

# Carreteras en terreno escarpado\*

*Medidas medioambientales para su construcción, basadas en la experiencia noruega.*

La protección de zonas urbanas, la belleza de los paisajes y monumentos del pasado deben tenerse en cuenta cada vez más en el desarrollo de las vías de comunicación. Al mismo tiempo, las exigencias respecto a seguridad vial en la red de carreteras son cada vez mayores. Esto conduce con frecuencia a la utilización de mayores superficies destinadas a vías para peatones y ciclistas, líneas de comunicación y una mayor visualización del entorno, lo que conlleva con frecuencia a que el trazado de la carretera se desplace hasta un terreno abrupto u otro poco apto, que a menudo exige un recorrido subterráneo.

La pregunta que se plantea es de qué forma las carreteras van a influir y cambiar los distintos paisajes de Noruega. De modo especial en terrenos escarpados, donde el macizo puede resultar inestable con peligro de aludes y desprendimientos, diversos modelos y técnicas de ejecución podrían conducir a un considerable cambio en su intervención.

Este artículo indica cómo el conocimiento de la naturaleza del terreno del paisaje y de las nuevas técnicas en la construcción de caminos pueden emplearse para reducir el daño de la intervención en el paisaje preservando su carácter e identidad. Se presenta la experiencia noruega en este campo.

## **OBJETIVO DE LA DIRECCION DE CARRETERAS NORUEGA PARA EL MEDIO AMBIENTE VIARIO**

La Declaración Ambiental NVVP 1990-1993 sitúa la cuestión ambiental como uno de los cuatro principales objetivos de las actividades de la Dirección General de Carreteras Noruegas, la cual se responsabiliza de las iniciativas y puesta en marcha de las medidas para impulsar tanto la seguridad de los conductores como el logro de un medio ambiente adecuado.

Se logrará un buen ambiente viario mediante la construcción de vías satisfactorias para todos los grupos de usuarios y reduciendo los problemas ambientales del tráfico por carretera mediante la aplicación de iniciativas concernientes a los caminos, los vehículos y su entorno.

## **PRINCIPIOS BASICOS PARA EL PROYECTO DE CARRETERAS**

A menudo se construyen los caminos actuando en el terreno mediante desmontes y terraplenes. Estas intervenciones crean nuevas formas que en mayor o menor grado imprimen su carácter al paisaje existente. El volumen y la forma de estas intervenciones dependerán, como es lógico, en gran parte del terreno mismo, de la calidad del camino y de la visión de conjunto en que se basa su planificación y proyecto.

Dado que el trazado y modelado de la carretera es un factor decisivo para el carácter definitivo del paisaje, resulta clave armonizar el sistema y proceso constructivo de la vía con su entorno natural. Pueden destacarse al menos tres principios fundamentales a modo de objetivos para el proyecto y construcción de caminos:

- Conceder importancia al desarrollo de formas del terreno que sean elementos naturales del paisaje.
- Crear nuevas formas de calidad artística, que den nuevos valores al paisaje y enriquezcan las impresiones vividas.
- Disposición de elementos que influirán positivamente en la seguridad de la circulación de vehículos, y que por tanto deben procurarse obtenerse.

\* Artículo extraído de "Potencia", Nº 363, noviembre 1994, págs. 17 a 25.

No se incluye en este artículo una discusión sobre estos principios. El objeto aquí propuesto es el de mostrar de qué manera se puede lograr un mínimo de intervenciones en el paisaje, realzar los valores naturales del terreno, o adecuar las formas de la carretera, de la mejor manera posible, a las naturales del paisaje. A tal fin, ha de partirse de una perspectiva de las formas naturales, de los terrenos que forman el paisaje.

## **FORMAS NATURALES DEL PAISAJE**

El paisaje está marcado por la historia geológica que el terreno ha sufrido. Se ha producido por el constante influjo discontinuo entre las fuerzas constructivas como la sedimentación, los pliegues de cordilleras, las reacciones volcánicas, y las fuerzas destructivas como la erosión y el transporte de masas.

Después de la formación debida a los procesos constructivos, los tipos de formación terrestre, los compuestos rocosos y los de características estructurales influirán sobre las formas erosivas resultantes. El tipo de erosión se constituirá en un factor decisivo en este proceso, pudiendo ser de tipo fluvial, eólica o por el hielo.

Por último, pero con frecuencia de no menor importancia, las fuerzas neotectónicas y geológicas activas en el momento presente tendrán una influencia decisiva en todo el proceso, pudiendo manifestarse de forma violenta, mediante erupciones volcánicas, terremotos y rechazos tectónicos.

## **LAS FORMAS DEL PAISAJE NORUEGO: MESETAS, VALLES PROFUNDOS Y FORMAS MENORES**

Los grandes rasgos en las formas del paisaje noruego fueron posiblemente formados en el terciario, hace unos 3 a 60 millones de años. La característica más antigua consiste en mesetas rebajadas por la erosión hasta el nivel del mar.

Un levantamiento terrestre de importancia elevó las mesetas a una gran altura sobre el nivel del mar produciéndose de forma irregular y con pendientes. El terreno a mucha altura sobre el nivel del mar está expuesto a la erosión, y ésta trae consigo la excavación de hondos y angostos valles en parte en forma de cañones en V en las capas inferiores de la meseta.

Restos de dichas mesetas constituyen un rasgo dominante de la topografía montañosa noruega con altitudes que pueden oscilar entre los pocos centenares de metros y casi los 2.000 metros. Puede citarse como ejemplo la meseta del Cabo Norte, región a 300 metros sobre el nivel del mar.

En el cuaternario, hace unos 2,5 a 3 millones de años, la cubierta de hielo de la meseta rebajó ésta, puliéndola y redondeando las cumbres. Poco a poco, los valles en forma de V fueron excavados transformándose en valles en forma de U. Este efecto se hizo aún más acusado por la acción de los glaciares del valle durante el último período de la época glacial; al mismo tiempo el fondo del glaciar desarrollaba pendientes cortantes, afiladas, dando lugar al llamado terreno alpino.

Entre los grandes grupos paisajistas deben también considerarse las superficies de playas que constituyen un rasgo dominante del paisaje costero en zonas como la región de Nordland.

En menor grado el paisaje se ha modelado dando lugar a una serie de formaciones distintas, principalmente creadas en los últimos 20.000 años, desde el período álgido de la época glacial. Las principales formas erosivas en el fondo rocoso son las crestas estructural-condicionadas, acantilados, grietas, piedras lisas y redondas y playas.

En las masas sueltas encontramos formas sedimentarias como morrenas, deltas, grietas o valles excavados por el agua y formas de alud.

## **FORMAS GEOLOGICAS Y CONSTRUCCION DE CAMINOS**

La conservación de los valores del paisaje y de otros valores naturales puede obtenerse interviniendo lo menos posible en el terreno, resaltando valores geológicos o adaptando el trazado de la carretera a las características naturales del terreno.

Las formas naturales usuales de la topografía noruega son las descritas con anterioridad. Ejemplos de formas fácilmente accesibles en la construcción de caminos son las terrazas, las capas estratificadas, los bancos y las murallas naturales escarpadas en las que éstas toman forma escalonada. El hecho de acomodarse a dichas formas va a reducir la impresión de cómo la construcción del camino comporta alteraciones en el paisaje.

## **CONSTRUCCION DE CAMINOS EN TERRENO ESCARPADO**

La mejor alternativa para reducir las intervenciones y cambios del paisaje en terrenos escarpados es la construcción de túneles de carretera, solución a menudo costosa y poco confortable para los conductores si el diseño de estas obras no responde a criterios de carácter estético y funcional idóneos. Los túneles han sido, por lo tanto, una alternativa donde el terreno es especialmente escarpado, expuesto a desprendimientos, o en aquellas situaciones en las que el camino alternativo resultaría desproporcionadamente largo.

Por otra parte, los llamados túneles ambientales o "falsos túneles" son cada vez en mayor grado una alternativa cuya aplicación armonizará en mejor medida la carretera y el paisaje. Una combinación de túneles y carretera ubicados suavemente en el terreno pueden con frecuencia dar lugar a intervenciones menores y a una buena adaptación al entorno natural.

La solución noruega que se ha aplicado en mayor número de casos es la de construir cortes, rellenos y túneles. Estas soluciones han ocasionado grandes intervenciones en las pendientes escarpadas de valles y fiordos con fuertes desmontes y terraplenes. Esta ha sido la tendencia de los últimos años que ha dado como resultado una huella dominante en el paisaje, pero que en la actualidad se va reconduciendo hacia una nueva actitud y objetivo, lo que dará lugar a una mejor adaptación al paisaje resultando además más económica.

De todas maneras, sólo en los casos en que la erosión y la estructura geológica han formado plataformas y bancadas pueden adaptarse los cortes de forma natural. En presencia de otras formaciones topográficas se demanda una planificación experta e inteligente para hacer uso de las técnicas existentes y aprovechar la forma del terreno para obtener una solución lo más acorde posible con las formas naturales.

## **NUEVAS TECNICAS Y CONFLICTO CON LA PROTECCION DEL PAISAJE**

La técnica actual para la construcción de carreteras se caracteriza por el empleo masivo de maquinaria al objeto de reducir los gastos salariales. Esta circunstancia ha originado una revolución en la construcción de caminos, en la cual la exigencia respecto a normalización de técnicas y procedimientos ha podido ser satisfecha con el empleo en gran escala de voladuras y rellenos.

En el pasado, una exigencia importante en el proyecto de caminos era lograr un equilibrio de masas en el trazado que debía satisfacerse a una distancia lo más corta posible. Esto dio como resultado el menor uso de voladuras y el mínimo empleo de rellenos ocasionando un tipo de obras relativamente costosas.

La consecuencia derivada de este desarrollo es a menudo que las carreteras que responden a un presupuesto más bajo se obtienen encajando el corredor del camino en los cortes más grandes posibles para la obtención suficiente de masas y la sucesiva planificación de la plataforma. Dicha práctica da lugar a caminos con un sello dominante en el paisaje.

Por tanto, el uso más efectivo de la moderna técnica de construcción de carreteras puede dar lugar a fricciones con los objetivos en relación con el medio ambiente fijados por la Dirección de Carreteras de Noruega.

Por otra parte, las nuevas técnicas proporcionan posibilidades para el uso alternativo de diversos procedimientos y métodos constructivos que no implicarán necesariamente unos mayores gastos. Una buena planificación y una ejecución concienzuda de los trabajos son condiciones necesarias para una ejecución ambientalmente mejor.

## **TECNICAS PARA LA ROTURA DE ROCAS**

La introducción de explosivos para la construcción de caminos en terrenos montañosos aportó sin duda nuevas posibilidades en esta faceta de la ingeniería civil. La generalización de la técnica de voladuras ha permitido construir comunicaciones con asentamientos de población cada vez más inaccesibles acortando al mismo tiempo los caminos existentes. Pero este desarrollo ha ocasionado también considerables inconvenientes originando grandes intervenciones en el terreno y dando lugar a menudo a caminos con riesgos de desprendimientos.

No obstante, estos inconvenientes pueden reducirse por diferentes medios, siendo el más importante el de la adaptación del camino al terreno, el uso moderado de la técnica de explosivos junto con sistemas de refuerzo del terreno y estructurales.

## **RESULTADO DE LAS VOLADURAS TRADICIONALES**

Las condiciones geológicas tienen una gran influencia en el resultado de las voladuras debido a que el macizo rocoso raramente es uniforme dado que a menudo presenta grietas, fallas y diaclasas. Una voladura especialmente adaptada puede contrarrestar los efectos de un terreno malo.

Para romper el basamento rocoso es práctica corriente el empleo de abundante material explosivo; esto se traduce en taladros de perforación con un gran diámetro (barreno grueso), dispuestos en una red de malla gruesa y rellenos de material explosivo. Esta práctica trae consigo un reblandecimiento de la base rocosa que lo circunda, y solamente dará buen resultado aplicado a una matriz sólida y masiva.

Dependiendo del grado de fisuración y de la dirección de las grietas, podrían producirse deslizamientos de las masas rocosas superpuestas o quedar tan sueltas que fuese necesario retirarlas. El trabajo de limpieza y de retirada de materiales rocosos puede ser tan extenso que comportara una marcada intervención en los terrenos conlindantes.

## **POSIBILIDADES DE LAS NUEVAS TECNICAS**

Existen diversas alternativas para la rotura y fragmentación de rocas. La más conocida entre las nuevas técnicas es la excavación a sección completa de túneles. Las llamadas máquinas segmentadoras, que trabajan según un principio equivalente, pueden cortar y perfilar cualquier forma deseada, no sólo en túneles sino también en laderas.

Un desarrollo posterior, corte por medio de chorros de agua a alta presión (corte mediante cañón de agua) es una contribución más para una excavación moderada. El corte por chorro, combinado con la excavación a sección completa, es una técnica que va a contribuir a una mejora técnica y económica. Estos procedimientos dejan frecuentemente muros y paramentos más lisos con unas superficies menos afectadas por el proceso de excavación.

De los métodos actuales cabe citar el de voladura lisa, que se utiliza allá donde las circunstancias requieren paredes rocosas estables o de suave rugosidad, por ejemplo en la cercanía de edificios. Como alternativa a los explosivos, existen en la actualidad morteros expansivos, con los que se rellenan los taladros de perforación, produciendo un rompimiento lento y suave del macizo.

## **MÉTODOS DE VOLADURA MODERADA**

Donde sea deseable obtener un muro de corte uniforme y reducir la fatiga en la roca restante se usan métodos de explosión moderados.

Existen cuatro tipos principales de voladuras moderadas: voladura lisa, voladura lisa con taladro guía, "costura de taladros" y pre-hendidura.

Los cuatro métodos requieren un proyecto detallado de perforación y voladura, exacta colocación de los taladros, tanto en lo que concierne al modelo de distribución de los barrenos, como a la dirección de éstos. Un buen resultado puede a menudo obtenerse combinando dos o más de estos métodos. Una mejora aún mayor puede obtenerse con el uso de barrenos detonadores, que permiten variar la secuencia de las detonaciones en las diferentes líneas de taladros.

En el factor costes, con estos métodos existe la necesidad de aumentar el trabajo de perforación y la precisión en su ejecución, la calidad de los explosivos de tipo especial y el mayor tiempo empleado en la carga de barrenos. Una vez incorporada una rutina en este trabajo, incluido el equipo especializado adecuado a la tarea, los costes podrán, por lo general, ser reducidos en forma considerable.

## **FORMACION DE GRIETAS Y ROTURA DE BLOQUES**

Los explosivos que se detonan en una perforación se transforman en el curso de unas milésimas de segundo en un gas incandescente, con una presión que puede llegar a las 200.000 atmósferas. La velocidad de la detonación, que es una de las cualidades características de los diferentes explosivos, varía entre 2.500 y 6.000 m/s. La onda de presión y las vibraciones en el macizo circundante se difunden a una velocidad de 3.000 a 5.000 m/s.

Si solamente se detona una perforación vertical en terreno plano de roca masiva, la explosión va a formar una onda de presión que producirá un machacado alrededor del taladro, que para un diámetro medio de unos 40 mm. tendrá una extensión equivalente a un radio del agujero. En cambio, se formarán grietas radiales dirigidas al exterior que se prolongan bastante más allá, desde

unos decímetros hasta más o menos la distancia de un metro. Entre tanto, la onda de presión en las superficies libres se reflejará en fracturas y grietas. Este hecho contribuye a limitar la energía y de esta manera aumenta el efecto destructivo de la explosión durante la pega.

Cuando las cargas de varios taladros cercanos y paralelos detonan al mismo tiempo, el efecto de las explosiones actuará simultáneamente produciendo un muro de corte a lo largo de las perforaciones del contorno siempre que se haya considerado debidamente el volumen de la carga y el diseño de las perforaciones en función de las condiciones geológicas.

La uniformidad y el grado de resquebrajamiento de los muros del corte dependen, por orden de importancia, de la distancia a las superficies libres, de la exactitud en el diseño de las perforaciones, de la distancia entre los taladros y de la cantidad de explosivos.

Una roca maciza y de buena calidad tolera bien las fatigas de una explosión. Una roca de mala calidad y agrietada es sensible a las fatigas y requiere una voladura adecuada.

## **VOLADURA LISA**

La voladura lisa requiere un patrón de perforación con distancia reducida entre taladros en la línea de cizalladura y un espaciamiento de líneas de taladros también reducido. Este patrón debe adaptarse al volumen del banco de voladura, a las condiciones geológicas del macizo y a los detalles de campo próximo. La distancia entre taladros debe ser entre 50 y 90 cm. y el espaciamiento algo menor.

La voladura lisa se utiliza frecuentemente donde el basamento rocoso es débil, agrietado y con múltiples diaclasas. Cuanto más agrietado esté el macizo rocoso tanto más deben reducirse la distancia de los taladros entre sí y el espaciamiento, así como las exigencias de exactitud en los trabajos de perforación.

## **VOLADURA LISA CON TALADRO GUÍA**

Donde el basamento rocoso es particularmente defectuoso, o donde especiales consideraciones recomiendan una voladura más moderada que la usual voladura lisa, frecuentemente se ejecuta la voladura con taladro guía.

En la voladura lisa con taladro guía los agujeros se perforan algo más densamente de lo que es corriente en la voladura lisa propiamente dicha. No se cargan todos los taladros, sino uno de cada dos o uno de cada tres a lo sumo.

Los agujeros descargados van a actuar como guía de cizalla y la energía explosiva se canalizará a través de ella. Este procedimiento reduce la fatiga contra el basamento restante, aún más que el procedimiento habitual de voladura lisa.

## **VOLADURA "COSTURA DE TALADROS"**

Este método constituye un paso más hacia una voladura moderada. Se perfora muy densamente en la línea de corte previamente establecida, reduciendo la distancia entre agujeros a 10 cm o menos, y con un espaciamiento de 20 cm hasta los taladros detonadores. Con un perforado tan denso se crea una "costura de taladros" tal que crea una superficie de reflexión para las ondas de presión que hace innecesario cargarlos. Para que este método surta el efecto previsto, la ejecución de los trabajos exige una precisión muy rigurosa.

El método de "costura de taladros" se emplea preferentemente en voladuras junto a construcciones, edificios de viviendas, comerciales, cimentación de pilas de puentes y torres de alta tensión. Deben también emplearse para voladuras expuestas a sobre-excavaciones y peligro de desprendimientos.

## **VOLADURA CON PRE-HENDIDURA**

Los métodos anteriormente descritos para voladuras de corte se basan en que el banco de pega tenga un desprendimiento lo más fácil posible, acortando al máximo las distancias a las superficies libres para que la fatiga sufrida por el resto de la roca sea pequeña.

En el método de pre-hendidura se detonan primero las perforaciones de la línea de corte. La tensión interior es, de esta forma, tan grande que el desplazamiento no se produce; en cambio se forman grietas de taladro a taladro que van a actuar como superficie de reflexión para la explosión

principal, de manera que el efecto de la detonación queda limitado dentro del propio banco de voladura.

El método de voladura por pre-hendidura a menudo se considera como el mejor sistema para voladura de corte siendo de especial aplicación en los casos extremos de rocas muy o poco resquebrajadas.

### **CONSIDERACIONES FINALES**

Una de las medidas que puede contribuir en mayor grado a la reducción de desprendimientos y a un mejor ambiente en los caminos es la disminución de las intervenciones en el corte. Cuanto mayor sea dicha intervención, tanto más extensa será la zona afectada ubicada sobre el corte.

Para el logro de un resultado final adecuado desde el punto de vista ambiental resulta esencial realizar los trabajos de voladura de tal manera que no se dañe la estabilidad de la roca innecesariamente. Esto puede requerir una voladura especialmente cuidadosa del corte y, en caso necesario, combinada con sistemas de refuerzo de la roca.

Con las técnicas disponibles en la actualidad resulta posible modelar y tratar adecuadamente la mayor parte de los cortes y taludes rocosos de manera que resalten sus propiedades decorativas.

¿Por qué no acudir a la propia roca en su entorno natural para enriquecer el trazado de una carretera?