

# La perforacion de las galerías de avance en los túneles en roca

POR

W. L. SAUNDERS

---

(Traduccion)

---

(Continuacion)

Siete u ocho records difieren tan poco entre sí, que las diferencias pueden atribuirse a las durezas de la roca o a otras características de la obra i no permiten deducir nada sobre la superioridad de los dispositivos o sistemas empleados en cada caso.

El Simplon i el Loetschberg son talvez los túneles mas interesantes de la lista i ellos están intimamente relacionados el uno con el otro.

El segundo une Berna con el Simplon, estableciendo así una comunicacion directa entre Italia i Alsacia Lorena, Béljica, Holanda i las provincias del Rhin.

Su largo total es de 8,5 millas (13 Km) i los trabajos de perforacion se iniciaron conjuntamente en ámbos extremos.

La fig. 4 muestra la ubicacion de este túnel i su situacion respecto al Simplon.

Como se sabe, la perforacion de este túnel ofreció serios obstáculos. Iniciados los trabajos en la estremidad norte, fueron parados completamente despues de una terrible i extraordinaria catástrofe.

El túnel pasa debajo del rio Kander habiendo interpuesto entre ellos una cape

de terreno de 600 pies (182,8 m) de espesor. Aunque 300 pies del terreno no ofrecía resistencia por ser de mala calidad, los ingenieros creyeron que el resto sería suficiente para resistir. Sin embargo, los hechos probaron que los ingenieros se habían equivocado. Se produjo un derrumbe de toda la capa considerada, causando la muerte de 26 hombres, la pérdida de toda la maquinaria i planteando un problema como hasta entónces talvez nunca se había presentado.

El trabajo en la estremidad sur avanzó con toda actividad, habiéndose hecho hasta hoy día alrededor de 2,5 millas (4,020 Km).

La altura sobre el mar de este túnel es alrededor de 4 000 pies (1 219 m).

Es de doble vía, con una seccion libre de 592,5 pies cuadrados (55,04 m<sup>2</sup>).

En la perforacion del túnel se sigue el método belga. Hai una galería principal inferior de 60 pies cuadrados (5,56 m<sup>2</sup>) de seccion i una galería superior de 35 pies cuadrados (3,25 m<sup>2</sup>) de seccion.

Cada 600 pies (182,8 m) se construyen pozos verticales desde la galería inferior i se inicia ahí una galería superior.

Desde la galería superior se lleva a cabo el ensanche del túnel hasta darle su seccion total formando banquetas sucesivas.

Ademas de los pozos verticales se abren chimeneas de 2 pies cuadrados (0,186 m<sup>2</sup>) de seccion entre las dos galerías, por las cuales se echan los escombros a carros que circulan en la galería inferior. Para evitar un posible hundimiento del terreno que separa ámbas galerías se le sostiene por andamios de madera que se trasladan a medida que la construccion avanza.

La fig. 5 es un corte longitudinal del túnel Loeschberg. Se pueden ver ámbas galerías, los pozos verticales, chimeneas etc., con las perforadoras en la colocacion que tienen al trabajar.

Un corte trasversal muestra la posicion i forma de las galerías de avance i se ve un desvío de la vía que sirve para el transporte de escombros.

El avance total de la obra depende siempre del de la galería inferior i ésta constituye el punto mas interesante de la construccion.

Hai una sola vía de 30" (75 cm). Debajo de los pozos verticales, la galería se ensancha i se desvía la línea hácia un lado.

Sobre estos rieles circula un carro especial que lleva una viga de acero jeneralmente en posicion horizontal. Sobre la estremidad anterior de esta viga está afianzada una barra horizontal la que lleva cuatro barrenos.

El movimiento de la viga alrededor de un eje horizontal i el de los barrenos, que permite colocarlos encima o debajo de la barra, le da a estos todas las posiciones necesarias para abrir los 12 o 14 agujeros jeneralmente necesarios.

El carro primitivamente proyectado para este servicio no se aplicó por ser demasiado complicado. Sobre este carro se encontraban dos de las vigas mencionadas, teniendo cada una su eje o barra i sobre cada una de estas 3 a 4 barrenos. Las estremidades de estas dos barras estaban telescopiadas lo que permitía fijarlos en la posi-

cion conveniente para trabajar. Se conseguia esto introduciendo agua bajo presion entre las dos barras, la que separaban las barras comprimiéndolas contra las paredes laterales de la galería. El carro debia llevar por consiguiente una bomba hidráulica

El carro actualmente en uso es mucho mas sencillo. La fig. 6 muestra la galería inferior con la perforadora en accion. Se puede ver el contrapeso en la estremidad posterior de la viga. Este carro fué construido por la Ingersoll-Rand Co. Tiene una sola viga con el movimiento ya indicado i con una sola barra en la parte anterior, pivoteada de modo que pueda oscilar horizontalmente. La barra se afianza contra las paredes laterales de la galería por gatas, suprimiéndose la bomba de agua. La barra está pivoteada sobre la viga, de manera que si el carro avanza o retrocede, la barra puede jirar alrededor del eje, sobre él o paralelamente a él. Sobre la barra hai montados 4 barrenos Ingersoll-Rand, cada uno con su conducto de aire, unidos todos a un depósito comun en la parte posterior de la viga.

Se abre una serie de 12—14 agujeros de 4 pies de profundidad (1,22 m) i un ancho en el fondo de 2 pulgadas (0,0508 m). Están dispuestos en 4 hileras verticales.

Tan luego como los agujeros están hechos se hace retroceder el carro hasta que la esplosion está terminada. Antes de la esplosion se coloca una plancha de acero de  $\frac{3}{8}$  pulgada (9,5 mm) de espesor i una superficie de 6 pies 6 pulgadas por 3 pies 3 pulgadas ( $1,98 \times 0,99$  m) en la estremidad de los rieles i despues de la esplosion se abre una zanja en los escombros hasta llegar a la plancha. El carro puede avanzar sobre ésta i prepara la serie de agujeros de la operacion siguiente. Miétras tanto se extrae el resto de los escombros.

El uso del carro facilita considerablemente este trasporte de escombros. Despues de la esplosion, se amontona en el frente de ataque una cantidad considerable de piedras trituradas que en las faenas americanas debe ser retirada a pala para permitir la colocacion de las columnas que llevan los barrenos.

El uso del carro en el que los barrenos están proyectados 12 o mas pies hácia adelante, exige solo un desmonte parcial de los escombros, el suficiente para poder pasar la viga en cuya estremidad van los barrenos. Esto permite reanudar mas luego el trabajo i facilita el trasporte de los escombros, porque ellos están acumulados a ambos lados de la via en lugar de estarlo en todo el frente como sucede en los tuneles americanos.

Cuando las perforadoras están montadas sobre un carro, es mas fácil mantenerlas limpias i en buen estado que en el sistema americano en el cual las perforadoras se colocan en el suelo durante la esplosion. Esta ventaja es importante, pues no solo reduce los gastos de conservacion sino que tambien disminuye las dificultades para mantener las uniones de los conductos de aire en buen estado, disminuyéndose así las pérdidas de aire comprimido. La esplosion de la carga se efectúa con mecha i fulminante.

Las mechas de los tiros centrales son mas cortas, de modo que esplotan primero. Con este sistema se economiza tiempo, pero hai algun peligro de fallar tiros

Para evitarlo se ponen tres mechas en los agujeros del fondo i dos en cada uno de los restantes.

El explosivo usado contiene 60% de dinamita fabricada en Brieg. Los agujeros del centro se cargan con 2,7 Kg (6 libras) cada uno i la carga total para los 12 a 14 agujeros es de 24 a 26 Kg (53-57 libras). Los agujeros no son muy profundos, no exceden de 4 pies (1,22 m) comenzando con un diámetro de 2,5 pulgadas (10 cm) i terminando con uno de 2 (50,8 cm). Los cartuchos son de 50 mm con 2 pulgadas (50,8 cm) de diámetro.

Para obtener el rápido avance el número de operarios es considerable. El trabajo es interrumpido durante el día i la noche.

Los operarios trabajan durante 8 horas i cada faena abre dos series de agujeros avanzando alrededor de 7 pies. Por día se perfora, por consiguiente, 18 a 24 pies (5,50 a 7,30 m). Cada barreno es servido por dos operarios i dos ayudantes. Diez hombres trasportan los escombros i los veinte hombres en conjunto prolongan la vía i colocan desvíos cada 600 pies (183 m).

La experiencia ha comprobado que la línea férrea es indispensable si se quiere mantener un rápido avance, aunque tiene también sus inconvenientes. El hecho de que los cuatro barrenos montados sobre la barra están todos en un mismo plano, dificulta la operación de darle a los agujeros inclinados hacia arriba los mismos ángulos que podría dárseles si los barrenos estuviesen montados en columnas independientes. Se obtiene por eso una rotura menos limpia de la roca. Hai que usar entonces mayor cantidad de explosivos. Pero esta desventaja de la barra horizontal sobre la columna vertical está compensada en exceso por la rapidez con que la barra se puede colocar en su lugar i comenzar a trabajar.

El empleo de una sola barra horizontal exige que los muros laterales sean rígidos para poderla afianzar por medio de gatas, mientras que el uso de columnas que generalmente son 2 o 3 exige un lugar separado para cada una i debe haber una base firme lo que no siempre se tiene frente a la superficie de ataque, sobre todo después de una explosión. Pero no es esto todo ni es esta la ventaja más importante del sistema de carros.

Su uso permite, por la facilidad de montaje i cambio de lugar, hacer un gran número de agujeros de pequeña profundidad i gran diámetro en contraposición al sistema americano, cuyos agujeros son profundos i de pequeño diámetro.

Hai que tener presente que cuando una perforadora montada sobre columna ha iniciado su trabajo se ha invertido tanto tiempo en colocarla en su lugar, afianzar las gatas i darle la dirección i posición al barreno que conviene mantenerlo ahí i hacer un agujero tan profundo como razonablemente sea compatible con la naturaleza de la roca i el ángulo del agujero.

Bajo circunstancias iguales un agujero profundo se hace con más rapidez que varios agujeros de poca profundidad, siendo la suma de las profundidades de estos últimos igual a la del primero. La diferencia de tiempo se debe al tiempo empleado

en armar i desarmar el barreno. Pero mientras mas profundos son los agujeros tanto menor es el diámetro en el fondo i es precisamente ahí donde necesitamos mayor espacio para poder acumular ahí el explosivo. Por eso mientras mas ancho es el agujero en el fondo mayor rendimiento tiene la explosion.

Un agujero teóricamente perfecto seria aquel que fuese mas ancho en el fondo i mas angosto en la boca. Pero esta forma es imposible de realizar en la práctica. Es preciso aceptar la disminucion de seccion hácia el fondo i compensar el defecto con un exceso de explosivo.

La pérdida considerable de tiempo que significa un cambio de lugar de la columna, obliga tambien a hacer un número bastante reducido de agujeros. Es por consiguiente indispensable barrenar estos agujeros con precision, pues un error de direccion en uno de ellos podria modificar considerablemente el efecto. Es este otro inconveniente del sistema de columnas.

En el túnel de Loeschberg se usa la barra horizontal con 4 barrenos. Si un barreno termina su agujero antes que los otros, se le hace jirar simplemente alrededor de su eje, es decir, alrededor de la barra, i se comienza a abrir otro. Todos estos agujeros son de poca profundidad i de gran diámetro. La profundidad corriente es de un metro, la mitad o tercera parte de la profundidad de los agujeros abiertos con el sistema americano. Como los agujeros son poco profundos i mas numerosos no hai necesidad de ubicarlos con tanta precision. La roca se desprende en trozos mas pequeños i es arrojada mas léjos que en el sistema americano.

El carro descrito corresponde mas o ménos al representado en la figura 5 i es tan sencillo i liviano que prácticamente es indestructible.

Los carros hasta ahora usados, eran mecanismos pesados é incómodos, mui distintos del usado en el túnel del Loeschberg. Ocupaba jeneralmente toda la seccion de la galería de avance i era un obstáculo mas bien que otra cosa.

La máquina usada en el Loeschberg, con su via de trocha angosta i corta base de apoyo no necesita acercarse mucho al frente de ataque, debido al largo brazo que lleva los barrenos.

El carro usado en los Alpes descansa sobre cuatro ruedas i su trocha corresponde a la usada en los túneles para el transporte de materiales. El marco es de fierro fundido con un apoyo central sobre el cual se apoya la viga doble T que lleva en su extremo la barra con los barrenos. En el extremo opuesto de la viga hai un contrapeso. La viga recibe su movimiento por medio de una rueda dentada.

Sigue en importancia al sistema de montaje de los barrenos el modo de hacer explotar el tiro.

Debido al mayor número de agujeros, a su mayor diámetro, i a que los agujeros no están dirigidos segun las líneas que producen el máximo de rendimiento del tiro, la cantidad de explosivo usado en el sistema europeo es mucho mayor que en el americano. Pero la dinamita es barata—mucho mas barata que el tiempo i el trabajo.

El uso de la mecha en lugar de la chispa eléctrica podría parecer un retroceso; sin embargo tiene alguna ventaja en esta clase de trabajos. Con el sistema eléctrico el frente de ataque está cubierto de alambres. Primero se hacen explotar los tiros del centro i en seguida se conectan los alambres que van a los tiros periféricos. Pero sucede frecuentemente que la primera explosion ha dañado los alambres de los tiros exteriores o los ha cubierto con escombros, de manera que se pierde mucho tiempo en prepararlos nuevamente. Con el empleo de mechas se producen las dos explosiones prácticamente en el mismo momento. La diferencia de tiempo, debido al largo distinto de los hilos es sólo de algunos segundos. Los fracasos en este sistema se reducen al minimum, usando dos o tres mechas i fulminantes para cada tiro.

Exije ademas ménos tiempo colocar los fulminantes i mechas que la instalacion eléctrica, pues en esta última hai que cuidar de la buena coneccion de los alambres, del aislamiento de éstos i de las descargas de la batería, sobre todo si se hace volar primero el centro i despues, alternativamente, las secciones laterales, como sucede en algunos túneles americanos.

La fuerza motriz inicial que se usa es una corriente eléctrica de 2-500 H P producida por una caída de agua.

Hai dos compresoras de aire Ingersoll Rand que producen 4 250 pies cúbicos (120,4 m<sup>3</sup>) de aire por minuto. Estas compresoras acumulan el aire en cuatro receptores a 110 libras de presion (163,7 Kg/m<sup>2</sup>). La cañería de conduccion en el interior del túnel debe ser de tales dimensiones que la pérdida de presion no exceda de 2,2 libras en 6,5 millas (3,3 Kg/m<sup>2</sup> en 10,5 Km) la mayor profundidad que se espera alcanzar.

Ademas de estas compresoras destinadas a mover los barrenos i maquinaria pequeña hai dos compresoras de cuatro cilindros que producen de 920 pies cúbicos de aire (26,1 m<sup>3</sup>) por minuto, que acumulan en 12 cilindros con una capacidad de 425 pies cúbicos cada uno a 1 700 libras de presion (11,9 m<sup>3</sup> a 8 300 Kg/m).

Hai dos locomotoras a aire comprimido de 150-200 H P capaces de arrastrar cargas mui pesadas en una pendiente de 30‰ que hacer un servicio excelente. Son de fabricacion francesa. Toda la maquinaria restante es de procedencia alemana.

Fuera de este túnel hai en la misma línea alrededor de 20 túneles menores, algunos hasta de  $\frac{1}{3}$  de milla, que han sido perforados primitivamente para simple via, haciéndose este trabajo a mano o bien con perforadoras aereo-eléctricas. Gran parte de estas perforadoras han trabajado en sitios donde habria sido imposible reemplazar el aire por otro agente; pero, sin tomar en cuenta esta consideracion, ellas han dado resultados excelentes.

Volviendo al túnel principal, se comprende que se ha hecho un estudio concienzudo i una cuidadosa sistematizacion de toda la obra, con el objeto de evitar atrasos i para acelerar el trabajo lo mas posible.

La série de operaciones que se llevan a cabo en el frente de ataque han sido abuladas como sigue:

Instalacion de las máquinas .....	20 minutos
Apertura de 12 a 14 agujeros.....	50 »
Retirar la perforadora.....	20 »
Cargar i disparar los tiros.....	30 »
Eliminacion de los gases .....	20 »
Eliminacion de los escombros.....	80 »
Imprevistos.....	20 »
	<hr/>
Total.....	240 minutos

(Continuará)