

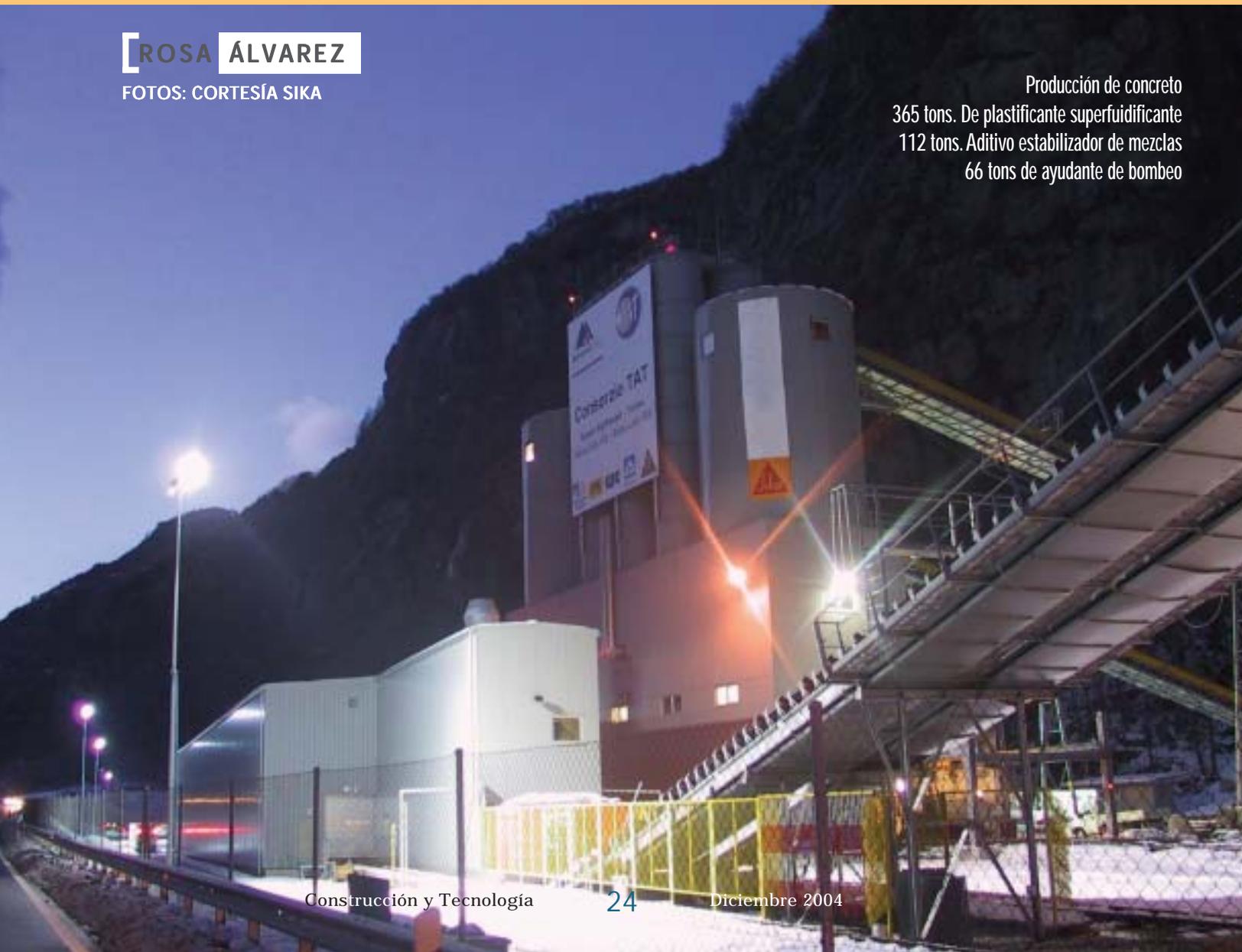
TÚNEL DE SAN GOTARDO

Un **HITO** constructivo

ROSA ÁLVAREZ

FOTOS: CORTESÍA SIKA

Producción de concreto
365 tons. De plastificante superfuidificante
112 tons. Aditivo estabilizador de mezclas
66 tons de ayudante de bombeo





La idea de construir la llamada «obra del siglo XXI», el Túnel de San Gotardo a través de Los Alpes, con una longitud de 57 km bajo las montañas, no surgió hace poco tiempo, sino desde mediados de la pasada centuria, y el primer proyecto se divulgó en 1962. Sin embargo, tras debatir sobre el tema durante más de 50 años, hasta hace poco inició esta magna construcción, cuya apertura al servicio público está planificada para el 2014, cuando se convertirá en la vialidad de su tipo más larga del mundo.



Resulta habitual la pregunta acerca de qué tienen en común los túneles ferroviarios y los *icebergs*. Sin duda, la respuesta obvia es «sólo se ve una ínfima parte del total». Y eso sucede con estas líneas de concepto interciudadino -desde Zurich a Milán, y de Basel vía Lucerna hasta la citada ciudad italiana-, y que no sustituyen a las de tráfico internacional en la zona. Por el contrario, el tráfico del San Gotardo se integrará en el norte alpino con los horarios del Rail 2000. Incluso, la conexión en el transporte internacional, alrededor de los nodos como Zurich y Milán, se volverá considerablemente más veloz gracias al túnel, con lo cual, en general, deben abaratare los costos de transporte regional.

Así mismo, entre 1992 y el 2010, según diversas estimaciones sobre el tráfico de carga, en la región de los Alpes se ha previsto un incremento de la demanda ferroviaria de 75%, mientras por otra parte los clientes se han vuelto mucho más exigentes respecto a las normas de administración y de operación, en especial, sobre la puntualidad, que resulta un elemento de primer orden.

En 1997, por el eje del Gotardo se contabilizaban entre 110 y 130 trenes de carga diariamente, capacidad que se incrementará entre 200 y 220 en ese lapso con la construcción del nuevo túnel, duplicándose así mismo el monto de la carga.

El San Gotardo, junto con la extensión del Rail 2000, disminuirá significativamente



Escudo de perforación, nótese la escala humana en el ángulo inferior derecho construcción del túnel convencional.

Tendido de cables



los tiempos de transportación. Mientras en la actualidad la sección Zurich-San Gotardo-Milán requiere de 3:40 horas de viaje, en el futuro se acortará a 2:40 horas. De este modo, la movilidad ferroviaria se convertirá aún más en una mejor alternativa en relación con los vehículos de motor o aéreos, además de beneficiar a unos 20 millones de pobladores del área. Por ejemplo, la zona meridional de Alemania se enlazará en menos tiempo con las ciudades industriales del norte de Italia, y en particular con Milán.

Además, la seguridad prevista para el Túnel de San Gotardo es notoria y se excluye la posibilidad de colisión entre dos trenes que transiten en direcciones opuestas, al disponer de diversas galerías que permiten la evacuación inmediata de los viajeros ante cualquier contingencia.

TECNOLOGÍA DE PUNTA

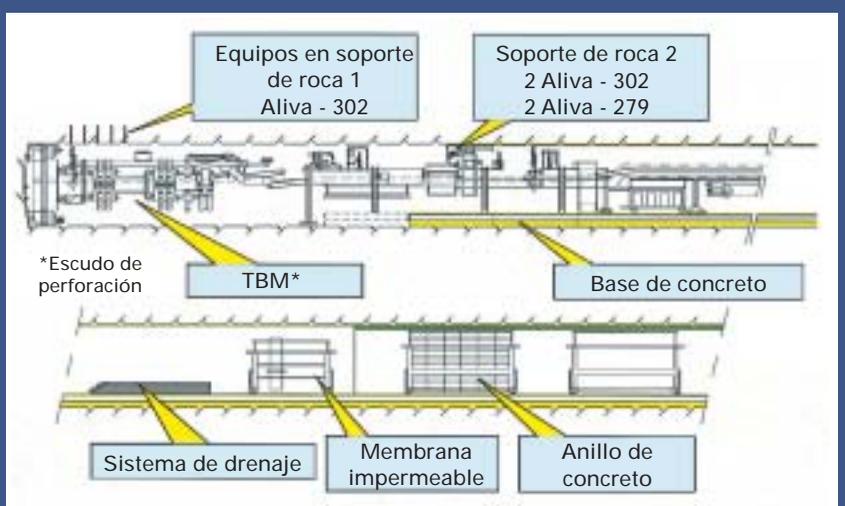
Las opciones contemporáneas para la construcción de túneles aseguran el avance de este tipo de obras únicas, que años

atrás parecían un sueño inalcanzable. Ahora se cuenta con tecnología de punta, tanto en sistemas de manejo del concreto como en equipos de que son verdaderos *robots*, que facilitan la apertura de las cavidades en las profundidades de las montañas, arriesgando al mínimo tanto al personal como a la maquinaria utilizada.

Unos 1550 trabajadores de 13 países están involucrados en el avance del Túnel de San Gotardo, y se espera la participación de otros 500 en breve tiempo.

Las innovaciones en la tecnología de proyección del concreto ha respaldado esta labor, pues cuando se pensó en principio

Construcción del túnel base de Gottardo



en abrir este túnel, a mediados de la pasada centuria, no se contaba con estos recursos, ni tampoco con los aceleradores para el lanzamiento del concreto. Entre los principales sistemas en aplicación en el túnel destacan:

- SigunitAT25 es un acelerante para concreto lanzado vía húmeda libre de alcalis.
- SikaTard es un aditivo estabilizador de mezclas para transporte del concreto.
- SikaPumpAT es un ayudante de bombeo, cuyo alto poder lubricante protege las bombas de concreto y las tuberías del desgaste a la abrasión derivado del agregado del concreto.
- ViscoCreteAT es un plastificante y superfluidificante para llevar a consistencia bombeable en tanto disminuye el rebote.
- SikaPlan constituye una membrana sintética de impermeabilización para túneles y obras civiles.

Por otra parte, dos equipos que fundamentales en la construcción del túnel alpino son el SikaPM500, modular y flexible para el lanzamiento del concreto con tecnología Sika y Putzmaister, el cual incluye

bomba, brazo de lanzamiento, un Centro de Operación, control remoto, dosificador Aliva 403 y compresor PM-77, entre otros elementos novedosos. También, está presente el Robot brazo de lanzamiento Aliva 302, montado sobre una tuneladora TBM para lanzamiento del concreto.

NO TODO ES MIEL...

Sin embargo, a pesar de la conveniencia de este proyecto y de los indiscutibles beneficios que propiciará en el mediano y largo plazos, las autoridades suizas dieron a conocer recientemente que se excederán del presupuesto aprobado en 1998, ascendente a 12 600 millones de francos (mdf), pues ya consideran la necesidad de 700 millones más para completar la compleja obra, cuyo monto final se prevee en unos 15 500 mdf. En especial, han confrontado problemas geológicos imprevistos y para compensar el alza han debido frenar la ejecución de otros túneles en la zona, que deberán esperar por la disponibilidad de recursos en el futuro. O sea, ni siquiera por aquellos lares todo es miel sobre hojuelas cuando se trata de túneles de esa magnitud.

El proyecto del túnel base de Gotardo



Procedimiento de pruebas

Pre-Calificación

Paso 1: Referencias Técnicas en Tunelería

Paso 2: Pruebas previas independientes de AlpTransit con agregados de tres áreas distintas del proyecto.

Paso 3: Pruebas principales: probadas en galería de ensayos Hagerbach

Condiciones:

- Temperatura de roca y aire entre 30 y 45°C
- Humedad relativa >80%
- Utilización de 100% de agregados triturados derivados del material de excavación en túneles pilotos de los tres principales
- Agua de la montaña agresiva, probando la reacción alcali-agregado y sulfatos
- Transportación de concreto arriba de 20 km a través del túnel
- Diseño de durabilidad >100 años

Consistencia y trabajabilidad del concreto

Concreto lanzado

- Trabajabilidad durante ocho horas con temperaturas de concreto entre 25-30°C
- Bombeable durante el tiempo que tarda en el trayecto a través de la manguera de 80 metros
- Corrección de la consistencia por medio de un aditivo adicional dosificado después de cuatro horas
- Resistencias tempranas a cuatro h \geq 3 N/mm²

TÚNELES EN ROCA, RETOS COMUNES

Cabe recordar que a pesar de las enormes dificultades que plantea la excavación en roca se hacen importantes avances en el Túnel de San Gotardo. De este modo, las principales condiciones geológicas de este modo a tomar en cuenta son la presencia de fallas que generalmente involucran zonas de roca muy fracturada; la dirección y el grado de la estratificación, las grietas y vetas, la presencia de agua, que puede ser caliente o fría, o contener ingredientes corrosivos o irritantes; las bolsas de gases explosivos o tóxicos, y las deformaciones de la roca. Bajo estas condiciones la petrografía cobra gran importancia sobre todo en la localización de los bancos de roca altamente abrasiva que causan un excesivo desgaste a las barrenas.

Nunca podrá decirse que se ha suministrado demasiada información a los ingenieros, con el fin de generar un diseño realista y para que los contratistas preparen propuestas sólidas. Aún en el mejor de los casos son de esperarse dificultades no previstas.

Además de los estudios geológicos y las perforaciones, los ingenieros pueden utilizar mediciones de resistividad eléctrica y absorción de rayos gamma, para obtener información sobre la profundidad y características de las formaciones rocosas. Donde las condiciones geológicas sean particularmente difíciles de evaluar o especialmente severas, se pueden excavar túneles piloto exploratorios, en una parte de cada extremo, o en toda la longitud del túnel, antes de hacer el diseño final y anunciar la construcción. En estos túneles piloto es posible medir los esfuerzos internos de la roca por medio de celdas de presión y de indicadores de deformación (*strain gages*). Estos dispositivos se insertan en perforaciones transversales y, entonces, se puede inspeccionar la naturaleza de la roca, la foliación, la fractura en bloques, así como la presión de las fallas y del agua.

GALERÍAS DE AVANCE

Con antelación, cuando el escombro se hacía a mano cargándolo en vagonetas,

Vista posterior del escudo de perforación





y el equipo de perforación era pesado, se efectuaba la excavación por galerías de avance o socavones. En rocas blandas, o para túneles muy anchos, todavía se utiliza este método. Por ejemplo, se puede comenzar con una galería superior de avance, lo cual permite la instalación de soportes para el coronamiento, si se necesita. El resto se excava por bancos, procediendo hacia abajo desde la galería superior. Estos niveles diferentes provocan dificultades en el transporte del material sa-

cado. En túneles anchos se pueden avanzar en las galerías laterales en las que se colocan, cuando es necesario, pies derechos o puntales de los marcos de acero - soportes para los muros laterales y el techo-. Estas galerías se continúan con otras de avance superiores y el montaje de los soportes de los arcos. El bloque restante se puede atacar desde el frente o desde las galerías laterales.

En vez de lo anterior se puede usar una galería inferior de avance o un túnel piloto. La ampliación se efectúa en varios lugares del frente de un modo simultáneo. El túnel piloto debe tener el ancho suficiente para permitir el tráfico de entrada y salida y debe revestirse con madera para protección.

En túneles muy largos, una galería paralela, separada 40 pies o más de eje de túnel, acelera la excavación al proveer acceso a varios frentes de trabajo por medio de las galerías transversales, desde las cuales se abren dichos túneles piloto hasta llegar al eje principal de la cavidad, desde la cual la excavación del túnel puede continuar en ambas direcciones. La galería paralela se hace cargo del tráfico a los diferentes frentes y sirve, además, de túnel de drenaje y ventilación.

También, puede usarse una galería central en los túneles grandes excavados en roca. Se agranda la sección de esta galería hasta su tamaño final mediante perforaciones radiales. 🌐



Tecnología moderna de proyectar

Cifras

- Largo: 2x57 km
- Excavación: 7'300'000 m³
- Tiempo de construcción: 6 años
- Cantidad proyectado: 300 mil m³

Exigencias der concreto

- 100 años de duración
- Resistencia inicial: 3 Mpa después de cuatro horas
- Resistencia final: 40 Mpa después de 28 días
- Penetración de agua: 25 mm (Din 1048)
- Temperatura de la roca hasta 50°C

Solución

- Grava: 0-8mm (material)
- Cemento: 475 kg Cem. 32.5 (incluye 15% polvillo de caliza)
- Plastificador: ViscoCreteAT
- Ayuda de bombeo: SikaPumpAT
- Acelerador: SigunitAT25
- Fibras de acero: Dramix 65/35