



*"la Directísima" en los Alpes * AUSTRIA*

519-17

SINOPSIS

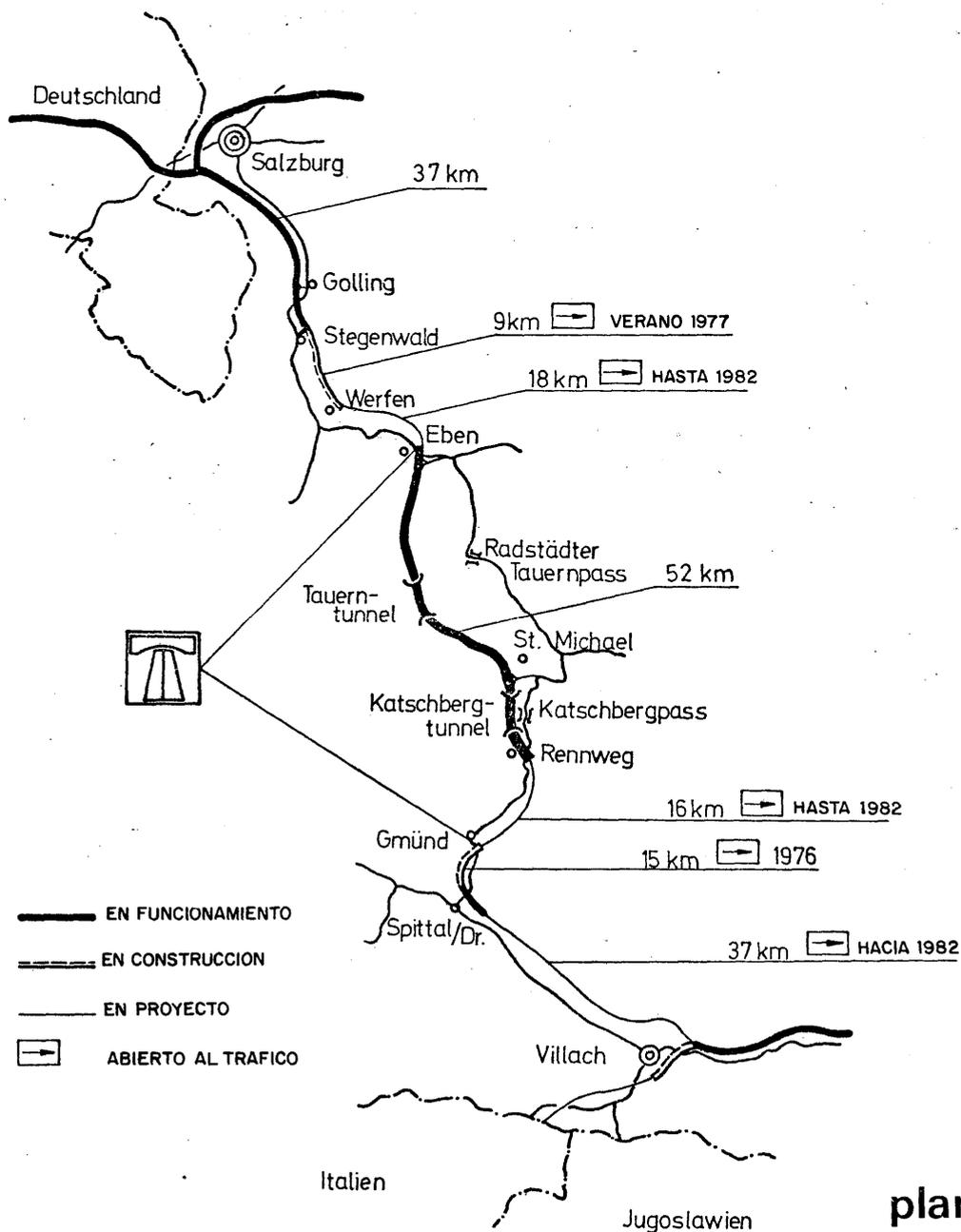
Se trata, en este artículo, del proceso de construcción de la Autopista de Tauern, La Directísima, en los Alpes, en la que destacan varias obras:

- Túnel de Tauern, de 6,4 km de longitud.
- Túnel de Katschberg, de 5,4 km de longitud.
- Punto de enlace Eben-Pongau.
- Tramo de Liesertal, realizado en un 75 por 100 mediante viaductos y túneles.

La obra más importante es el túnel de Tauern donde, debido a los grandes problemas surgidos por la naturaleza quebradiza del terreno, hubo de emplearse un método austriaco de perforación de túneles consistente en poner en tensión la montaña para, de esta manera, contrarrestar las altas presiones que se producen. Este túnel tiene un pozo de ventilación de 600 m de longitud y 11 m de diámetro de perforación. Es el pozo vertical más grande del mundo.

La autopista de Tauern, llamada también Directísima, es un nuevo paso de los Alpes, a través de Tauern, que atraviesa su cumbre principal por el lugar más estrecho. La zona a la que beneficia esta importante carretera transversal de norte a sur de Europa, abarca unos 190 millones de personas.

El núcleo principal de la autopista de Tauern es el tramo de la cima, que se extiende a lo largo de unos 70 km desde Eben, en Pongau, hasta Gmünd (Kärnten). Esta costosa y difícil carretera está caracterizada por dos túneles, el túnel de Tauern de 6,4 km de longitud y el túnel de Katschberg de 5,4 km de longitud. Además fue necesario construir largos pasos sobre el valle, puentes y galerías contra aludes. El punto más alto del tramo está situado en la entrada sur del túnel de Tauern, a 1.340 m sobre el nivel del mar. El punto más bajo se encuentra en Raume Gmünd (Kärnten) a 800 m.



planta general

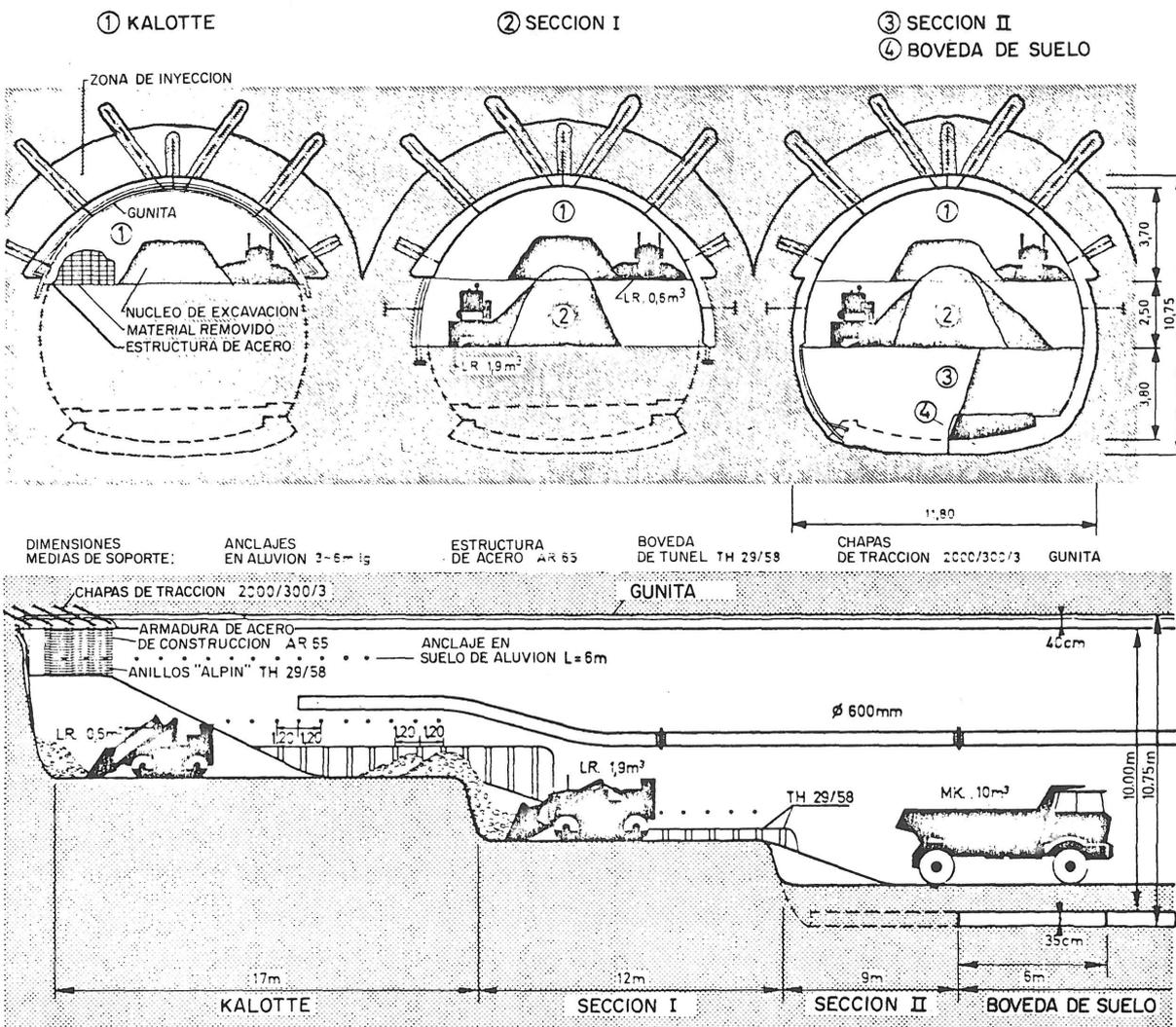
La pendiente del tramo no alcanza en ningún caso el 5 por 100 y cuando excedía el 3 por 100 se introdujeron carriles adicionales. Además el radio de curvatura más pequeño es de 500 m.

El proyecto constructivo más difícil fue la construcción del túnel de Katschberg, de 5,4 km de longitud, y la construcción del túnel de Tauern, de 6,4 km. Precisamente este último exigió más esfuerzo del que en un principio se había previsto. Su sección de rotura fue de 93 m². La masa total extraída llegó a los 620.000 m³ (material sólido); una parte fue incorporada al terraplén de la rampa norte, de 50 m de altura, que necesitó 1.500.000 m³ aproximadamente. Alrededor de 100.000 m³ de hormigón fueron empleados para el túnel, en diversas instalaciones, además de las entradas.

Las dificultades fundamentales surgieron al construir el túnel, debido a la masa montañosa que es quebradiza y está formada por una envoltura de pizarra, poderosamente desarrollada, de rocas posteriores al triásico de tipo filítico y pizarroso. En algunas ocasiones se hallaron también: mármol calcáreo, pizarra verde, serpentina y cuarcita. Las filitas se presentaron como tales: claras, grises y negras. Además se encontró un torrente de aguas agresivas al hormigón.

Justo al comienzo de la construcción, en la perforación de la entrada norte surgieron contratiempos considerables, debido a un tramo de piedras desmoronadizas, de unos 350 m de espesor, formado por arenas, gravillas y sedimentos varios. Este trabajo exigió duros esfuerzos a los mineros que tuvieron que realizarlo manualmente, por lo que fue necesario invertir gran parte del tiempo en medidas de seguridad. Cada parte de la montaña debía asegurarse rápidamente con arcos de acero alpino, celosías de acero para hormigón, anclajes de roca y hormigón proyectado.

Dado que los geólogos habían pronosticado roca firme detrás de este tramo de capas en suspensión, se esperaba lograr, después de romper la capa de morena, un rápido adelanto en los trabajos. Sin embargo, contra todas las previsiones, a partir de la «Station 350», la roca no apareció firme, sino muy quebradiza, de forma que los barrenos debieron taladrarse con la taladradora de mano, e incluso a veces el avance sólo pudo realizarse con aparatos de aire comprimido en forma de cazoletas y escalonadamente.



fases de perforación secciones transversales y longitudinales



La perforación del túnel se realizó de tal manera que, después del dinamitado o utilización de las barrenadoras de aire comprimido, se procedió a la carga y posterior transporte del material, con auxilio de un tren de locomotoras diesel, con 6 vagonetas basculantes y una capacidad, por vagoneta, de 15 m^3 de material. En total se utilizaron 11 de estas locomotoras, con 210 PS; 40 vagonetas basculantes; 2 cargadores sobre ruedas, de 350 PS, con palas basculantes giratorias de 5 m^3 (para cargar las vagonetas); 6 máquinas para proyectar hormigón; y 4 bombas para el mismo.

Por el contrario, en la entrada sur el transporte del material se realizó con pesadas vagonetas basculantes, puesto que éstas pudieron introducirse en el hueco del túnel con mayor facilidad que una locomotora diesel.

Del tiempo total invertido, un tercio correspondió al avance en la perforación, y los dos tercios restantes se emplearon en medidas de apuntalamiento y protección, mediante las cuales se realizó también la entibación correspondiente.

Es digno de mencionar que por primera vez, en la construcción del túnel de Tauern, se ha utilizado un método desarrollado en Austria, que consiste en tensar la montaña para que trabaje como elemento de sustentación elástico y dominar, de esta manera, la presión extremadamente alta de aquélla, la cual asciende, por ejemplo, en el caso del túnel de Tauern, a 1.650 t por m^2 .

El nuevo procedimiento constructivo del túnel prevé su perforación en tres o cuatro etapas escalonadas. La etapa superior se perfora a 1 m de profundidad aproximadamente con martillos neumáticos. Las secciones de rotura se recubren rápidamente con una capa de hormigón proyectado, a fin de sellar las capas sin presión y evitar roturas posteriores. A este respecto merece destacarse el hecho de que se añadió un aditivo al hormigón armado, tendente a conseguir un tiempo breve de solidificación a la vez que una elevada resistencia a la compresión. A continuación se colocaron, a igual distancia de la profundidad de rotura, arcos de acero de perfil acanalado sobre los que, a su vez, se dispusieron rejillas de acero. Después se perforaron en la montaña, desde todas las partes del arco del túnel, agujeros de unos 6 m de profundidad y bajo una elevada presión, se comprime un mortero en dicho agujero, a la vez que una «pica» presiona en el mismo.

El acero de anclaje, de alta calidad, presiona la argamasa sobre las ranuras y resquicios de la piedra que la circundan desplazando la masa resbaladiza que se solidifica en seguida y se une en sus más menudas ramificaciones a la montaña, de modo que el túnel puede más tarde seguir los movimientos de la roca. Se empotraron más de 1 km de anclajes de roca por día. Con ello el hueco del túnel se asemeja a un erizo petrificado que se agarra fijamente a la montaña. Nos encontramos aquí con un procedimiento constructivo elástico, y que los arcos de acero aumentan aún más la deformación de la montaña, se refuerzan las tensiones y la masa de aquélla se afirma gradualmente. Después de colocar el anclaje, se recubre con rejilla de acero y se aplica un hormigón armado de alta calidad, de breve tiempo de solidificación y elevada resistencia, para lo cual lleva el correspondiente aditivo.

Hemos de señalar también que en las paredes del túnel quedan libres, a intervalos determinados, unas fajas de unos 40 cm de anchura, las cuales se cerraron después de equilibrar la presión de la montaña, ya que en estas secciones se realizó el equilibrio de la masa de roca en las mismas paredes del túnel. De este modo pudo constatarse, mediante mediciones, que se produjo un estrechamiento e incluso podría decirse un hundimiento de unos 20 a 30 cm, como término medio.

La necesaria ventilación del túnel, mientras se llevaban a cabo los trabajos de avance, se realizó mediante tres ventiladores, con un diámetro de 1,60 m y una potencia de 90 kw, que impelían aire fresco hacia adentro y expulsaban hacia afuera el aire viciado.

A este respecto hay que referirse, con particular interés, a la instalación de refrigeración realizada en el túnel, que era imprescindible debido a su situación. Así, por ejemplo, hubo que abrir un pozo de ventilación que es el pozo vertical más grande del mundo. Tiene una longitud de 600 m y un diámetro de perforación de unos 11 m. Rasgo característico fundamental de la instalación de ventilación es que permite libremente la entrada de aire de la montaña. En la etapa final de construcción, el pozo de ventilación tiene un diámetro de 10 m y, por tanto, una sección transversal de unos 90 m².

El punto de partida para el pozo se encuentra a una altura de 1.900 m, alcanzándose en los trabajos de avance un promedio de 1 m por día.

La forma y la necesidad de un pozo vertical venía dado por peculiaridades locales naturales. La boca del pozo se encuentra en Kosselbachtal, en una hondonada entre dos cimas de Tauern.

La elección del gran corte transversal para el citado pozo de ventilación vino condicionada por la necesidad de aire fresco para la ventilación o para facilitar las corrientes de circulación entre ambos extremos del túnel. Además es preciso disponer de suficientes reservas para situaciones excepcionales —congestiones de tráfico o accidentes—. La excavación del pozo se realizó mediante voladuras, para lo cual se taladraron 140 barrenos con ayuda de una barrenadora de seis brazos construida expresamente para este fin, lo que representa unos 460 m taladrados.

Para garantizar la debida seguridad en las correspondientes zonas excavadas, se introdujeron en la montaña entre 11 y 18 anclajes de roca. Esto produjo una perforación de 33.000 m, aproximadamente, en los agujeros de anclaje a lo largo de la profundidad total del pozo.

Como medida de seguridad adicional se realizó una aplicación de fuertes capas de hormigón armado que, según las necesidades, oscilaban entre los 15 y 30 cm, añadiéndosele un aditivo tendente a lograr una resistencia a la presión de 280 kg/cm².

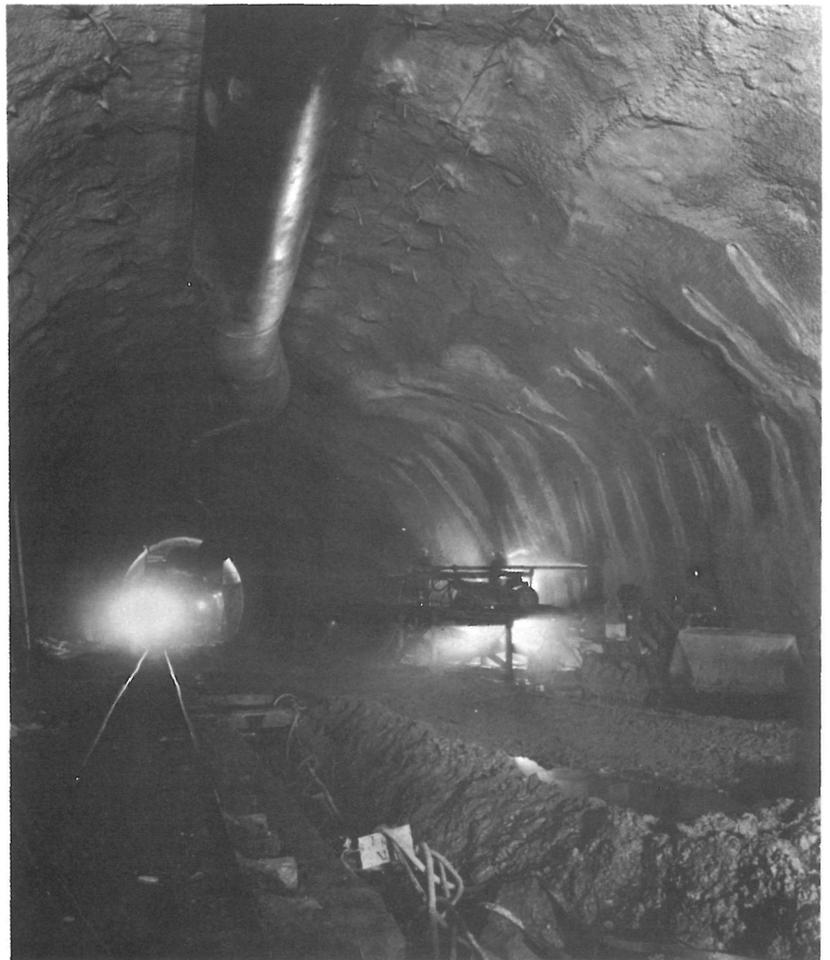
La ejecución definitiva de la superficie de las paredes del pozo se realizó hormigonando espesores de pared, de 25 a 40 cm, aumentando según la profundidad. Entre el hormigón proyectado y el revestimiento definitivo se incrustó una laminilla de material sintético de 2 a 3 mm de espesor, a fin de impedir la entrada de agua, y con ello la formación de grietas.

Once agujeros de desagüe, con 5 m de profundidad cada uno, aseguran el drenaje del pozo.

El segundo gran túnel de la autopista de Tauern, el túnel de Katschberg, con una longitud de 5,4 km tiene una sección de perforación de 87 m².

Este último está situado en el gneis central, quedando oculto bajo la potente capa de pizarra de Tauern, de tal forma que en el norte y aproximadamente en 2/3 de su longitud aparece un conglomerado de gneis con estructura de capas muy variada, abundante en pizarras de anfíbolita.

La información tectónica real del terreno se consiguió mediante el túnel de





ventilación, realizado con urgencia de acuerdo con el programa constructivo. Hacia el sur, sobrepasando justamente la zona aledaña no construida, se presagiaban zonas de pizarra verde y filíticas, perforándose grupos de cuarcita, pizarra y mica.

En el caso del túnel de Katschberg se construyó primeramente el tramo oeste, con dos calzadas, con una pendiente de 1,5 por 100, orientada hacia el sur, que puede ser transitado por coches circulando en ambos sentidos. El tramo este será construido más tarde, en una segunda etapa; entonces la circulación a través de cada tramo se realizará exclusivamente en una sola dirección.

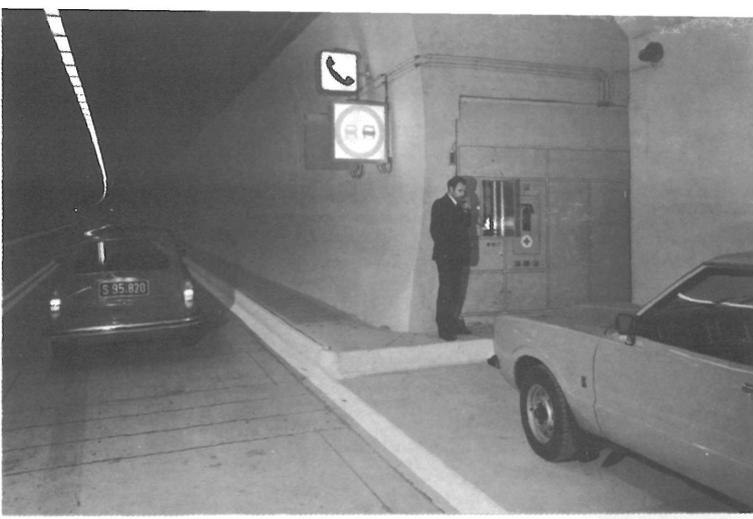
La ventilación del túnel de Katschberg está prevista para una carga máxima de 24.000 automóviles por hora, y se ha realizado para servir a las dos cuartas partes interiores del túnel, mediante un canal de ventilación para cada una de ellas; las dos cuartas partes exteriores se ventilan por las entradas.

A este respecto hay que señalar que el volumen de perforación de la roca desmoronadiza para este túnel ascendió a unos 900.000 m³ y fueron necesarios, para asegurar la montaña, 1.200 t de acero para hormigón y casi 170 km de anclaje de roca.

El túnel de Tauern y el túnel de Katschberg ascienden uniformemente alrededor de un 5 por 100, de norte a sur. La calzada tiene un ancho de 7,50 m. A ambos lados se han añadido aceras de 0,8 m de anchura. La pendiente transversal en las rectas es de un 1,5 por ciento. El espacio destinado a la circulación tiene una altura de luz de 4,70 m y va rematado en su parte superior por una cubierta intermedia abovedada. Por encima de este espacio se encuentran los canales de ventilación que conducen el aire fresco y el aire viciado. La ventilación del túnel está organizada transversalmente con reducida cantidad de aire de salida. Al calcular las cantidades de aire fresco necesarias, se tuvo en cuenta las tendencias y esfuerzos encaminados a reducir el porcentaje de CO de los gases de escape. El aire fresco es conducido al espacio destinado a la circulación a través de unos canales secundarios que desembocan lateralmente sobre la acera correspondiente. El aire de salida es aspirado por rendijas en la cubierta intermedia donde están distribuidos uniformemente los canales secundarios, por encima de toda la longitud del túnel. El de Tauern presenta el canal de ventilación central ya mencionado en el centro del túnel, que suministra aire fresco a las dos cuartas partes medias, tanto al hueco del túnel orientado hacia la montaña como al orientado hacia el valle y lleva hacia fuera el aire de salida. Las estaciones de ventilación instaladas en las entradas abastecen las dos cuartas partes exteriores.

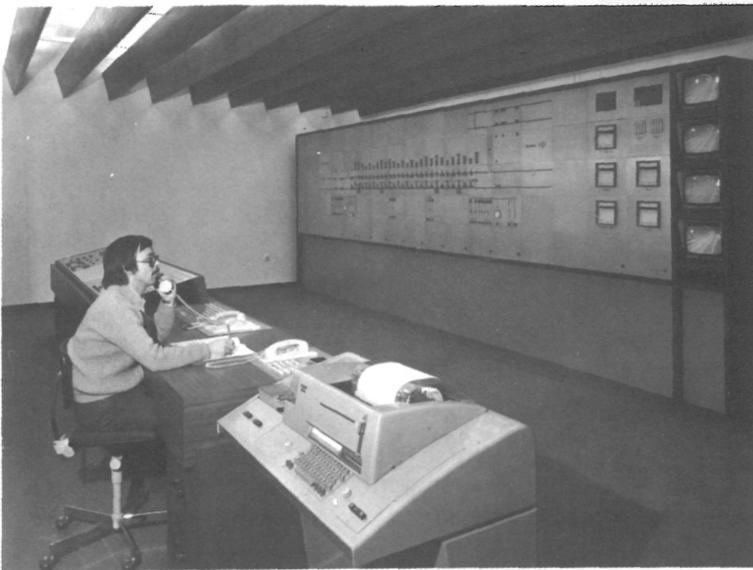
La entrada de aire para las dos cuartas partes interiores de los huecos del túnel de Katschberg que están situados montaña arriba, se realiza a través de dos canales de ventilación de 1.230 m y 1.330 metros de longitud y una sección de 30 m².

Además, para la autopista de Tauern está en ejecución un plan de circulación dividido en tres fases, que rematará el punto de enlace Eben/Pongau, en el tramo de la cumbre de la autopista de Tauern,

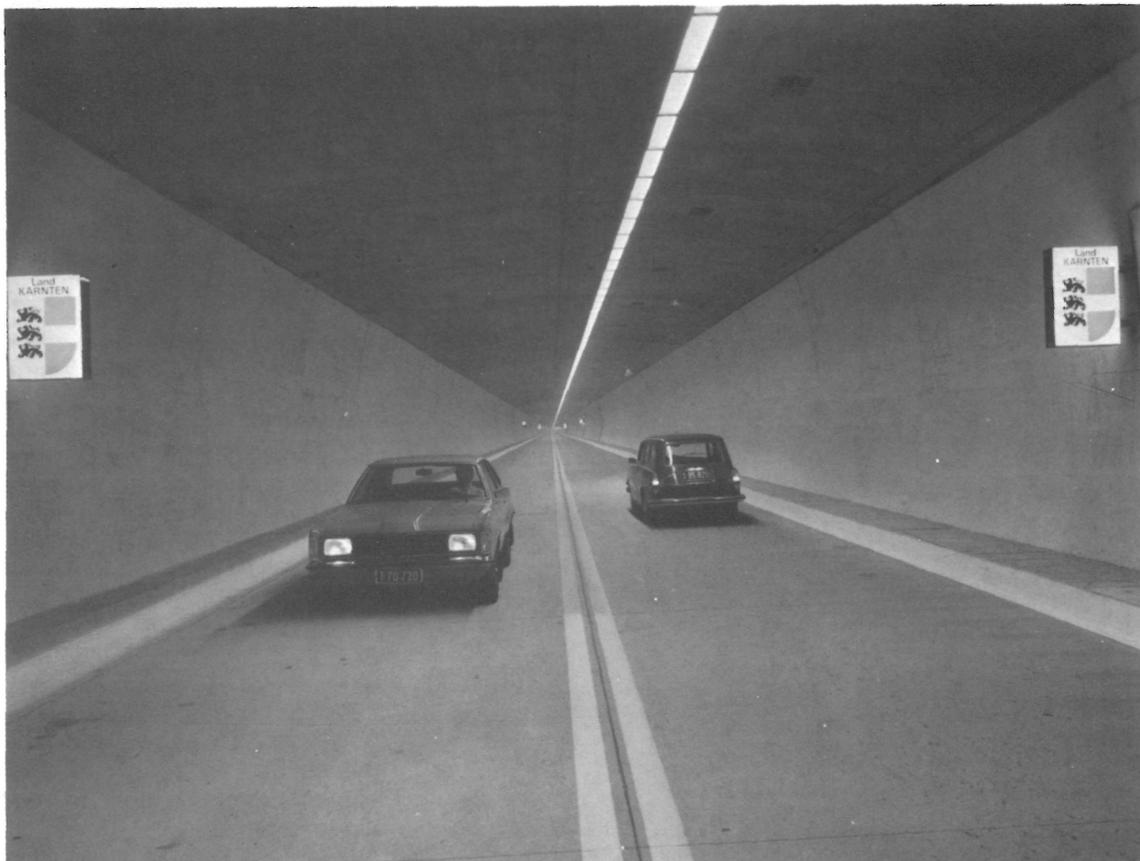


que va provisto de una pantalla protectora contra el ruido. Este plan hace necesaria la construcción de numerosos accesos destinados a desviar el tráfico. Estas desviaciones se realizan en tres fases, según lo requieran las necesidades surgidas del tráfico, habiéndose realizado ya las dos primeras.

En la tercera fase se desvía tanto el tráfico de paso como el tráfico local a través de las rampas construidas y pertenecientes al punto de enlace Eben. A partir de junio de 1979, se está llevando a cabo la construcción final de este punto de enlace.



En el curso de la construcción del punto de enlace Eben se levantó, con material sobrante, una pantalla protectora contra ruidos que sobresale aproximadamente 1,5 m sobre el nivel de la calzada. La realización de una pantalla de este tipo se precisaba para proteger a la localidad de Eben de los ruidos, según los cálculos.





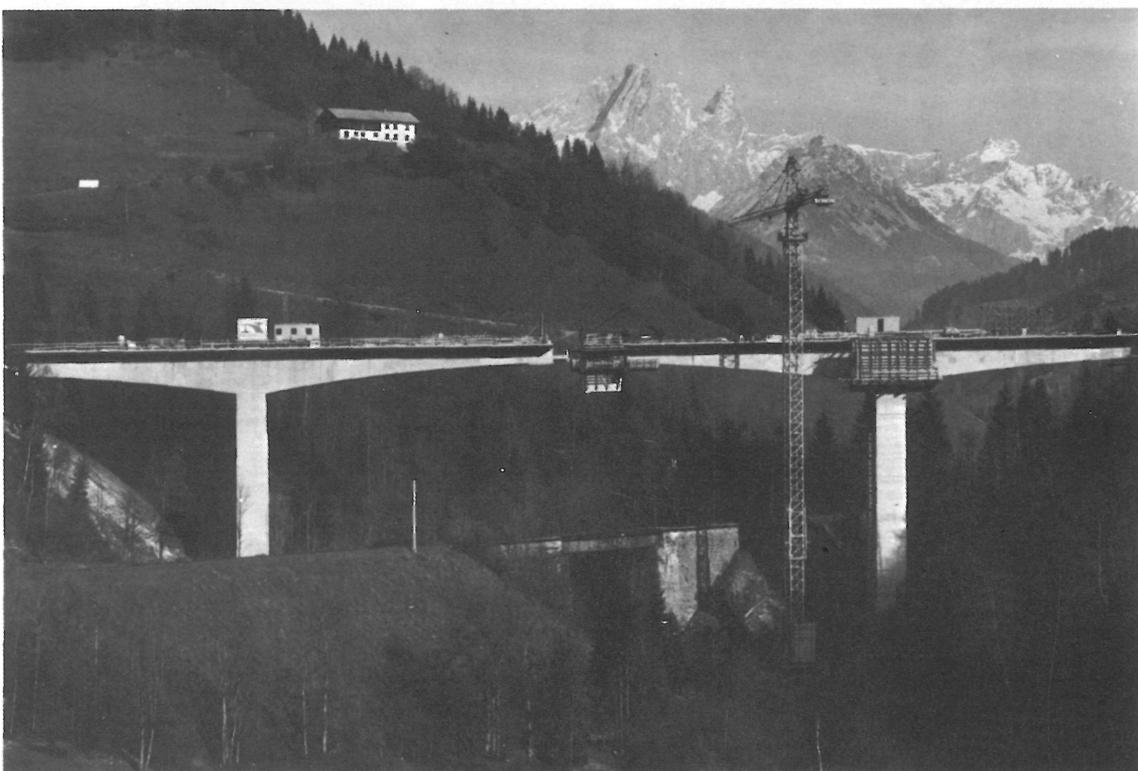
Hemos de aludir además al tramo de Liesertal donde hay que construir un 75 por 100 de viaductos y túneles.

El tramo de Liesertal de 16,5 km de longitud, del que se han inaugurado ya unos 4 km (Rennweg - Rauchenkasch), es por el momento el trozo de autopista de Austria más difícil de construir. La autopista recorre los 12,5 kilómetros restantes hasta Gmünd sobre nueve puentes colgantes y pasos sobre valles con una longitud total de 7.837 metros. El más largo de todos es el puente colgante «Pressingberg», de 2.607 m de longitud, unido al paso «Kremsbrücke».

Teniendo en cuenta el estado actual de la técnica, no supondría ahora especial dificultad la construcción de obras monumentales. Sin embargo, los puentes de la autopista de Tauern, en Liesertal, están situados en un valle de erosión aún joven, desde el punto de vista geológico, con superficies escarpadas en declive que son propensas a desprendimientos.

Por ello, debido a la insuficiente estabilidad de estas superficies escarpadas, los cortes en declive —necesarios por otra parte para el establecimiento de una autopista— sólo propiciaría la construcción de diques o el amontonamiento de tierras, lo cual no siempre es posible a causa de la an-

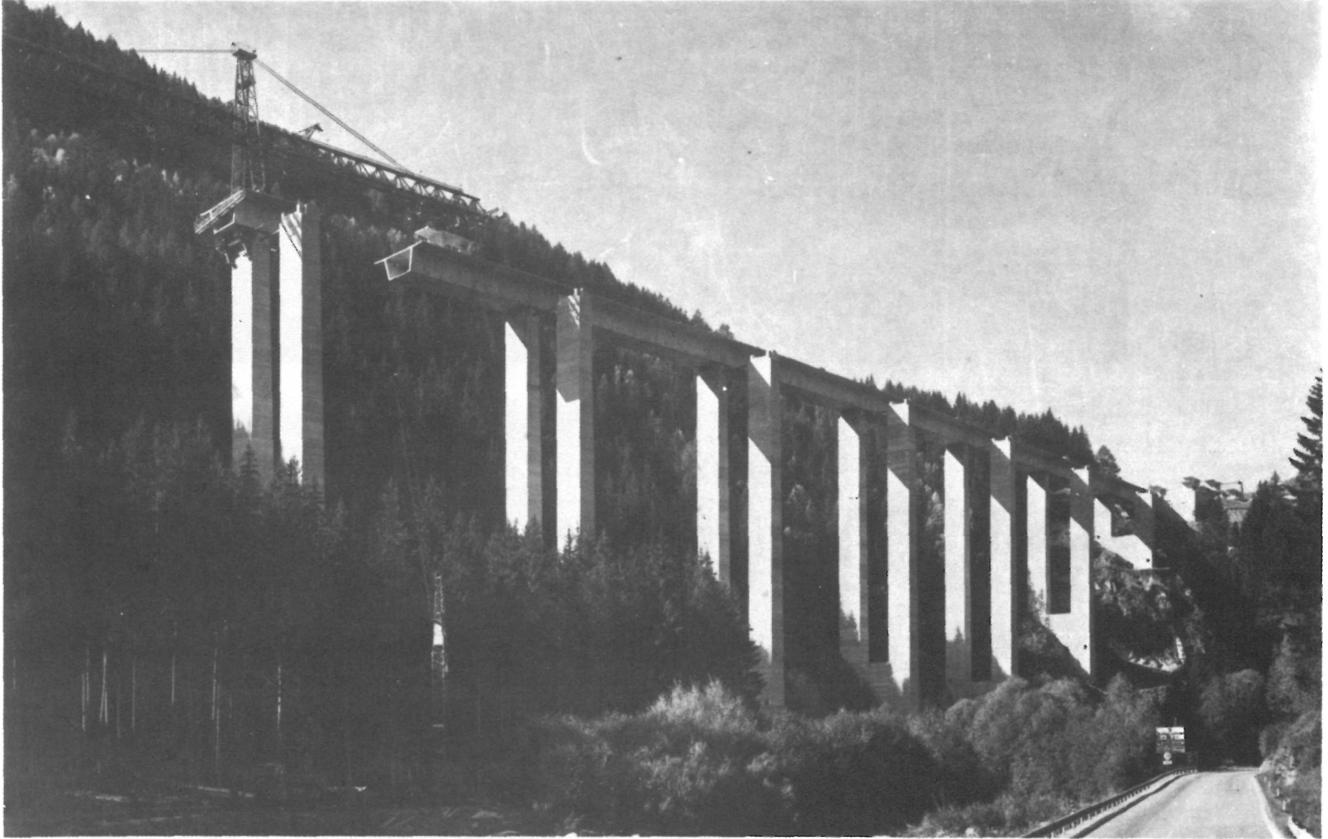




gostura del valle y de las enormes cantidades de material necesarias para ello; los técnicos de la autopista de Tauern AG llevaron sobre todo la autopista a través de puentes. Cada 50 ó 55 m. hay una pila o un estribo cimentadas sobre pozos de hasta 35 m de profundidad, en la cual el suelo es estable. Unas 130 de dichas pilas y unos 20 estribos sostienen la autopista audazmente por el aire, a lo largo del tramo del valle. La estabilidad de las pilas está asegurada adicionalmente con auxilio de hormigón proyectado y mediante unos 4.500 anclajes de tensión previa, con una capacidad sustentadora de 75 a 150 t por pieza. Los anclajes de tensión previa sujetos a la montaña suponen, en total, una longitud de unos 150 km. Las perforaciones de prospección han proporcionado información suficiente sobre la naturaleza del material que presiona sobre los pozos, paredes o columnas. Y puesto que la seguridad debe garantizarse bajo cualquier circunstancia, también en el futuro deben observarse de forma permanente y medirse los movimientos de suspensión, cualquiera que sea su procedencia, así como las fuerzas de los anclajes, no sólo durante la construcción, sino después de acabada la obra. Si las circunstancias lo hiciesen necesario anclajes de tensado, dispuestos adicionalmente, tendrían que contribuir al reforzamiento de la montaña.

El territorio escarpado y sin caminos tuvo que prepararse además, exprofeso mediante costosas construcciones de carreteras —a veces por cada km recorrido se requiere una longitud de carreteras de acceso cuatro veces mayor—. Sin embargo, en ocasiones, es incluso imposible la construcción de una carretera de acceso. En tal caso, se construye desde el aire, con ayuda de una grúa funicular, que —a modo de un ferrocarril teleférico— transporta el material a las obras sobre rodillos a través de un cable tensado que está alejado del punto de apoyo una longitud de más de 400 metros.

W. SCHMIDT



FOTOS: TAAG-BILD, GLATZL y TIROL-W. ANGERER

résumé

LA DIRETTISSIMA, DANS LES ALPES - AUSTRICHE

Wilhelm Schmidt, ingénieur

Il est question dans cet article de la construction de l'autoroute de Tauern: la Direttissima, dans les Alpes, dont plusieurs ouvrages sont remarquables:

- le tunnel de Tauern, de 6,4 km de longueur.
- le tunnel de Katschberg, de 5,4 km de longueur.
- la bretelle Eben-Pongau.
- le tronçon de Liesertal, réalisé en un 75 por 100 à l'aide de viaducs et de tunnels.

Le plus important de ces ouvrages est le tunnel de Tauern où, étant donnée la nature dangereuse du terrain, surgirent de graves problèmes qui obligèrent à employer une méthode autrichienne de perforation consistant à mettre la montagne sous tension afin de contrecarrer les hautes pressions. Ce tunnel possède un puit de ventilation de 600 m de longueur et 11 de diamètre de perforation. C'est le plus grand puits vertical du monde.

summary

«STRAIGHT-THROUGH» EXPRESSWAY THROUGH THE ALPS - AUSTRIA

Wilhelm Schmidt, engineer

This article deals with the construction process of the «straight» expressway through the Tauern Alps, where several engineering works deserve special mention:

- The Tauern Tunnel, 6,4 km in length.
- The Katschberg Tunnel, 5,4 km in length.
- The Eben-Pongau cloverleaf.
- The Liesertal stretch, 75 por 100 of its length being tunnels and viaducts.

The most important of this is the Tauern Tunnel where, owing to the serious problems encountered in the brittle character of the soil, the austrian tunnel excavation process was used, this method consisting in tensing the mountain soil in order to be able to counteract the high pressures occurring. This tunnel has a 600 m long, 11 m diameter ventilation shaft, the largest of its kind in the World.

zusammenfassung

DIE DIRECTISSIMA (DIREKTAUTOBAHN) IN DEN ALPEN - OESTERREICH

Wilhelm Schmidt, ingenieur

Es handelt sich in diesem Artikel um den Bauprozess der Tauernautobahn, die Direttissima, in den Alpen, aus dem verschiedene Bauten besonders hervorzuheben sind:

- Tauerntunnel mit einer Länge von 6,4 Km.
- Katschberg-Tunnel mit einer Länge von 5,4 km.
- Verbindungspunkt Eben-Pongau.
- Liesertal-Abschnitt, der zu 75 por 100 aus Brücken und Tunneln besteht.

Der bedeutendste Bau ist der Tauerntunnel, bei welchem wegen der enormen Probleme auf Grund der brüchigen Natur des Geländes eine österreichische Tunnelbohrmethode eingesetzt werden musste, die darin besteht, den Berg in Spannung zu versetzen, um auf diese Weise die hohen Drücke auszugleichen. Dieser Tunnel verfügt über einen Lüftungsschacht mit einer Länge von 600 metros und einem Bohrdurchmesser von 11 meter. Dieser Schacht ist der Grösste Vertikalschacht der Welt.