



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS  
MASTER DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TEMA II  
ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO EN  
TÚNELES**

**Versión 2014**

**Francisco J. Castanedo Navarro  
Ingeniero de Caminos  
UCM**

TEMA II

ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO DE TÚNELES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. HORMIGÓN PROYECTADO .....	3
3. BULONES.....	9
4. CERCHAS .....	20
5. CHAPA BERNOLD .....	30
6. PARAGUAS DE MICROPILOTES .....	33
7. HORMIGÓN ENCOFRADO .....	36

## TEMA II

### ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO DE TÚNELES

#### 1. INTRODUCCIÓN

Los elementos de sostenimiento que actualmente se utilizan en la ejecución de túneles mediante métodos convencionales son:

- Hormigón proyectado
- Bulones
- Cerchas
- Chapa Bernold
- Paraguas de micropilotes
- Hormigón encofrado

Se describen seguidamente cada uno de estos elementos del sostenimiento.

## 2. HORMIGÓN PROYECTADO

Está constituido por un mortero de tamaño máximo de árido en torno a 8 mm, que se coloca contra el interior de la excavación compactando el mismo mediante la energía de su proyección.

En la foto 2.1 puede verse la textura y tamaño de árido del hormigón válido para la proyección.



**Foto 2.1**

Este sistema de colocación y densificación es lo que diferencia claramente al hormigón proyectado del hormigón vibrado, que se coloca al amparo de un encofrado.

Actualmente con el hormigón proyectado pueden alcanzarse resistencias iguales o superiores a las del hormigón convencional encofrado, a pesar de la disminución del tamaño máximo del árido, lo que se consigue mediante la adición de humo de sílice.

En el tema XV Asistencia el Túneles, se han incluido las exigencias para la resistencia y colocación del hormigón proyectado.

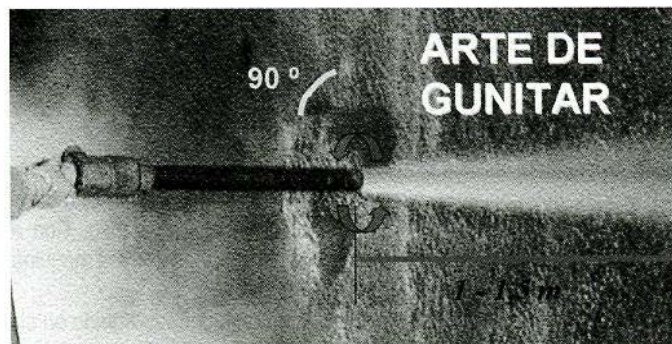
Los métodos de colocación del hormigón proyectado son:

- Por vía seca, en que el aporte del agua a la mezcla de cemento y árido lo realiza el propio operario, incluyéndose en el extremo de la lanza de proyección el grifo para la regulación del caudal del agua.

Este es el sistema antiguo de colocación del hormigón proyectado, y presentaba los siguientes inconvenientes:

- \* Falta de homogeneidad del hormigón proyectado, debido al mayor o menor contenido de agua regulada por un operador.

Por otro lado, como cuanto mayor fuera el contenido en agua aunque la resistencia fuera menor, también se disminuía el rebote, la tendencia del operario era a colocar más agua de la necesaria (figura 2.1).



**Figura 2.1**

- \* Falta de compacidad del hormigón proyectado, ya que aunque se indicaba en todos los Pliegos que debía mantenerse una distancia de la lanza respecto a la zona de proyección del orden de 1.50 m, el operario para evitar el efecto desagradable del rebote, tendía a distanciarse de la posición a gunitar, hasta alcanzar una distancia con la que se realizaba un “regado” de la zona a gunitar.

En la foto 2.2 puede verse un equipo típico para proyección de vía seca así como las lanzas con grifo para la proyección.



**Foto 2.** MEYCO® GM: Máquina de rotor típica para proyección por vía seca.



**Foto 3.** Diferentes tipos de boquillas para proyección por vía seca.

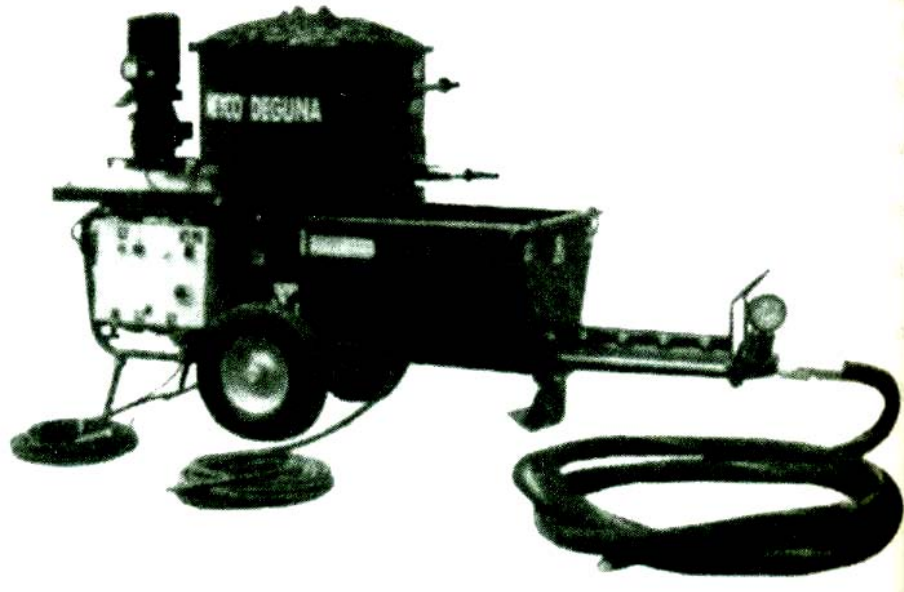
**Foto 2.2**

En la foto 2.3 puede verse un operario aplicando gunita por vía seca.



**Foto 2.3**

Un equipo más potente para proyección por vía seca sería el representado en la foto 2.4.



**Foto 2.4**

- Por vía húmeda, mediante el empleo de robots que realizan automáticamente el gunitado, con lo que el operario debidamente protegido y a distancia del punto de trabajo tiene únicamente que situar los extremos de las lanzas de los robots.

En la foto 2.5 puede verse un equipo de proyección por vía húmeda.



**Foto 2.5 – Vista lanzas robot gunitado**

Igualmente existen robots para proyección por vía húmeda con solo un brazo y para secciones de túneles más reducidas, como el que se representa en la foto 2.6.



**Foto 2.6**



Durante la proyección parte del material suministrado se desprende de la masa, **lo que se denomina como rebote**, y que modifica el grado de aprovechamiento del hormigón gunitado y disminuye la resistencia de la gunita colocada, ya que con el rebote se pierden más gruesos que finos. El porcentaje de rechazo depende de los siguientes factores:

- Relación agua/cemento
- Proporción de la mezcla
- Gunitador
- Tipo de áridos (> árido grueso = > más rebote)
- Eficacia de la hidratación
- Presión del agua o del aire
- Diseño y tamaño de la boquilla
- Velocidad de la proyección
- Capacidad del compresor
- Angulo y distancia del impacto

En el sostenimiento de túneles está totalmente extendida la incorporación de fibras de acero a la gunita, lo que lleva a las siguientes mejoras:

- Mayor resistencia a la tracción de la gunita colocada y menor fisuración.
- Disminución del rebote.
- Aumento del desarrollo inicial de resistencia.

Se recomienda que la longitud de las fibras sea como mínimo de 20 mm, y con cualquiera de las formas habituales según las especificaciones.

### 3. BULONES

Pueden diferenciarse los siguientes tipos de bulones:

- Bulones de barra a la resina o inyectados.
- Bulones de expansión hidráulica.
- Bulones de anclaje mecánico
- Bulones autoperforantes.

En la figura 3.1 puede verse un esquema de los distintos tipos de bulones.

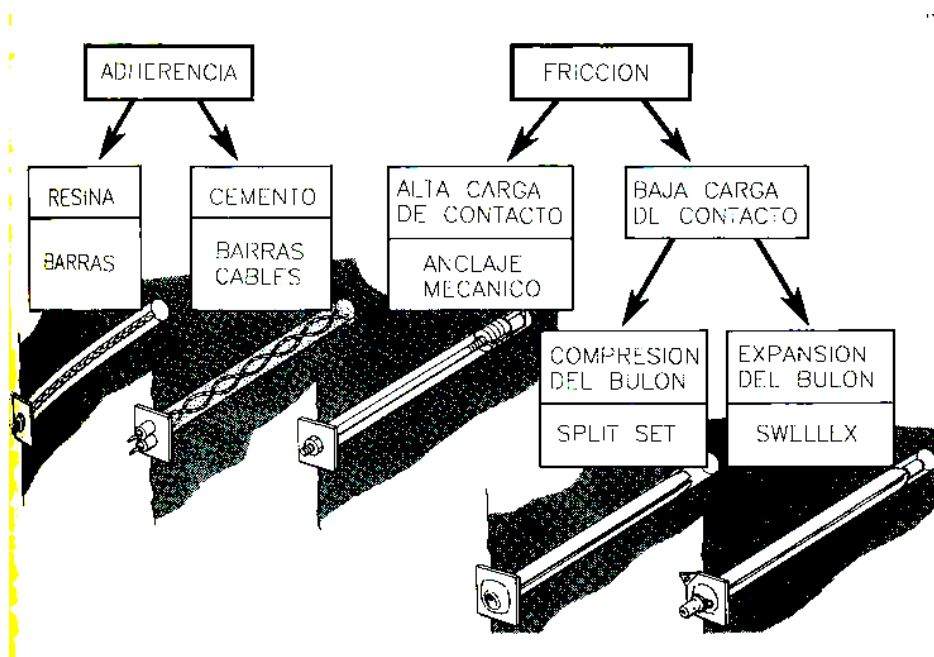


Figura 3.1

La rigidez de los distintos tipos de bulones puede tomarse del gráfico realizado por Stillborg que se incluye en la figura 3.2.

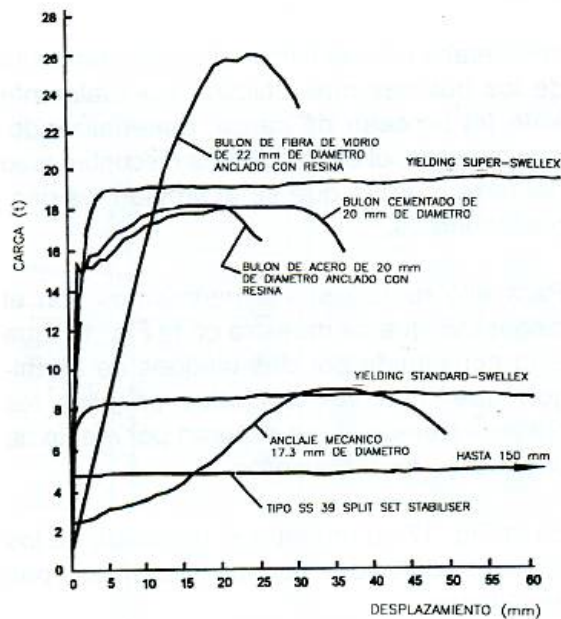


Figura 17. Curvas carga-deformación de diferentes tipos de bulones (Stillborg), obtenidas en bloques de hormigón con 60 MPa de resistencia a la compresión.

### Figura 3.2

a) Bulones a la resina

Es el método clásico de realización de bulones, aunque actualmente se encuentre en desuso al haberse sustituido este procedimiento por el de los bulones de expansión hidráulica.

Están constituidos por redondo normal corrugado de acero BS-500 y diámetros de  $\phi$  25 a  $\phi$  32.

La perforación se realiza con un ligero sobreesfuerzo respecto al diámetro del redondo, que debe rellenarse íntegramente con cartuchos de resina de dos componentes, cuyo endurecimiento es inmediato una vez que se produce el batido que realiza el propio martillo que perfora el agujero para la colocación del bulón.

En el extremo exterior del bulón se realiza un mecanizado en rosca, con una longitud no inferior a 150 mm y se coloca una placa y su correspondiente tuerca.

b) Bulones de expansión hidráulica.

Son los actualmente utilizados de forma generalizada por su rapidez de colocación hasta longitudes de 6-8 m, utilizando la propia cercha del Jumbo después de haberse perforado el agujero con uno de los brazos del mismo, tal y como puede verse en la foto 3.1. Tal y como se indica en los catálogos, si la expansión de los mismos se realiza con bomba eléctrica puede colocarse un bulón de expansión hidráulica sobre la perforación ya realizada en aproximadamente 5 segundos.



**Foto 3.1**

Consisten en una chapa flexible que se suministra ondulada, y que por presión de agua toma la forma circular presionando contra el terreno, siendo esta fricción la que garantiza su capacidad de carga, según el esquema de la figura 3.3.

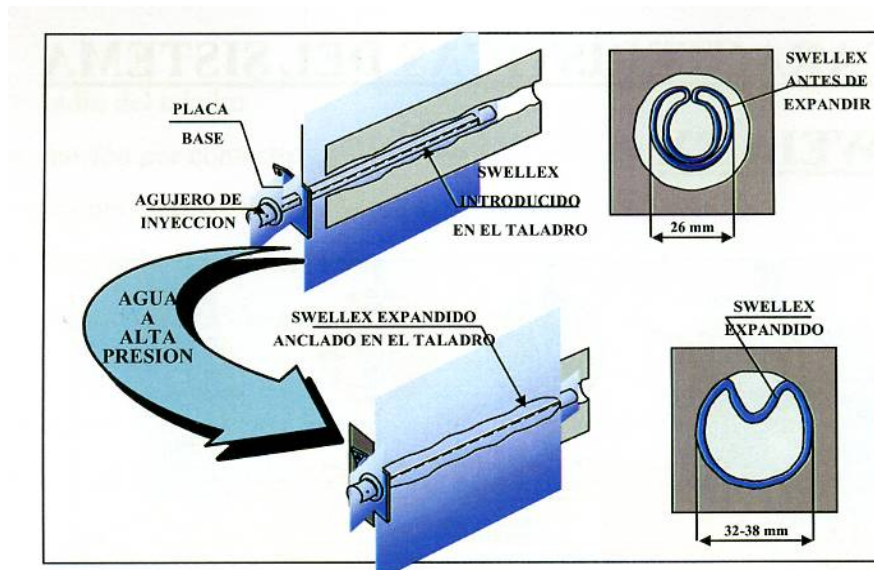


Figura 3.3 – Cortesía Manual Swellex

El ciclo de la instalación de un bulón de expansión hidráulica sería el que se representa en la figura 3.4.

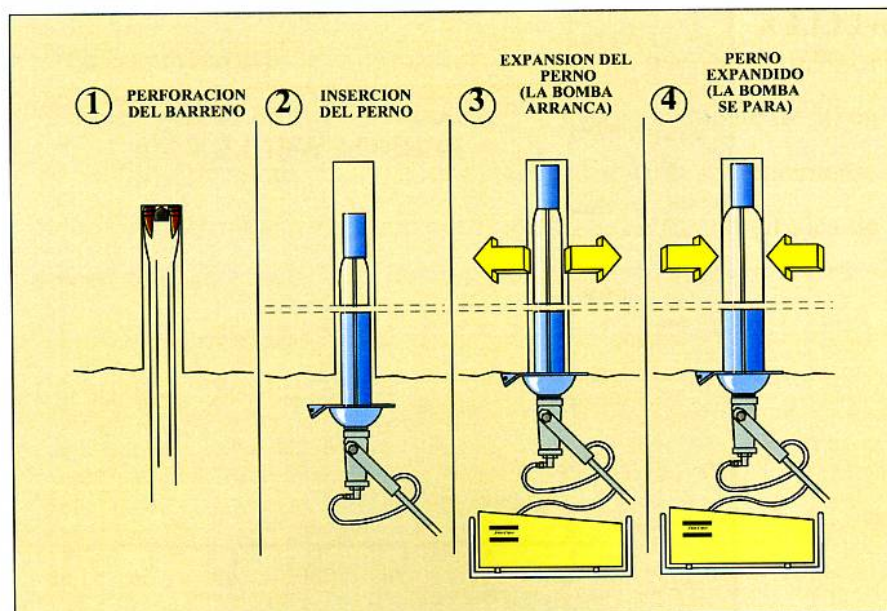


Figura 3.4

De acuerdo con nuestra experiencia, la fiabilidad de los bulones de expansión hidráulica únicamente puede garantizarse en el caso de material suficientemente rígido para que no se produzca el aflojamiento de la presión ejercida durante el inflado por deformación posterior del terreno en el que se ha colocado, **con lo que los mismos no se recomiendan para suelos.**

Es igualmente dudoso el comportamiento de este tipo de bulones, en que la sección de chapa es muy reducida frente a los esfuerzos de cortante, que pueden producirse en el caso de rotura en riñones de una sección de túnel.

c) Bulones de anclaje mecánico

Son bulones con cabeza metálica que por expansión aprietan contra el terreno de forma similar a los tacos de expansión colocados en viviendas, como puede verse en la figura 3.5.

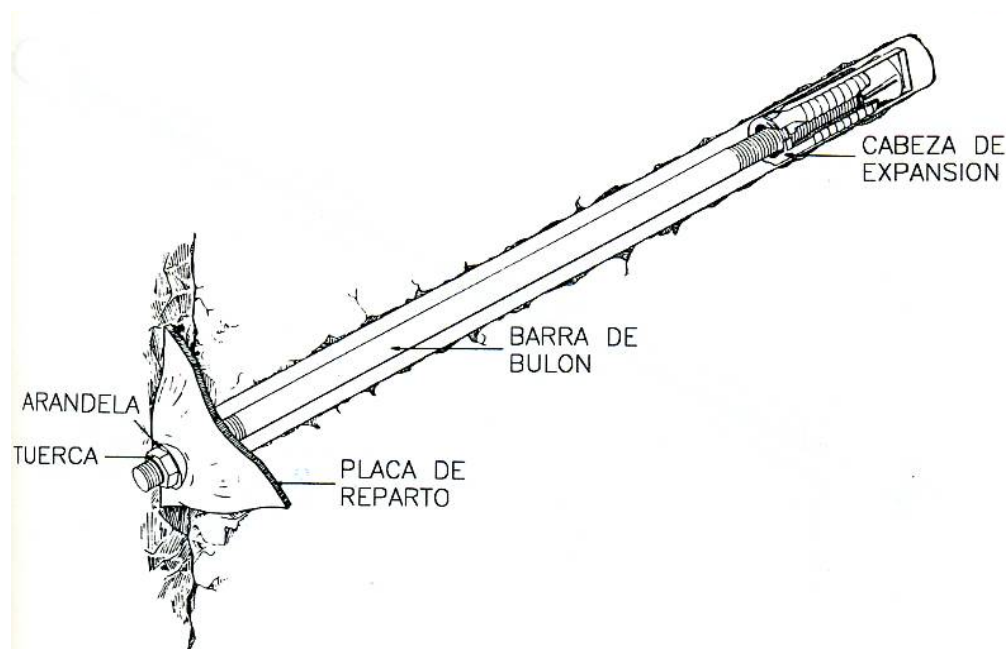


Figura 3.5

La ventaja fundamental de este tipo de bulones con anclaje en punta es que mediante el empleo de llave dinamométrica **permite tensar los mismos**, lo que es necesario en el caso

del refuerzo del sostenimiento mediante bulones en túneles profundos con presión de confinamiento elevada para evitar la rotura de hastiales por estallido o bursting (este efecto debido a la rotura por pandeo del terreno comprimido en el entorno del perímetro del túnel, sobre todo de los hastiales, solamente se contrarresta aumentando la presión de confinamiento, una vez excavado el túnel mediante bulones o anclajes tesados.

d) Bulones autoperforantes.

Este tipo de bulón presenta las ventajas de que permite alcanzar longitudes muy superiores a la de los anclajes convencionales y puede atravesar cualquier tipo de material, incluso los muy fracturados, sin que haya problemas de pérdida de la perforación al realizarse la misma con la misma barra de anclaje.

El sistema de perforación es por tanto mediante barra hueca con cabeza perdida, inyectándose por el interior de la misma mortero o lechada que además de extraer el detritus, cementa el espacio existente entre el agujero realizado y el diámetro exterior de la barra una vez que se ha alcanzado su profundidad.

En la figura 3.6 puede verse una vista de este tipo de anclaje, tomada de un catálogo comercial.

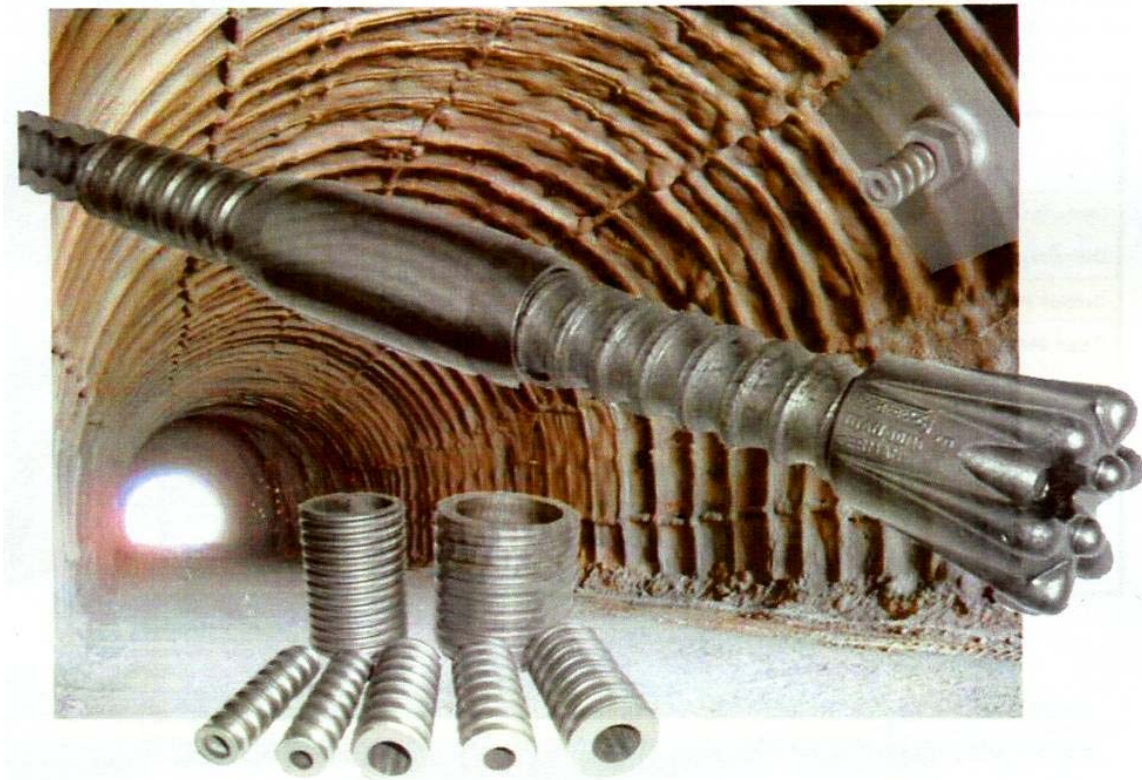


Figura 3.6

Los elementos por tanto que constituyen el anclaje serían la barra hueca, el manguito y la boca de perforación, como puede verse en la figura 3.7.



Figura 3.7

Las marcas comerciales disponen de distintos diámetros y tipos de cabeza, con las características que para uno de los suministros más habituales se reflejan en la tabla adjunta.



**Tabla de características técnicas**

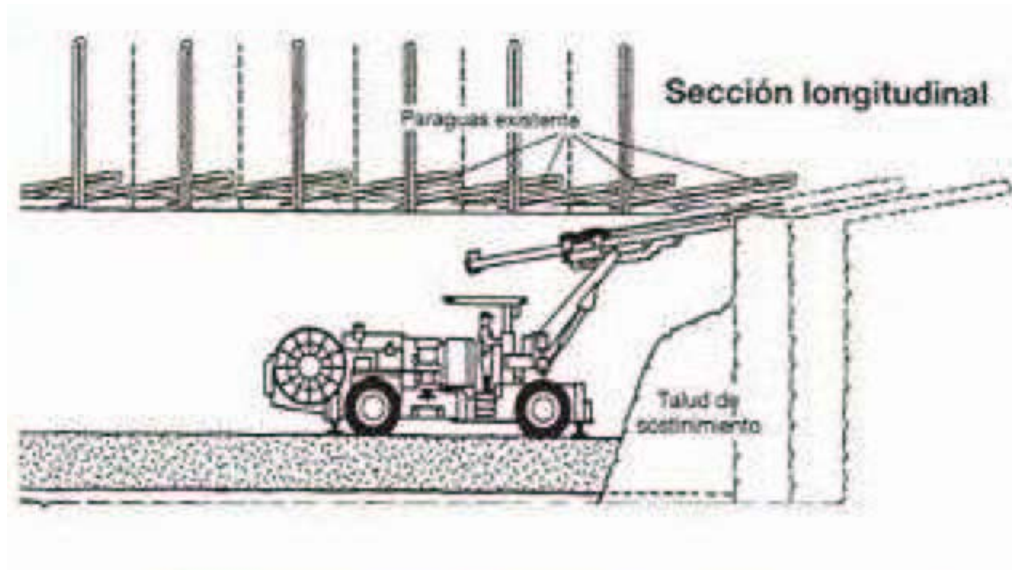
Anclaje / Micropilote tipo	unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/53	TITAN 103/78	TITAN 105/53
Diámetro exterior normal	mm	30	30	40	52	73	103	105
Diámetro exterior efectivo	mm	27,2	26,2	37,1	48,8	69,9	100,4	98,5
Diámetro interior	mm	16	11	16	26	53	78	52
Carga admisible tracción y compresión	kN	100	150	300	400	554	900	1500
Fuerza transversal admisible (Q)	kN	58	88	164	240	329	535	899
Carga de rotura	kN	220	320	660	929	1160	1950	3460
Peso	kg/m	3,0	3,5	6,9	10,5	12,8	24,7	43,2
Sección mínima (A)	mm <sup>2</sup>	382	446	879	1337	1631	3146	5501
Fuerza en el límite de fluencia	kN	180	260	525	730	970	1570	2726
Tensión de fluencia $T_{0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	470	580	590	550	590	500	500
Momento de inercia	cm <sup>4</sup>	2,37	2,24	8,98	25,6	78,5	317	425
Momento de resistencia	cm <sup>3</sup>	1,79	1,71	4,84	10,5	22,4	63,2	86,3
Momento plástico de resistencia	cm <sup>3</sup>	2,67	2,78	7,83	16,44	32,1	89,6	135

Las funciones habituales de estos tipos de anclajes dentro de la contención de un túnel son:

- Realización de empquetados, como el que puede verse en la foto 3.2 (que únicamente tendría interés si el sistema de excavación no utilizara al Jumbo), y se representa en la figura 3.8.



**Foto 3.2**



**Figura 3.8**

- Realización de refuerzos en túneles ya sostenidos con otro sistema de bulones cuya fiabilidad se haya comprobado que es dudosa en las pruebas de extracción, o que haya síntomas de que pueda producirse un hundimiento parcial, como puede verse en la foto 3.3.



**Foto 3.3 – Refuerzo sobre el gunitado con bulones autoperforantes**

En estas situaciones y para mayor seguridad suelen realizarse los bulones autoperforantes con longitudes mayores a las de los colocados, entre 6 y 8 m para un túnel de los construidos actualmente con dimensiones más habituales en torno a anchura de excavación de 15 m.

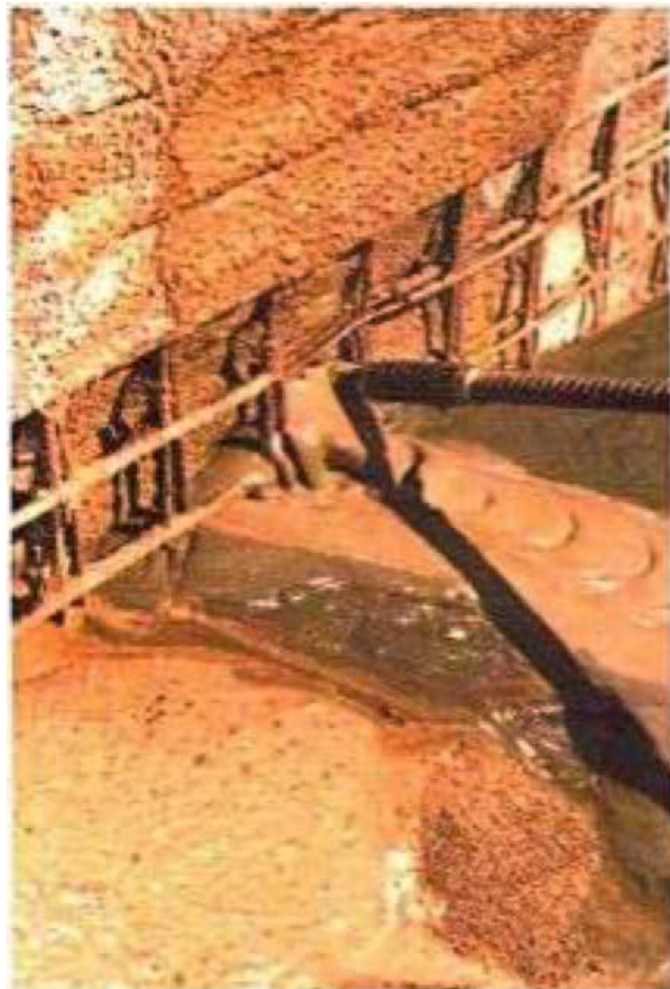
- Recalce del sostenimiento del avance.

La excavación junto al apoyo del sostenimiento de avance en terrenos rotos o de baja resistencia, confiando únicamente en el sobrecancho de la pata de elefante es poco fiable y ha sido la causa de muchos de los hundimientos producidos en túneles en los últimos años.

Para evitar esto es recomendable recalzar el apoyo del sostenimiento de avance e incluso de la destroza, mediante bulones de barra que resistan cortantes y que

tengan longitudes de 6 a 12 m, de forma que queden fuera en cualquier caso de la posible rotura de este apoyo.

Para realizar estos bulones, cuyo periodo de ejecución puede ser cualquier momento después de ejecutado el sostenimiento del avance y antes de que se comience la destroza, puede ser muy adecuado el empleo de bulones autoperforantes, realizando un esquema de refuerzo para el recalce del apoyo similar al que figura en la foto 3.4.



**Foto 3.4**

#### 4. CERCHAS

Son perfiles metálicos que se ajustan al diámetro de la excavación.

Los tipos de perfiles metálicos que se utilizan son:

- Perfiles TH, que se denominan por el peso por metro lineal, con la sección que puede verse en la foto 4.1 y la geometría definida por la tabla adjunta.

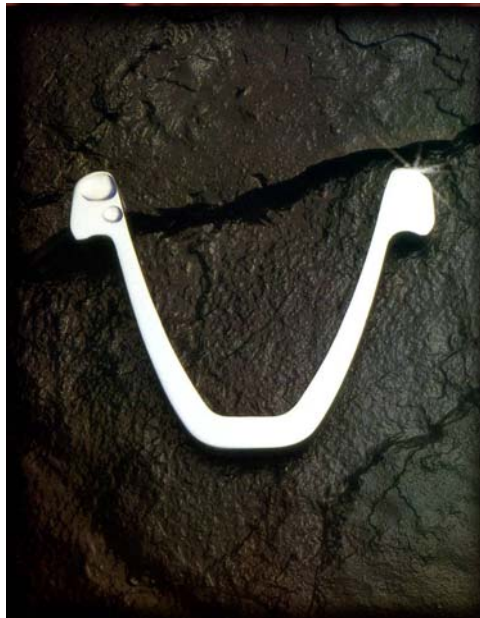
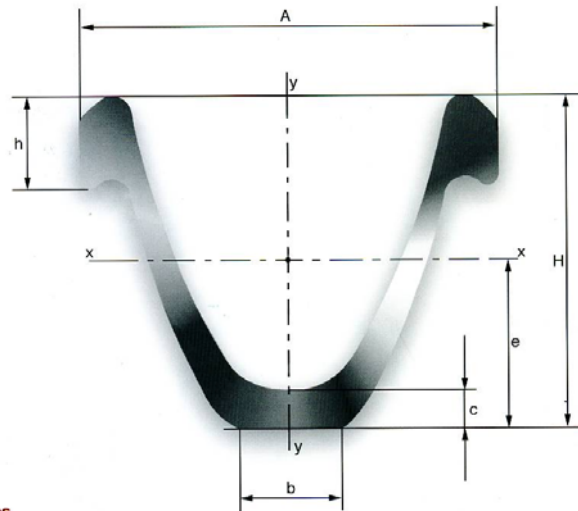


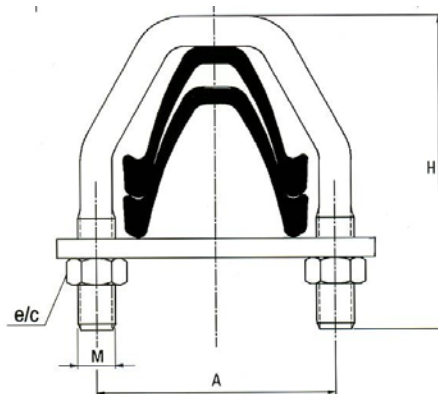
Foto 4.1



**Datos Técnicos**  
**Technical Data**  
**Données Techniques**

		ΩN-16,5	ΩN-21	ΩN-29	ΩN-36
Peso Weight Poids	P (Kg/m)	16,5	21	29	36
Sección Area Section	S (cm <sup>2</sup> )	21	27	37	46
Dimensiones Dimensions	A (mm)	106	127	150	171
	b (mm)	31	35	44	51
	H (mm)	90	108	124	138
	h (mm)	26	30	31	35,5
	e (mm)	44	54	58	67
Características Properties Caractéristiques	I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	186	341	616	969
	W <sub>xx</sub> (cm <sup>3</sup> )	40	61	94	136
	I <sub>yy</sub> (cm <sup>4</sup> )	223	398	775	1265
	W <sub>yy</sub> (cm <sup>3</sup> )	42	64	103	148
Radio mínimo de curvado Minimum bending radius Rayon minimum de la courbe	R (m)	0,9	1,1	1,2	1,6

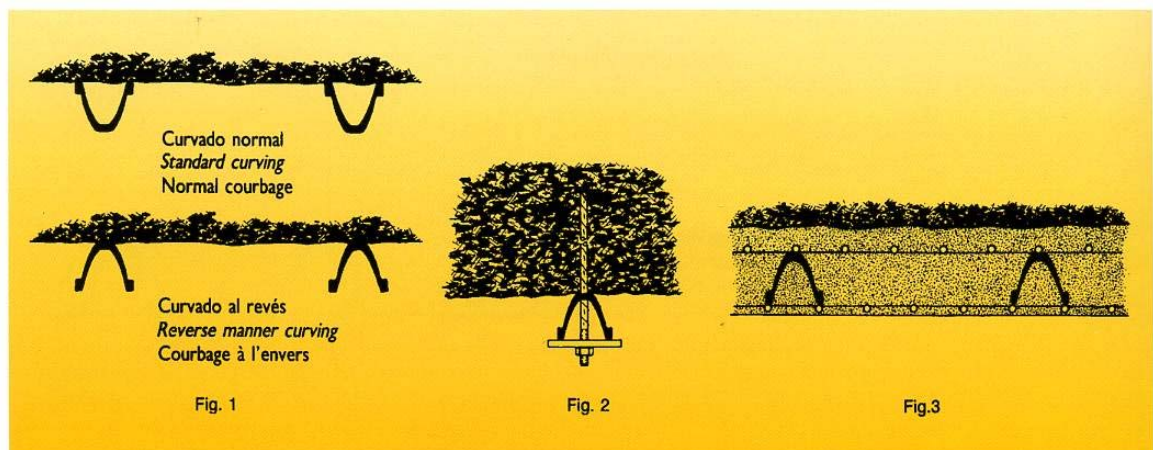
La ventaja de los perfiles TH es que permite la unión entre los mismos mediante un sistema de grapa que permite acomodar el desarrollo de la cercha a la geometría real que se ha obtenido en la excavación. En la figura 4.1 puede verse la geometría y dimensiones del tipo usual de grapa.



		ΩN-16,5	ΩN-21	ΩN-29
Peso de la grapa				
Weight	(Kg.)	2,60	4	6
Poids				
	H(mm)	200	225	260
Dimensiones	A(mm.)	144	165	187
Dimensions	e/c (mm.)	36	36	41
Dimensions	M(mm.)	24	24	27

**Figura 4.1**

La cercha puede colocarse con el curvado hacia el terreno excavado o hacia el exterior, según el esquema de la figura 4.2.



**Figura 4.2**

En la foto 4.2 puede verse un sostenimiento gunitado de cerchas TH-29 en la colocación normal y separadas mediante tresillones de redondo.



Foto 4.2

- Perfiles HEB o de ala ancha, que se definen por el canto del perfil utilizando normalmente para los anchos usuales de túnel HEB-120 hasta HEB-240 (ésta última en casos de cámaras muy singulares, ya que habitualmente la dimensión máxima de perfil sería la HEB-180).

En la figura 4.3 puede verse la definición geométrica de la sección, y en la tabla adjunta las dimensiones, sección, inercia, etc., de los perfiles que pueden utilizarse en túneles.

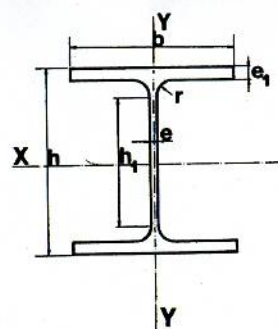




Figura 4.3 – Sección perfil HEB

HEB	Dimensiones en mm					Sección A cm <sup>2</sup>	Peso p kg/m	Referido a los ejes						S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	s <sub>x</sub> cm
	h	b	e	e <sub>1</sub>	r			X—X			Y—Y				
						I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm				
100	100	100	6	10	12	26,0	20,4	450	90	4,16	167	33	2,53	52,1	8,63
120	120	120	6,5	11	12	34,0	26,7	864	144	5,04	318	53	3,06	82,6	10,5
140	140	140	7	12	12	43,0	33,7	1 509	216	5,93	550	79	3,58	123	12,3
160	160	160	8	13	15	54,3	42,6	2 492	311	6,78	889	111	4,05	177	14,1
180	180	180	8,5	14	15	65,3	51,2	3 831	426	7,66	1 363	151	4,57	241	15,9
200	200	200	9	15	18	78,1	61,3	5 696	570	8,54	2 003	200	5,07	321	17,7
220	220	220	9,5	16	18	91,0	71,5	8 091	736	9,43	2 843	258	5,59	414	19,6
240	240	240	10	17	21	106,0	83,2	11 259	938	10,3	3 923	327	6,08	527	21,4

La unión entre los distintos tramos de cercha se realiza a tope, mediante placas atornilladas situadas en ambos extremos de los tramos. Esto obliga en el caso de que sea necesario aumentar la longitud de cercha respecto a la teórica para adaptarse al perfil del terreno excavado, a tener que colocar suplementos realizados a medida en el propio taller de la obra, como los que pueden verse en la foto 4.3.



**Foto 4.3 – Cerchas HEB unidas a tope con suplementos**

No conviene tampoco reducir los tamaños de las placas extremas al mínimo, como las que se ven en la foto 4.3, ya que el apriete de las tuercas se ve muy dificultado.

En los apoyos de las cerchas en el avance, en el caso de existencia de suelos blandos, puede ser necesario repartir la carga transmitida por las mismas, para lo que se colocan patones o patas de elefante retranqueadas hacia el exterior de la excavación del túnel.

Actualmente las patas de elefante vienen fabricadas en taller, tal y como puede verse en la foto 4.4, y se unen al tramo de cercha de hastial.



**Foto 4.4 – Patas de elefante de cerchas HEB**

Para su colocación y arriostramiento las cerchas se unen mediante tresillones, que pueden estar constituidos por elementos específicos suministrados por la misma empresa que fabrica las cerchas, como puede verse en la foto 4.5, o lo que es más habitual por redondos  $\phi$  32 soldados en sus extremos a la cercha.



**Foto 4.5**

- Cerchas reticulares.

Son cerchas tridimensionales constituidas por 3 ó más redondos formando una celosía tridimensional, de acuerdo con el esquema de la figura 4.4.

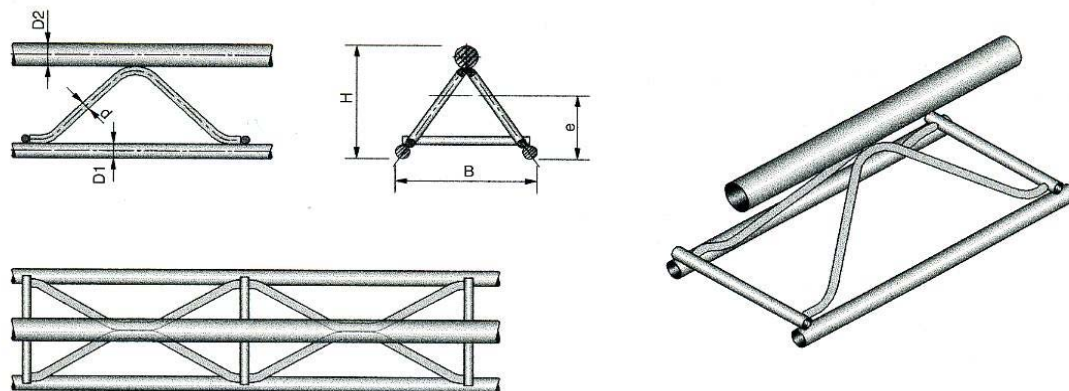


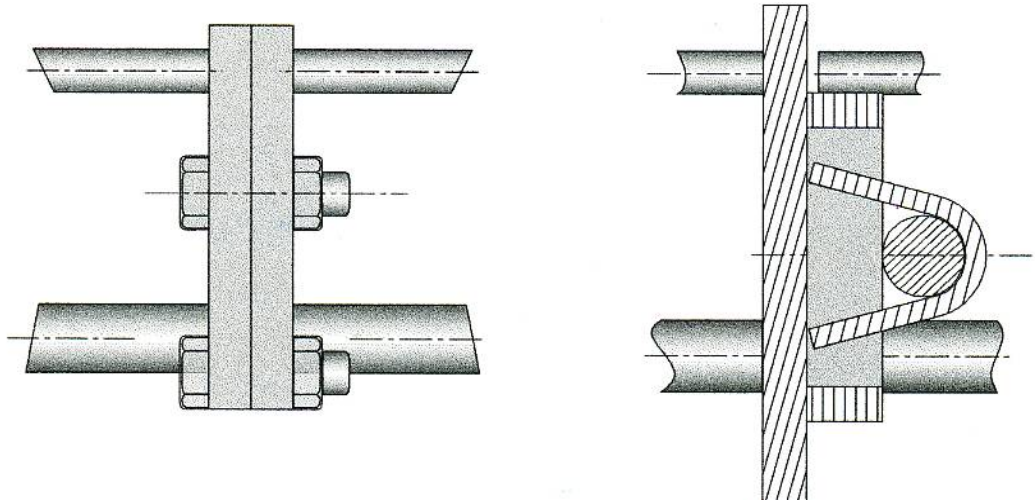
Figura 4.4 – Geometría cerchas reticulares

Las características de los tipos de cerchas reticulares disponibles en España se incluyen en el cuadro adjunto.

**Características técnicas / Technical Data**

TIPO TYPE	D1 mm	D2 mm	d mm	B mm	H mm	A mm <sup>2</sup>	G Kg/m	e cm	Ix cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Wy cm <sup>3</sup>
TE-50	20	25	10	100	95	11,19	10,10	5,32	148	28	104	21
	20	32	10	100	102	14,32	12,60	5,27	210	40	107	22
TE-70	20	25	10	142	115	11,19	10,30	6,44	239	37	237	33
	20	32	10	142	122	14,32	12,80	6,39	332	52	240	34
TE-95	20	25	10	180	140	11,19	10,60	7,84	384	49	405	45
	20	32	12	180	147	14,32	14,00	7,80	523	67	409	45
TE-115	20	25	12	200	160	11,19	11,86	8,97	527	59	512	51
	20	32	12	200	167	14,32	14,32	8,90	708	79	515	52
TE-130	20	25	12	220	175	11,19	12,06	9,80	644	66	631	57
	20	32	12	220	182	14,32	14,52	9,70	865	89	635	58

Las uniones entre tramos se realizan mediante placas a tope unidas por tornillos o mediante sistema de bulón o anillo, como puede verse en la figura 4.5.



**Figura 4.5**

La ventaja de este tipo de vigas es que permite contar con mucho más canto y por tanto momento resistente, manteniendo el peso reducido.

Su utilización en España es muy inusual.

## 5. CHAPA BERNOLD

Es una placa troquelada, de espesores de 2 ó 3 mm, que puede colocarse entre cerchas, con las siguientes funciones:

- Equivalen a una armadura de acero en el hormigón.
- Pueden servir de encofrado perdido para el gunitado por detrás de las mismas en el caso de un sostenimiento de túnel, o para el gunitado exterior en la visera.

En la foto 5.1 puede verse un túnel sostenido con chapa Bernold entre cerchas.



**Foto 5.1**

Las dimensiones de suministro de la chapa son de 1200 mm en altura por 1080 mm en longitud, según el eje del túnel, con lo que en los tramos en que se coloque la separación

entre ejes de cercha debe ser de 1200 mm, en el caso de que se sitúen entre las alas, o de 1 m si se colocan apoyadas por el trasdós de éstas.

En la figura 5.1 puede verse la geometría de un elemento de chapa Bernold.



**Figura 5.1**

No es habitual actualmente la realización de túneles con empleo de chapa Bernold, salvo en dos situaciones:

- Viseras de emboquilles, en que es sistemática su colocación, como puede verse en la foto 5.2, y en las que la función principal de éstas es constituir el encofrado perdido del gunitado realizado por el exterior.



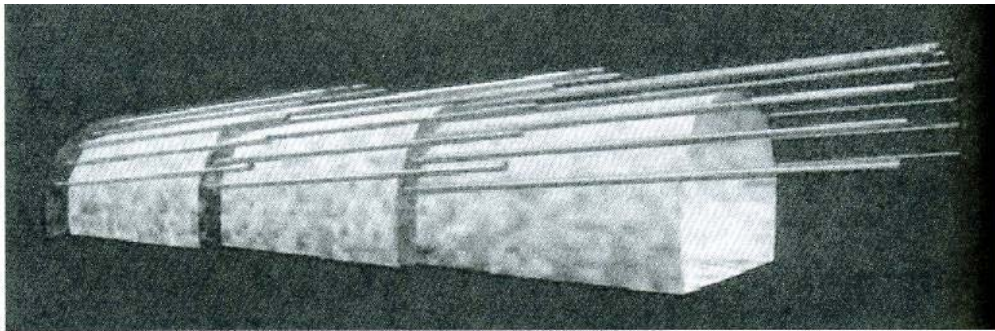


**Foto 5.2**

- En el caso de paso de zonas hundidas en que se han formado chimeneas, en que se realiza el siguiente proceso:
  - \* Realización de paraguas de la zona hundida
  - \* Avance con cerchas pesadas espaciadas en torno a 0.50 m y con colocación de chapa Bernold por detrás de las mismas.
  - \* Una vez pasada la zona hundida, inyección de mortero por detrás de la cercha y chapa Bernold hasta rellenar la oquedad, o al menos realizar un tramo de arco de hormigón de 1 m de hormigón.

## 6. PARAGUAS DE MICROPILOTES

Consiste en la realización en la clave del túnel de una protección mediante tubos continuos o micropilotes que eviten la caída del material excavado y mejoren la estabilidad del propio frente, tal y como puede verse en la figura 6.1.



**Figura 6.1**

Como ya se ha citado, la realización de un túnel con paraguas continuo que normalmente debe solapar de  $1/3$  a  $1/5$  de la longitud del mismo, era un proceso muy lento, penoso y de elevado coste, ya que obligaba a sacar del túnel la maquinaria de perforación mientras se realizaba el paraguas por otra máquina distinta a las que se utilizaban durante la excavación.

Para limitar los desvíos de los micropilotes del paraguas la longitud de cada paraguas se limitaba a 15-25 m, lo que en la excavación se avanzaba en una semana, con lo que prácticamente debía estar disponible en la obra la máquina de realización de estos elementos de refuerzo.

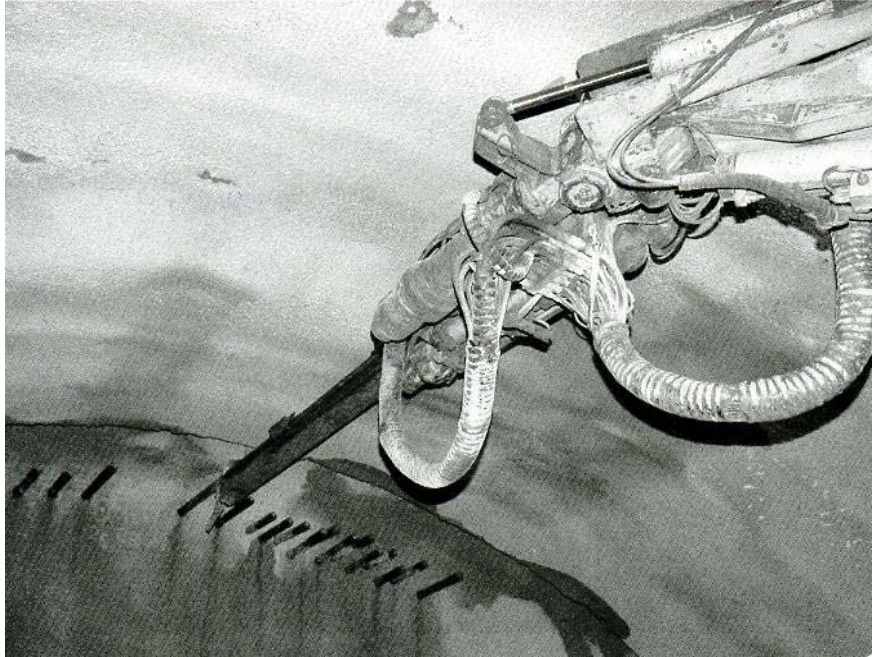
Sin embargo, actualmente pueden realizarse mediante el empleo del propio Jumbo paraguas autoperforantes de diámetro hasta 100 mm y longitudes de 12 m, lo que ha mejorado la producción de la maquinaria del túnel en las zonas que necesiten este tratamiento y ha permitido su utilización con un coste razonable.

En la foto 6.1 puede verse la cabeza perdida de perforación de las barras del paraguas.



**Foto 6.1**

En la foto 6.2 puede verse una fase de ejecución de paraguas con el Jumbo y micropilotes autoperforantes de cabeza perdida. La separación entre micropilotes suele ser dependiendo de la naturaleza del terreno de 0.40 a 0.80 m y al menos debe abarcarse un arco de bóveda desde el centro de la sección de 120°.



**Foto 6.2**

## 7. HORMIGÓN ENCOFRADO

En muchos casos, una vez colocado el sostenimiento, en general en todo el desarrollo del túnel, se procede a la realización de un revestimiento de hormigón en masa, que tendría las siguientes funciones:

- Mejorar el acabado estético del túnel
- Reducir la fricción del aire permitiendo limitar la potencia de los ventiladores
- Constituir un elemento de protección frente al fuego del sostenimiento resistente.
- Además de los puntos anteriores, es evidente que un revestimiento de hormigón encofrado constituye un nuevo elemento de soporte, que aumentará el coeficiente de seguridad del túnel una vez construido.

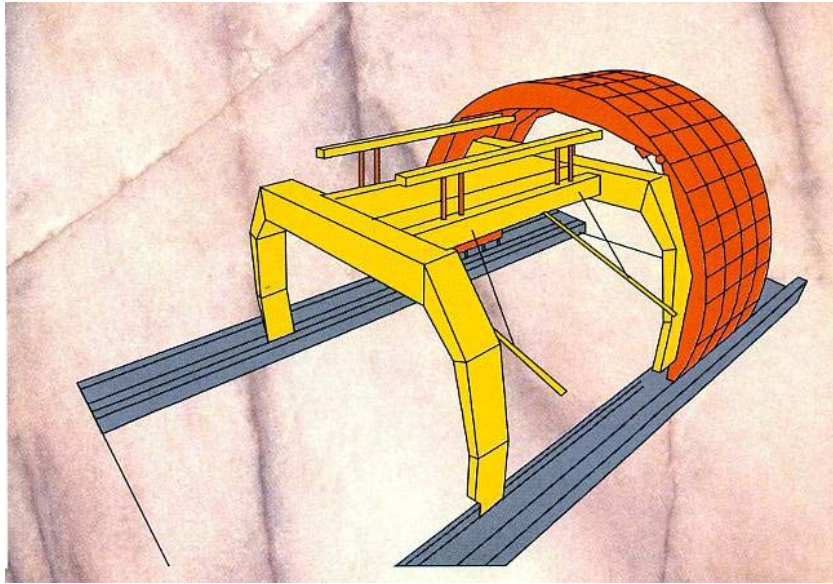
El espesor mínimo del hormigón encofrado debe ser de 30 cm, admitiéndose variaciones de hasta 10 cm siempre y cuando esas zonas se refuercen con mallazo.

El elemento principal para la colocación del revestimiento es el encofrado de túnel, como el que puede verse en la foto 7.1.



**Foto 7.1**

El encofrado suele estar constituido por 3 módulos deslizantes, de forma que pueda retirarse y adelantarse el módulo en que anteriormente se hubiera realizado el hormigonado, poniéndole por delante del que en ese momento se está hormigonando, lo que permite que esta actividad constituya un proceso continuo sin interrupciones, tal y como puede verse en el esquema de la figura 7.1.



**Figura 7.1**