

NIEVE Y AVALANCHAS

Rafael López Guarga y Jorge Mijangos Linaza
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

En el presente artículo se describen distintas posibilidades para la prevención de riesgos de aludes que puedan afectar al tráfico de una carretera, y en concreto, a la N-330 en el tramo Candanchú - Astún en la Provincia de Huesca, donde por primera vez en España se han colocado cañones explosores. También se hace una breve descripción de la metodología a seguir para la determinación de los posibles riesgos de aludes.

In the present article, it's described the different possibilities to prevent risks of avalanches that can affect to the road traffic and specially to the National -330 route on the way from Candanchú to astún in the province of Huesca, where for the first time in Spain it had been installed exploded cannons. It's also made a short description about the methodology to follow to determine the possible risk of avalanche.

1. Introducción

El objeto de este trabajo consiste en precisar los riesgos de aludes y determinar las protecciones adecuadas en el tramo comprendido entre el denominado PUENTE DEL RUSO y EL PUERTO DE SOMPORT de la carretera N-330 de Alicante a Francia por Zaragoza, provincia de Huesca, y que ha sido objeto de la construcción de una variante.

Para la determinación y localización de posibles aludes se recurre a la cartografía, a la foto-interpretación de fotografías aéreas, al conocimiento de la frecuencia de aludes producidos en función de las precipitaciones registradas en los últimos años y a las encuestas dirigidas a personas conocedoras de la zona en invierno.

Para el estudio del tramo que nos ocupa, que se desarrolla a lo largo de la margen izquierda del río Aragón, se efectúa una división en cuatro sectores (Foto nº 1) y que de Norte a Sur son los siguientes:

- 1) Vertiente Oeste comprendida entre una pequeña presa situada sobre el río Aragón y el Barranco de la Raca.

- 2) Barranco de la Raca que desciende de la cumbre, frente al puerto de Somport.

- 3) Pequeña vertiente caracterizada por numerosas erosiones.

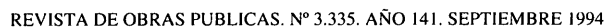
- 4) Gran escarpe Suroeste que el año 1963 provocó la denominada avalancha del "Ruso" llevándose consigo la Casilla de Camineros existente junto al puente sobre el río Aragón.

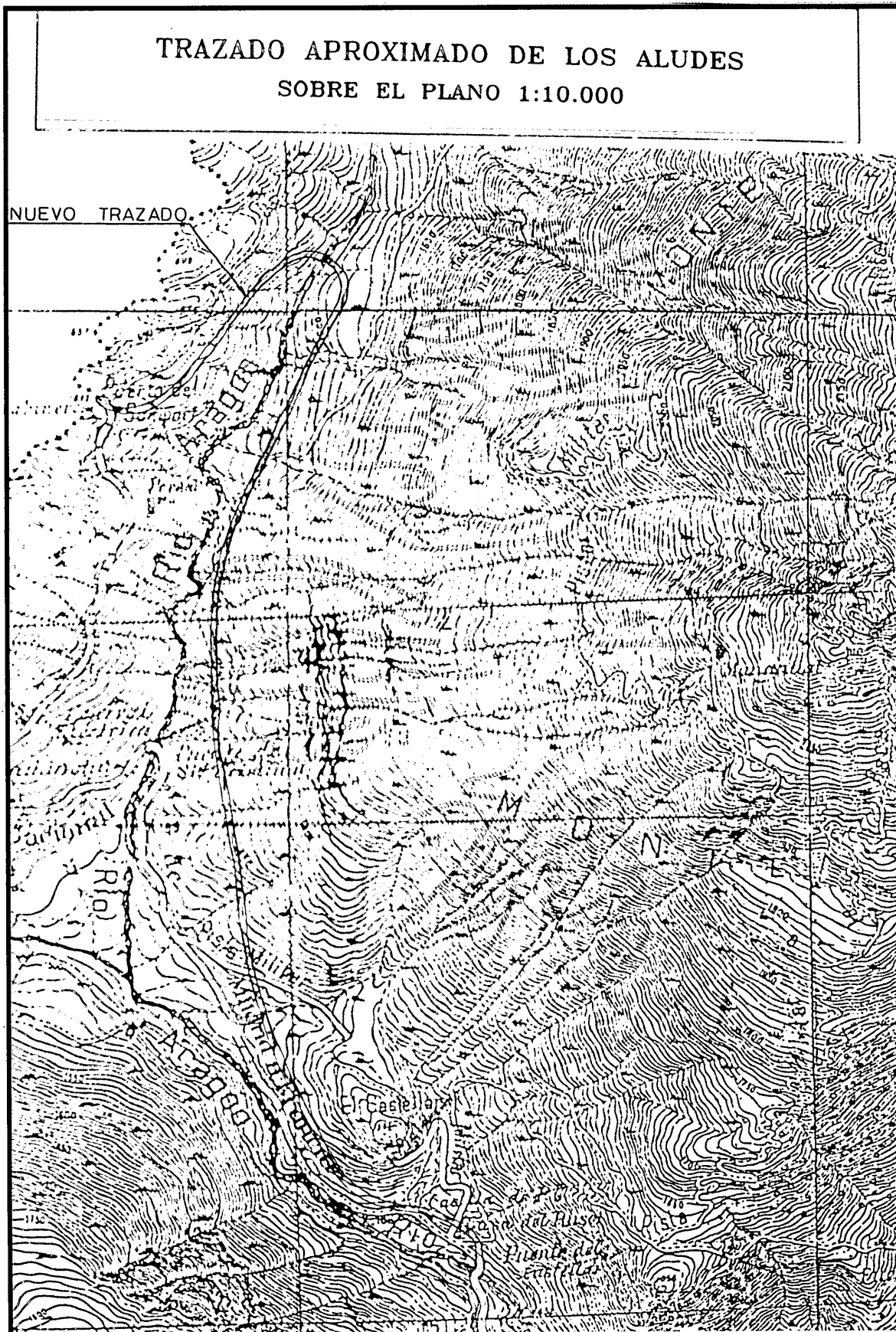
2. Cartografía de los aludes

Se procede a la elaboración de un mapa a escala 1: 5.000, obtenido mediante la comparación de los datos resultantes, por un lado de una cartografía realizada recorriendo el terreno y por otro de una foto-interpretación de fotografías aéreas a escala 1:10.000. Ambos trabajos son confeccionados por equipos diferentes.

Por otro lado, la documentación se complementa mediante la observación de los mapas a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico y Catastral, a escala 1:10.000 del Ejército y los datos disponibles a escala 1:1.000 correspondientes al proyecto de construcción de la variante de la carretera.

Recibido en ROP: abril 1994





3. Estudio estadístico de las precipitaciones y del riesgo de alud

■ 3.1 Observaciones Preliminares

Hay que diferenciar entre la frecuencia de los "aludes" y la frecuencia del "riesgo de aludes":

La primera podría ser deducida directamente de un fichero en el cual estarían inscritos las fechas, los lugares y las características de todos los aludes que se hubieran producido en un periodo de tiempo muy largo. En el caso que nos ocupa, este fichero es inexistente, a pesar de la proximidad de la aduana del puerto del Somport y la presencia de las estaciones de esquí de Candanchú y Astún.

La segunda puede ser deducida a partir de la frecuencia de aparición de los condicionantes que habitualmente producen los aludes: nevadas importantes, recalentamiento de la temperatura, viento fuerte después de una nevada, etc.

Esta última es la que estudiaremos aquí según los datos meteorológicos recogidos por los servicios forestales de Canfranc.

■ 3.2. Principio del método

El conocimiento de la frecuencia y de la importancia de las nevadas en un lugar determinado permite apreciar el riesgo de aludes en ese lugar, teniendo en cuenta sus características morfológicas.

La "altura crítica" de nieve susceptible de provocar un alud depende de la inclinación del terreno, la altitud, orientación, rugosidad del suelo, número de capas de nieve anteriores, etc.

En nuestro caso determinados "corredores" muy empinados de las zonas superiores, orientados al noroeste darán unos pequeños aludes cuando la nevada sobrepase 10 ó 20 cm; por el contrario, será necesario más de uno o dos metros de nieve fresca para que otras pendientes, más bajas, más débiles y orientadas al suroeste se vuelvan inestables.

El 80% de los aludes es provocado por la caída de nieve fresca, aunque otras causas de desencadenamiento pueden ser, como ya se ha dicho anteriormente; la caída de lluvia sobre una

capa de nieve reciente poco estabilizada, y los bruscos golpes de calor (golpes de foehn o viento del sur).

Se puede concretar que uno de los factores determinantes en la previsión de riesgo de alud es el espesor de "nieve no estabilizada", es decir la nieve caída en gran cantidad en un margen de tiempo muy corto o bien la caída durante periodos de precipitaciones continuas (de 5 a 10 días).

El estado actual de los conocimientos sobre la nieve y los aludes no permite prever el desencadenamiento de un alud determinado con una fiabilidad total: se preve un "riesgo de alud", cada vez que las condiciones de desencadenamiento se produce. Pero no hay desencadenamiento de alud cada vez que hay riesgo. Puede pues haber una diferencia notable entre la frecuencia en que las condiciones de desencadenamiento se dan, y la frecuencia con la cual los aludes descienden realmente hasta la carretera.

■ 3.3. Aproximaciones sobre los datos

● Situación del puesto de observación meteorológica.

El observatorio meteorológico más próximo se encuentra situado en Canfranc, a menos de 5 km a vuelo de pájaro, de las pendientes oeste de la Raca. Este puesto de observación, situado a 1.050 m de altitud, efectúa recogidas de datos desde el mes de diciembre de 1939. Es raro disponer de un puesto de observación tan cerca del lugar estudiado y en un periodo de tiempo largo. Pueden existir diferencias entre las cantidades de precipitación recogidas en el observatorio y las reales en el terreno debido a acumulaciones de nieve contra la vertiente oeste de la Raca, o al contrario, nieve llevada por el viento llegando del puerto del Somport; pero en término medio, los datos parecen ser buenos. Sería interesante, en caso de ser posible, comparar los resultados con las observaciones efectuadas en otros observatorios.

● Relación entre precipitación y altura de nieve.

Las precipitaciones medidas en el observatorio son líquidas, lluvia o agua de nieve fundida, recogidas por el pluviómetro. La relación entre la altura de nieve y su equivalente en agua depende de su densidad. La densidad media depende de

la temperatura a través de la altitud y de la exposición del lugar. Las principales zonas de salida que nos interesan están situadas cerca de 1800 m y están expuestas al oeste o al suroeste. La densidad de la nieve fresca en estas pendientes será sin embargo, tomada, igual a 100 kg/m³: 1 cm de nieve corresponde a 1 mm de agua recogida, cifra ésta relativamente baja y que aumenta un poco el riesgo aparente de alud; pero del lado de la seguridad ya que nos faltan elementos para precisar más dicha densidad.

● Fechas y duración de las nevadas.

Las mediciones pluviométricas se efectuarán todos los días a horas fijas, (generalmente por la mañana), sin indicación de las horas del principio y del final de la precipitación; así una nevada que empiece por la noche y pare al final de la mañana siguiente estará registrada como de 48 h, aunque puede haber durado menos de 24 h.

Como las consecuencias de riesgo de aludes son bastantes diferentes entre, por ejemplo, una nevada de 30 cm en 12 h y dos nevadas de 15 cm separadas por una docena de horas de buen tiempo, se hace preciso corregir los datos.

Para ello se tendrán en cuenta las precipitaciones recogidas en "24 ó 48 h" y por otra parte, en "48 ó 72 h".

■ 3.4. Principio de cálculo de las precipitaciones de varios días

Sea 1 ^{er} Día :	precipitación X se anotan los datos	X en 24 h
2 ^o Día :	precipitación Y	X + Y en 48 h
3 ^{er} Día :	precipitación Z	X + Y + Z en 72 h

- pero ni Y o Z en 24 h, ni Y + Z en 48 h
- por otra parte ni el día 1^o, ni el día 3^o, pueden formar parte de otra serie de 2 ó 3 días.
- finalmente los casos muy particulares de 5 a 10 días de caídas de nieve consecutivas serán indicados aparte.

Este método de cálculo fue desarrollado en 1975 por el Sr. Delsol actual Director del Centro de Estudios de Meteorología de Francia y por el

Sr. J. F. Meffre, Consejero Técnico sobre aludes en el Principado de Andorra.

El viento no ha podido ser tenido en cuenta en el cálculo, por ausencia de datos. La influencia es determinante en algún caso concreto, pero relativa a lo largo de muchos años. En algunos casos limpiará de nieve la ladera este, disminuyendo así el riesgo para la carretera. En otros casos podrá agravar el riesgo creando acumulaciones peligrosas a partir de una pequeña caída de nieve.

La experiencia que se tiene sobre este método de cálculo, fundamentalmente en Francia, indica que aunque no siempre se tienen en cuenta todas las situaciones que producen un riesgo de alud, (unas veces se añaden unas y otra veces se omiten otras), se van compensando y se estima habitualmente que el número de casos calculados a partir únicamente de precipitaciones, da una aproximación aceptable de la frecuencia del riesgo.

■ 3.5. Ejemplos

EJEMPLO 1: Si tenemos una precipitación de nieve durante tres días seguidos :

mm	días		casos concretos
15	3	=	15 mm 1 caso "10 a 19" en 24 h
46	4	= 15 + 46 =	61 mm 1 caso "60 a 79" en 48 h
22	5	= 15+46+22 =	83 mm 1 caso "80 a 99" en 72 h

No deben aumentarse los riesgos sumando casos p.e:

- ni los 46 mm del 4 como un caso 40 a 59 en 24 h
- ni los 22 mm del 5 como un caso 20 a 39 en 24 h
- ni los 46+22 de los 4 y 5 como un caso 60 a 79 en 48 h

EJEMPLO 2: a partir de las precipitaciones de marzo del 71; se tomarán solamente:

3	13		
10	14		1 caso "10 a 19" en 24 h
5	15		
13	16		1 caso "10 a 19" en 24 h
38	17	= 13 + 38 = 51	1 caso "40 a 59" en 48 h
32	18	= 13 + 38 + 32 = 83	1 caso "80 a 99" en 72 h
5	19		
10	20		1 caso "10 a 19" en 24 h
12	21	= 10 + 12 = 22	1 caso "20 a 39" en 48 h

No se tienen en cuenta precipitaciones inferiores a 10 mm, pero sí se tomarán de más en un periodo de largas precipitaciones (131 mm en 10 días)

EJEMPLO 3: a partir de las precipitaciones de marzo del 69:

23	13		1 caso "20 a 39" en 24 h
77	14	= 77 + 28 = 105	1 caso "+ de 100" en 48 h
30	15		1 caso "20 a 39" en 24 h
40	16	= 30 + 40 = 70	1 caso "60 a 79" en 48 h
51	17	= 30 + 40 = 121	1 caso "+ de 100" en 72 h
8	18		
60	19		1 caso "60 a 79" en 24 h

Las precipitaciones de los días 13 y 14 (105 mm de agua, ó sea más de un metro de nieve) provocarán normalmente numerosos aludes. Las vaguadas se purgan y es pues necesario recomenzar la serie el 15.

En el caso de largas precipitaciones, la experiencia aconseja el corte de la serie porque los criterios son múltiples y pueden depender del sitio concreto. Los casos concretos son pues determinados por el experto y no por el ordenador. Cada serie larga de precipitaciones es un caso particular.

■ 3.6 Umbrales y niveles de riesgo para la carretera

Menos de 20 cm de nieve en 24 h :	RIESGO DESPRECIABLE.
De 20 a 40 cm de nieve en 24 h :	RIESGO DEBIL.

Es el estado de manto de nieve que determinará el riesgo de alud; excepcionalmente pueden desencadenarse pequeños aludes en las pendientes empinadas de la cara oeste, pero la carretera no será alcanzada. Por tanto, los pequeños aludes que se desencadenen artificialmente no llegarán hasta la misma. (Sin embargo, tendrá que ser cerrada).

De 40 a 60 cm de nieve en menos de 48 h:: ..	RIESGO MODERADO.
--	------------------

En todas las pendientes empinadas pueden producirse pequeños aludes; pero sólo el alud del torrente de la Raca puede llegar hasta la carretera (salvo otras condiciones excepcionales particularmente favorables).

De 60 a 80 cm de nieve en menos de 48 h:.....	RIESGO IMPORTANTE
---	-------------------

Excepto que la calidad de la nieve y del manto ya existente, sean excepcionalmente buenos, se desencadenarán pequeños aludes en la mayor parte de los "corredores" de la vertiente oeste; algunos pueden llegar hasta la carretera, y el alud del torrente de la Raca probablemente llegará hasta la misma. El alud del "Ruso" se puede desencadenar pero sin amenazar la carretera.

Mas de 80 cm de nieve en menos de 48 h :.....	RIESGO GENERALIZADO.
---	----------------------

Los aludes tomarán proporciones e itinerarios inhabituales; todo el tramo de carretera entre el torrente de la Raca y la pequeña presa podrá ser alcanzado por pequeños aludes y el riesgo de un alud de nieve en polvo bajando el torrente de la Raca desde la cima podrá aparecer si la nieve es muy fría.

Si ha caído la misma cantidad de nieve sobre la cara suroeste de la Raca y no ha sido barrida por el viento, se pueden dar las condiciones de riesgo para el alud "del Ruso" dependiendo de la calidad de la nieve.

RIESGOS	24 h	48 h	72 h
Menos de 20 cm de nieve	Despreciable	Despreciable	Despreciable
20 a 40 cm de nieve	Débil	Débil	Despreciable
40 a 60 cm de nieve	Moderado-Importante	Moderado	Débil
60 a 80 cm de nieve	Generalizado	Importante	Moderado
80 a 100 cm de nieve		Generalizado	Importante
Mayor de 100 cm de nieve		Generalizado	Generalizado

4. Estudio descriptivo de los aludes y de sus posibilidades de protección

■ 4.1 Métodos de protección de la carretera contra los aludes.

De entre las diversas técnicas que pueden emplearse para la protección de la carretera con-

tra los riesgos de aludes, merecen ser destacados los siguientes:

- Protección de la carretera bajo una galería o un túnel.
- Desviación o frenado del alud antes de llegar a la carretera.
- Estabilización de la zona de salida para evitar el desencadenamiento de aludes.
- Desencadenamiento voluntario de los aludes después de cerrar la carretera al tránsito.
- Indicación de la llegada inminente del alud mediante semáforos.

4.1.1. Protección mediante galerías.

Generalmente es la solución más segura, pero también la más onerosa.

Se recomienda, sin embargo, cuando permite el paso de un estrecho "corredor" que drena varias zonas de salida de aludes frecuentes.

Mejora tanto la seguridad como el tiempo de trabajo para retirar la nieve.

No obstante, no todos los perfiles de terreno se prestan a la construcción de galerías para aludes. Es necesario colocar la losa de cobertura en la prolongación de la pendiente sin frenar el derrame de la nieve. Si la losa de cobertura fuera horizontal, el alud quedaría frenado, extendiéndose sobre la misma, y desbordándose necesariamente por las extremidades. Además hay que construir "paredes-típanos" en las extremidades de la galería.

Para una plataforma de 7 m el coste es del orden de 1 Mpts/m, pudiendo alcanzar hasta 1,5 Mpts/m para 11 m de anchura.

4.1.2. Trabajos de desviación

Generalmente es difícil modificar el derrame de un alud; sin embargo existen casos donde esto es posible:

- sea para mantener la dirección inicial del alud, suprimiendo la loma que desviaba su curso, o abriéndole un canal en un cono de deyección.
- sea reforzando un relieve (movimientos de tierra) ya existente.

- sea cuando se dispone de grandes cantidades de materiales para construir un dique.

Esta técnica se recomienda para aludes de poca importancia, y cuando el riesgo de alud de nieve en polvo sea nulo o débil. Si la construcción de la carretera en ese tramo necesita materiales es posible obtenerlos abriendo más los conos de deyección para canalizar los aludes y evitar su desparramamiento, pero el impacto sería importante y sería necesario una repoblación del manto vegetal.

Si se planifica el aprovechamiento de materiales, los costes pueden ser bajos.

4.1.3. Estabilización de las zonas de salida

A la inversa que en el caso anterior, esta técnica es interesante cuando de una pequeña zona de salida arranca una gran pendiente que se ensancha acercándose a la carretera. Existen esencialmente dos posibilidades de estabilización según las características de la pendiente :

- En las zonas de salida expuestas al sur, cuya inclinación está comprendida entre el 40 y el 60%, y cuya altitud es inferior a 2000 m, la estabilización puede ser realizada con "banquillos".
- En pendientes más empinadas, esta técnica también puede ser usada, pero complementaria con otras obras, para agarrar la capa de abajo y evitar los aludes de fondo.

Estabilización con "banquillo y repoblación"

- En las pendientes del 50 al 60 % los banquetillos medirán cerca de 1 m de ancho y se abren generalmente a mano en las partes más abruptas. La separación entre los banquetillos debe de ser del orden de 10 m a lo largo de la pendiente, haciendo falta, por lo tanto, 1 km de banquetillos por hectárea.

Será necesario efectuar un estudio exhaustivo sobre las especies de árboles a plantar teniendo además en cuenta que su eficacia no aparece sino es a largo plazo (de 30 a 50 años). Por ello esta solución solamente será la más adecuada para aquellas pendientes inferiores que no estén amenazadas por avalanchas.

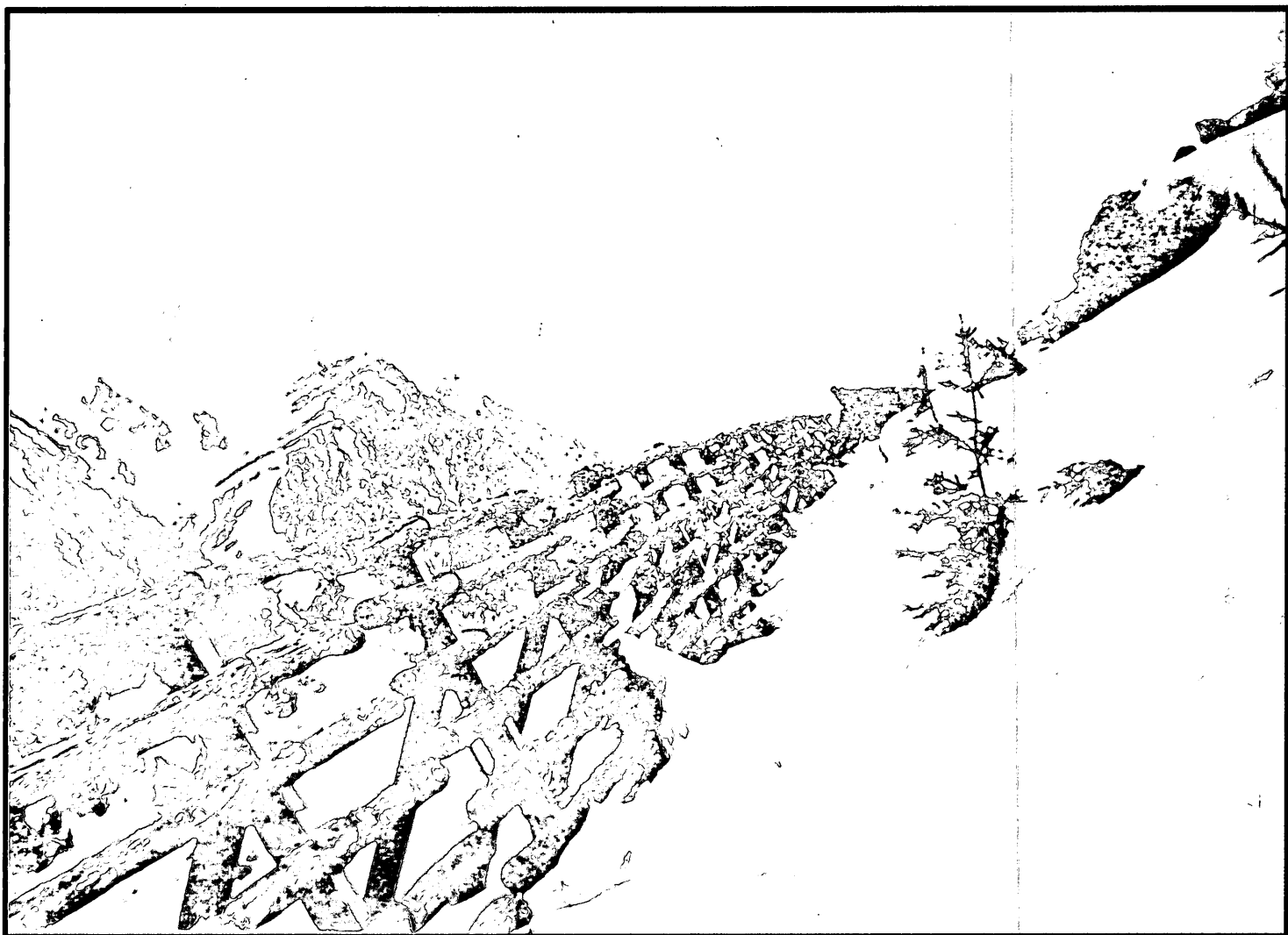


Foto 3. Rastrillos

Unicamente los banquillos actúan inmediatamente para espesores pequeños de nieve.

El coste es más o menos de 700 pts/m o sea 700.000 pts/ha y el de la plantación sobre el banquillo de 200 pts por unidad (suministro y colocación).

Se suelen colocar tres árboles por metro (3000 plantas/ha = 600.000 pts/ha).

Estabilización con "redes o rastrillos".

En las pendientes superiores al 60% se suelen utilizar los rastrillos o las redes para retener todo el espesor del manto de nieve:

- las redes tienen la ventaja de ser menos visibles que los rastrillos y de adaptarse mejor al relieve del terreno, pero necesitan la proxi-

midad de rocas que permitan puntos de anclaje de 20 toneladas, cada 3,5 m.

- los rastrillos son interesantes sobre todo cuando el terreno permite abrir trincheras para colocar el modelo "de barreras hundidas".

Este tipo de protección es particularmente recomendable cuando existe una pendiente más ancha arriba que abajo y que amenaza un largo tramo de carretera, o cuando se desea hacer poca obra para estabilizar un pequeño "corredor".

Los rastrillos tienen que estar colocados, si es posible, en línea continua y distantes de 20 a 30 m entre sí a lo largo de la pendiente.

El coste de los rastrillos y de las redes para un espesor de 4 m de nieve es del orden de 85.000 pts/m (el material, cuesta la mitad).



Foto 4. Redes

4.1.4. Desencadenamiento preventivo de avalanchas .

Existen diferentes sistemas, que se indican a continuación:

- Cargas deslizadas desde la cima de la pendiente.

Este método es el más económico, pero necesita poder acceder a la cima. En la mayoría de los casos ello no es posible y aún así el método no resulta excesivamente operacional.

- Desencadenamiento desde helicóptero.

Esta solución es muy buena para operaciones excepcionales, como puede ser la apertura de una carretera para la primavera o la limpieza de zonas periféricas de estaciones de esquí abiertas

muy pocas veces. Sin embargo, no es válida para la limpieza de carreteras que han de ser rápidamente abiertas al tráfico dado que no es posible esperar a que el tiempo sea lo suficientemente claro y tranquilo para permitir el vuelo del helicóptero.

- Lanzamiento de proyectiles.

Esta técnica consiste en un cañón neumático que lanza proyectiles de 2,5 m, que llevan incorporada una mezcla que explota en contacto con el suelo. En caso de no hacerlo, por existir gran espesor de nieve, el explosivo queda inerte después de 48 horas, aunque su sistema fulminante queda activo, existiendo un cierto riesgo de fallo en el método, siendo necesario tomar las debidas precauciones en la limpieza de aludes que accedan a la carretera para evitar accidentes pro-

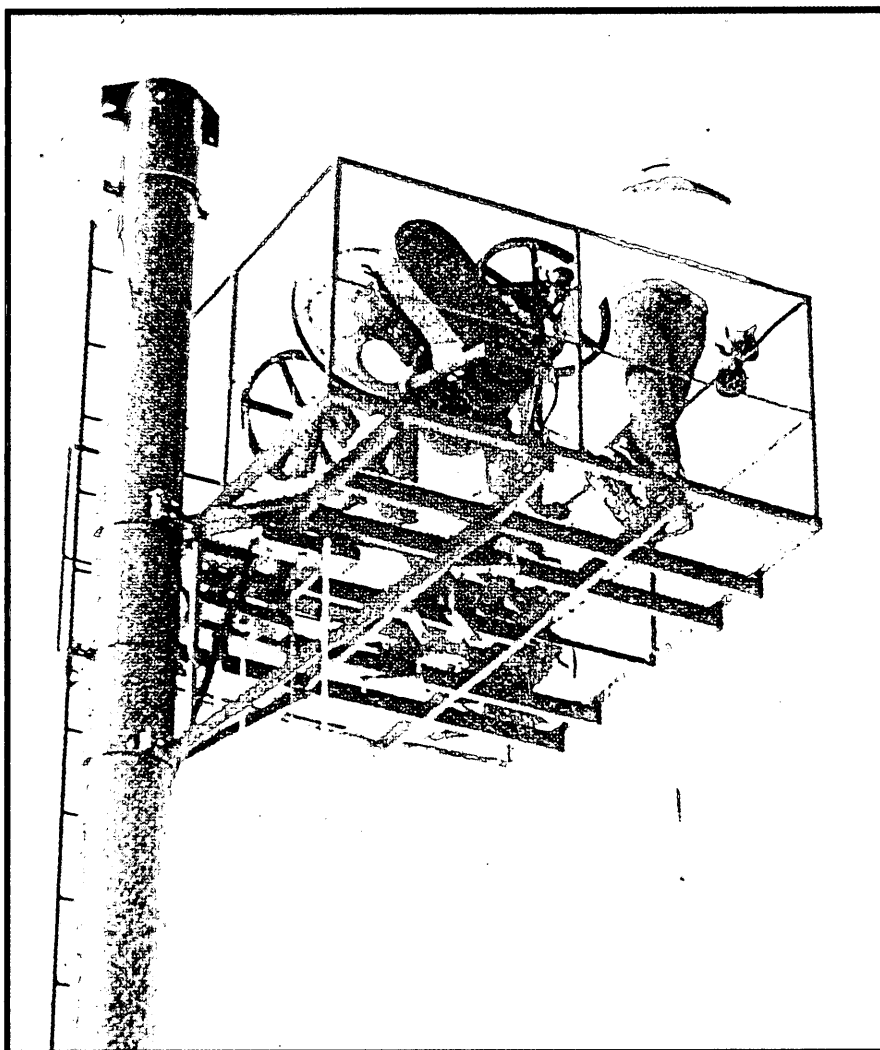


Foto 5. C.A.T.E.X.

ducidos por la presencia de proyectiles sin explosionar.

La cantidad de explosivo por proyectil es del orden de 2,5 kg.

Este sistema solamente es recomendable y eficaz para el caso de existencia de terreno rocoso con fuertes pendientes y cuando la capa de nieve sea pequeña.

● Cable Transportador de explosivo C.A.T.E.X.

Esta técnica permite transportar cargas de explosivo más arriba de las zonas en las que se pretende desencadenar el alud.

La explosión producida es mucho más eficaz que en el caso de los métodos que la producen en el lugar exacto.

Este sistema ha sido utilizado desde hace varios años para proteger vías de gran capacidad, como la carretera de acceso a las estaciones de esquí de "les Ménuires" y de "Val-Thorens", en Francia, la entrada al túnel del Mont-Blanc entre Francia e Italia, y el eje principal entre Francia y Andorra, cerca de l'Hospitalet y cerca de Soldeu.

Las cargas varían generalmente entre 2 y 5 kg de explosivo, e incluso hasta más si la explosión tiene que producirse bastante más arriba del manto de nieve.

El sistema de transporte por cable puede ser desde lo más rudimentario hasta lo más sofisticado, en caso de existir varios puntos de desencadenamiento, llegándose a provocar el disparo por telecomando y asistencia por ordenador.

Dependiendo del número de pilonas, de la longitud del cable y de la dificultad topográfica, los costos se escalonan entre 10 y 40 millones de pesetas.

● Cañón explosor de gas.

Tal y como se describirá en el apartado siguiente, esta técnica de reciente implantación utiliza la explosión de una mezcla de aire y de propano en el interior de un cañón, no siendo necesaria la utilización de ningún tipo de proyectil.

El coste para un punto de disparo se sitúa alrededor de 3.000.000 de ptas; pero para 3 puntos de disparo próximos, el material total no debe sobrepasar los 7.000.000 de ptas.

Por primera vez en las carreteras españolas y concretamente en la N-330, en el tramo entre Candanchú y Astún en la provincia de Huesca, se colocaron tres cañones de este tipo en el invierno de 1991, estando esta técnica todavía en una etapa semiexperimental, resultando eficaz para desencadenar aludes cuando las nevadas son de importancia.

Ventajas e inconvenientes

Esta técnica tiene la ventaja de necesitar generalmente una pequeña inversión, pero presenta en contrapartida, inconvenientes más o menos importantes según las características del lugar, siendo necesario en todos los métodos la utilización de explosivos, excepto en el cañón explosor.

Esquema de instalacion

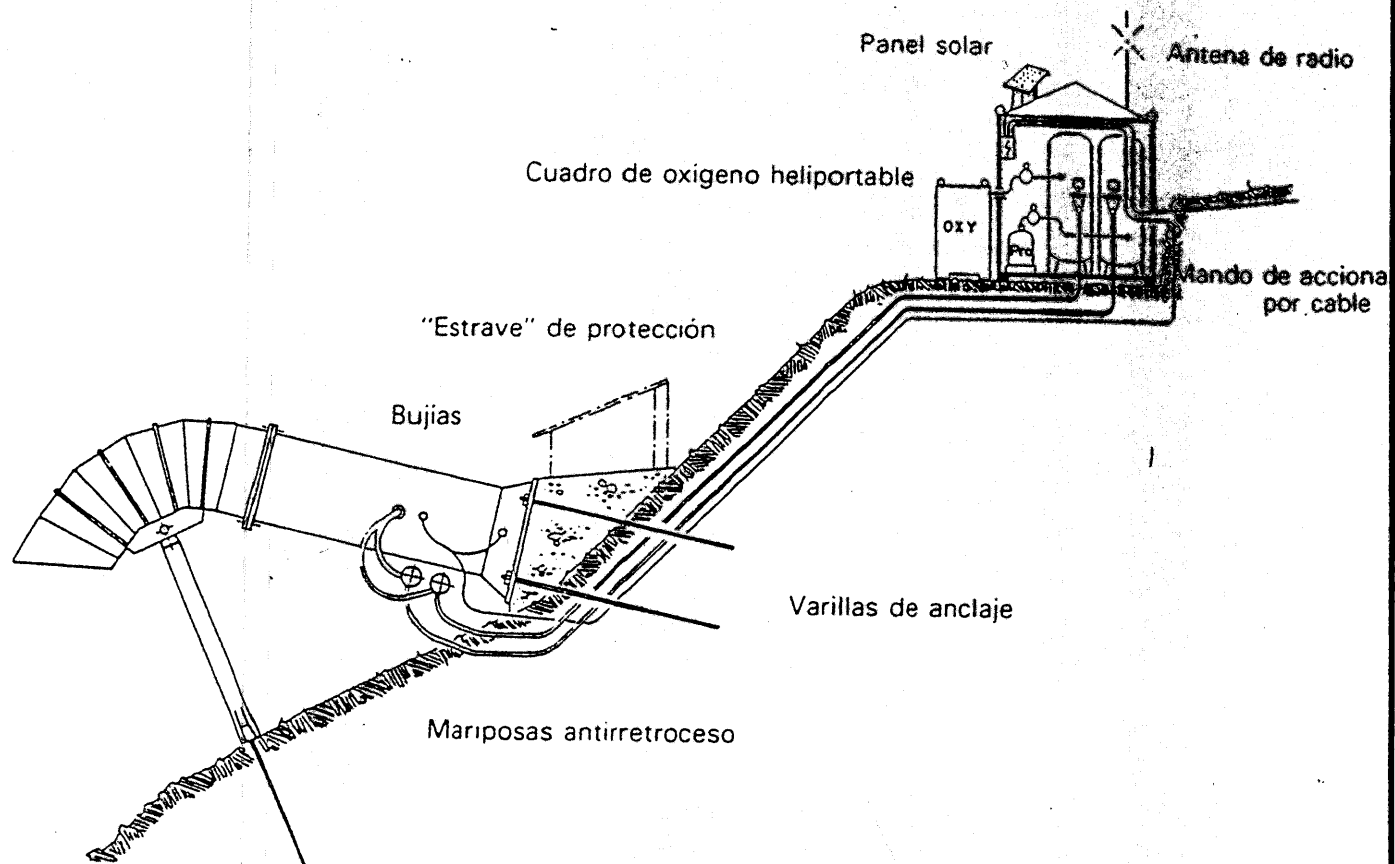


Foto 6. Cañon Explosor

Sea cual fuere la técnica utilizada para la colocación de los explosivos, un lugar será mucho más favorable al desencadenamiento artificial :

- cuando sus zonas de salida son estrechas y empinadas (100% a 120%).
- cuando la nieve está en este lugar fría y ligera (pendiente norte y altitud elevada).
- cuando el riesgo de aludes en el lugar considerado, está ligado más a las fuertes precipitaciones que al recalentamiento de temperatura.

Esta solución es particularmente recomendable cuando los pequeños aludes desencadenantes pueden pararse en un replano en la carretera. Cuando la carretera se halla en medio de la pendiente, sin rellano susceptible de almacenar los aludes sucesivos, es necesario extraer la nieve después de cada serie de disparos.

Un inconveniente del desencadenamiento previsto es la proximidad de un lugar habitado, por el ruido de las explosiones, ya que se suele disparar muy temprano en la mañana antes de la afluencia del tránsito, o incluso de noche si fuera necesario.

5. El cañón explosor de gas para el inicio de aludes "Dragón"

El sistema consiste básicamente en provocar el alud antes de que éste llegue a producirse sin la utilización de ningún tipo de explosivos ya que el efecto es producido por una mezcla detonante de oxígeno y propano que se lanza hacia la nieve a través de un tubo cuya abertura está dirigida hacia la misma y concretamente hacia la hipotética zona de salida del alud, creando una sobrecarga y proyecciones de nieve además de transmitir vibraciones en el suelo a través de la cimentación del tubo.

Puede ser de simple efecto, en el que por la parte abierta del cañón, la detonación lleva consigo una sobrepresión en el aire y la onda de choque causada de esta forma resulta eficaz en un radio de acción de 50 m en la nieve pesada, y de 100 m en nieve en polvo o fresca.

Con el gas, la presión sobre la nieve se distribuye sobre una mayor superficie, lo que lleva a aproximadamente un 60% la utilización del efecto de soplo en relación con un 30% con los explosivos sólidos (C.A.T.E.X.).

Simultáneamente, el sistema puede tener un doble efecto, y es cuando en la base del cañón explosor la vibración causada por el retroceso se propaga a través de la roca y hace que la capa inferior de nieve se mueva, o caiga desde una barrera rocosa.

Las bombonas de oxígeno y propano se instalan en una caseta situada en las proximidades del cañón, (a menos de 300 metros), y en una zona al abrigo de los aludes, estando conectadas mediante canalizaciones independientes con el explosor. El accionamiento del sistema se efectúa mediante un mando eléctrico de apertura de válvulas y encendido, sea por medio de cable eléctrico, sea por mando radio. La instalación y reposición de las bombonas se efectúa mediante helicóptero.

Este método tiene la ventaja de que la inversión inicial es reducida e incluso modulable por escalones según el número de cañones que se estime vayan a ser necesarios, el coste de utilización y mantenimiento es bajo, el tiempo de intervención es muy corto, no necesita la utilización de explosivos y se consigue una buena integración en el paisaje.

6. Soluciones adoptadas en la carretera N-330

● En la Vertiente Oeste existen una serie de pequeños aludes (de los nºs 11 al 19, Foto nº 2), con pendientes entre el 90% y el 60% en las partes altas, alimentados a su vez por otros colaterales, que no tienen entidad por sí solos que justifiquen grandes inversiones para su prevención, por lo que se decidió colocar en los tres más importantes (nºs 11, 13 y 17), cañones explosores de gas, dado que la zona de partida es pendiente, estrecha y rocosa. Solamente con nivel de *riesgo importante*, algún deslizamiento puede llegar a alcanzar la carretera.

● El Torrente de la Raca drena una gran depresión reuniendo los barrancos nºs 23, 24 y 25 de la foto nº 2 que parten bajo la cumbre. Además en la parte inferior confluyen los torrentes nºs 20 y 21, que son de elevada pendiente hasta el 80%.

En esta zona existen testimonios de que cuando las nevadas son intensas se reúnen las condiciones para que un alud que parte de la cumbre alcance la carretera, con nivel de *riesgo moderado*.



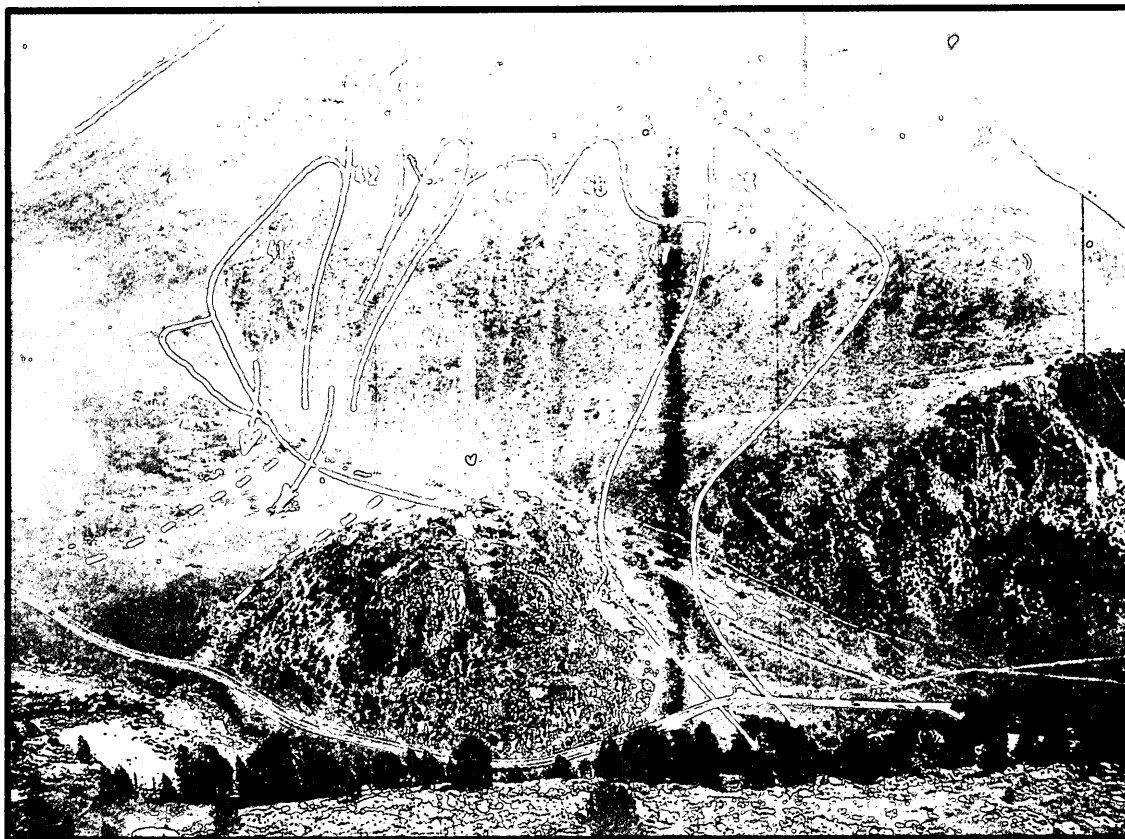
Foto 7. Vertiente oeste

do, por lo que efectuar desencadenamientos preventivos o estabilización de la zona de partida no sería lo más eficaz.

Dado que el perfil transversal de la explanación de la carretera en esa zona permite construir

una losa de techo en prolongación de la pendiente del barranco, es por lo que en este caso y debido a la importancia de los posibles aludes se consideró adecuada la construcción de una galería de anchura 42 m con aletas de tierra que recojan los

Foto 7. Alud del Puente del Ruso



aludes laterales y con muros tímpano en prolongación de dichas aletas.

- Los deslizamientos de la zona de Santa Cristina se presentan en una pequeña vertiente de forma triangular situada entre el barranco de la Raca y el tramo del alud del Ruso, caracterizada por numerosas erosiones y de pendiente media inferior al 50%. Las superficies de la zona de partida son importantes, pudiendo acumular grandes cantidades de nieve en ausencia de viento.

Dado que las pendientes no se prestan a desencadenamiento preventivo, dado el coste de cualquier otra posibilidad de protección, y dado que no existen testimonios de que se produzcan deslizamientos, se optó por construir, en las proximidades de la carretera, empalizadas de protección a base de perfiles metálicos que sustentan una malla de triple torsión.

- El alud del "Puente del Ruso" es el que llega menos frecuentemente a la carretera, sólo una vez en 30 años, pero aportando volúmenes importantes de nieve.

Dada la poca frecuencia con la que se presenta el fenómeno, en principio no parecería lógico realizar grandes inversiones para la prevención, pero dada la importancia de sus ya conocidos efectos y dado que en las obras de acondicionamiento de la carretera existen cantidades importantes de tierras que deben ir a vertedero, se adoptó como solución definitiva la construcción de diques de contención.

Aprovechando las condiciones topográficas de la zona, se levantó un primer dique que permite desviar los aludes n°s 41,42 y 43 hacia el cauce de los aludes n°s 44 al 49 donde se construyó el dique de contención propiamente dicho.

Bibliografía

J. F. MEFFRE. Estudio de aludes y avalanchas en los Pirineos y estaciones de esquí del principado de Andorra.

Revue de l'association nationale pour l'étude de la neige et des avalanches. N°s 4 y 6, año 1973.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Proyecto para la construcción de defensas antialudes. Carretera N-330 de Alicante a Francia por Zaragoza. Tramo: Canfranc-Somport. Provincia de Huesca.

GAZEX Patented. Tecnología alpina de seguridad.