

# LA PROTECCIÓN DE POBLACIONES E INFRAESTRUCTURAS CONTRA ALUDES. EL CASO DEL TORRENTE EPIFANIO EN CANFRANC (HUESCA)

**JOSÉ LUIS GARCÍA, JUAN FRANCISCO ARRAZOLA**

E.T.S.I. Montes, UPM

**JOSÉ ANTONIO CUCHÍ**

E.U.P. Huesca

**SANTIAGO FÁBREGAS**

PIRINEA

## RESUMEN

Los aludes son un riesgo natural poco conocido en España debido a la reducida extensión espacial de sus zonas de afección. Es en la alta montaña pirenaica donde suponen una amenaza mayor, y por tanto, allí deben considerarse como elemento de primer orden a la hora de planificar los usos del territorio. Canfranc-Estación es uno de los lugares en los que el riesgo es más elevado, tanto por los numerosos caminos de aludes que le afectan, como por el hecho de ser una población habitada permanentemente. A principios del siglo XX, las obras de defensa contra aludes de la futura Estación Internacional fueron pioneras en España en este campo. En el presente trabajo, se hace una detallada revisión histórica de dichas obras, y se analiza después la situación actual de riesgo en el caso concreto del torrente Epifanio, haciendo uso para ello de las técnicas de modelización disponibles actualmente. En base a los resultados obtenidos, se propone una planificación de la zona afectada por el torrente Epifanio, con el objetivo de minimizar el riesgo en la misma.

## 1. INTRODUCCIÓN

El pueblo de Canfranc-Estación se ubica en la parte oeste del Pirineo central, en un ensanchamiento del alto valle del río Aragón conocido como Los Arañones. Allí se decidió ubicar, a principios del siglo XX, la Estación Internacional de ferrocarril que habría de servir de puerta a Europa a través de los Pirineos. Cuando se hizo la elección de aquel lugar para construir la estación se era consciente de los riesgos que se corrían, *“por hallarse batida no sólo por la destructora acción de varios torrentes, (...) sino también por caer dentro de su área importantísimos aludes”* (1). Desde el primer momento se supo que sería necesario defender la estación de los peligros a que estaría expuesta, y especialmente de los aludes; se iniciarían así unas obras que se extenderían durante más de 25 años.

## 2. ANTECEDENTES: LOS PROYECTOS DE DEFENSA DE PRINCIPIOS DEL SIGLO XX (2-4)

La necesidad ineludible de proteger la futura estación internacional, llevó a los ingenieros de montes de la 6<sup>a</sup> División Hidrológico-Forestal a dedicarse inmediatamente a aquella labor, incluso antes de haber recibido la orden correspondiente. Así, en 1908, Benito Ayerbe comenzaba a estudiar la zona y a diseñar las primeras actuaciones. Suyo es el esquema

fundamental sobre como debía ser la defensa de la estación, y los sucesivos ingenieros se limitaron a seguir y completar las pautas marcadas por él.

Para la defensa contra los aludes se propuso una doble actuación: evitando la formación de aludes y frenando estos en su camino hacia la estación. Así:

- en la cabecera del torrente Epifanio se construyó una ingente cantidad de banquetas y muros, cuyo destino era estabilizar el manto de nieve en esa zona de salida.
- se repobló toda la cuenca con el objetivo también de estabilizar la nieve, además de ayudar en el control del fenómeno torrencial.
- en la garganta del torrente Epifanio se construyeron 5 diques vacíos (idea original del propio Ayerbe que surgió al ir planificando las obras) cuya misión era frenar y acabar deteniendo el alud en su descenso hacia el valle. Se dispusieron también varios diques de retención y estabilización del cauce, que aunque tenían como misión principal actuar sobre el fenómeno torrencial, también contribuyeron a frenar los aludes en los primeros momentos.

Posteriormente, en 1919, se redactó el proyecto más amplio para la defensa de la Estación Internacional de Canfranc. En él, se describía con detalle lo ya hecho y se diseñaban las actuaciones necesarias para completar la corrección, añadiendo el uso de nuevas técnicas como los rastrillos, puentes de nieve, estacadas, etc.

Se redactaron nuevos proyectos en 1933 y 1947, si bien se limitaban a analizar el estado de la situación en aquel momento y a plantear actuaciones puntuales para ahondar en una mayor seguridad.

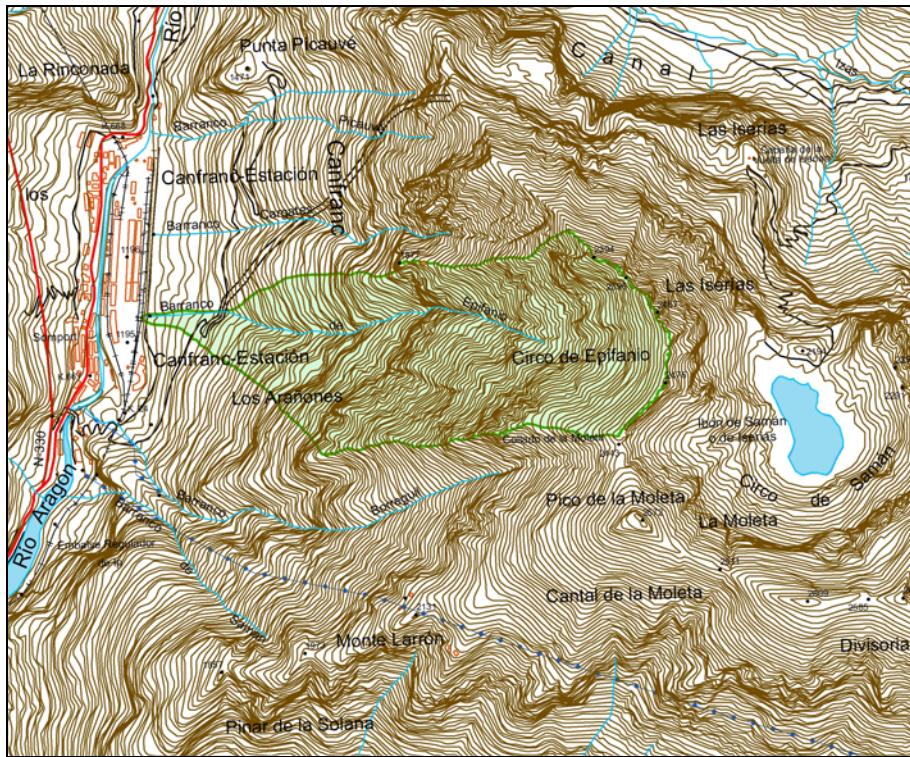
### **3. OBJETIVOS**

Se pretende hacer una primera aproximación al riesgo actual existente en la zona afectada por los aludes que pueden producirse en el torrente de Epifanio. Se analiza el peligro de que un alud alcance el fondo del valle, y se estudian las posibles consecuencias que esto tendría, en la actualidad y ante el futuro cambio de uso en los terrenos de la playa de vías.

Para ello, se realizó un estudio de la zona y de las avalanchas históricas de las que se tienen datos. Posteriormente, se estimó la distancia máxima de detención del alud extremo que puede producirse en el torrente Epifanio, haciendo uso del modelo estadístico Alpha-Beta y del modelo dinámico de Voellmy-Salm-Gubler. A partir de los resultados obtenidos, se propone una planificación de la zona de la actual playa de vías en función del riesgo existente.

### **4. SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

La zona objeto de estudio (Torrente Epifanio) se localiza en la margen izquierda del río Aragón, en el denominado valle de Los Arañones, justo a la altura de la población de Canfranc-Estación. La cuenca del torrente tiene una superficie de 129 ha, con una orientación general al Oeste. Las alturas se mueven entre los 2479 m que se alcanzan en las crestas del borde este, y los 1195 m del punto de cierre de la cuenca.



**Figura 1.** Localización de la cuenca del torrente Epifanio (escala original 1:25000)

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO DE ALUDES

Para la modelización de las avalanchas en un determinado lugar, es necesario realizar un primer análisis del terreno en el que se describan las características de las distintas zonas que conforman el camino del alud (5). Este camino se divide tradicionalmente en tres zonas: zona de salida, zona de recorrido y zona de llegada o depósito.

## 5.1 ZONAS DE SALIDA DE ALUDES

En función de las características del terreno (pendiente, orientación, vegetación, rugosidad) se han definido 4 zonas de origen de los aludes en la parte más elevada de la cuenca (ver Figura 2).

- **Zona número 1:** esta zona está situada en la esquina noroeste de la parte alta de la cuenca, bajo las crestas de las Iserías. La superficie es de 5,81 ha y la altitud media de 2220 m. Presenta un pasto de talla corta y algunos grupos y pies aislados de *Pinus uncinata*. En la parte superior son frecuentes los afloramientos rocosos. La pendiente media es de 40°. Tiene una orientación predominantemente suroeste y por tanto plenamente expuesta a los vientos dominantes y con una elevada insolación invernal.

En esta zona hay construidos un total de 20 muros y banquetas que se concentran en la zona inferior.

- **Zona número 2:** es la zona con una mayor superficie, sumando un total de 15,58 ha, ocupando la mayor parte del circo del torrente Epifanio. La altitud media es de 2338 m y la pendiente media de 35,8°. La orientación tiene dos zonas diferenciadas: la mitad norte tiene orientación oeste y la mitad sur orientación noroeste, dominando ligeramente en superficie la segunda, y dando lugar a una insolación media sobre la cuenca de 350 horas durante periodo invernal. La vegetación se reduce al estrato herbáceo con escasísimos

pies de pino negro en la parte inferior; la mitad superior está formada por una pendiente continua de lisos rocosos.

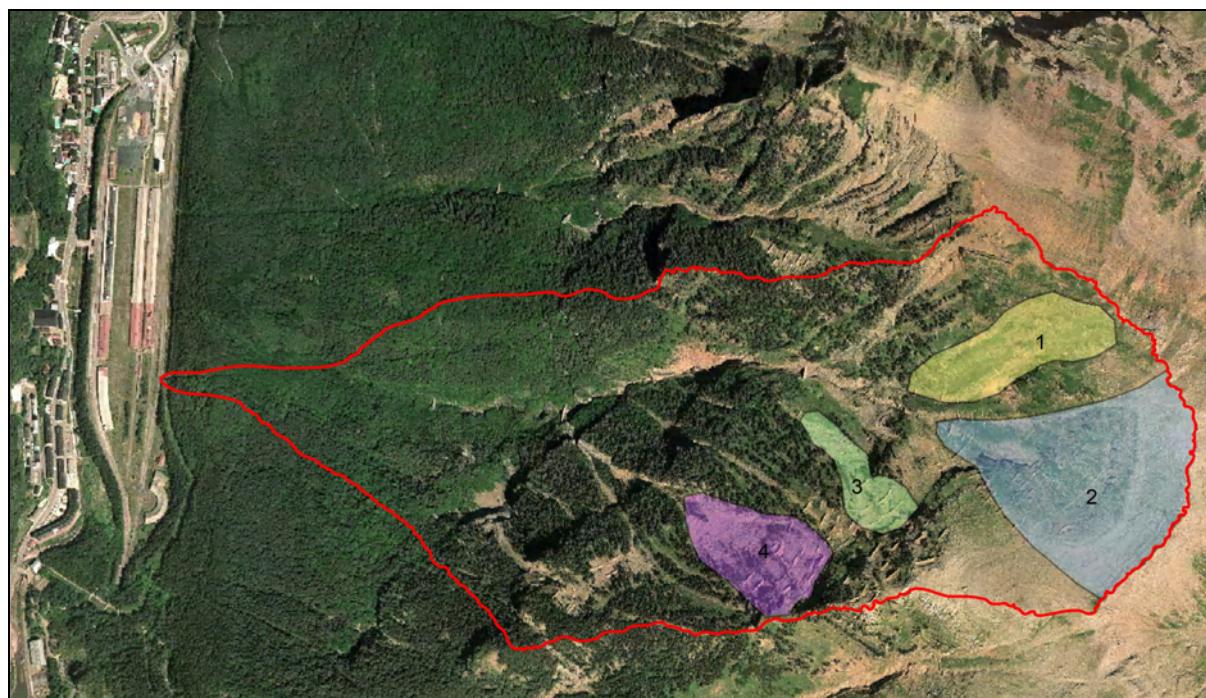
Pueden diferenciarse en esta zona dos subzonas separadas en parte por un escarpe rocoso. La mayoría de las obras de estabilización del manto se concentran en la banda inferior. En la superior, la más peligrosa, la única obra destacable es el muro de gran longitud que se sitúa a 2320 m.

- **Zona número 3:** esta zona se encuentra bajo los cortados que se extienden por el límite sur de la parte más elevada de la cuenca del Epifanio, llegando hasta cerca del comienzo de la garganta. Tiene una superficie de 2,67 ha y una altitud media de 2067 m. La vegetación es prácticamente inexistente también en esta zona e incluso el estrato herbáceo se encuentra muy reducido. La pendiente media es de 39,7°. La orientación dominante es la noroeste, con tan sólo 69 horas de sol durante el invierno.

Esta es la zona de salida con mayor densidad de obras, pudiéndose considerar la más estabilizada, ya que está dominada por un pequeño barranco central cubierto por un total de 10 construcciones entre muros y puentes de nieve.

- **Zona número 4:** esta zona se encuentra en la mitad centro-sur del torrente Epifanio, fuera ya del circo propiamente dicho. La superficie es de 5,34 ha y la altitud media de 2016 m. Tiene una pendiente media de 43,8°, muy elevada. La orientación principal es la noroeste, con un número de medio de horas de sol de 165, también reducido. En la mitad superior de la zona, la vegetación está formada por algunas franjas de pino negro en la que se sitúan en las partes resguardadas de los desprendimientos de nieve; la mitad inferior está constituida por la roca desnuda.

Esta zona presenta en su mitad superior un total de 13 construcciones entre muros y banquetas, pero carece de obras de estabilización en la inferior.



**Figura 2.** Vista general de la cuenca del torrente Epifanio con el pueblo y la estación de Canfranc a la izquierda de la fotografía. Aparecen también sombreadas en colores las zonas de salida de aludes

## 5.2 ZONA DE RECORRIDO

En este caso, el recorrido corresponde prácticamente en su totalidad a la garganta del torrente. Esto va a condicionar también el desarrollo del alud, que es distinto si tiene lugar sobre una ladera abierta o confinado en un canal (como ocurre en Epifanio).

La primera parte del recorrido corresponde a la zona final de la cuenca de recepción, donde el terreno es más abierto y tiene una pendiente media de 32°. La garganta comienza en el dique vacío nº 14, situado a 1880 m de altitud. A partir de ahí, el alud discurre por un canal profundamente incidido y que presenta numerosos saltos verticales sobre la roca desnuda. A lo largo de esa garganta se sitúan los diques vacíos 13, 10, 8 y 7. Desde el dique nº 7, el recorrido se abre ligeramente, aunque sigue canalizado hasta el vértice del cono de deyección, a 1340 m de altitud. En total, la garganta tiene una longitud de 1040 m y una pendiente media de 27°.

## 5.3 ZONA DE DEPÓSITO

Al finalizar la garganta comienza la zona de depósito. En una primera aproximación, se estima que comienza al llegar al dique número 1, donde comienza la canalización y el cono de deyección, hoy por hoy inapreciable. En ese punto el cauce habitual del torrente antes de corregir giraba a la derecha y continuaba recto hasta el río Aragón. Esa debía ser también la dirección natural de los aludes y aún hoy es probable que los aludes sigan tomando esa trayectoria en caso de llegar hasta ese punto, puesto que el último giro de la garganta es hacia ese lado y la masa de nieve tenderá a seguir recta. También se puede apreciar claramente en las fotografías como en ese lugar la vegetación de frondosas se extiende en una franja horizontal, de unos 190 m de longitud y 100 m de anchura, donde desaparecen las coníferas, lo que sugiere que esa es la zona de expansión de las avalanchas en su tendencia a pasar de nuevo a un alud de ladera al abrirse el terreno. La parte final, hasta la explanada de la estación internacional, está dominada por las coníferas que se plantaron en la corrección original, por lo que desde entonces ningún ha llegado hasta allí con fuerza suficiente como para derribarlas. El punto de comienzo de esta se corresponde con el lugar donde se ubica el dique nº 1 y empieza la canalización del torrente. En esta zona la pendiente disminuye sensiblemente y el alud debe comenzar a reducir su velocidad. La presencia al inicio del cono de deyección de una zona dominada por las frondosas (frente a las coníferas, que ocupan el resto del cono) confirma esta última afirmación, y sugiere una expansión lateral del alud, que hasta entonces se encontraba confinado en la garganta, al llegar a ese punto.

Determinar la extensión máxima de esta zona de depósito es el propósito que persigue el presente trabajo.

## 6. ALUDES HISTÓRICOS

Desde que comenzaron las obras del ferrocarril a Francia, la presencia continua de gente en Los Arañones ha permitido tener un registro, más o menos exhaustivo, de los fenómenos extremos que han tenido lugar desde entonces. Así, se tiene constancia de los numerosos aludes que, sobre todo en el primer cuarto del siglo XX, se sucedieron en el entorno de la Estación Internacional.

En 1913, con varios diques de corrección torrencial ya construidos, se desprendió un alud del torrente Epifanio que se quedó a 500 m de la estación y cuyo volumen se estimó en 195 000 m<sup>3</sup>. El invierno de 1915 fue el más activo de los que se tiene noticia. Los aludes de Estiviellas llegaron al incipiente poblado y arrasaron varias viviendas y almacenes. En Epifanio, se afirma

que los diques ya construidos consiguieron retener 500 000 m<sup>3</sup> de nieve. En 1916 hubo de nuevo numerosos aludes por todas las cuencas de Los Arañones. El último gran alud del que se tiene constancia en el torrente Epifanio tuvo lugar en 1970, con todas las obras ya terminadas, y consiguió llegar a la playa de vías y derribar varios vagones de mercancías (figura 3). Las características del depósito que pueden verse en las fotografías de la época permiten concluir que se trató de un alud de nieve bastante húmeda, y que descendió en su parte final principalmente a través de la canalización.



**Figura 3.** Alud desprendido en 1970 del torrente Epifanio que consiguió llegar a la playa de vías

Puede verse como los aludes han sido un fenómeno habitual en el caso de estudio que nos ocupa. Es cierto que desde que el torrente se encuentra corregido la frecuencia de los que han llegado al fondo del valle se ha reducido, pero no es menos cierto también que, incluso con el sistema de defensa a pleno funcionamiento, uno lo ha conseguido, cuando no han pasado aún cien años desde que comenzaran las obras.

## 7. ANÁLISIS DE LA INNIVACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los aludes excepcionales, que son los que interesan a la hora de definir posibles zonas de afección, se producen, en general, en períodos de intensas nevadas o inmediatamente después de ellas. Suele considerarse (6) que, como situación extrema, puede desprenderse simultáneamente en un alud la nieve acumulada durante tres días consecutivos. Para fijar la cantidad de nieve máxima que puede caer en 72 horas se han usado los resultados de López Guarga et al (7), que analizaron los datos de precipitación de la estación de Canfranc-Los Arañones de la época invernal correspondientes a 36 años de observaciones. Para un periodo de retorno de 300 años obtuvieron una precipitación máxima en 72 horas de 320 mm de agua, equivalentes a 213 cm de nieve. Este valor es similar al que se obtendría de aplicar el método de estimación de altura extrema de nieve propuesto por Salm et al.

## 8. MODELIZACIÓN DEL ALUD DEL TORRENTE EPIFANIO

Como se ha dicho, el análisis del alud extremo que puede producirse en el torrente Epifanio se hará usando dos procedimientos distintos: un modelo estadístico y un modelo dinámico.

### 8.1 MODELO ESTADÍSTICO ALPHA-BETA

Los modelos estadísticos permiten estimar la distancia máxima de detención de un alud a partir de los datos históricos de otros aludes que hayan tenido lugar en el mismo macizo montañoso (8). Para ello, se establece una ecuación de regresión entre dos parámetros,  $\alpha$  y  $\beta$ , de la forma:

$$\alpha = a \cdot \beta \quad \text{o} \quad \alpha = a \cdot \beta + b$$

donde:

- $\beta$ : es aquel ángulo que forma la recta que une el punto donde la pendiente alcanza por primera vez los  $10^\circ$  y el punto de salida del alud, con respecto a la horizontal.
- $\alpha$ : es el ángulo formado por la horizontal y la recta que une el punto más elevado de la zona de salida del alud con el punto de detención del mismo.

En el caso de Canfranc no se dispone de los registros históricos necesarios para hacer los ajustes, por lo que habría que usar ecuaciones deducidas para el mismo macizo. En este caso se dispone de las elaboradas por Furdada y Vilaplana (9, 10) para el Pirineo catalán occidental, aunque se hará uso también de las creadas para los Alpes austriacos por Lied et al (11), por tener su origen en unas condiciones más próximas a las del torrente Epifanio.

La primera de las ecuaciones fue establecida para el oeste del Pirineo catalán en base a 216 observaciones. La expresión concreta es:

$$\alpha_1 = 0,97\beta - 1,20 \quad (1)$$

La segunda ecuación está obtenida en un terreno de características topográficas y de tamaño con mayor similitud a las de la avalancha de Canfranc que la anterior, por lo que se aplicará también en este caso, siempre teniendo en mente que tiene su origen en otro macizo montañoso (en concreto en los Alpes austriacos):

$$\alpha_2 = 0,92\beta \quad (2)$$

La aplicación de ambas ecuaciones al caso de estudio permite obtener dos distancias de recorrido del alud desde el punto de inicio del mismo, que son las siguientes:

$$\begin{aligned} \mathbf{Xd_1} &= 2565 \text{ m} \\ \mathbf{Xd_2} &= 2596 \text{ m} \end{aligned}$$

Los puntos extremos de detención correspondientes a estas distancias, P2 y P1 respectivamente, pueden verse en la figura 4.

## 8.2 MODELO DINÁMICO DE SALM-BURKARD-GUBLER(x)

Es un modelo matemático unidimensional, modificación del creado por Voellmy en 1955, mediante el que se pueden calcular las características principales de los aludes (límites o distancias de parada, presión de impacto, velocidades, etc.).

La premisa fundamental de partida es que la avalancha tiene un comportamiento de tipo fluido, y concierne a las siguientes hipótesis:

- Las características del flujo a lo largo de la zona de trayecto son constantes (estado estable del flujo) y la nieve se considera incompresible.
- La masa de flujo se considera constante (no hay incorporación ni pérdida de nieve en la zona de trayecto).

El flujo de nieve es considerado como un bloque que desliza sobre una superficie sujeto a una fuerza de fricción:

$$F = m \cdot g \cdot \frac{u^2}{\xi h} + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (3)$$

donde  $m$  es la masa del alud,  $h$  la profundidad del flujo,  $\theta$  el ángulo de la pendiente,  $\mu$  un coeficiente de fricción relacionado con las propiedades de la nieve, y  $\xi$  un coeficiente de fricción dinámica relacionado con la rugosidad del camino que sigue el alud.

En un estado estacionario, la velocidad se deriva directamente de la ecuación de momento, dando lugar a la expresión:

$$u = \sqrt{\xi \cdot h \cdot \cos \theta \cdot (\tan \theta - \mu)} \quad (4)$$

A partir de esta última ecuación puede realizarse el cálculo de diversos parámetros del alud en sucesivos tramos en los que se alcanza el estado estacionario, y puede así estimarse la distancia máxima que recorrerá el mismo antes de detenerse.

A la hora de aplicar este modelo, hay que introducir como primera entrada el volumen de nieve que se pone en movimiento. En este caso se ha supuesto que toda la nieve acumulada en 72 horas en la zona de salida 2 se desprende simultáneamente, por ser esta la zona más desfavorable y de mayor superficie; el resto darían siempre resultados menos peligrosos.

No se introduce ningún efecto debido a la acción de los diques y obras construidas, puesto que su efecto en caso de aludes extremos no es reseñable. Por un lado, en situaciones de intensas nevadas, los diques ven reducido de forma considerable el volumen útil de su vaso, tanto por la propia nieve acumulada, como por las purgas y pequeños aludes que se desprenden continuamente; de hecho, casi todos los años, alguno de los diques vacíos termina el invierno colmatado. Por otro lado, aunque el efecto sobre el flujo de nieve de los diques no es bien conocido todavía, hay varias experiencias (12, 13) que muestran que la acción sobre grandes aludes no es significativa, ya que se requieren alturas del dique cuatro veces mayores a las del flujo para reducir su velocidad a la mitad.

En cuanto a las obras de estabilización del manto, tampoco son absolutamente eficaces en el objetivo que persiguen, e incluso pueden llegar a actuar de forma negativa. Estas obras se

disponen de forma discontinua y en ocasiones aislada, disposición que hoy día se considera ineficaz. Además, las obras, dada su altura sobre el terreno, pueden llegar a quedar enterradas completamente por la cobertura nivosa, lo que hace que no sólo no ejerzan ningún efecto beneficioso, sino que incluso puedan llegar a ser perjudiciales. Esto se debe a que ese tipo de muros, como los grandes bloques de piedra, en caso de quedar totalmente cubiertos por la nieve pueden actuar como punto concentrador de tensiones en el manto, lo que aumenta la inestabilidad del mismo.

Se han modelizado dos aludes: uno de placa seca y otro de placa húmeda. El primero de ellos llegaría hasta el punto P1 (figura 4), donde el espesor de depósito sería de 9,77 m. El segundo alcanzaría el punto P3 con un espesor de depósito de 10,6 m.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Si se observan los resultados obtenidos (figura 4), puede verse que ambos métodos arrojan un valor similar, si comparamos los resultados del modelo estadístico con los del dinámico para el caso de un alud de placa seca. Esto es así porque los métodos estadísticos estiman las distancias de detención más desfavorables, que suelen corresponderse con aludes de flujo seco. Desde que comenzaron las obras de defensa, no se han encontrado datos de ningún alud desprendido en el torrente Epifanio que haya llegado hasta esos puntos, pero en cualquier caso, el periodo de observación es todavía inferior al del periodo de retorno de cálculo. Si que han recorrido distancias asimilables los desprendidos en otros torrentes de Los Arañones.

El alud de placa húmeda, menos peligroso, pero también más factible de desarrollarse en Epifanio, recorre una distancia menor, pero en cualquier caso se adentra en la explanada de la estación. Los resultados que se obtienen de su simulación pueden compararse con los del alud de 1970, que estuvo provocado por una nieve bastante húmeda y recorrió una distancia similar a la obtenida aquí.

En cualquier caso, en todos los resultados obtenidos, el alud consigue adentrarse en la explanada de la estación.



**Figura 4.** Detalle de los límites aproximados de la zona de llegada para un alud de placa húmeda (sombreado verde) y de placa seca (sombreado amarillo). Aparecen señalados los puntos de detención que proporcionan los distintos modelos

## 10. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN

Los resultados que se han obtenido permiten concluir que el peligro de que un alud alcance la actual playa de vías de la Estación Internacional de Canfranc sigue presente. La vulnerabilidad actual de la zona afectada es reducida, dada la escasa actividad que en ella hay, pero la reforma de todo el entorno de la estación, que ya ha comenzado, podría incrementar esa vulnerabilidad de forma exponencial, con el consecuente incremento del riesgo.

En España no existe una legislación específica al respecto, pero ello no debería ser óbice para establecer unas zonas de riesgo en las que se excluya la construcción de determinadas edificaciones. En este caso, debería establecerse una franja de protección entorno al actual eje del torrente que garantizara la seguridad de los bienes y personas. Para ello, podría eliminarse la actual conducción enterrada por la que discurren las aguas del torrente en su parte final, construyendo un nuevo tramo de canalización al descubierto, más próximo a un estado natural. Esto permitiría crear una gran plazoleta de depósito que permitiera al alud detenerse por completo. Ese espacio, lejos de ser una zona perdida para el urbanismo, podría habilitarse como zona de recreo, que puede ser cerrada al público con facilidad en épocas de elevado peligro de desprendimiento de aludes.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1). Azpeitia, F. (1919). Proyecto de defensa contra aludes y torrentes de la Estación Internacional de “Los Arañones” (Canfranc). Sexta División Hidrológico-Forestal.
- (2) Ayerbe, J. M. (1946). Sexta División Hidrológico-Forestal. Proyecto de defensa contra aludes de la Estación Internacional de “Los Arañones” (Canfranc).
- (3) Estefano, H. (1933). Sexta División Hidrológico-Forestal. Sección de Los Arañones. Ampliación del proyecto de defensa contra aludes, avenidas torrenciales y desprendimientos de piedras en la estación internacional de Los Arañones.
- (4) Martínez-Falero Arregui, V. (1946). Trabajos realizados por la 6<sup>a</sup> División Hidrológico-Forestal de la cuenca media del Ebro. Montes. 9-25, 112-119.
- (5) McClung, D., Schaefer, P., (1993). Avalanchas. Ed. Desnivel.
- (6) SALM, B., BURKARD A., GUBLER, H.U. (1990). Calcul des avalanches: une methode pour le praticien avec des exemples. Traduction d'une publication de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches. No. 47. BERECHNUNG VON FLIESSLAWINEN EINE ANLEITUNG FÜR PRAKTIKER MIT BEISPIELEN. Traduction de Christophe ANCEY (1992).
- (7) López Guarga, R., Sarasa Broset, A., Oller Figueras, P. (1997). Caracterización, simulación y prevención de aludes en el barranco de Secras. Túnel de Somport (Huesca). IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables.
- (8) Ancey, C. Snow avalanches. Cemagref, unite Erosion Torrentielle, Niege et Avalanches, Domaine Universitaire, France.
- (9) Barbolini, M., Gruber, U., Keylock, C.J., Naaim, M., Savi, J., (2000). Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites. Cold Regions Science and Technology. 31, 133-149.
- (10) Furdada, G., Vilaplana, J.M., (1998). Statistical prediction of maximum avalanche, run-out from topographic data in Western Catalan Pyrenees\_NE Spain.. Ann. Glaciol. 26, 285–288.
- (11) Lied, K., Weiler, C., Bakkehøi, S., Hopf, J., (1995). Calculation methods for avalanche run-out distance for the Austrian Alps. Norwegian Geotechnical Institute, Report 581240-1.
- (12) Faug, T., Naaim, M., Naaim-Bouvet, F., (2004). An equation for spreading length, center of mass and maximum run-out shortenings of dense avalanche flows by vertical obstacles. Cold Regions Science and Technology. 39, 141-151.
- (13) Naaim, M. Naaim-Bouvet, F., Faug, T., Bouchet, A. (2004). Dense snow avalanche modeling: flow, erosion, deposition and obstacle effects. Cold Regi. Sci. Technol. 39, 193-204