

LA EXPERIENCIA HIDROELECTRICA NORUEGA  
SEMINARIO EN MADRID Y OVIEDO  
FEBRERO 1989

EXCAVACION DE ROCAS Y REFUERZOS

Presentado por  
Arild Palmstrom  
Ingeniero Jefe de Geologia  
Norpower A.S

## Introducción

Este documento describe los varios métodos y técnicas usados para la excavación subterránea de centrales hidroeléctricas. Está basado en su mayor parte en la vasta experiencia obtenida en Noruega dentro de este campo, a través de muchos años de construcción en roca dura. De hecho Noruega ha estado a la vanguardia de los desarrollos de construcción en roca dura en todo el mundo durante los últimos 40 - 50 años.

Los recursos de Noruega con una topografía escarpada, precipitaciones abundantes y muchos lagos naturales que pueden ser utilizados como depósitos de reservas de agua han dado lugar a extensos desarrollos hidroeléctricos. Dado que una gran parte del país está formado de rocas duras, al descubierto, las posibilidades y beneficios en la utilización de las rocas y el subterráneo son más fáciles de descubrir que en la mayoría de los otros países. De hecho, las construcciones hidroeléctricas han jugado un papel preponderante en el desarrollo de la excavación de rocas. Esto puede verse en la Figura 1.

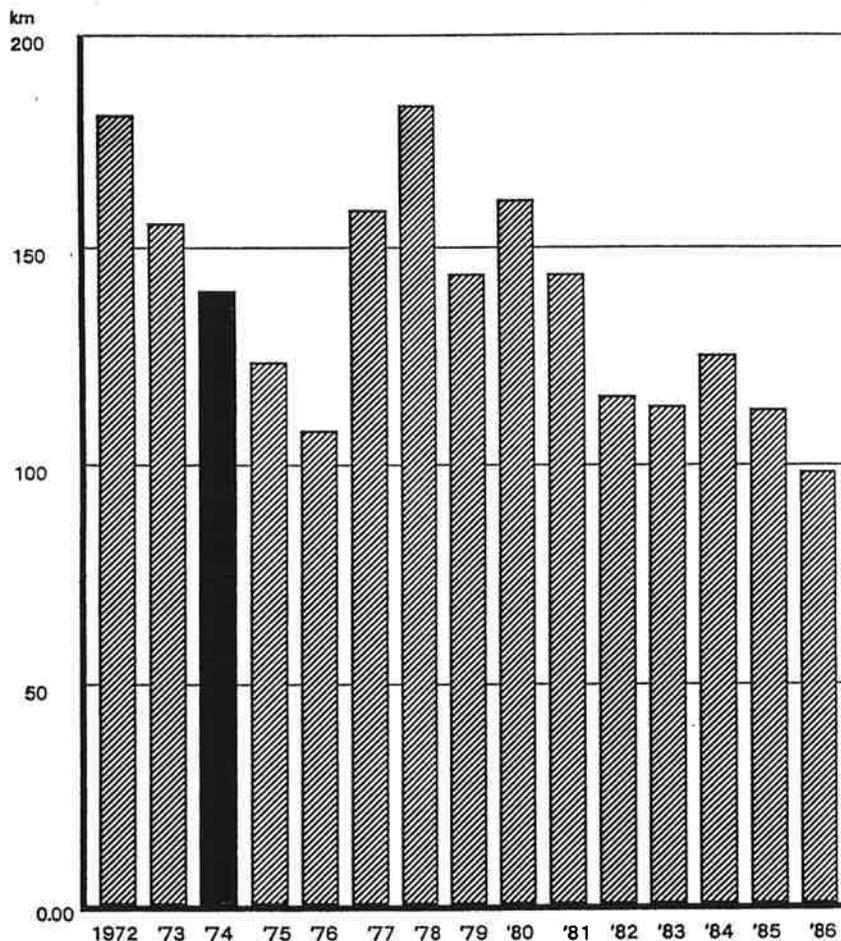


Figura 1. Tramo de los túneles construídos por año en Noruega. Una gran parte de los túneles han sido excavados en relación a explotaciones hidroeléctricas.

**Los desarrollos en la excavación de rocas han sido importantes en el mejoramiento del diseño de las plantas hidroeléctricas**

Las excavaciones de rocas para las construcciones hidroeléctricas de Noruega, están principalmente relacionadas con:

- canales
- túneles de carga y descarga
- túneles de acceso
- chimeneas
- centrales eléctricas
- halls de transformadores
- cámaras/chimeneas de equilibrio

En forma adicional, muchos túneles usados para excavaciones están hechos en conexión con plantas eléctricas subterráneas. Muchas de estas plantas hacen uso de todos estos tipos de excavaciones de rocas.

Los desarrollos en las excavaciones de rocas tendientes a reducir costos y a aumentar capacidades, han creado posibilidades para muchos mejoramientos en el diseño hidroeléctrico. Esto se ilustra en la Figura 2. Estos desarrollos han sido la razón principal para que una parte creciente de las construcciones hidroeléctricas sean subterráneas, y para un mayor y mayor uso de la roca como material de construcción no sólo para el transporte de agua, sino también para las centrales eléctricas y sus auxiliares.

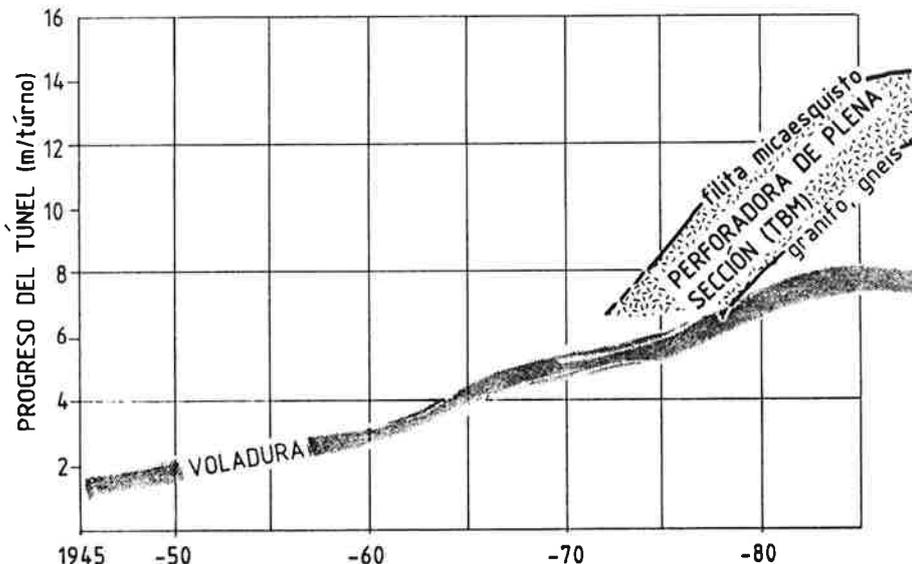


Figura 2. Mejoramientos en las capacidades de excavaciones de túneles en Noruega. El progreso en la construcción de túneles hoy en día es alrededor de 500% más alto de lo que fué en 1945 para el método del perforado y volado ("drill & blast method"). Con máquinas perforadoras de túneles (TBM - "tunnel boring machines") es posible excavar más de 1.000% más rápido mientras que al mismo tiempo el personal necesario se puede reducir a la mitad.

La alta eficiencia en la excavación de rocas hoy en día, tanto por medio del método del perforado y volado como por las máquinas perforadoras de túneles (TBM) ofrece una serie de posibilidades

en el diseño y construcción de plantas hidoeléctricas, dentro de las cuáles están:

- \* Tramos de túneles más largos entre las construcciones de acceso.
- \* Costos más bajos por metro de túnel.
- \* Tiempo de construcción reducido.
- \* Una parte más grande hecha como construcción subterránea.

Estas posibilidades han creado ventajas para muchas plantas eléctricas. Abertura de túneles más largos para la utilización de entradas y salidas más grandes de la planta y también para desviar ríos secundarios u otros ríos que se vayan a utilizar en una planta en vez de varias. La suma total de los túneles puede ser de 50 km o más para muchas plantas Noruegas.

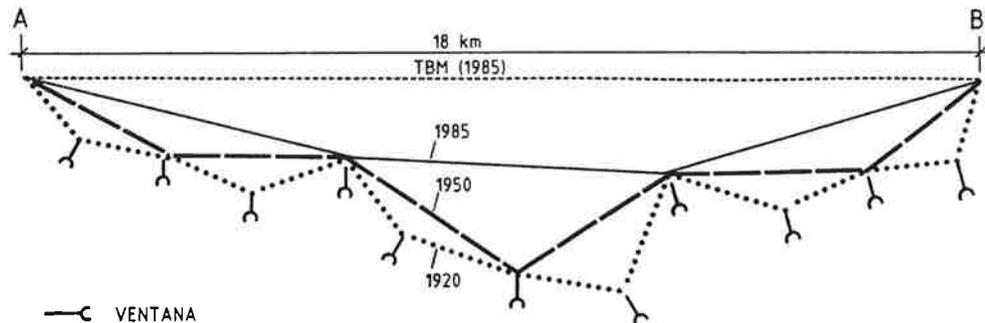


Figura 3. Varios trazados de túneles entre los dos embalses "A" y "B" en 1920 y 1985. Un tramo reducido de túnel de 5,8 km, incluyendo la entrada, se puede obtener hoy en día con el mismo tiempo de construcción. Una máquina perforadora de túneles puede excavar el túnel en un tramo, en caso de que las condiciones de la roca sean favorables. Este túnel sería 1,4 km más corto que un túnel de taladrado y volado.

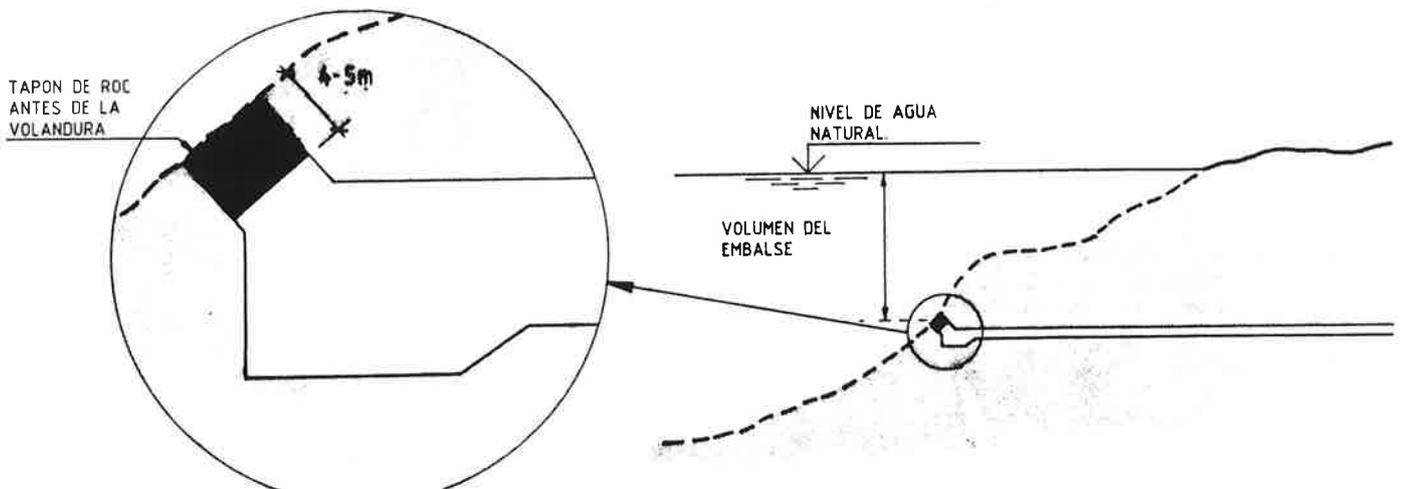


Figura 4. El tapón en los lagos y las perforaciones sumergidas de túneles, son una de las especialidades Noruegas en la construcción de centrales hidroeléctricas. Las perforaciones se llevan a cabo excavando un túnel en las rocas bajo el fondo del lago, hasta un punto preseleccionado, desde donde ambas partes se unen al volar el tapón. De esta manera el lago se hace accesible para la explotación hidroeléctrica utilizando el volumen de almacenamiento dispa por debajo del nivel original del agua.

Las rocas pueden ser excavadas por distintos métodos. El diseño de la planta, las condiciones geológicas, la disponibilidad del equipo y la experiencia de los contratistas son todos elementos importantes para ser usados en la selección del método de excavación a utilizarse en un proyecto.

**Las condiciones geológicas han sido el principal motivo para el desarrollo de las excavaciones de rocas en Noruega**

Como se muestra en el mapa simplificado de ingeniería geológica de Noruega, Figura 4, casi todas las rocas tienen más de 250 millones de años. La mayoría de éstas que originalmente se formaron como sedimentos - y también muchas de las rocas plutónicas - se han metamorfoseado en las rocas duras que encontramos hoy en día. Sin embargo las rocas han sufrido movimientos posteriores en la corteza de la tierra, lo que ha causado que estas sean penetradas por muchas discontinuidades tales como diaclasas, fallas, zonas de corrimiento u otras zonas poco resistentes. De hecho estos son las características más significativas en la excavación de rocas, dado que ellas generalmente causan problemas en la construcción de túneles debido a la estabilidad reducida que ellas poseen.

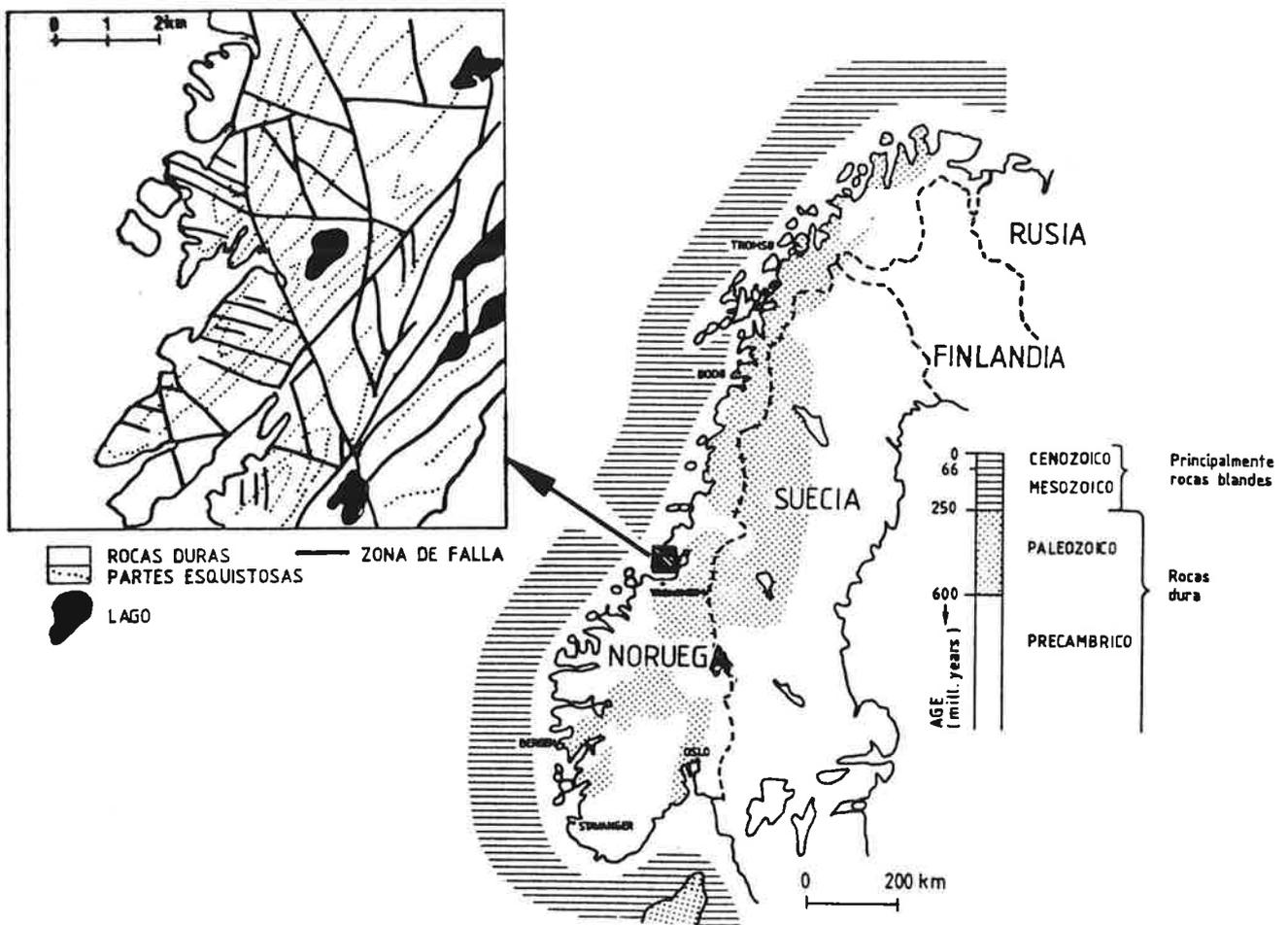


Figura 5. Mapa geológico simplificado de Noruega. La mayoría de las rocas se encuentran hoy en día son rocas duras, de más de 250 millones de años.

Las características glaciares ha otorgado a Noruega un gran ventaja para las excavaciones subterráneas. La erosión glacial eliminó todas las rocas intemperizadas en la superficie antigua, dejando grandes partes de superficie de rocas frescas y duras, sin estar cubiertas por el suelo o materiales sueltos. En estas áreas es fácil explorar las condiciones geológicas y descubrir que el subterráneo puede ofrecer condiciones excelentes para la construcción de centrales hidroeléctricas. De esta manera las condiciones de la masa de la roca generalmente se pueden evaluar por medio de mapas geológicos de la superficie combinados con estudios de fotografías aéreas, refiérase a Figura 6.

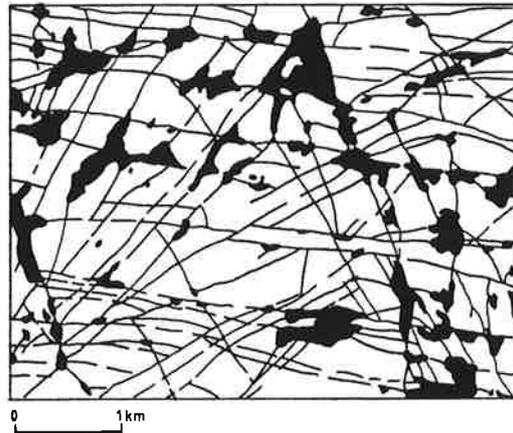


Figura 6. Generalmente es posible estudiar las condiciones geológicas por medio de simples observaciones de la superficie, dado que las rocas (frescas) no intemperizadas se encuentran en gran parte de la superficie de Noruega. El diagrama de las zonas poco resistentes que se muestran sobre la figura fueron obtenidas por medio de una fotografía aérea. Con las condiciones de la roca mostradas de esta manera es fácil detectar que éstas pueden ofrecer grandes posibilidades para las construcciones subterráneas.

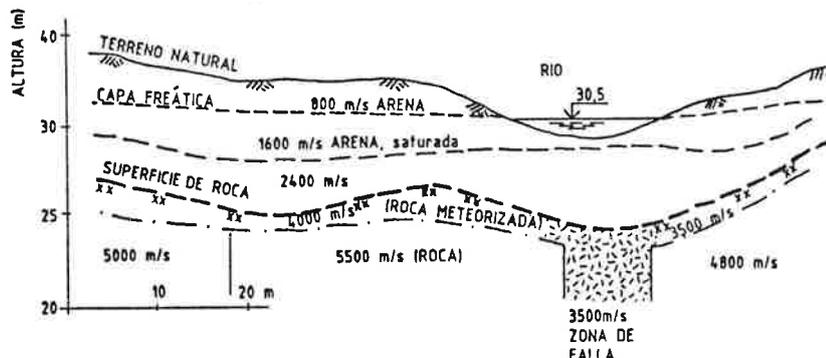


Figura 7. La medición de la refracción sísmica es el método más usado en la investigación de terreno además de la ingeniería geológica de mapas de superficie. Este método geológico muestra tanto la ubicación de la superficie de la roca cuando ésta está cubierta por suelos, como las distintas velocidades sónicas en la masa de la roca. Velocidades bajas de 2.500 - 3.500 m/s por ejemplo, indican zonas de poca resistencia o rocas intemperizadas, en donde posiblemente habrán problemas de excavación.

Los costos de investigaciones de terreno para las plantas hidroeléctricas en Noruega han sido por ello bastante bajos, normalmente entre 0,1% y 1% de los costos de construcción. Otro factor importante en el desarrollo, es que la experiencia ganada en la construcción de una planta ha sido usada tanto en la planificación y durante la excavación de otras plantas en la misma región o en áreas con condiciones geológicas similares.

**La mayoría de las excavaciones de rocas para las plantas hidroeléctricas se llevan a cabo por el método de taladrado y volado ("drill & blast method")**

Los principios de este método no han cambiado mucho durante las últimas décadas, pero el progreso hecho en equipos y explosivos han resultado en aumentos de capacidades. Las operaciones de excavación son generalmente llevadas a cabo en el siguiente orden:

- \* El cuello o la incisión es volada para eliminar futuros desalojamientos.
- \* El tamaño de la cavidad se aumenta con detonaciones sucesivas de los explosivos en los pozos de sondeos alrededor.
- \* Los pozos en la superficie son volados al último con cargas, reducidas para obtener paredes del túnel más alisadas.

Un principio similar se aplica en el volado de rellanos o terrazas; la primera explosión es seguida por explosiones sucesivas en los pozos adyacentes, para terminar con el pozo perimétrico con cargas reducidas.

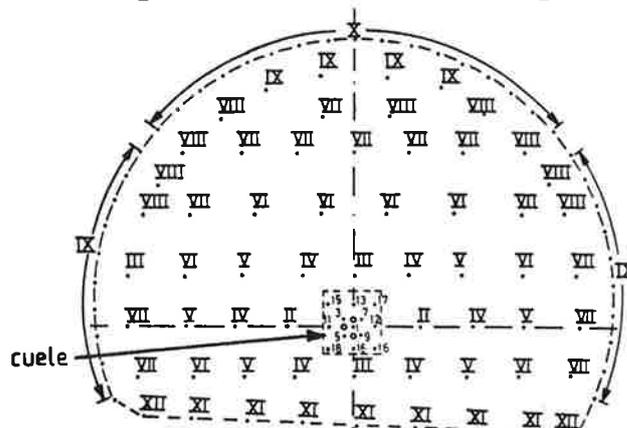
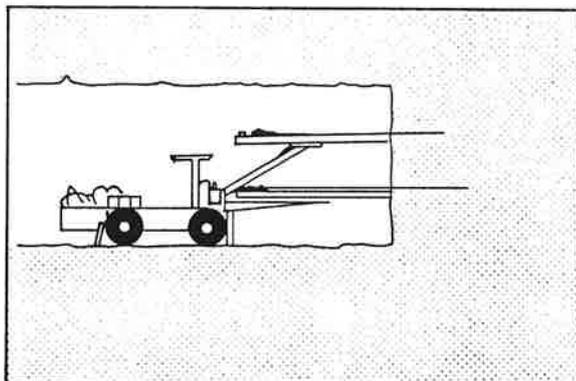


Figura 8. Jumbos modernos perforadores de túneles fueron introducidos en la década del setenta (izquierda). Configuración del perforado para la voladura de los túneles (derecha). El largo de los pozos es generalmente de 15 piés, dando un progreso de 4,0- 4,25 m por cada serie de barrenos. En túneles más grandes, generalmente se utilizan pozos mayores de 18 piés para excavar alrededor de 5 m por túnel por cada serie de barrenos.

El método del taladrado y volado tiene una serie de ventajas, entre las cuáles pueden mencionarse:

- \* Puede hacerse casi cualquier tipo y tamaño de formas de la superficie y del subsuelo.
- \* Pueden excavar la mayoría de los tipos de rocas.
- \* Gran flexibilidad en el rendimiento de la excavación.
- \* El soporte de la roca puede instalarse fácilmente y en forma rápida.

Algunas de las desventajas son:

- \* La producción de gases y humos por los explosivos.
- \* Vibraciones por las voladuras.
- \* Malas condiciones de trabajo para el personal.
- \* Superficies ásperas generan pérdidas de carga en los túneles de agua.

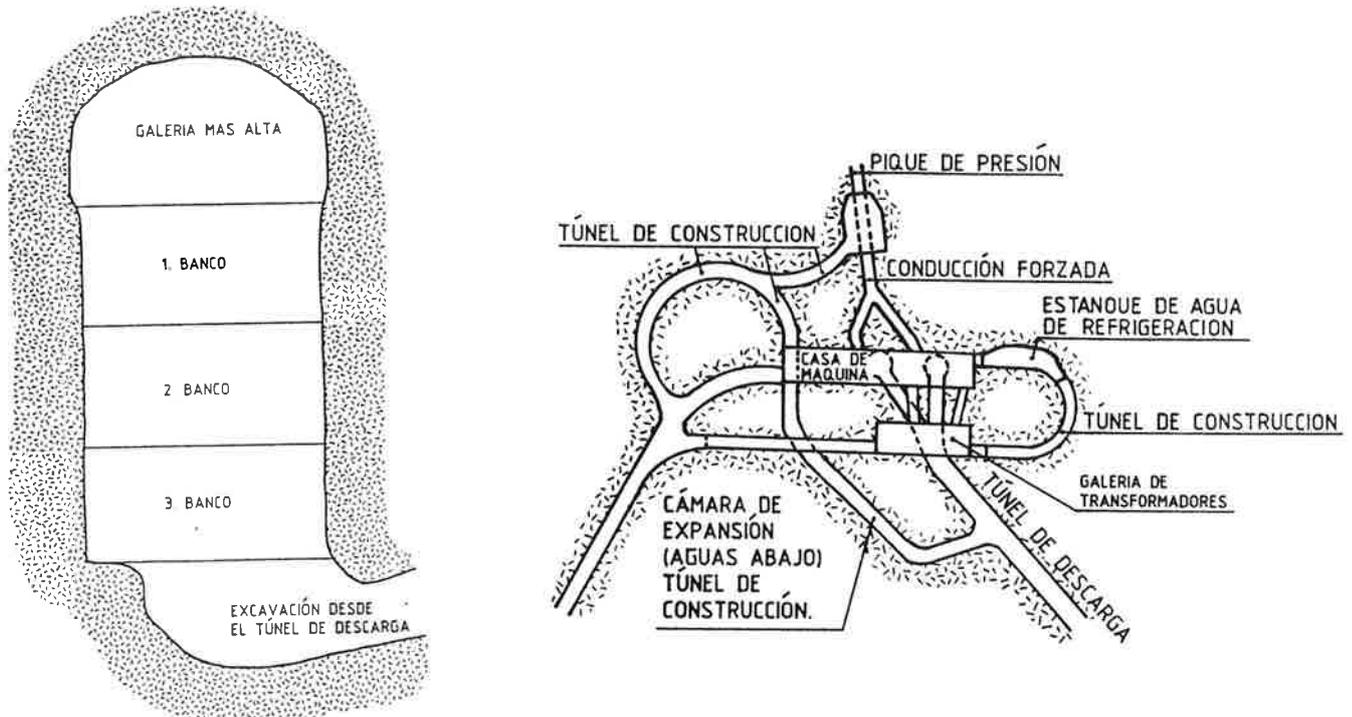


Figura 9. Principios para la construcción de una central hidroeléctrica subterránea (izquierda). El cabezal superior se excava en forma similar a un túnel, algunas veces en dos o tres tramos. Los rellanos se excavan por medio de la voladura de pozos verticales, generalmente después que los pozos a lo largo de las murallas han sido volados por el llamado método de la pre-partición ("presplitting method"). Es necesario hacer túneles de transporte o construcción para excavar una central eléctrica subterránea (derecha).

La tasa de construcción del túnel por el taladrado y volado se ha registrado en más de 100 metros por semana. Trabajando alrededor de 100 horas por semana esto dá un progreso de 8 metros por un turno normal (7,5 horas). Por supuesto esto se alcanza donde las condiciones de la masa de la roca son buenas y en donde se requieren pequeñas cantidades de soporte de la roca. En la mayoría de los túneles hidroeléctricos de Noruega, el progreso promedio en la construcción de los túneles en la actualidad, es de alrededor de 40 y 60 m por semana, incluyendo las obras de soporte de la roca. De esta manera se pueden excavar alrededor de 3,5 y 5 km de túneles anualmente desde dos entradas. Con un tiempo de construcción de 3 años para una planta eléctrica, se pueden excavar tramos de túneles de 12 km siempre y cuando se tenga una ubicación óptima de las entradas.

Excavación de Túneles por medio de TBM ("tunnel boring machine" - máquinas de perforado de túneles)

Este método ha sido básicamente desarrollado después de la Segunda Guerra Mundial, en forma original para perforar los tipos de rocas menos resistentes con una buena estabilidad. Luego el método se ha mejorado substancialmente para también perforar túneles en rocas más duras. Además de la resistencia de la roca, el grado de diaclasas o la presencia de otros planos menos resistentes son factores también importantes para el posible progreso en la construcción de un túnel.

Las máquinas excavan toda la sección transversal del túnel en una forma circular. Para las rocas duras las máquinas están equipadas con discos cortadores fijados a una cabeza rotatoria. El rodillo o disco cortador hace un canal en la roca, al mismo tiempo que un segundo rodillo hace otro canal a una distancia escogida del primero - distancia que varía con la roca. La roca entre los dos canales es sujeta a una compresión y a fuerzas de cisión. Se desmorona y se desprende en partes pequeñas en una profundidad a lo menos igual a la profundidad de los canales.

El tamaño de un túnel normal excavado por el método TBM esde entre 2,5 y 10 m de diámetro. Como se mencionaba anteriormente, el rendimiento variará bastante con las rocas y la presencia de planos menos resistentes. En rocas menos resistentes se han perforado más de 400 m de túnel por semana, en tanto que en rocas duras se ha obtenido menos de la mitad de ello. El gran rendimiento obtenido por este método hace posible construir túneles bastante largos sin la necesidad de entradas. Con el método TBM es posible excavar más de 20 km para pasar bajo montañas grandes en donde no existen posibilidades de tener entradas, lo que si es requerido por otros métodos de construcción de túneles.

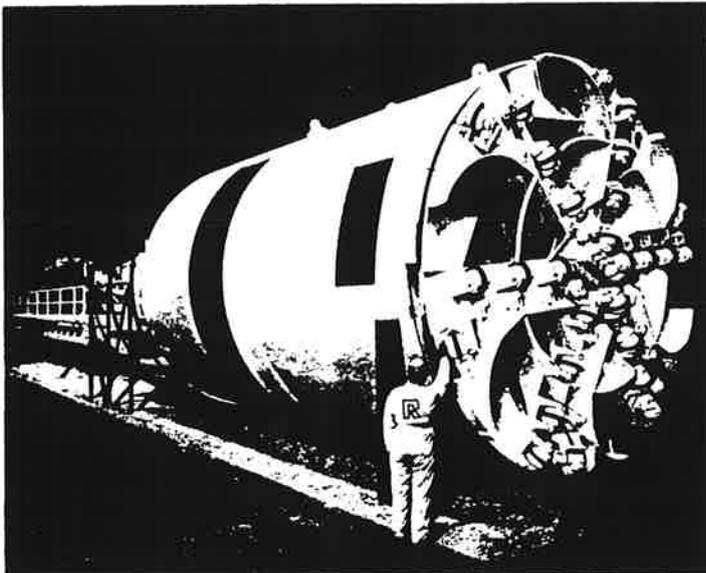


Figura 10. La máquina perforadora de túneles (TBM) ofrece muchas posibilidades interesantes en la construcción de túneles para centrales hidroeléctricas. El método se está usando en forma creciente aún en rocas duras, y también en gneiss y granito.

En rocas adecuadas para el método TBM, los costos de excavación pueden ser iguales o menores que para el método del taladrado y volado, con la misma área de la sección transversal. En rocas duras, con condiciones menos favorables, TBM es más caro que el taladrado y volado. El TBM requiere, sin embargo, menos soporte de roca, lo que reduce los costos de este método.

Las paredes más alisadas en los túneles TBM generan una menor pérdida de carga, por lo tanto, los túneles TBM pueden ser más pequeños que los túneles de taladrado y volado. Cuando todos los factores se toman en consideración, los túneles TBM, aún en muchas rocas duras, pueden ser más baratos que los túneles de taladrado y volado, siempre y cuando la longitud del túnel sea mayor de 5 km.

Las ventajas con las excavaciones TBM son:

- \* Menos soporte de roca
- \* Paredes de los túneles más alisadas
- \* Tramos de túneles más largos entre entradas
- \* Tiempo de construcción más corto
- \* Mejores condiciones de trabajo para el personal

Las desventajas son:

- \* Desde la investigación preliminar se requiere más información geológica.
- \* En condiciones malas de la masa de la roca este método es más sensible a los problemas de la construcción de túneles.
- \* Menos flexible que el taladrado y volado.
- \* Tramos más largos de túneles a ser perforados (debido a las grandes inversiones y costos crecientes).

### Excavación de túneles y chimeneas por el método escariador ("reaming method")

El método escariador o del taladro levantado es una técnica relativamente nueva que fué introducida en Noruega en 1970. Utiliza un agujero guía con un diámetro de alrededor de 11 pulgadas (27 cm). Después que se haya completado el agujero guía se fija el cabezal escoriador a la varilla de taladro. La máquina taladradora entonces tira y rota el cabezal escariador hacia la máquina. Con este método se han hecho chimeneas con diámetros entre 0,5 y 6 m con longitudes de hasta 500 m.



Figura 11. Principios del método escariador. El escariado puede hacerse desde la superficie o desde el túnel (hacia arriba o hacia abajo).

El método escariador ofrece las siguientes ventajas:

- \* El equipo es fácil de transportar.
- \* Bajos costos de construcción.
- \* Tiempo de construcción es corto.
- \* Costos de inversión pequeños.
- \* Poca necesidad de soporte de la roca en comparación con el taladrado y volado.
- \* Paredes alisadas, estos es, buenas condiciones hidráulicas.

El equipo es pequeño y puede ser dividido en partes para ser transportado en helicóptero. Puede estar listo para su operación tan sólo después de una semana de haber sido transportado al sitio de construcción, y se hace funcionar con sólo dos o tres hombres.

El rendimiento normal del escariado de chimenea en rocas duras es de 1 - 3 m por hora para el agujero guía más 0,5 - 2 m por hora para el escariado. Una chimenea de 300 m de largo puede ser construída en sólo 3 meses, lo que es 4 meses menos que una chimenea construída por el método del taladrado y volado. Además del ahorro de tiempo, el método escariador, al igual que el TBM, requiere de menos soporte de roca que el taladrado y volado.

El método ha sido usado fundamentalmente para construir chimeneas. Durante los últimos 5 años se ha llevado a cabo un desarrollo interesante con agujeros y túneles más horizontales.

Se han construído túneles largos, con una inclinación de sólo 5 - 10 grados en rocas duras, refiérase a la Figura 12. El tiempo de construcción, sin embargo, es más largo para estos túneles que para chimeneas, dado que es más difícil remover el material dragado del túnel. La precisión del escariado ha sido bastante buena. El extremo de los agujeros guías mostrados en Figura 12 sólo estuvieron entre 1 y 3 m fuera del punto planeado.

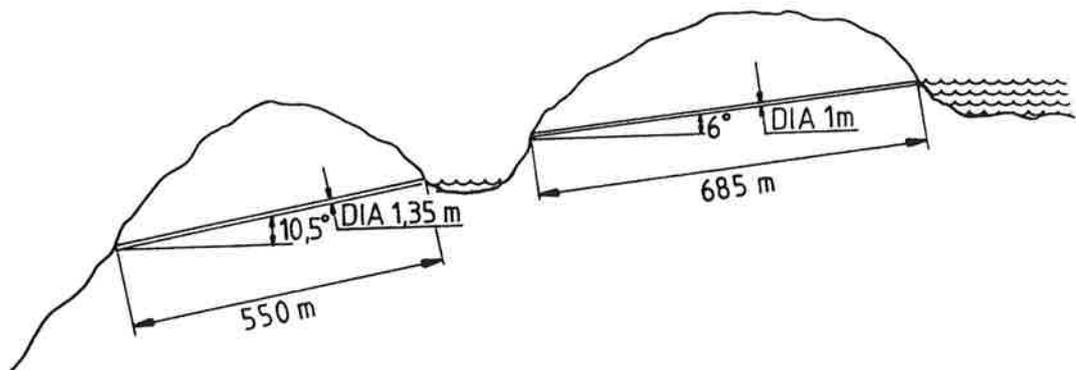


Figura 12. Ejemplo de dos túneles largos excavados por el método escariador. El túnel de 685 m de largo fué construído en 4 meses, en tanto que el otro fué hecho en 3,5 meses.

El método escariador ofrece muchas posibilidades interesantes para la construcción de túneles y chimeneas, especialmente para plantas hidroeléctricas más pequeñas.

### Métodos de refuerzo de la roca

El refuerzo de la roca se lleva a cabo para mejorar la estabilidad en una galería subterránea. La estabilidad en este sentido está relacionada con caídas de rocas o deslizamientos. La estabilidad depende de la calidad de la masa de la roca y de la ubicación, tamaño y geometría de la excavación. El grado de estabilidad indica el tiempo de levantamiento, esto es, por cuanto tiempo la galería puede funcionar sin que ocurran caídas de rocas o deslizamientos. Una baja estabilidad significa que el refuerzo de la roca tiene que ser instalado rápidamente después de la excavación.

La instalación del soporte de la roca tiene dos propósitos:

1. Obtener condiciones de seguridad en la excavación para el personal durante la construcción; esto es llamado soporte inicial.
2. Obtener las condiciones requeridas de estabilidad en la excavación durante la vida útil de la planta; esto es llamado el soporte final. El soporte inicial generalmente forma parte del soporte final, siempre y cuando el soporte pueda funcionar durante la vida del proyecto.

La filosofía Noruega es que el soporte de la roca sólo se instala cuando es necesario, esto es, él método (o los métodos) y la cantidad se deciden después de haberse estudiado las condiciones de las rocas en el sitio de la construcción, después que la excavación se haya llevado a cabo.

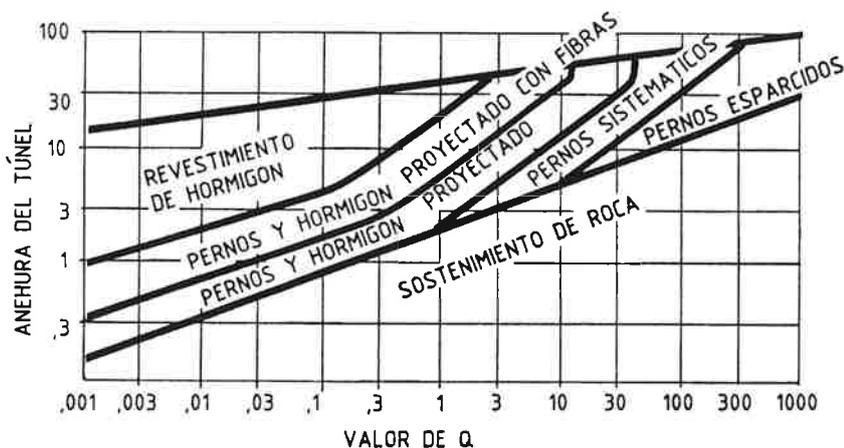


Figura 13. La cantidad y método(s) de soporte de rocas es decidido de acuerdo a las condiciones de la masa de la roca. El sistema Q desarrollado por el Instituto Geotécnico Noruego es usado a nivel mundial para la clasificación y determinación del soporte de la roca.

El contratista es responsable por la instalación del soporte inicial. El personal de trabajo decide la cantidad de soporte de la roca a instalarse para su propia seguridad, en tanto que los varios métodos a utilizarse son decididos por el propietario en cooperación con el contratista.

El propietario es responsable por el soporte final de la roca. Normalmente el propietario y su consultor deciden tanto los métodos como las cantidades de soporte necesario, en forma adicional al soporte inicial instalado con anterioridad.

El costo total del soporte de la roca en los muchos kms de túneles de agua o hidrodinámicos en Noruega, ha variado de menos de 10% a más de 120% del costo del taladrado, voladura y extracción de escombros. En túneles y cámaras para el tránsito de vehículos, los costos de soporte son por lo general más elevados debido a los requerimientos de seguridad más estrictos, para evitar aún las caídas más pequeñas de rocas. A ello deben agregarse costos adicionales por posibles problemas de agua y helada en dichos túneles.

La utilización activa de geólogos industriales en la construcción de túneles es importante no tan sólo para resolver los problemas de la estabilidad de las rocas y para recomendar el soporte de la roca, sino que también para encontrar la mejor ubicación y el mejor diseño de soporte de la roca que satisfagan los requerimientos de las condiciones reales de la masa de la roca.

#### 1. Empernado de rocas

El empernado de rocas es el método más común para el soporte de éstas. En Noruega se instalan anualmente 500.000 pernos o grillos para el soporte de rocas. El empernado de rocas es un método flexible. Generalmente se le usa como el soporte inicial en la cara del túnel para obtener condiciones seguras de operación durante la excavación. También se le utiliza para el soporte final. El rendimiento del empernado de rocas es de 50 - 100 pernos por turno (7,5 horas).

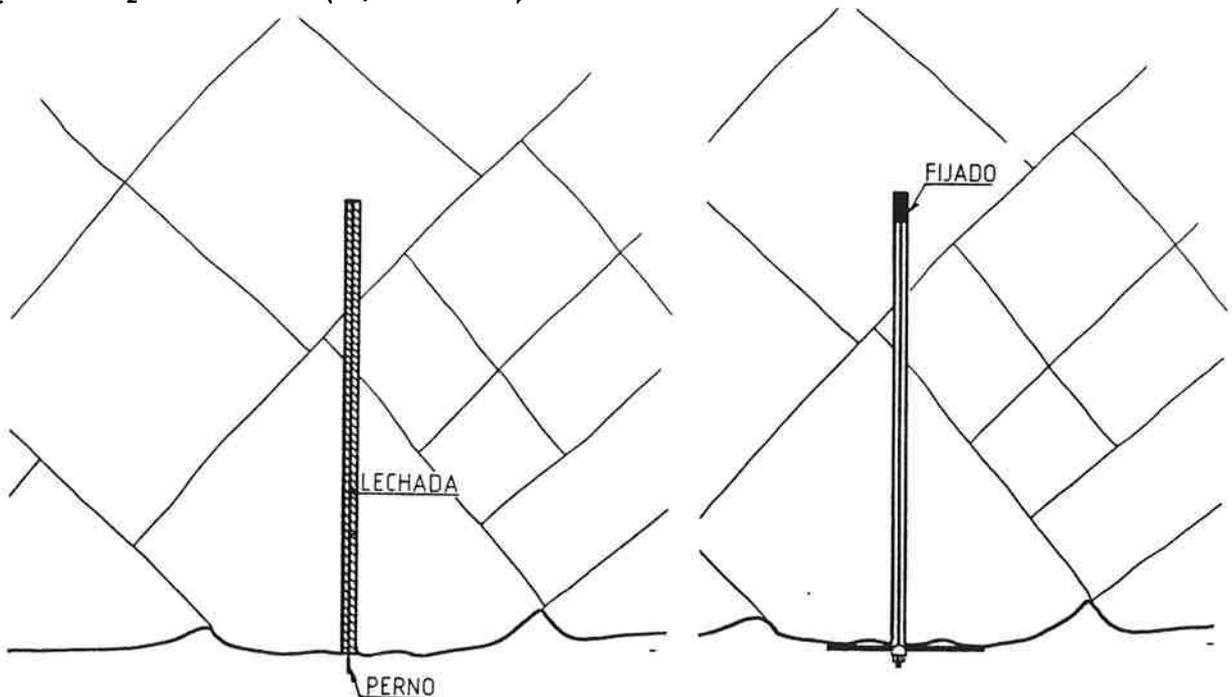


Figura 14. Los dos tipos principales de pernos de rocas; el perno totalmente enlechado y el perno de tensión.

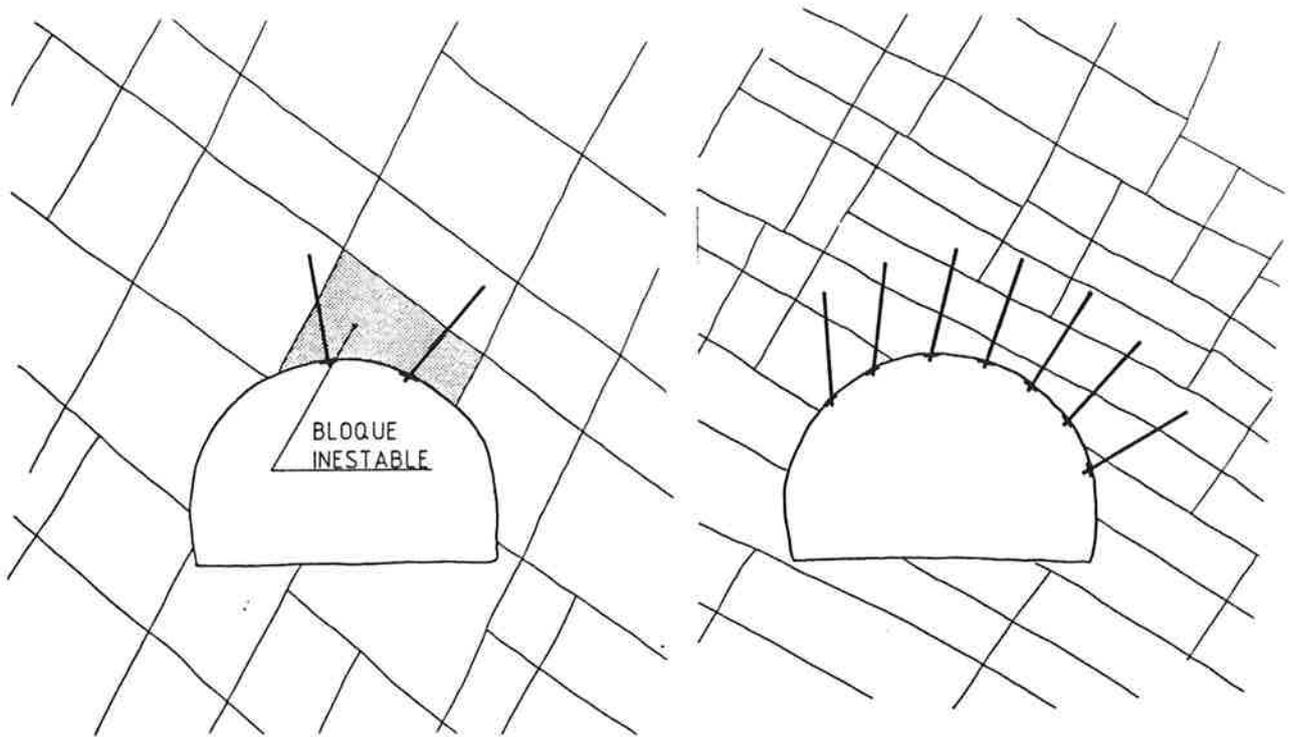


Figura 15. Las dos aplicaciones principales del empernado de rocas. El empernado local de rocas (izquierda) es instalado individualmente para estabilizar bloques sueltos individuales. El empernado sistemático de rocas es instalado de acuerdo a cierto diseño, como un soporte más general en ciertas áreas inestables. (En la figura, la inestabilidad es causada por diaclasas, mostradas como líneas).

## 2. Hormigón Projectado

Este tipo de soporte de roca se obtiene por el rociado de concreto sobre la superficie de las rocas. En Noruega se usa fundamentalmente el llamado método "húmedo" - esto es, el agua se mezcla con el concreto antes de ser bombeada a través de la boquilla.

El hormigón proyectado se utiliza en Noruega desde 1950. El método se está utilizando en forma creciente como soporte de roca, dadas sus buenas propiedades junto con su alto rendimiento y flexibilidad. En la actualidad se utilizan tres métodos diferentes:

1. Hormigón proyectado corriente rociado en capas de hasta 10 cm de espesor.
2. Red de hormigón proyectado armado. Esto se obtiene rociando una capa de concreto antes de instalar la red. Luego se aplica una segunda o más capas para cubrir completamente la red.
3. Fibra Projectada. Este es un tipo de hormigón proyectado en donde las fibras de acero o de otro material se mezclan con el concreto (húmedo).

En los años recientes se ha usado generalmente la fibra proyectada en vez del hormigón proyectado armado. Las ventajas del hormigón proyectado son:

- \* Corto tiempo para movilizar el quipo listo para su utilización en el excavación.
- \* No se requiere de encofrado.
- \* Es independiente de la forma de la excavación
- \* Alta capacidad de instalación
- \* Puede combinarse con otros métodos de soporte

Las desventajas son:

- \* Malas experiencias de derrumbamiento del hormigón proyectado aplicado en rocas de esponjamiento.

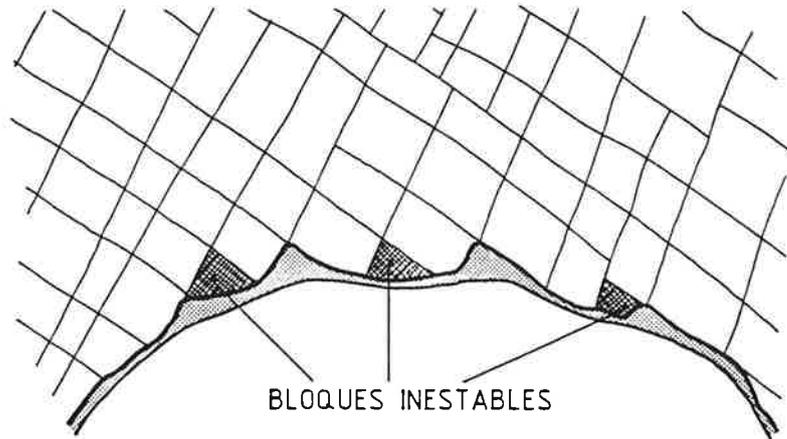


Figura 16. Refuerzo de la roca por medio de hormigón proyectado o fibra proyectada.

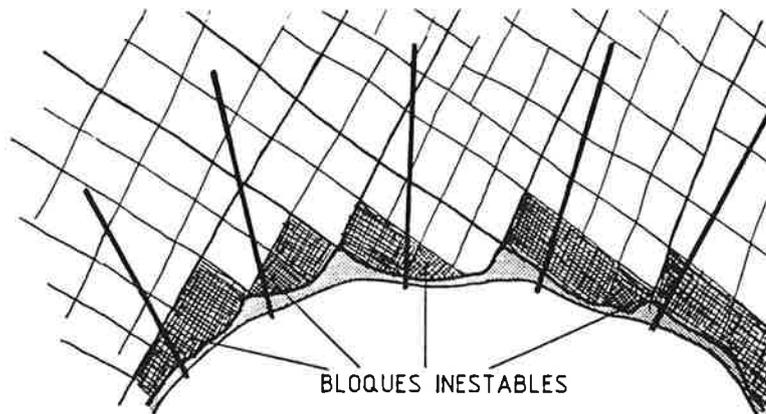


Figura 17. La combinación de hormigón proyectado/fibra proyectada y empernado de rocas ofrece soluciones atractivas para muchas condiciones de la masa de la roca. En muchas ocasiones este método ha reemplazado al revestimiento de concreto, in situ, dado que es más rápido de instalar y puede adaptarse más fácilmente a las condiciones reales de la masa de la roca.

En excavaciones subterráneas generalmente se han obtenido rendimientos de 30 - 40 metros cúbicos por turno (7,5 horas). Los contratistas Noruegos han estado a la vanguardia durante el desarrollo del hormigón y fibras proyectadas.

### 3. Revestimiento de Concreto

Este método de soporte de roca se aplica en forma preferente en donde existen grandes áreas con condiciones malas de la masa de la roca, dado que puede soportar grandes cargas debido a su arqueamiento. Sin embargo, este es el método de refuerzo más caro y más lento de aplicar.

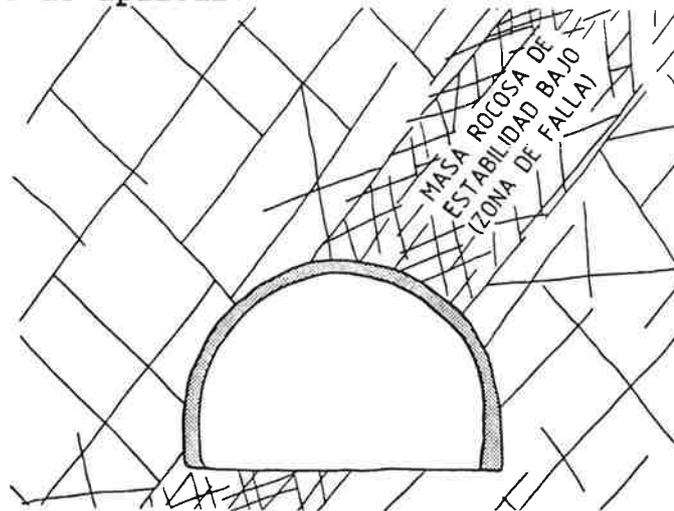


Figura 18. Refuerzo de roca por medio de revestimiento de concreto en el lugar.

En los túneles Noruegos con revestimiento de concreto no han habido derrumbamientos; este revestimiento tiene un espesor de 0,3 m. La eficiencia en la instalación de revestimientos de concreto ha aumentado considerablemente durante los 10 últimos años, después que se introdujeran encofrados de acero prefabricado con una serie de mejoras. Rendimientos de 2 - 4 m de revestimiento por turno durante la excavación y 50% mayores después de la penetración en el túnel, son normales en los túneles de Noruega.

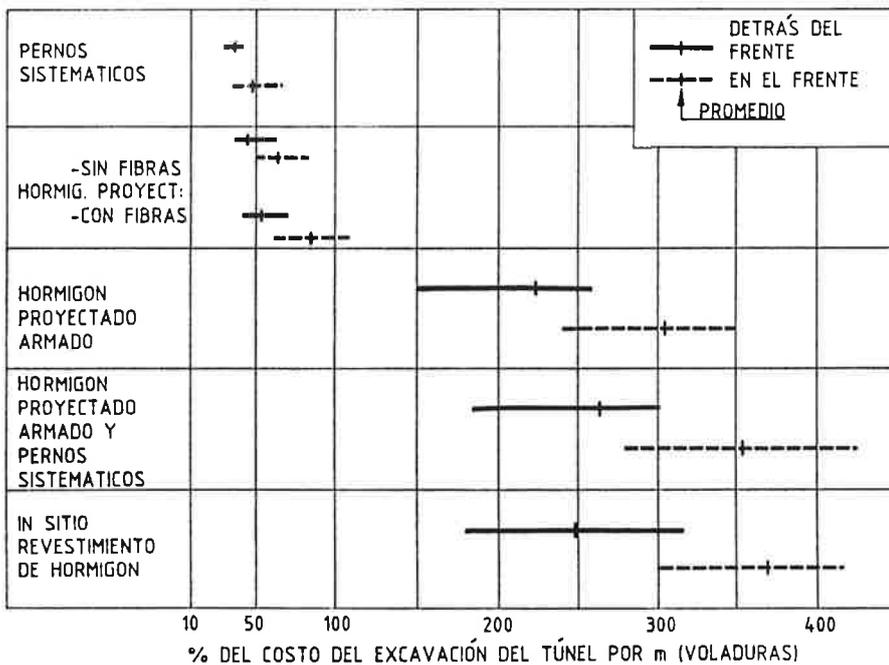


Figura 19. La diferencia en costos para los varios métodos de refuerzo de rocas de acuerdo a la experiencia en Noruega.

## ¿ CUALES SON LAS POSIBILIDADES PARA LA EXCAVACION DE ROCAS EN ESPANA ?

El mapa geológico de España, Figura 20, muestra que una gran parte está compuesto de rocas viejas formadas en el mismo período geológico que en Noruega, esto es, las rocas encontradas en estas áreas son principalmente rocas duras. España no ha tenido, sin embargo, un período glacial; por lo tanto, las rocas en la superficie son intemperizadas y por lo general están cubiertas por materiales sueltos. Esto significa que las posibilidades subterráneas para la construcción hidroeléctrica no son descubiertas con facilidad. Por lo general, para obtener la misma información que en Noruega se obtiene por medio de simples observaciones de la superficie, deben llevarse a cabo investigaciones de terreno de costos elevados.

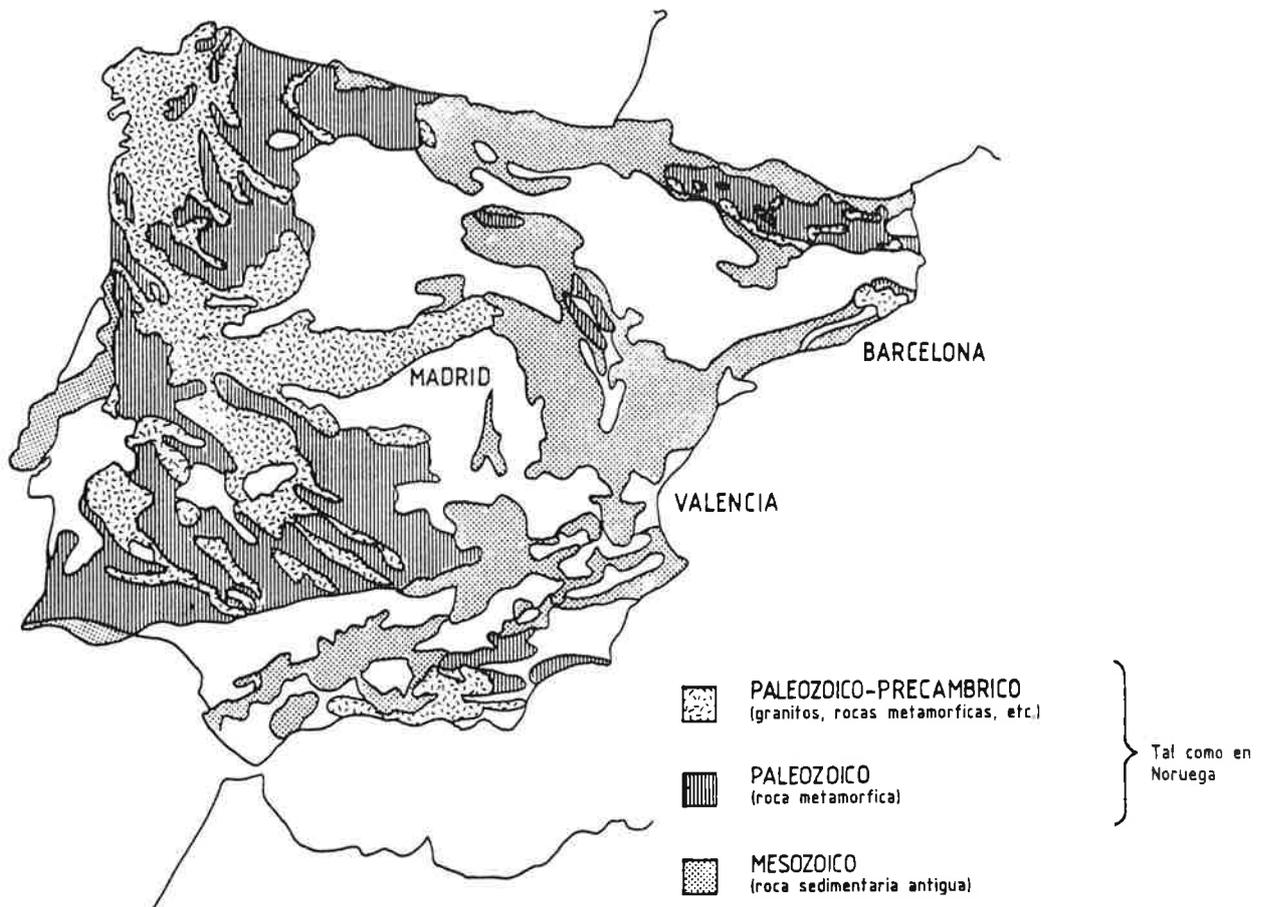


Figura 20. Mapa Geológico simplificado de España. Muchas partes de España consisten de rocas duras similares a las de Noruega.

No poseemos un registro de todos los túneles que han sido excavados en Noruega, pero se estima que se ha construido un total de 3.000 km en la mayoría de tipos de rocas de resistencia alta y mediana. La vasta experiencia ganada en las construcciones subterráneas puede ser usada para proyectos futuros en España. La búsqueda de posibilidades subterráneas preferiblemente puede llevarse a cabo por expertos con una amplia experiencia tanto en geología como en técnicas de excavación de rocas.

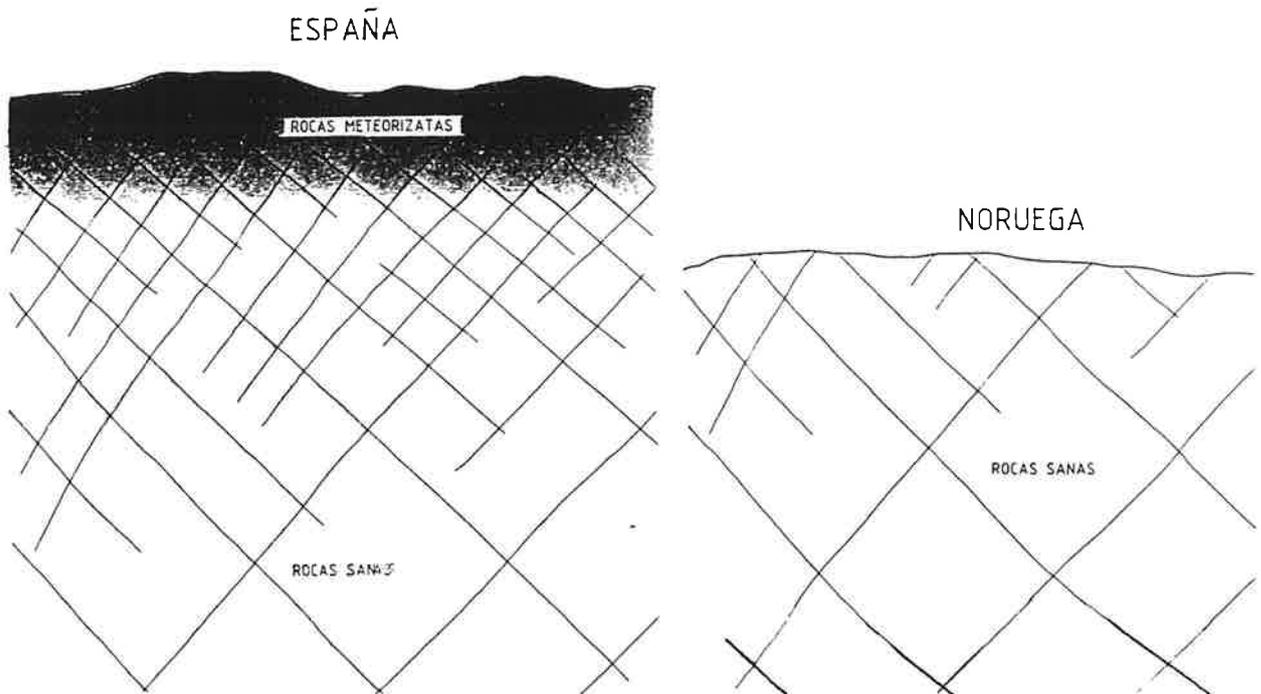


Figura 21. España y Noruega probablemente tienen condiciones similares de la masa de roca bajo la zona de intemperización. Sin embargo, por lo general puede ser difícil detectar las posibilidades del subterráneo en donde las características geológicas de ingeniería están ocultas por rocas intemperizadas. El costo de la investigación preliminar será por lo tanto más alto en España de lo que es en Noruega.

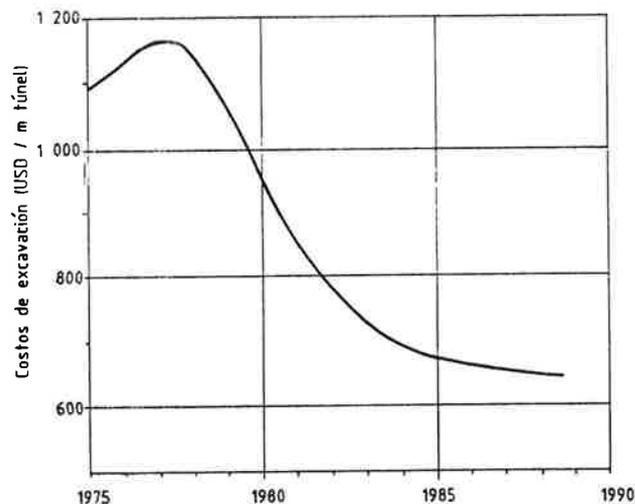


Figura 22. En Noruega aún existe un desarrollo tendiente a la rebaja de los costos de excavación subterránea. En la actualidad (1989), los contratistas están haciendo un túnel de taladrado y volado de 20 metros cuadrados por USD 650 (= 75 000 Pst) por metro de la operación. A ello debe agregarse el costo del soporte de la roca, normalmente entre 10% y 100% de los costos de excavación. Es sorprendente encontrar que el costo total de un túnel de 20 metros cuadrados se encuentra sólo en el rango de 80 000 - 150 000 Pst por metro de túnel.

