos de hasta 180 toneladas.

Las estaciones de ventilación en las riberas norte y sur del río, equipadas con ventiladores cuyos diámetros respectivos son 3,962 m y 4,877 m, y que tienen una capacidad de reserva del 100 %, proporcionan más de 21.230 m³ de aire por minuto, destinadas a ventilar el túnel de vehículos. El aire viciado es extraído en dichas estaciones por medio de chimeneas de 45,72 m de altura.

Está provisto de sistemas de control e instrumentos para indicar la cantidad de monóxido de carbono, densidad de humos, circulación de aire, variación de la intensidad de la iluminación en las bocas del túnel,

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

verificación del paso de vehículos por controles y para avisar a los vehículos que sobrepasen la altura permitida. Se ha instalado un circuito cerrado de televisión para reconocer la totalidad del mismo, en el cual hay gran número de controles de radio y puntos de emergencia contra incendios; las rampas de acceso están calentadas eléctricamente, a fin de evitar la creación y acumulación de hielo o nieve.

Todos los vehículos que utilizan el túnel pagan peaje, que se cobra en la boca norte, donde se han instalado cuatro cabinas en cada una de las dos calzadas, la de entrada y la de salida. El empleo de los túneles para peatones o ciclistas no está gravado.

Las carreteras de acceso tienen dos calzadas de 7,315 m cada una, estando previsto que se puedan ampliar hasta 10,973 m. Se extienden en un total de 4,800 km, abarcando desde la carretera costera A 1058, de Newcastle a Tynemouth, por el norte, hasta la A 184, de Gateshead a Sunderland, por el sur. Las ampliaciones ya en construcción o proyectadas unirán la Great North Road A 1, al norte de Seaton Burn, en Northumberland, con la A 19 y la región del Tees por el desvío de Sunderland, y con la autopista Durham A 1 (M), al este de Birtley, en Durham. Los trabajos complementarios incluyeron la construcción de tres puentes bajo la vía férrea, con luces entre 36,58 y 39,62 m; tres puentes de carretera; una desviación y un viaducto para el ferrocarril ligero de Jarrow, y una desviación y dos puentes sobre el río Don.

Los túneles para peatones y ciclistas costaron 144 millones de pesetas, de los cuales el 75 % fue subvencionado por el Ministerio de Transportes. Los 36 millones restantes fueron sufragados por los Consejos de los condados de Northumberland y Durham, a partes iguales.

El túnel para vehículos, con su acabado, servicios, ventilación, cabinas y equipo de control para el peaje y edificios de administración, costó 1.360 millones de pesetas, mientras que los accesos y trabajos de carretera complementarios costaron 640 millones. Sobre este total de 2.000 millones, el Ministerio de Transportes concedió una subvención de 480 y cada uno de los dos Consejos aportó otros 80. El resto, 1.360 millones, se obtuvo de préstamos (el 75 %, del Ministerio) que serán reintegrados gracias a los ingresos obtenidos de los peajes.

el túnel del Tyne

L. T. C. ROLT

Generalidades

El río Tyne, reducido a un estrecho y profundo cauce en su desembocadura en el Mar del Norte, forma, en colaboración con las mareas, una vía de transporte acuático tierra adentro de gran valor. Esta vía natural, que coincide —como ya se ha dicho— con los yacimientos de carbón de Tyne Basin, ha desempeñado desde el siglo XVII la parte más importante en el desarrollo comercial e industrial, no sólo del nordeste, sino también de todo el país.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Vista aérea, hacia el norte.

En Londres, el término «sea coal» significaba antiguamente carbón embarcado hacia el río Londres en bergantines carboneros desde los innumerables muelles de carga del Tyne. En una época en la que semejante grado de desarrollo era desconocido en cualquier otra parte, una red de vías para vagonetas unían las minas de carbón con estos muelles. No sorprenderá que la ribera del Tyne fuera la cuna de los ferrocarriles, ni tampoco que las necesidades de esta gran industria de carbón mantuvieran el precoz crecimiento industrial de la zona, especialmente en los campos asociados de ingeniería y construcción naval. Desde George Stephenson y Robert Hawthorn hasta sir William Armstrong y sir Charles Parsons, la ribera del Tyne ha sido el vivero del genio ingenieril; y desde fechas primitivas en la historia industrial de Gran Bretaña, ambas orillas del río, desde Newcastle hasta Tynemouth en Northumberland y desde Gateshead hasta South Shields en Durham, formaron un núcleo muy amplio como resultado del florecimiento de las industrias locales.

Vista interior.

Pero las mismas cualidades que hicieron del Tyne un camino tan valioso para el comercio nacido en el mar, lo convirtieron en una formidable barrera para las comunicaciones terrestres entre el norte y el sur. En los

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Edificio de ventilación norte en primera fase.

primeros y turbulentos días, tal barrera pudo no haber sido mal recibida como foso defensivo, pero llegó la época en que la necesidad de cruzar el río era lo más patente.

El primer puente sobre el Tyne ocupaba la misma posición del actual puente giratorio inferior y el New Castle, con su torreón ahora ennegrecido, fue construido como defensa de este cruce. Incluso cuando el castillo era nuevo, el puente ya debía ser viejo, porque cuando fue demolido en 1771 para abrir paso a un nuevo puente en arco, construido con piedra, los cimientos de las pilas, que descansaban sobre pilotes de roble en perfecto estado de conservación, resultaron ser de albañilería romana.

La revolución industrial provocó la urgente necesidad de mejorar los cruces del Tyne, necesidad que los grandes ingenieros pioneros resolvieron del modo más triunfal. Primero, en 1831, sir Samuel Brown, creador del empleo del cable de suspensión en los puentes, se asoció con John Green para la construcción del elegante puente colgante de Scotswood, posteriormente modificado, pero sólo recientemente renovado. Luego llegó la obra maestra de Robert Stephenson: el puente superior de Newcastle con estructura de vigas de hierro sobre pilas de mampostería, que permite tráfico de carretera y ferrocarril sobre dos tableros. Es un tributo a este genio de la ingeniería y de la previsión y llegaría a soportar un peso de material móvil que no se podía soñar cuando fue terminado y puesto en servicio por la reina Victoria en 1894. A continuación fue el puente Redheugh, a poca distancia río arriba, en 1871, y finalmente, en el emplazamiento del puente original, el puente de arco del siglo XVIII fue sustituido en 1876 por el actual puente giratorio, que fue construido en los talleres Elswick de sir William Armstrong, y que todavía está accionado por los primitivos motores hidráulicos de cilindros oscilantes.

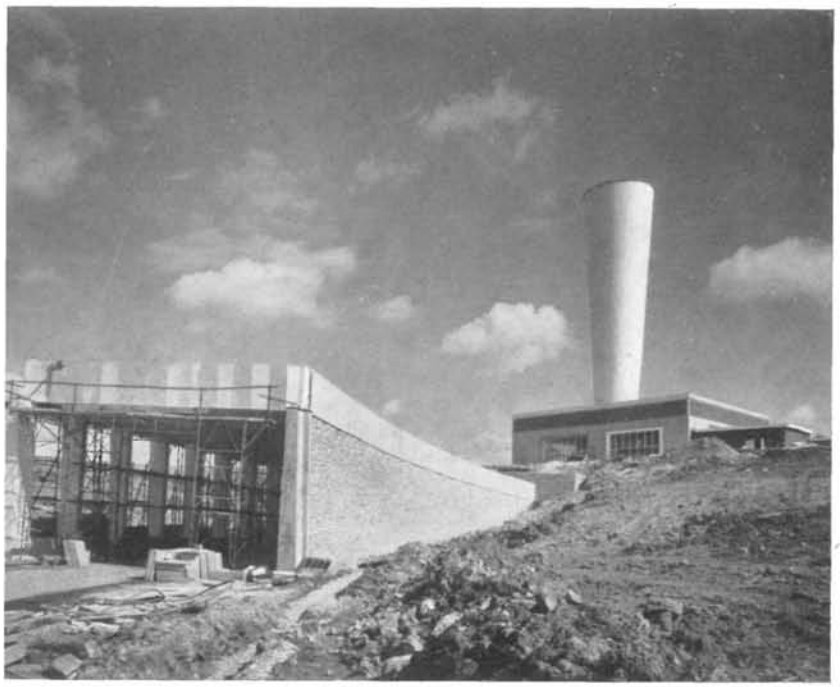
La plataforma de la carretera del puente superior de Stephenson sólo tiene 6,096 m de anchura, flanqueada por dos pasos de peatones de 1,829 m. El tráfico por carretera está sujeto a considerables retrasos en el puente giratorio. Este, y el puente Redheugh, constituyeron todavía durante muchos años la única comunicación directa por carretera entre Newcastle y Gateshead, aunque los pasos de ferrocarril fueron reformados en 1906, cuando el rey Eduardo VII inauguró el puente de ferrocarril que lleva su nombre. Lo más importante es que, aparte de dos ferrys, éstos eran los únicos pasos del Tyne situados entre Newcastle y el mar, que se halla a 15,288 km. Esto suponía que la mayor parte del tráfico circulante entre los bulliciosos y populosos distritos de ambas riberas del río tenía que desviarse por estos puentes, lo que motivaba no sólo una gran pérdida de tiempo y gasolina, sino también una congestión de tráfico entre Newcastle y Gateshead.

Historia del proyecto

Sir Samuel Brown y Robert Stephenson ya habían previsto la necesidad de un paso en el Tyne inferior. En última instancia, Brown creó un proyecto audaz para un puente colgante con una luz central de 243,84 m, que debía construirse cruzando el río entre North y South Shields. Estos hombres se adelantaron un siglo a su tiempo y el proyecto permaneció muerto hasta que la congestión causada por el incremento del tráfico rodado hizo imposible ignorarlo.

En 1920, la North Eastern Railway Co. inició un proyecto para un nuevo puente de ferrocarril en Pelaw. Las cosas evolucionaron desfavorablemente y la idea quedó en nada, pero tuvo el efecto de iniciar la cuestión de un nuevo paso del Tyne que fuera eficaz. Tras una conferencia, las autoridades locales de ambos lados del río resolvieron que, si se había podido llevar a la práctica un puente de ferrocarril, como el High Level Bridge, también se podía establecer un paso para vehículos y peatones.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Portal norte con el edificio de ventilación.

A partir de este momento todas las autoridades a lo largo del río empezaron a necesitar un nuevo paso, continuamente en proyecto; y como el tráfico por carretera crecía año tras año, empezó a reclamarse el proyecto cada vez con más urgencia. Tras estudiar los posibles lugares del emplazamiento, los ingenieros y supervisores de la autoridad local llegaron finalmente a la siguiente conclusión: de que la construcción del puente la realizaran las corporaciones de Newcastle y Gateshead. Fue terminado en 1928 e inaugurado por el rey Jorge V.

Es un puente espléndido. A diferencia de los antiguos puentes del Tyne, puede sostener cargas aisladas desigualmente repartidas, y en 1967 admitió un promedio de 35.000 vehículos diarios. Pero, aunque en sus casi cuarenta años de vida ha contribuido notablemente a resolver el problema del tráfico local, su utilidad se ha visto restringida por sus accesos urbanos, estrechos y congestionados, a pesar de las mejoras introducidas en los últimos años y a la implantación de direcciones únicas como soluciones de tráfico.

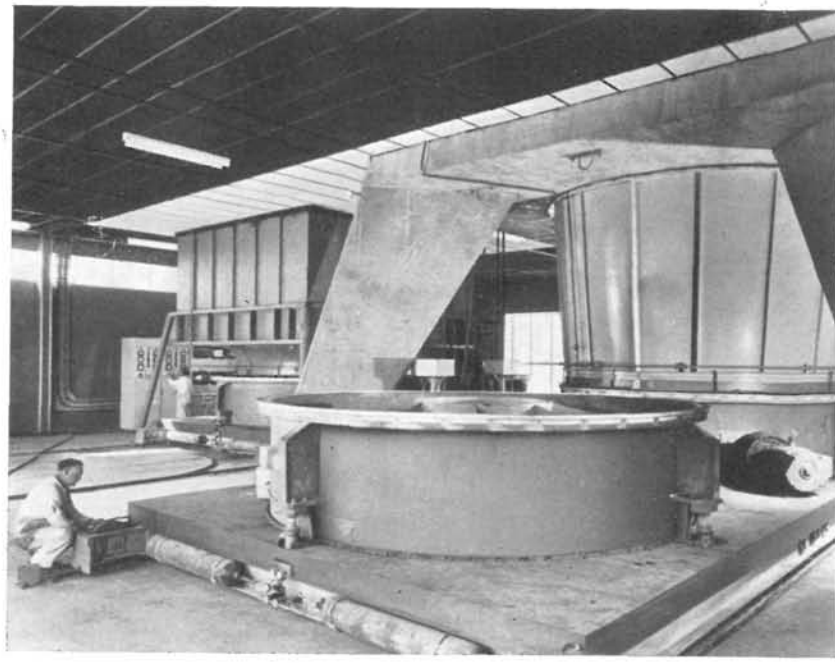
El nuevo puente de Scotswood, recientemente abierto, fue proyectado para aliviar dicho problema en Newcastle y Gateshead, proporcionando un paso mejor hacia el oeste en ambas localidades, mientras otro puente con sus accesos, emplazado en Redheugh, contribuirá valiosamente a disminuir la congestión entre las áreas centrales de las dos ciudades en ambos sentidos. Aún así, seguía constituyendo una aguda necesidad un nuevo cruce fluvial entre Newcastle y el mar.

El único proyecto que logró que esta idea progresara de un modo efectivo se realizó en 1920 y consistía en un

Edificio de ventilación norte durante las obras.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Interior del edificio de ventilación.



túnel entre North y South Shields. Se basaba en unos tranvías monorraíles eléctricos de gran velocidad, que funcionaban según el sistema ideado por F. W. Chalmers Kearney. Kearney reivindicaba para su sistema la facultad de vencer declives escarpados, reduciendo así la longitud del túnel o, lo que es lo mismo, evitando la necesidad de estaciones subterráneas. En 1926, el Ministerio de Transportes creó una Ley provisional autorizando la construcción, pero algunos aspectos del programa fueron rebatidos por objeciones locales y el consiguiente «Bill» fue rechazado por la Cámara de los Comunes tras su segunda lectura.

Nótese que el propósito inicial del siglo XIX a favor de un puente había dado paso a un túnel. Aunque probablemente el costo del puente sería menor, la repercusión que tendría sobre la navegación en los tramos inferiores del río, donde se estaban construyendo algunos de los barcos mayores del mundo y otros se reparaban o embonaban, hizo que esta idea no prosperase.

En 1937, los Consejos de los condados de Northumberland y Durham adelantaron un programa para construir un túnel-carretera bajo el río, entre Howdon y Jarrow, y después de prolongadas negociaciones y discusiones su plan fue aprobado en 1943 por el entonces Ministro de Transportes. La guerra aplazó la cuestión, pero tan pronto como las hostilidades cesaron los dos Consejos promovieron el «Bill» necesario, que recibió el correspondiente permiso real como Ley del Túnel del Tyne, 1946.

Esta Ley autorizaba la construcción de un túnel para vehículos de 8,915 m de diámetro, que serviría para una carretera de 6,706 m de anchura, y de dos túneles más pequeños, de diámetros respectivos 3,658 y 3,200 m, para ciclistas y peatones, respectivamente. En el proyecto original el acceso a los dos túneles pequeños se realizaría por medio de ascensores, reduciendo así su longitud. La responsabilidad de su realización recayó sobre una Junta de Comité formada por representantes de los Consejos de ambos condados.

Los ingenieros

Los ingenieros asesores elegidos por la Junta del Comité, primero para preparar los detallados planes en que se basaba el «Bill» del Túnel y después para la superintendencia de la construcción, fueron los señores Mott, Hay y Anderson. La elección fue algo natural, ya que no había otra empresa de ingeniería tan estrechamente identificada con los mayores proyectos de ingeniería civil en toda la zona nororiental. Ellos se encargaron de construir el puente del Tyne en Newcastle, 1928; el nuevo puente de Scotswood; el puente sobre el Tees en Newport, en Middlesbrough, y el puente Wearmouth en Sunderland. Quizá lo más significativo de esta relación sea que la firma poseía una experiencia acumulada en materia de perforaciones subacuáticas que se remontaba a 60 años e, indirectamente, a los días de los primeros grandes pioneros.

El realizador de la excavación del primer túnel subacuático del mundo, bajo el Támesis, que inventó y empleó el primer disco perforador subacuático, fue sir Marc Brunel. Sus ideas fueron desarrolladas posteriormente, primero por Peter Barlow y después por J. H. Greathead, que construyó el primitivo metropolitano de Londres, empleando un disco de su propia invención. Cuando Greathead fue encargado de la construcción de la primera línea del metropolitano a nivel profundo de Londres, el City and South London Railway, invitó a Basil Mott, uno de los fundadores de la firma y también ingeniero experimentado en minería, para trabajar en equipo. Posteriormente, Basil Mott se convirtió en ingeniero supervisor de toda la línea y allí encontró a su futuro socio, David Hay, que pertenecía al personal de la contrata. Más tarde, los dos hombres se asociaron a sir Benjamín Baker, el famoso ingeniero del puente para ferrocarril sobre el Forth, formando una empresa asesora de ingeniería por su propia cuenta. La firma adquirió su nombre actual cuando se agregó a ella David Anderson, 1920.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

La experiencia de los señores Mott, Hay y Anderson en trabajos de perforación de túneles ha sido casi continua. Desde la época del Ferrocarril Subterráneo de Londres, tienen en su haber muchas millas de túneles de circulación permanente, con sus estaciones y escaleras mecánicas, y recientemente han trabajado en la nueva Línea Victoria. Entre las dos guerras, uno de los proyectos en que han colaborado ha sido el túnel del Mersey y, más recientemente, también han estado relacionados con los túneles de Blackwall y Darford Road. La Junta del Comité, por tanto, estuvo muy acertada al buscar la asesoría de estos ingenieros.

Los túneles para ciclistas y peatones

El costo calculado en 1946 para los tres túneles fue de 576 millones de pesetas. El Ministerio de Transportes convino en subvencionar el 75 % de esta cantidad, dejando a los dos condados llegar a un acuerdo sobre los 144 millones restantes, a partes iguales. Sin embargo, debido a las restricciones de salida de capital implantadas en 1947, el ministro en funciones, Alfred Barnes, dispuso que durante este período el trabajo se limitaría solamente a los túneles para ciclistas y peatones. En éstos, los trabajos empezaron en junio de 1947, siendo el ingeniero encargado de las obras Jasper Kell, ahora socio «senior» de la firma Mott, Hay y Anderson.

Lo que distingue los túneles del Tyne de otros aparentemente semejantes, como los que están bajo el Támesis, es la naturaleza extremadamente variable de los terrenos encontrados. La elección de los métodos de perforación depende de consideraciones geológicas. Los fangos y gravas que están en contacto con el agua requieren el empleo de un disco combinado con la acción de aire comprimido para contener el agua, mientras que las arcillas firmes e impermeables no necesitan esto. En roca dura puede conservarse el disco como medida de precaución, porque sólo de la resistencia del terreno pueden derivarse impedimentos en la práctica de una excavación.

En la perforación de los túneles del Tyne se encontraron yacimientos de carbón, a base de esquistos, areniscas y pequeñas venas carboníferas, generalmente muy fisuradas y fracturadas, y aluviones glaciares depositados cuando el hielo se retiró y formados por morrenas que encerraban algunas capas de agua, descansando sobre lechos de fangos, gravas y arenas. En la arcilla que cementaba los materiales morrénicos estaban enclavados algunos cantos de gran tamaño y de naturaleza variable, desde arenisca blanda hasta dolerita gris extremadamente dura, que fue preciso volar con dinamita.

Además de estas dificultades naturales, a una profundidad media de 231,65 m por debajo de la línea de los túneles estaban las galerías abandonadas de las antiguas minas de carbón de Jarrow y Howdon. Estos pozos fueron excavados en 1801 y 1804 y el primero fue cerrado en 1845 a consecuencia de una explosión desastrosa. George Raw, un ingeniero de minas de Newcastle, fue encargado de informar sobre los posibles efectos de estos trabajos y contestó que, a su parecer, todo asiento de terrenos que hubiera podido ser provocado por ellos ya había cesado en los alrededores.

Posteriormente, se descubrieron tres pozos de mina abandonados sobre el trazado de la carretera del acceso norte, en Howdon, a 137,16 m de la entrada del túnel para vehículos. Tras un estudio detenido, cada uno fue cubierto con una tapa de hormigón.

Antes de empezar ningún trabajo de excavación de túneles, se efectuó cierto número de sondeos de prueba en ambas orillas del río, con lo que los ingenieros no ignoraban por completo las dificultades que encontrarían al avanzar. Sin embargo, y por desgracia, el terreno situado debajo del río continuaba siendo «terra incógnita», ya que los sondeos en el río habrían obstruido el estrecho canal destinado a la navegación. Debido en cierto modo a este motivo, los túneles para ciclistas y peatones sirvieron como sondeos de prueba para la realización del túnel para vehículos, que era el principal.

Se decidió poner escaleras mecánicas en lugar de los ascensores propuestos inicialmente, conservando sólo dos ascensores pequeños para las personas que no pudieran usar las escaleras. Por este motivo, la construcción se inició en ambas orillas excavando túneles en espiral para las escaleras. Ante la información suministrada por los sondeos de prueba, se decidió abrir el túnel trabajando con aire comprimido, pero sin disco. Las condiciones del terreno en la parte de Howdon eran especialmente desfavorables, y en enero de 1949 los mineros que cavaban el túnel de 3,658 m de diámetro pudieron comprobar que la cubierta rocosa, cuya existencia se preveía, no existía y que entre ellos y el río no se hallaba sino cieno y grava, porque habían abierto brecha en un antiguo cauce fluvial relleno con depósitos aluviales cuya presencia no se había sospechado hasta entonces.

Precisamente este caso era semejante al que el pionero Marc Brunel había encontrado anteriormente bajo el Támesis, a más de 90 m de profundidad, pero con una importante diferencia: Que él no

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

tenía equipo de aire comprimido para contener el agua del río. Bajo el Tyne, el aire, con una presión máxima tolerable, impediría ahora el desastre. No obstante, la situación fue crítica hacia el 2 de febrero de 1949, al escaparse el aire por un cráter de 3,658 m de profundidad y 12,192 m de anchura al atacar el lecho del río. En su superficie apareció un anillo turbulento de agua blanca y hubo que suspender los trabajos. Un incendio en la caseta del compresor aumentó las dificultades. El cráter fue taponado con material lanzado desde barcazas de compuerta; pero el 23 de febrero aparecieron nuevas dificultades en la excavación y se decidió avanzar por ensanche del túnel, empezando a partir de uno de 1,134 m de diámetro excavado con un disco y que servía como túnel piloto.

Acabados los túneles, que fueron revestidos con piezas de hierro colado, fueron inaugurados por el Ministro de Transportes, Alfred Barnes, el 24 de julio de 1951. Las escaleras mecánicas Waygood-Otis instaladas en los accesos salvan la mayor diferencia de cotas del país, siendo su recorrido vertical de 25,908 m. También son las primeras del país que pueden ser empleadas por ciclistas o peatones indistintamente.

El túnel para vehículos: planificación

Mientras tanto, se habían preparado planes detallados para el túnel de vehículos y se compraron ciertos terrenos. Pero los sucesivos ministros declinaron autorizar la construcción hasta que los Consejos de ambos condados lograron promover un segundo «Bill» parlamentario con objeto de prorrogar el tiempo que, para terminarlo, concedía la Ley original de 1946.

En este «Bill», que fue debidamente aprobado bajo la denominación de Ley del Túnel del Tyne, 1956, se tuvo la oportunidad de rectificar la Ley original en ciertos aspectos. La más notable de estas modificaciones fue el ensanchamiento del túnel proyectado hasta un diámetro interior de 9,5252 m. Esto permitiría incrementar la anchura de la carretera de 6,706 m a 7,315 m, de acuerdo con las nuevas medidas tipo de anchuras de carretera adoptadas últimamente.

Desde que se ha admitido que la pendiente máxima para vehículos en carretera sea del 5 %, es obvio que la dimensión crítica que determinaba la longitud del túnel (y su costo, por consiguiente) era la distancia entre la clave de la bóveda y el lecho del río. Es una alternativa complicada, ya que para una pequeña distancia ahorrada en profundidad hay una economía sustancial por reducción de la longitud de los túneles de acceso, pero se corre el riesgo de que aparezcan grandes y tal vez insuperables dificultades en el tramo situado bajo el agua.

Los encargados del caso habían estipulado una profundidad dragada en el canal de 15,24 m y por debajo de esta medida existían unos 6,096 m de aluviones y fangos acarreados por el río antes de que se llegara a alcanzar el lecho de roca. En vista de las dificultades experimentadas durante la excavación del túnel para ciclistas, de 3,658 m, se decidió llevar el túnel de vehículos a una profundidad de 10,363 m más abajo, es decir, que el nivel del eje del túnel en su punto más bajo está situado a 15,24 m bajo el cauce del río y a 30,48 m bajo las cotas de Artillería. Se consideraba que estas medidas proporcionarían una protección suficiente debido al espesor de la cubierta de roca. De hecho, se comprobó que el espesor mínimo de la cubierta bajo el canal oscilaba entre 1,8288 y 2,438 m, excepto en tres puntos, donde la roca había sido erosionada y los cañones formados se habían rellenado con fangos y arenas.

Por el lado de Howdon el terreno asciende desde la orilla del río de una manera continuada, incorporándose a la topografía local. Para coordinar con la carretera existente y para evitar las líneas de ferrocarril que van hacia el norte, la ruta del túnel fue desviada 120° por medio de una curva de 128,02 m de radio. Por el lado de Jarrow el terreno es llano y no fue necesario tomar medida alguna.

Como el costo previsto del túnel iba en aumento, en agosto de 1955 la Junta del Comité fue interrogada por el entonces ministro de Transportes, J. A. Boyd-Carpenter, para considerar la imposición de un derecho de peaje sobre los vehículos, así como para revisar la posibilidad de construir un puente en vez de un túnel, a pesar de la repulsa inicial de semejante medio de paso debido a sus efectos sobre la navegación.

Se realizó una investigación detallada de los problemas que involucraba la construcción de un puente de gran altura y luz sobre el río. En agosto de 1956 el Ministerio de Transportes informó que sería necesario respetar un espacio libre de 60,96 m para evitar perjuicios a las futuras operaciones de construcción o reparación de barcos que hubieran de realizarse en los muelles. El ministro aceptó la opinión de la Junta, de que realizar un paso por medio de un puente de esta altura sería impracticable, no sólo por las dificultades técnicas que supondría una estructura seme-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Entrada norte.

jante, sino también por la imposibilidad de acoplar satisfactoriamente los accesos en rampa en el espacio aprovechable de las orillas y de enlazarlos a la red de carreteras ya existentes. Por consiguiente, se acordó en principio la construcción de un túnel según las normas ya autorizadas por el Parlamento.

La Junta del Comité continuó presionando al Gobierno para que autorizase el comienzo de los trabajos del túnel, cuyo costo previsto había aumentado a más de 1.920 millones de pesetas en 1957. Sin embargo, en febrero de este año fue informada por Harold Watkinson, que era a la sazón Ministro de Transportes, de que todo nuevo proyecto de tal envergadura debía subvencionarse parcialmente a sí mismo y debía, por tanto, estar sometido a peajes, por lo que se pedía que no titubease en tomar tal determinación. La actitud del Ministro se resumió en que, de no haber peajes, no habría túnel.

Esto significaba un serio contratiempo, ya que los Consejos de ambos condados y otras autoridades comprometidas habían propugnado durante años una política que eliminase las cargas de peaje, hasta el punto de que todos los cruces del río Tyne estaban exentos de ellas, excepto el servicio del transbordador entre North y South Shields, en la desembocadura del río. Sin embargo, no hubo más alternativa que aceptar lo inevitable y se acordó que los primeros 640 millones de pesetas desembolsadas serían sufragados a partes iguales por los Consejos de ambos condados, con una aportación del 75 % de esta cantidad subvencionada por el Ministerio y que sería reintegrada debidamente gracias a la recaudación de los peajes.

Debido a este estado de cosas, la Universidad de Durham realizó un estudio del tráfico por cuenta de la Junta para estimar las cuotas de peaje que deberían satisfacer los usuarios y el beneficio que reportarían. Con objeto de proporcionar los poderes necesarios para imponer los peajes fue promovido otro Bill parlamentario, aprobado como Ley del Túnel del Tyne, 1960. Todos los planes estaban terminados en otoño de 1961 y la construcción del túnel fue inau-

Construcción del techo en la salida a Dee Street.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Vista aérea.

gurada formalmente por Ernest Marples, Ministro de Transportes, el 9 de octubre de dicho año. Los señores Mott, Hay y Anderson habían nombrado a S. G. Tough como su ingeniero delegado.

Comienzo de los trabajos

Unas 30 calicatas, algunas en el lecho del río, fueron practicadas sobre o casi sobre la línea del túnel. Así, aunque los datos suministrados nunca pueden ser totalmente de fiar, particularmente bajo condiciones geológicas tan extremadamente variables, los ingenieros pudieron hacerse una idea de las condiciones en que probablemente se encontrarían.

Las operaciones empezaron excavando, en la orilla de Howdon, un pozo de trabajo de 5,4866 m de diámetro, a través de masas de arcilla de 28,651 m de potencia. Este pozo, como el mismo túnel, fue forrado con piezas de hierro colado. Estaba situado un poco al oeste de la línea de la porción subacuática del túnel y contiguo al punto donde se uniría al acceso en curva del túnel. Casi desde la base de este pozo se abrió una galería transversal hasta la línea del túnel y desde este punto se inició hacia el río un túnel piloto de 3,658 m de diámetro, excavado a mano y con disco. Bajo tierra fueron construidas una compuerta para el aire comprimido y antecámaras de compresión, mientras en la superficie se instaló el equipo que suministraría el aire necesario. Este equipo estaba formado por compresores accionados eléctricamente, capaces de proporcionar 339 m^3 de aire del exterior por minuto a presiones superiores a 3,164 kp/cm^2. Como el menor fallo en este suministro de aire sería desastroso, no sólo se duplicó la energía eléctrica, sino que se instaló un juego de cinco compresores movidos por diesel para mayor seguridad.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

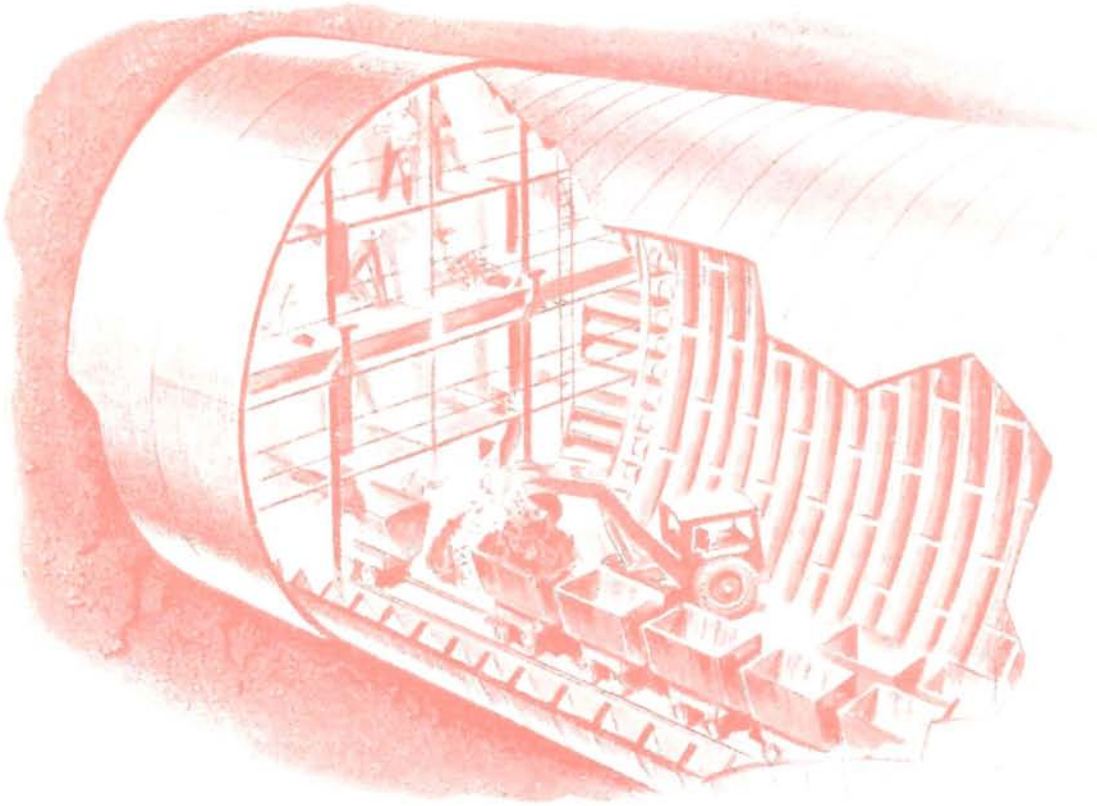
Los túneles piloto

Cuando esta instalación quedó terminada en la primavera de 1962, pudo empezarse el trabajo de abrir el túnel piloto hacia el sur, por debajo del río, empleando el aire comprimido y con ayuda de un disco. El disco era del modelo convencional que se emplea para excavar bajo el agua, con un diafragma completo de protección, dentro del cual se iban alineando los segmentos de fundición del revestimiento, de 3,658 m de diámetro, que se empernaban in situ, a razón de un anillo completo cada vez, a medida que el disco avanzaba gracias a sus doce arietes hidráulicos. Estos últimos eran impulsados por una bomba que, con otro apresto, estaba montada en un «carro» arrastrado detrás del disco. Por delante de éste trabajaban palas neumáticas, descargando sus escombros sobre transportadores que los llevaban a la parte superior del túnel, a retaguardia, donde eran descargados en vagonetas, colocadas bajo el extremo de descarga del transportador, siguiendo un turno rotatorio y que se desplazaban sobre raíles de vía estrecha.

Descendiendo hacia el lecho del río con una pendiente de 1 : 20, la línea del túnel piloto era aproximadamente concéntrica con la planeada para el túnel principal, pero al alcanzar el pie del declive seguía un camino más elevado, con lo que los coronamientos de ambos túneles quedaban al mismo nivel, que era el mejor para proporcionar la cubierta de roca más adecuada en la sección crítica debajo del río.

Se encontraron en seguida cienos, arenas y gravas, a los que siguieron gran variedad de rocas en los estratos de carbón. En tres secciones estrechas, la cubierta de roca era muy delgada, y en estos puntos, y donde las calicatas indicaban que la cubierta rocosa se reducía a menos de 2,134 m, los materiales empleados variaron de cemento y ceniza muy fina a lechadas químicas modernas, inyectadas a alta presión a través de agujeros practicados a lo largo de la línea del túnel. El objeto de estas inyecciones era fortalecer y consolidar el terreno en los puntos débiles, formando así una pantalla impermeable de unos 3,658 m de espesor sobre la clave de la bóveda. La efectividad de este tratamiento fue comprobada después, cuando se empezó a construir el túnel principal.

Con semejantes procedimientos, este túnel piloto avanzó hasta alcanzar un punto bajo la orilla sur del río, donde las calicatas indicaron que el espesor de la cubierta de arcilla depositada sobre la roca crecía rápidamente. El peligroso canal invisible del río había sido atravesado sin tropiezo.



Detalle de construcción.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Túnel: primera fase.

Túnel: segunda fase.

No lejos del moderno y revitalizado centro comercial de Jarrow fue demolida una hilera de casas de la época victoriana, en Dee Street, para abrir camino a una ampliación igualmente moderna en el campo del transporte. El extremo meridional del túnel fue alineado con su eje y se eligió para el portal sur un lugar casi opuesto a la iglesia parroquial de S. Marcos, hacia el extremo norte de la calle.

Ante la evidencia suministrada por las calicatas, se decidió que, con ayuda de un disco, el túnel podría ser dirigido desde este portal hacia el río, hacia el norte, trabajando sin aire comprimido ni túnel piloto preliminar. Para montar el disco se excavó un foso de hormigón armado en Dee Street, en el lugar del futuro portal sur. Este trabajo se inició 6 meses después de haber empezado las operaciones en Howdon. Al cavar este foso, apareció un lecho de 2,743 m de capas alternantes de arcilla y cienos, por lo que los ingenieros consideraron conveniente excavar un túnel piloto de 2,134 m de diámetro dirigido hacia el norte, a lo largo de la línea del túnel principal. Esto se hacía con el objeto de examinar los lechos de cienos húmedos y descubrir experimentalmente si era posible excavar en ellos sin que se produjeran pérdidas de terreno. Esto era esencial para no afectar los establecimientos y construcciones de las calles situadas encima.

Dicho túnel piloto, de 2,134 m, fue excavado sin discos, y pronto pudo verse que era imposible retener los lechos de fango entre el montaje de dos anillos consecutivos de fundición. Los ingenieros decidieron ensayar el efecto del aire comprimido, y el éxito fue completo. Con aire a sólo 0,56246 kp/cm^2, el resultado fue espectacular. En menos de 24 horas los obreros pudieron trabajar en el túnel en seco, cortando los lechos de fango a manos libres y dejando una superficie perfecta. El montaje del disco para la excavación principal se había terminado mientras tanto, y ésta había avanzado 15,24 m; pero en vista de estos afortunados experimentos, toda excavación posterior desde Dee Street se llevó a cabo trabajando con aire comprimido a presiones relativamente bajas.

Una vez que el trabajo en la orilla sur del Tyne pudo proseguir en dos frentes distintos, se excavaron dos pozos de 5,486 m de diámetro, revestidos de fundición, en un lugar adyacente a Ferry Street, Jarrow, y 457,2 m más cerca de la orilla del río que el portal sur. Aquí la línea del túnel, que descendía desde el portal, había pasado bajo los depósitos glaciares para quedar totalmente incrustada en capas de carbón con un espesor de 36,58 m. Estos dos pozos se excavaron a través de lechos de arcilla y fango hasta llegar a las capas de roca. Primero se emplearon como pozos de abastecimiento y descarga para la planta de ventilación sur. El pozo de insuflado se excavó ligeramente desviado hacia el este, pero el de descarga lo fue directamente sobre la línea central del túnel.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Desde este punto hacia el norte los yacimientos de carbón hicieron innecesario el empleo del disco, y el trabajo pudo realizarse con atmósfera normal. También desde este punto, un túnel piloto de 3,048 × × 3,048 m, sostenido por arcos de acero, fue excavado hacia el norte bajo el río Tyne para encontrar el de 3,658 m de diámetro que se acercaba desde la orilla de Howdon. Se hizo luz entre ambos el 4 de febrero de 1965. Prescindiendo de una compuerta estanca en el túnel de 3,658 m, quedaba abierta una comunicación bajo el río.

El túnel principal

Los túneles piloto no habían avanzado mucho cuando empezaron los trabajos de excavación de la primera sección del túnel principal a partir de un pozo situado en el emplazamiento del portal septentrional, en Howdon. Incluían toda la sección en curva del acceso desde el portal hasta el pozo de trabajo de Howdon, donde comenzaba el túnel piloto de 3,658 m de diámetro. Este trabajo empezó en agosto de 1962 y terminó en julio de 1963. Como no hubiera sido fácil construir un disco para trabajar en una curva de radio tan pequeño, el contratista decidió remplazarlo por un caballete, movido y mantenido en posición por gatos hidráulicos y que se desplazaba sobre cartelas provisionales dotadas con rodillos y aseguradas al revestimiento que se iba colocando a medida que se avanzaba. Afortunadamente, la naturaleza del terreno era tal que el disco no resultaba imprescindible.

Ahora es necesario describir detalladamente el revestimiento del túnel. Debido a su resistencia a la corrosión, así como a su capacidad para admitir esfuerzos de compresión, la fundición es el material más adecuado para este propósito, y todo el revestimiento primario del túnel principal consta de una serie de anillos hechos con segmentos de fundición embridados; las bridas están empernadas sin interrupción en ambos sentidos, longitudinal y transversalmente, teniendo los pernos un diámetro de 31,75 mm. Como el revestimiento está sometido a una presión externa considerable, entre los extremos de los segmentos se intercalaron cintas de plomo para prevenir filtraciones de agua, calafateados posteriormente remachando el borde de las cintas contra las juntas. Por la misma razón se emplearon estribos de un plástico especial bajo las arandelas de los pernos. Los bordes de los segmentos son paralelos. Los segmentos tienen dos anchuras tipo, 45,72 cm y 76,20 cm. Cada anillo completo, cuyo diámetro interior es de 9,60 m, consta de catorce segmentos y una pieza de clave, cuyos bordes radiales tienen pestañas para facilitar que se complete el anillo. Un anillo completo de 76,20 cm de ancho, pesa 17,5 t. En total, la famosa empresa Carron Ironworks y sus subcontratistas suministraron 45.000 t de fundición para revestir el túnel.

Revestimiento.
Bajo la losa de tráfico.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Allí donde los túneles presentan una curva, ya sea en sentido horizontal o vertical, se colocaron unos anillos hechos con segmentos especiales que tienen pestañas en los bordes, para proporcionar el tiro necesario en el radio exterior, más largo. En la excavación iniciada en el portal de Howdon, el túnel avanzaba según una curva, de 128,02 m de radio, que exigía el empleo alternativo de anillos paralelos y en cuña, acotando la longitud, anchura, borde y caras tantas veces como fue necesario hasta completar la estructura. El ritmo de construcción en esta excavación se estimó en 10,58 m por semana, hasta que se alcanzó el pie del pozo de trabajo de Howdon después de recorrer 274,32 m. Aquí la excavación había sido ampliada a 11,278 m con el fin de facilitar el montaje del disco para perforar el túnel principal.

Mientras que el disco instalado en Dee Street, Jarrow, era un elemento reajustado que había prestado servicios anteriormente en la construcción del túnel de Dartford, el de Howdon fue proyectado especialmente y construido por Joseph Westwood and Co. Ltd. del Napier Yard, donde fue botado el buque «Great Eastern», de Brunel. A diferencia de su compañero, lo proyectaron de forma que funcionara independientemente la mitad superior de la inferior. Con esto se buscaba la ventaja de que, en el caso de que la mitad inferior del disco encontrara roca, la superior pudiera continuar avanzando. Sin embargo, las cosas evolucionaron de modo que no fue necesario utilizar esta facilidad. En todos los demás aspectos los dos discos eran semejantes.

Cuando estuvo totalmente montado, el disco pesaba 250 t. Estaba movido por 44 arietes hidráulicos que trabajaban a una presión máxima de 175,768 kp/cm^2 y actuaban contra la superficie del último anillo del revestimiento ya terminado, en orden a dirigir el borde cortante del disco hacia adelante abarcando la anchura de un anillo a la vez. El disco piloto que lo había precedido tenía un diafragma protector completo en la parte posterior, dentro de la cola en que los anillos del revestimiento ya estaban montados. A medida que el disco avanzaba, los vacíos que quedaban detrás del disco una vez puesto el anillo de revestimiento se rellenaban por medio de inyecciones de lechada de cemento. Donde las condiciones del terreno lo requerían, la superficie de trabajo era sostenida de modo continuo gracias a un entibado mantenido en posición desde el disco por jabalcones («gun struts») consistentes en viguetas de 15,24 $\times$ 7,62 m. Unas abrazaderas de fricción facilitaban que los jabalcones fueran colocados o retirados de modo que la superficie de sustentación no se perdiera al avanzar el disco. En los compartimientos del disco, los mineros empleaban para excavar herramientas de mano de aire comprimido, sacando los escombros por canaletas hacia el fondo del disco, desde donde eran elevados por «rocker shovel» (cargadores especiales para trabajar en túnel), ya a una cinta transportadora, ya directamente a unos cajones. Para acarrear éstos se emplearon cabrias eléctricas, y fuera de las esclusas de aire eran descargados en vehículos con ruedas.

El disco arrastraba tras él un caballete de trabajo que corría sobre cartelas con rodillos, unidas al revestimiento del túnel. El caballete transportaba, entre otras cosas, las bombas hidráulicas que suministraban energía a los arietes del disco y a los brazos hidráulicos empleados para colocar los segmentos de los anillos del revestimiento en posición de ser empernados.

Cuando se montó el disco de Howdon y pudo avanzar fuera de su foso de montaje, se construyó tras él un muro estanco al aire de 4,572 m de espesor. Esto se consiguió con dos cierres de cascote a nivel de los raíles de las vagonetas y sobre ellos una simple esclusa para los trabajadores. Como precaución contra una posible inundación del túnel, junto al mamparo de aire comprimido se inició un pasillo de emergencia, convenientemente elevado, que unía la esclusa con los compartimientos altos del disco. Este dispositivo se amplió a medida que avanzaba la excavación.

Las medidas de trabajo con aire a alta presión deben cumplir con las normas sobre aire comprimido de 1958, que incorporan una tabla de tiempos de descompresión para un hombre de constitución normal. Los trabajadores que volvían al aire libre debían permanecer en la cámara de aire de la esclusa mientras la presión se reducía gradualmente, siendo mayor el tiempo de descompresión cuanto más elevada hubiera sido la presión de trabajo. Debían observarse estrictamente las medidas médicas y en todo momento podía tratarse en el acto cualquier síntoma de la enfermedad ocasionada por el aire comprimido. Esta enfermedad, o diversas «inclinaciones» que pueden llegar a ser muy dolorosas, son causadas por la presencia en el torrente sanguíneo del nitrógeno residual de la atmósfera. En orden a facilitar el trabajo del vigilante de la cámara en cuestión de tanta responsabilidad, se instalaron aparatos automáticos para asegurar el tiempo de descompresión adecuado. Como medida adicional, los manómetros situados en cada estación estaban duplicados en la sala de control y en el centro médico.

A medida que el disco de Howdon avanzaba hacia el río desde el mamparo estanco, apareció roca dura que perjudicaba el borde de ataque del disco y a veces provocó una detención temporal para efectuar reparaciones.

El efecto benéfico de la consolidación del terreno, que se había realizado previamente desde el túnel piloto, fue tal que la presión de aire que se consideró necesaria era sustancialmente inferior a

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

la que se necesitó para excavar dicho túnel piloto, y los fangos, arenas y gravas resultaron estar en excelentes condiciones para permitir el progreso de la perforación. Así, el disco fue avanzando, «tragándose» el túnel piloto de 3,658 m, que fue demolido progresivamente hasta que, en agosto de 1965, se alcanzó un punto situado bajo el río, a medio camino.

Por el lado de Jarrow, la instalación del equipo de aire comprimido y del muro estanco habían permitido hacer avanzar nuevamente el disco, desde Dee Street, en febrero de 1964. Como sólo se requería aire a baja presión, pudo verificarse la instalación, equipando el mamparo con sólo dos esclusas, a través de las cuales podían pasar hombres y material. Se progresó de manera irregular, y el 31 de enero de 1966 se alcanzó la cámara situada bajo Ferry Street, lugar donde este disco fue desmantelado.

Mientras tanto, a finales de marzo de 1965, había empezado el trabajo de excavación del túnel principal, desde Ferry Street hacia el norte, a través de los yacimientos de carbón, con el fin de enlazar con la galería abierta desde Northumberland. Igual que el túnel piloto precedente, fue abierto sin disco, al aire libre. La reunión final entre las galerías principales, excavadas desde Northumberland y Durham, se realizó el 7 de junio de 1966. Así que el disco de Howdon se acercó a la longitud total del túnel, las galerías se excavaron desde la parte superior y se insertaron viguetas de acero para sostener la cubierta entre la estructura del disco y el revestimiento del túnel. Después, el disco fue desmantelado sistemáticamente, empezando por el borde de ataque. Los últimos anillos del revestimiento se ajustaron dentro de la cola del diafragma del disco, que así quedó in situ.

La excavación del túnel principal duró algo más de 45 meses. Su longitud es superior a la que se había proyectado en principio, siendo una de las razones la falta de mano de obra experta en el trabajo de perforación de túneles, aunque esto parezca extraño en un distrito que tiene una tradición secular en trabajos de minería. Sin embargo, la perforación de un túnel es una ocupación altamente especializada, que supone técnicas y métodos de trabajo que difieren en muchos aspectos de las empleadas por los mineros de carbón.

Superficie de rodadura

Una vez que fueron limpiadas las partes de los anillos de revestimiento que formaban la mitad inferior del túnel, se recubrieron con hormigón, proporcionando así una superficie lisa por la que iría eventualmente el principal conducto de ventilación. Esta superficie se empleó también para los vehículos de transporte rodado que se necesitaron para transportar los materiales precisos para terminar el túnel.

Al mismo tiempo se fabricaron ménsulas de hormigón para sostener los elementos de la superficie de rodadura. Cada uno de éstos tiene 2,438 m de largo, 7,952 m de ancho y un peso de 22 t, y son de hormigón armado. Fueron prefabricados en un taller adyacente al túnel, situado en Coble Dene. Un curado de vapor aseguraba un ciclo de colada de 24 horas en cada uno de los ocho moldes. De esta manera se conseguía un ritmo de producción de siete elementos diarios. Cuando cada elemento estaba terminado se transportaba con una grúa hasta un vehículo de carga especial, equipado con una placa giratoria que podía subir y bajar. Este vehículo llevaba al túnel cada elemento, girándolo 90° y dejándolo en su posición aproximada sobre las gradas de las ménsulas. Por último, una grúa móvil especial, equipada con gatos y que se movía sobre un escalón inferior de las ménsulas, lo nivelaba y emplazaba, dejando intervalos de 0,61 m. Estos intervalos vacíos permitían colocar barras como refuerzo en voladizo, que armaban el conjunto. Después, eran cegados con hormigón in situ. Se colocaron los encintados, hormigonándose los elementos prefabricados a cada lado de la calzada. La superficie de rodadura fue recubierta después con un mástique asfáltico vertido a mano. La anchura entre bordillos permite una calzada con una anchura disponible para el tráfico de 3.658 m en cada sentido de circulación y con una altura de paso mínima de 4,877 m, medida sobre el encintado.

Revestimiento secundario

Desde una línea de rodapié sobre el nivel de la calzada, el revestimiento de fundición del túnel está totalmente cubierto con un laminado de acero esmaltado, consistente en un cielorraso azul oscuro por encima y paneles blanco mate en las paredes. Varillas colgantes, incrustadas en agujeros preparados en los rebordes de los anillos de fundición, sostienen una serie de entramados ligeros de

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

«Roundabout» mayor.

acero, a los que están unidos los paneles del cielorraso. Una armadura de acero sostiene los paneles de las paredes, cuyas juntas están disimuladas con tiras vistas de acero inoxidable. Todo el acero que queda oculto está tratado especialmente contra la corrosión por medio de pinturas metalizantes y epoxi. Los andenes junto a la calzada van solados con mosaico vítreo, estando todo el revestimiento y el acabado del túnel concebidos para proporcionar superficies firmes, lisas, resistentes al tráfico y cómodas de limpiar.

Drenaje

Como puede testificar cualquiera que visitara el túnel antes de que se instalara el revestimiento secundario, por aquel entonces ya se habían calafateado definitivamente las filtraciones de agua, que eran despreciables a través del revestimiento primario. No obstante, en el entramado del cielorraso se incluyó un tejadillo de cemento de asbesto para que actuase como escurridero. Así, toda agua filtrada o condensada es desviada por detrás de los paneles de la pared y es recogida en cunetas, justo sobre el eje horizontal del túnel. Desde estas cunetas el agua es desviada hacia abajo, al túnel inverso situado bajo la superficie de rodadura, por medio de tuberías que pasan por detrás de los andenes.

El tramo más profundo del túnel, situado bajo el río, no está a nivel, como podría parecer, sino inclinado hacia el norte según una pendiente de 1 : 275. Esto supone que el agua recogida en la solera, ya procedente del túnel, ya de las operaciones de limpieza, puede correr de modo natural hasta un sumidero construido bajo la solera, hacia la orilla norte del río. Desde dicho sumidero se devuelve por bombas a prueba de fuego a la superficie, donde, después de pasar a través de interceptadores de aceite, se descarga en las alcantarillas locales.

Ventilación

En todo túnel de vehículos de cierta longitud tiene suma importancia instalar un sistema de ventilación eficiente y absolutamente seguro. Como ya se ha mencionado, los pozos de trabajo de Ferry Street, en la orilla sur, fueron proyectados para ventilación, y el edificio que alojaba los ventiladores fue construido directamente sobre ellos. Los pozos de ventilación de la

Al sureste del «roundabout» mayor.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Preparación del «roundabout» frente al puente ferroviario.

orilla norte están situados sobre el portal de Howdon, y el edificio y la maquinaria que contiene es una réplica de la instalación de Jarrow.

En cada una de estas estaciones, un gran ventilador axial, que funciona eléctricamente, está colocado verticalmente sobre la boca del pozo de ventilación y lleva el aire a través de las rejillas de ventilación, situadas en la parte alta de las paredes de la fábrica. Cerca de él, sobre un carretón móvil, está montado un elemento idéntico, que en caso de fallar el primero podría ser puesto en funcionamiento por control remoto.

El ventilador obliga al aire a bajar por el pozo de ventilación y seguir hasta el túnel inverso situado bajo la superficie de rodadura. Desde aquí, el aire entra en el túnel propiamente dicho a través de dispositivos abiertos en los elementos de los andenes. Cerrando algunos de estos dispositivos, puede regularse el insuflado de aire para garantizar una distribución uniforme a través del túnel. El aire viciado, cargado y lleno de humo, se extrae con ventiladores similares sobre los pozos de descarga, colocados en la línea central del túnel. Estos ventiladores descargan a través de chimeneas de sección circular, cuyo diámetro aumenta con la altura para favorecer el movimiento del aire y conservar una separación con respecto a las válvulas de entrada de aire fresco. Tienen 45,72 m de altura y son de hormigón armado revestido con

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Fotos: MAYO LTD. y TURNERS LTD.

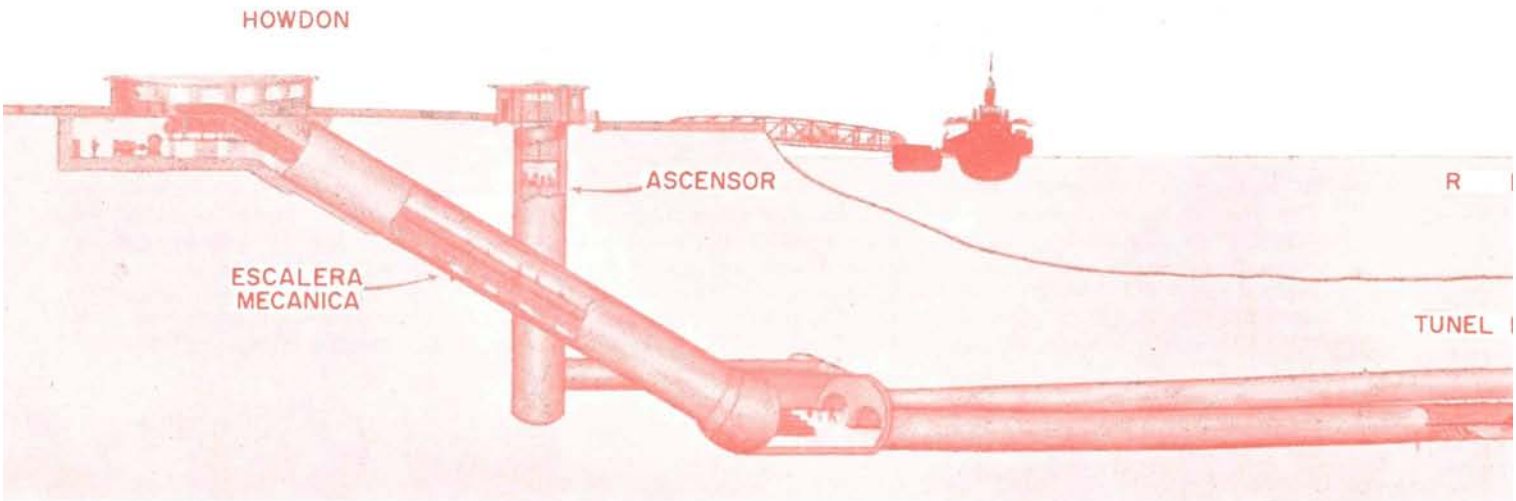
Detalle de construcción: puente ferroviario.

Area de prefabricación.

mosaico vítreo. Estas chimeneas, haciendo guardia sobre ambas orillas del río, representan la contribución más llamativa del túnel al paisaje de la zona del Tyne. La capacidad total del sistema de ventilación es de 21.230 m³ de aire por minuto.

Iluminación

Desde el punto de vista de la seguridad, es importante que los conductores de los vehículos usuarios del túnel no se vean sometidos a cambios repentinos en la intensidad de la luz. Por esta razón, la línea ininterrumpida de tubos fluorescentes que va montada longitudinalmente en el centro del cielorraso está calculada para que ilumine con más intensidad cerca de los portales que en el centro del recorrido. El grado de intensidad en los portales puede ser controlado para ajustarse a las condiciones de cada uno. Por la misma razón, al salir de los portales hay viseras que se prolongan durante un cierto espacio, para aliviar la transición brusca de la luz natural a la artificial. Debido a la diferente orientación y topografía de los portales, estas viseras son distintas. En el norte consisten en una celosía de vigas de hormigón prefabricadas, mientras que en el sur es un nido de abeja de aluminio.



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Administración y servicios

Se han instalado aparatos que permiten medir continuamente la concentración de monóxido de carbono, la densidad de humos y el aire insuflado en el túnel. Una televisión en circuito cerrado facilita el control permanente del tráfico.

Los andenes del túnel sólo están preparados para casos de auxilio y emergencia. En toda su longitud hay puntos contra incendios y teléfonos, instalados a intervalos de 45,72 m. Las rampas de acceso al túnel están calentadas eléctricamente para prevenir los riesgos de la escarcha en invierno, y tienen avisos con la altura máxima que pueden tener los vehículos.

El equipo móvil comprende recuperación de vehículos en caso de accidente, prevención contra incendios y un vehículo especial para limpiar el túnel.

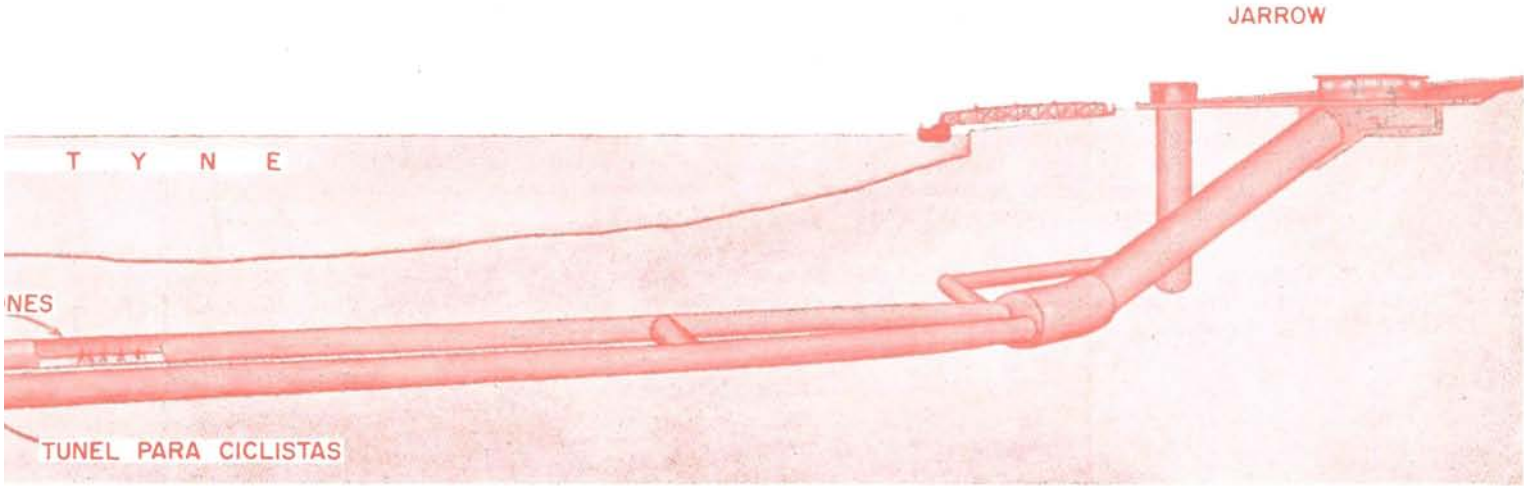
Para todos los demás servicios, el centro nervioso del túnel es el edificio de administración y control especial, situado cerca de las cabinas de peaje en la orilla norte.

Carreteras de acceso

El primer objetivo del túnel del Tyne es mejorar las comunicaciones entre las comunidades industriales establecidas a lo largo de ambas orillas del río. De esta forma, se espera beneficiar a las industrias locales existentes y promover un nuevo desarrollo industrial. Sin embargo, cuando los planes presentes estén terminados y las carreteras de acceso al túnel se unan con la Great North Road A 1, al norte de Seaton Burn, en Northumberland, y con la autopista A 1(M), en Durham, por medio de la proyectada autopista Chester-Ie-Street-Whitemare Pool, la utilidad del túnel en lo referente al tráfico será más evidente. Esta utilidad aumentará posteriormente, cuando el proyectado desvío de Sunderland y las mejoras de la Trunk Road A-19, que la convertirán casi en una autopista normal, queden terminados, proporcionando una red de carreteras moderna y cómoda que unirá el Teesside y el sur con el Tyneside y el norte.

Que las necesidades futuras del tráfico puedan llevar a la duplicación del túnel es una contingencia que no ha sido tenida en cuenta, mientras que el sistema de carreteras de acceso para dos vías de circulación, con distribuidores de tráfico que las unen a las principales carreteras que actualmente corren rígidamente paralelas al río, fue proyectado con una evidente idea de duplicidad. Se ha previsto un ensanchamiento de carreteras desde 7,315 m hasta 10,937 m, si es necesario.

Sección general.



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

La construcción de la carretera de acceso septentrional exigía dos puentes de ferrocarril, salvando, respectivamente, la línea eléctrica Newcastle-Tynemouth y su ramal Riverside. Estos puentes fueron construidos según la técnica convencional adoptada en la construcción de autopistas. Los tableros de los puentes, con vigas de acero de alma llena, soldadas, fueron construidos sobre bolas de acero que corrían por los canales del andamiaje, para ser descendidos después sobre los estribos, previamente construidos en los terraplenes del ferrocarril. El «budin» desprendido del terraplén se niveló después con un bulldozer. De este modo, los puentes fueron instalados con un mínimo de interrupción del tráfico en la vía férrea.

La construcción de los accesos meridionales, en Durham, fue algo mucho más complicado. El ferrocarril ligero de Jarrow tuvo que ser llevado por encima del acceso en curva por medio de un viaducto de hormigón armado, de seis vanos, y fue preciso construir un puente de vigas de acero de alma llena para la línea férrea Gateshead-South Shields. Pero estas dificultades fueron las menos importantes. Desde el túnel, la carretera sale al valle del Don, un afluente, donde resultó haber un espesor de cienos blandos sobre el estrato rocoso no inferior a 15,24-18,29 m. Además ésta es una región de minas de carbón en activo, con una subsidencia futura calculada en 1,524 m, y que, por consiguiente, había de ser tenida en cuenta.

La primera tarea que hubo de ser acometida en esta región fue la desviación del río Don hacia un nuevo cauce, lo que supuso un conducto de hormigón considerablemente armado. El tramo en curva situado a la entrada del túnel y gran parte de las carreteras de las proximidades tenían que apoyarse sobre pilas y las propias carreteras eran sostenidas por un entramado de hormigón, proyectado para disminuir los efectos de la futura subsidencia.

Se puede mencionar una interesante relación histórica con el viejo Tyneside en lo referente a la construcción de los accesos al túnel. Los bergantines carboneros del Tyne volvían en lastre desde el puerto de Londres y lo descargaban en Willington Quay, cerca de la entrada norte del túnel actual. El famoso ingeniero del Tyneside Robert Hawthorn construyó, en 1802, un ferrocarril en plano inclinado, sobre el cual se transportaba el lastre en vagones gracias a una máquina de balancín por enrollado de su propia invención. Con tal instalación, la primera de su clase en el norte, se formó sobre el muelle un enorme montón, conocido como la colina de lastre de Willington. Además, como guardafreno para su nueva máquina, Hawthorn nombró a George Stephenson, entonces totalmente desconocido para la fama. Desde entonces, esta colina ha visto considerablemente reducido su tamaño, pero éste continuaba teniendo la importancia suficiente para constituir la cantera más útil y conveniente para obtener el material empleado en la construcción del acceso norte. Por tanto, esta carretera está cimentada con un balasto que George Stephenson pudo haber ayudado a transportar hace tiempo y una generación pretérita de ingenieros del Tyne, inconscientemente, ha ayudado a sus sucesores de hoy.

Conclusión

La reciente terminación de las obras del túnel del Tyne marca la realización de un sueño largamente acariciado por todos los habitantes de la región. Es el más largo y el de mayor diámetro de todos los túneles construidos con la ayuda de aire comprimido en Gran Bretaña. Su longitud es de 1.676,4 m. Está situado a 9,656 km río abajo de los puentes de Newcastle y representa un inmenso ahorro en tiempo, gasolina y dinero para todos los que viven y trabajan en las riberas del Tyne. Sobre todo, es una obra prodigiosa de ingeniería civil, habilidad y perseverancia, que merece figurar junto a las realizaciones de los ingenieros pioneros que construyeron los más viejos pasos del Tyne.

Todos los permisos y las obras se han realizado por la iniciativa y bajo la supervisión del Comité del Túnel del Tyne, dirigido por los señores D. Dawson y J. S. Goodwin y asesorado por la empresa Mott, Hay and Anderson.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Le tunnel de la Tyne - Grande-Bretagne

Mott Hay and Anderson, ingénieurs

Le tunnel de la Tyne, nom dû au fleuve qu'il franchit, est le plus important dans son genre en Grande-Bretagne. Ses dimensions sont: 1.676,4 m de long, 9,456 m de diamètre intérieur, 7,315 m de largeur totale, 4,877 m de hauteur libre minimale. Il comporte une route à deux voies de circulation. Deux tunnels plus petits, qui lui sont parallèles, destinés aux cyclistes et aux piétons le complètent. Ils ont servi, en quelque sorte, de tunnels pilotes, permettant de reconnaître le terrain et de prévenir les difficultés qui surgiraient lors de l'excavation du tunnel principal.

Ce tunnel principal a été creusé à l'aide du système à air comprimé.

Les routes d'accès totalisent 4,8 km, d'une largeur de 7,315 m, à porter à 10,973 en cas de besoin. Il a fallu de construire trois ponts franchissant des voies ferrées, un viaduc et trois ponts routiers.

La ventilation, l'éclairage et les services ont été très soignés et dotés de tous les progrès modernes.

The Tyne Tunnel, Gt. Britain

Mott Hay and Anderson, engineers

The Tyne Tunnel, which runs under the river Tyne, is the most important project of its type in Britain. It is 1,676 m long, has an inner diameter of 9.46 m, a useful width of 7.32 m and a free height of 4.88 m. It contains a two directional roadway. There are two smaller, lateral tunnels, parallel to the main one, to provide communication for pedestrians and cyclists. These served also, in a certain sense, as pilot tunnellings, to study the soil and forestall the difficulties that would develop on excavating the main opening. The tunnel was excavated by means of a compressed air system.

The approach roads have a total length of 4.8 km and are 7.32 m wide, but they can be widened to 10.97 m, if needed. It was necessary to build three bridges over railway lines; one viaduct and three overpasses over roadways. The ventilation, illumination and other services of the tunnel have been very carefully planned and the project is fitted with all modern devices.

Der Tyne-Tunnel - England

Mott Hay and Anderson, Ingenieure

Der Tyne-Tunnel, der den Fluss gleichen Namens durchquert, ist der bedeutendste seiner Art in Gross Britannien. Seine Dimensions sind: Länge, 1.676,4 m; Innendurchmesser, 9,456 m; Gesamtbreite, 7,315 m; Lichte Mindesthöhe, 4,877 m. Er beherbergt eine Strasse mit Fahrbahn in beiden Richtungen. Desweiteren bestehen zwei kleinere Tunnels, die zum Haupttunnel parallel verlaufen und für den Fahrrad- und Fussgängerverkehr bestimmt sind; sie dienten in gewisser Hinsicht als Modellfall, indem sie es ermöglichten, das Gelände zu erforschen und die Schwierigkeiten zu erkennen, die später beim Aushub des grossen Tunnels auftauchen sollten.

Die Ausgrabung erfolgte mit Hilfe eines Druckluftsystems.

Die Zufahrtsstrassen haben eine Länge von insgesamt 4,8 km, bei einer Breite von 7.315 m, die erforderlichenfalls zu erweitern ist auf 10,973 m. Es mussten drei Brücken über die Eisenbahn, ein Viadukt und drei Strassenbrückungen errichtet werden.

Der Entlüftung, Beleuchtung, Dienstleistungen u.s.w wurde grösste Aufmerksamkeit geschenkt und sie wurden mit den modernsten Errungenschaften ausgestattet.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es