

FACTORES DIFERENCIALES EN LA PROTECCIÓN CONTRA DESPRENDIMIENTOS EN LA GEOLOGÍA VOLCÁNICA DE LAS ISLAS CANARIAS. A TRAVÉS DEL EJEMPLO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LA CARRETERA INSULAR TF-445, ISLA DE TENERIFE.

Israel HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ*, **Javier LUQUE GONZÁLEZ†**

* Geólogo especialista en tratamiento del riesgo geológico
WARA Consultoría y Desarrollo

† Director ejecutivo de v-traverca, empresa especialista en tratamiento de taludes.

RESUMEN

Las recientes actuaciones acometidas para paliar los efectos de los frecuentes desprendimientos en la Carretera Insular TF-445 en la Isla de Tenerife, representan un ejemplo excelente de la problemática diferenciada que implica la preminencia del medio volcánico en las islas Canarias y de la singularidad que su tratamiento supone. La extrema heterogeneidad y discontinuidad de los materiales volcánicos lleva aparejada la necesidad de una intensa labor de investigación para determinar con exactitud los mecanismos que intervienen en los desprendimientos, y un trabajo concienzudo de definición de las soluciones adecuadas, que no siempre resultan ser las más sencillas de ejecutar. Sin embargo, la inversión en tiempo de estudio supone un sustancial aumento en la efectividad de las protecciones y, a la postre, un ahorro económico.

1. INTRODUCCIÓN

La Carretera Insular TF-445 en la Isla de Tenerife, conecta el casco urbano de Buenavista del Norte con el importante enclave turístico del Faro de Punta de Teno, dentro del paraje protegido del Parque Rural de Teno. Entre los P.K. 2+700 y el P.K. 6+000, discurre a media ladera por una zona montañosa, con escarpes naturales de gran altura, verticales y subverticales, generados por la erosión de coladas basálticas y traquibasálticas con intercalación de escorias y otros materiales volcánicos. Los frecuentes desprendimientos que afectan a este tramo de carretera obligaron a la administración responsable de su gestión a regular el tránsito desde el año 1996.

Tras la concatenación de diversos episodios de especial magnitud, en septiembre de 2013, las empresas Giur y Raymar 2005, a solicitud del Cabildo Insular de Tenerife, realizaron el denominado “Análisis de riesgos e instalación de medidas correctoras y de protección contra desprendimientos en la C.I. TF-445. T.M. Buenavista del Norte” (Estudio Previo). En noviembre de 2013, con base inicial en dicho estudio, el Consejo de Gobierno del mencionado Organismo acordó la adjudicación a Villar Trabajos Verticales Canarios, S.L. (v-traverca) de la “Redacción del proyecto y ejecución de las obras de instalación de medidas correctoras y de protección frente a desprendimientos en la C. I. TF-445. Zonas 14, 16 y 17” (Fase 1), estando a cargo de la consultora INTERRA Ingeniería y Recursos S.L.U. la redacción del proyecto técnico.

Las conclusiones de dicho proyecto, corroboradas por nuevos trabajos de campo, incidieron en poner de relieve las singularidades geomorfológicas derivadas del origen volcánico del macizo de Teno, y llevaron a la sustitución de la instalación lineal de Barreras Dinámicas en galería a una cota constante de unos quince metros sobre la carretera, sugerida por el estudio previo, por distintas líneas de Barreras Dinámicas dispuestas a diferente cota, algunas de ellas solapadas entre sí.

Con similar filosofía, en la primavera de 2015, el mismo equipo acometió la “Redacción del proyecto y ejecución de las obras de instalación de medidas correctoras y de protección frente a desprendimientos en la C. I. TF-445. Zonas 11, 12 y 18” (Fase 2).

Del resultado final de las obras, se infiere que la instalación lineal de Barreras Dinámicas en grandes tramos continuos instalados a cota próxima a la de carretera no siempre resulta la solución más adecuada, en especial en los macizos volcánicos de las islas Canarias donde es poco frecuente encontrar un talud suficientemente regular que haga de esta localización la más eficiente. De adoptarse, requiere la dotación de obras complementarias de infraestructura que permitan la correcta alineación y adecuada funcionalidad.

Por otro lado, se pone de relieve que el trabajo conjunto de un equipo de ingeniería especializado en el tratamiento de riesgos geológicos y una empresa con alta especialización en la ejecución de obras de tratamiento de taludes y laderas, que ofrezca la posibilidad de acometer las mismas en emplazamientos de máxima dificultad, supone una garantía de éxito y un abaratamiento final de costes.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. PECULIARIDAD DE LOS TERRENOS VOLCÁNICOS

Los materiales volcánicos son extremadamente heterogéneos, discontinuos y difíciles de predecir; a diferencia de lo que ocurre con las formaciones continentales no volcánicas, más continuas y competentes en general. La configuración habitual del terreno en los

ambientes volcánicos insulares consiste en la acumulación de distintas sucesiones de emisiones lávicas, producto de erupciones efusivas en su gran mayoría de carácter fisural, que configuran un paisaje habitualmente dominado por lavas y depósitos piroclásticos. Dependiendo de la tasa efusiva, de la explosividad de la erupción y de las características reológicas de los materiales emitidos, éstos se pueden distribuir espacialmente de forma más o menos caótica y desordenada, lo que les confiere el carácter heterogéneo mencionado (Santamarta et al., 2015).

En una única erupción volcánica nos podemos encontrar con materiales de tipo rocoso, como las lavas o diques (conductos de emisión), y de tipo suelo, como los piroclastos. El comportamiento geomecánico de las lavas una vez solidificadas depende, además de la composición química del magma del que proceden, de la morfología del emplazamiento, tasa eruptiva, viscosidad de la lava, etc.; condiciones que cambian a lo largo de una misma erupción. Los materiales tipo suelo, como los piroclastos, presentan una gran variabilidad granulométrica, con una distribución de mayores tamaños junto al centro de emisión y disminución de los mismos conforme nos alejamos de este. Esa misma distribución de tamaños varía también en función de las condiciones de viento en el momento del depósito, de la tasa eruptiva, de la variación de la explosividad a lo largo de la erupción, etc. En un reducido espacio se concentran materiales con un comportamiento geotécnico muy diferente, que pueden ser producto de una sola erupción. Si a esa circunstancia le sumamos que una isla volcánica se construye por la acumulación de miles de erupciones desde la plataforma oceánica hasta su emersión y que las erupciones pueden tener una variabilidad química importante, que confiere mayor o menor explosividad a los fenómenos eruptivos dando lugar a depósitos muy variados, nos encontramos con que la amplia variabilidad geológica de Canarias se traduce en una variabilidad geotécnica aún mayor, que determinan una baja fiabilidad al extrapolar propiedades y comportamiento geomecánico (González de Vallejo et al., 2002).

Las peculiaridades geotécnicas de los materiales volcánicos son una de las cuestiones más complicadas a la hora de diseñar o ejecutar cualquier obra civil, complejidad fundamental al afrontar la construcción de infraestructuras de tipo lineal en el archipiélago canario. En el momento de proyectar una carretera o una obra subterránea en un terreno volcánico nos encontramos que, a lo largo del trazado, la variabilidad de materiales con comportamiento geotécnico diferente nos obliga, necesariamente, a variar las secciones de diseño, estabilización o sostenimiento (Moura et al., 2002). En Canarias, suele ser habitual encontrarse a lo largo del talud de una carretera, en un tramo de apenas cien metros de desarrollo, con tres o cuatro materiales de comportamiento geotécnico muy diferente y con una distribución espacial muy heterogénea, tanto en la horizontal como en la vertical. En la fase de diseño, resulta inoperativo y poco práctico plantear varios cambios de sección en un recorrido tan corto, ya que la información geotécnica que aportan los estudios que se realizan resulta lo suficientemente incierta como para imposibilitar un diseño de taludes tan minucioso. Lo habitual, por tanto, es diseñar un talud que cumpla con los requisitos de estabilidad global del conjunto de materiales y recurrir a

presupuestar partidas económicas destinadas a cubrir las eventuales estabilizaciones que resulten necesarias en las zonas puntuales en las que se intuye que los materiales que las componen van a generar problemas a futuro.

En fase de ejecución de la obra, las diferentes condiciones que surgen al excavar el terreno imposibilitan en numerosas ocasiones configurar un talud conforme a proyecto. Por otra parte, las condiciones orográficas de la mayor parte de las islas, con laderas de fuerte pendiente, obligan a forzar los taludes, originando problemas puntuales en aquellos materiales que, por sus características geotécnicas, soportan una menor pendiente.

Por último y por desgracia, a lo anterior se suma el elevado coste de las expropiaciones en un territorio caracterizado por la escasez de suelo y la alta presión demográfica y que, cuando surgen imprevistos en obra, las primeras partidas económicas que se suelen reducir son las destinadas a la estabilización de taludes. La consecuencia de la adición de todos estos factores es la elevada frecuencia con la que la falta de tratamientos adecuados en origen en los taludes genera la aparición de inestabilidades a medio o largo plazo, que no solo suponen un mayor coste que el planificado originalmente, si no que conducen a enfrentar problemas de mayor gravedad en taludes que ya han evolucionado desfavorablemente.



Figura 1. Ejemplo de la heterogeneidad de materiales presentes en los taludes de los medios volcánicos. Islas de Tenerife y El Hierro.

3. LA CORRECTA ELECCIÓN DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN O DE MITIGACIÓN DEL RIESGO DE DESPRENDIMIENTOS

Al igual que en cualquier otro tipo de ambiente geológico, la solución a los problemas de estabilidad de taludes y laderas en macizos rocosos de terrenos volcánicos debe partir de una precisa definición de los mismos. De igual manera, si hablamos de terrenos donde prevalece la heterogeneidad y anisotropía en el comportamiento geomecánico, parece

lógico que la labor de investigación esté a la altura del problema que se nos plantea. La investigación geológica debe abordarse de acuerdo con el alcance de la fase de proyecto en la que nos encontremos; no obstante, al igual que sucede con la campaña de reconocimiento geotécnico, de cuanto más información se disponga (a coste razonable y asumible) mejor y más precisa será la ejecución de la siguiente fase de proyecto que, a la postre y en general, se traducirá en menores desviaciones presupuestarias en la fase de construcción (Poncela, 2015).

Como objetivo, resulta lógico asumir la búsqueda de la actuación que reúna los niveles de seguridad exigidos y, a la vez, resulte la más eficiente desde el punto de vista funcional, la de ejecución más sencilla y la más económica. De este conjunto ideal, y resultando irrenunciable la seguridad, la funcionalidad debe primar sobre los demás factores y el resultado económico sobre la sencillez de ejecución.

Llegar a una solución eficiente, funcional y económicamente viable, no es un camino sencillo, y resulta imposible sin la rigurosidad en la obtención de los datos que nos permitan realizar cálculos fiables y, basados en ellos, un correcto dimensionamiento de las soluciones.

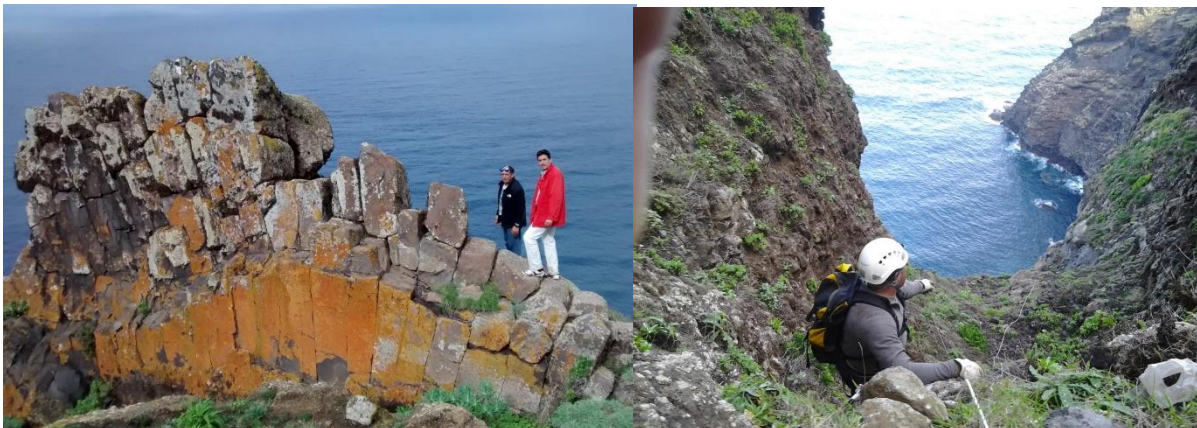


Figura 2. Labor de investigación de campo. Identificación y caracterización geotécnica de las áreas fuente de desprendimientos y recorridos de las trayectorias.

En un terreno como el volcánico, cobra especial relevancia que nuestros cálculos se basen en una imagen fiel de la realidad de campo, ya sea esta geológica, geotécnica, morfológica o topográfica. Para ello resulta imprescindible valerse del uso de las herramientas más adecuadas: topografía de precisión, auscultación concienzuda del macizo rocoso y modelizaciones que simulen fielmente los procesos naturales que pretendemos reproducir.

Si como es el caso aquí tratado, los problemas engloban áreas extensas en las que resulta antieconómico plantearse soluciones de estabilización in situ y se opta por protecciones pasivas del tipo de las barreras dinámicas, la relevancia del uso de una topografía de

precisión, como la topografía láser terrestre o aerotransportada, como lo es la topografía LIDAR (Light Detection and Ranging), es aún mayor. Resulta un sinsentido dimensionar una barrera dinámica, con una altura que por lo general no supera los cinco metros, con la información topográfica facilitada por una cartografía en la que la precisión máxima de las curvas de nivel es también de cinco metros.

Por otro lado, la existencia de software de simulación de desprendimientos en 3D, que nos ayuda a elegir la ubicación de las pantallas en zonas preferentes de concentración de trayectorias, supone un aumento importante en la eficiencia de las protecciones y un notable ahorro de costes. Sin olvidar que, para ello, la precisión de los datos de entrada redonda en la fiabilidad de los resultados, lo que vuelve a poner de relieve la importancia de la investigación de campo.

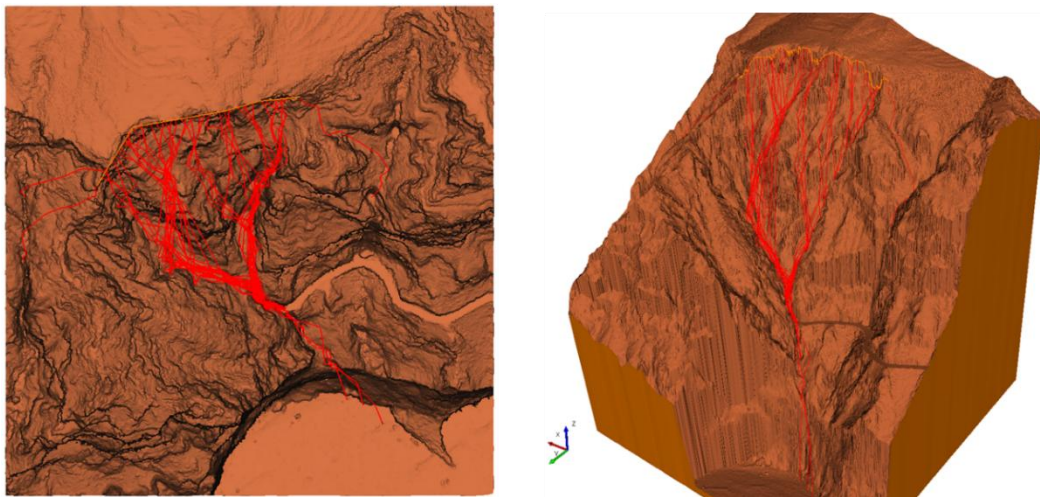


Figura 3. Análisis de trayectorias de desprendimientos sobre la carretera TF-445 desde un área fuente localizada en la cabecera de la zona de estudio. Vista en planta (izda.), vista en perspectiva (dcha.).

El mencionado estudio de las trayectorias, en especial de su concentración, adquiere una relevancia diferencial en los terrenos volcánicos aquí tratados por la importante presencia en la orografía insular de barrancos, de mayor o menor envergadura, que actúan de canalización de los desprendimientos rocosos concentrando a través de ellos, de forma natural, las trayectorias de caída de los materiales que los componen.

Por último, recordar que, una vez evaluado el problema y dimensionada la solución, es imprescindible realizar el replanteo en el campo antes de cerrar el proyecto, puesto que pequeñas inexactitudes en el relieve pueden restar o volver ineficaces las soluciones. Algo que, de nuevo, constituye un claro peligro diferencial en la heterogeneidad de los macizos rocosos de origen volcánico.

Como conclusión a este apartado, merece la pena recordar dos factores. El primero, la poca conveniencia y a menudo malos resultados que produce, ya sea por falsa economía,

por supuesta rapidez o por cualquier otro motivo, la sustitución de la adecuada inversión en investigación de campo y los datos fidedignos por ella aportados, por proyectar las barreras dinámicas en base a las máximas prestaciones de las existentes en el mercado y, para su justificación, realizar simulaciones iterativas con tamaños crecientes de rocas hasta llegar al tamaño máximo que es capaz de detener la barrera previamente elegida o realizar el ajuste de los coeficientes de restitución hasta obtener idéntico resultado.

El segundo factor a recordar sería que las barreras elastoplásticas de alta energía consiguen disipar los impactos a base de una gran deformación de sus elementos, sobre todo del elemento de retención. Eso significa que, en taludes de escasa altura o donde su ubicación no sea posible a cota distinta, el empleo de soluciones tipo galería dinámica, aunque de ejecución cómoda, resulta inadecuada, pues la deformación de la barrera al recibir un impacto no respetará el galibo necesario y puede llegar a alcanzar los vehículos, con lo que la presencia de las barreras lo máximo que puede proporcionar es una sensación de falsa seguridad.

4. OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESPRENDIMIENTOS EN LA CARRETERA INSULAR TF-445. FASE DE ESTUDIO Y PROYECTO.

Las obras de protección contra desprendimientos en la carretera insular TF-445 se llevaron a cabo durante los años 2013, 2014 y 2015 en dos fases consecutivas (Fase 1 y Fase 2). La Fase 1 se tramitó como procedimiento de emergencia y la Fase 2 con tramitación ordinaria y contratación conjunta del proyecto y de las obras. El hecho anterior supuso una estrecha coordinación entre las tres partes implicadas en las obras, proyectista, contratista y dirección de las obras por parte del promotor; que facilitó la toma de decisiones críticas respecto al dimensionamiento y ubicación de las protecciones proyectadas gracias a un *feedback* constante a lo largo del desarrollo de los trabajos.

Ambas fases contemplan la protección de un tramo de la carretera TF-445 que engloba seis Zonas consideradas en el estudio “Análisis de riesgos e instalación de medidas correctoras y de protección contra desprendimientos en la C.I. TF-445. T.M. Buenavista del Norte” dentro del Nivel A de máximo riesgo y necesidad de intervención inmediata. Las actuaciones proyectadas consisten fundamentalmente en la instalación de barreras dinámicas y en menor medida en estabilizaciones in situ, uno y otra destinadas a proteger una longitud de vía de 585 m.

En ambas fases de proyecto el punto de partida de los trabajos fue una intensa campaña de campo para definir la geología de la zona de estudio, identificar los materiales y su disposición, caracterizar geomecánicamente los afloramientos rocosos y determinar las zonas inestables.

La base cartográfica utilizada para la realización de los cálculos y mediciones de los

proyectos se elaboró expresamente para estos trabajos a partir de los vuelos LIDAR de Canarias de los años 2011 y 2012. Estos vuelos tienen una densidad media planificada de 1,20 puntos por metro cuadrado y de 0,8 puntos por metro cuadrado en el nadir, con una precisión media en torno a 0,60 metros en planimetría y 0,20 metros en altimetría. Una vez depurados los datos se generó un MDT (Modelo Digital de Terreno) sobre el que se realizaron las simulaciones de desprendimientos en 3D, se obtuvieron los perfiles del terreno para las simulaciones y cálculos en 2D y se generó la cartografía de proyecto con curvas de nivel equidistantes 1 m para su representación a escala 1:1000.

Una vez identificadas las zonas inestables o áreas fuente de desprendimientos, y teniendo como base el MDT generado, se realizaron desde ellas las simulaciones de los desprendimientos. La labor de inspección de campo, que en muchos casos se tuvo que realizar con ayuda de equipos especializados en trabajos verticales, sirvió para determinar las áreas desde las cuales existía una mayor probabilidad de que se originasen desprendimientos, definir el tamaño y densidad de las rocas que se pueden movilizar, la forma de los bloques y los parámetros característicos del terreno sobre el que se realizaron las simulaciones (coeficientes de restitución).

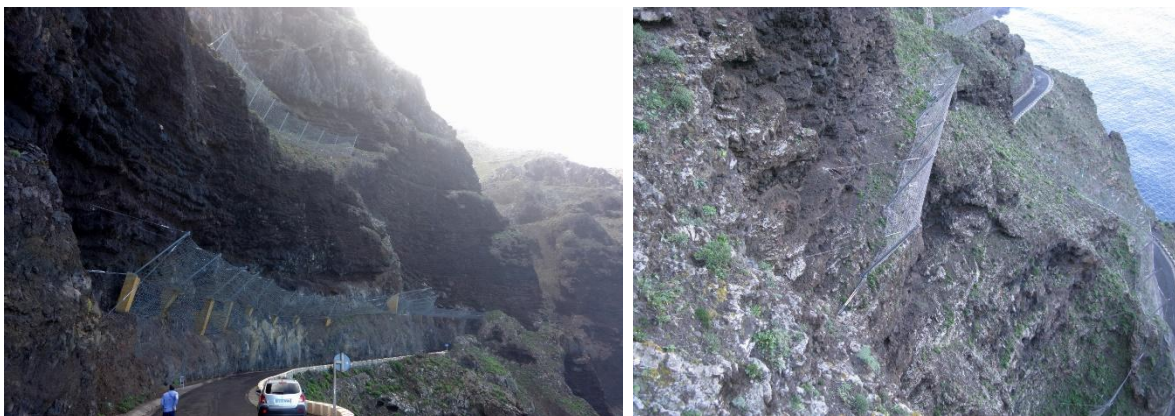


Figura 4. Barreras dinámicas instaladas a distintos niveles sobre la vía, algunas de ellas en puntos de acceso muy complicado.

Dadas las características orográficas del lugar objeto del proyecto, con áreas fuente de desprendimiento constituidas por zonas extensas de diferente peligrosidad, pero que abarcan un alto porcentaje de las laderas de la zona de estudio, la utilización de medidas de estabilización in situ suponía una solución muy costosa, de gran impacto, y en ocasiones de muy compleja ejecución. Por ello, salvo en sectores puntuales, las actuaciones proyectadas consistieron en la colocación de barreras dinámicas, buscando situaciones idóneas que aprovecharan la situación favorable de encauzamiento de las trayectorias. La morfología y altura de los taludes no permitió la instalación de barreras dinámicas en galería salvo en un tramo y, aun así, la irregular morfología del terreno hizo necesaria la instalación de estructuras de hormigón armado para asegurar la cobertura total de la vía y una correcta alineación de las bases de los postes. La existencia de numerosos

escarpes consecutivos a lo largo de las trayectorias de los desprendimientos obligó a la colocación de diferentes líneas de barreras a diferente cota para garantizar la intercepción de las rocas. En aquellos sectores inestables de los taludes que quedaban por debajo de las alineaciones de las barreras, y donde las barreras no eran capaces de interceptar las trayectorias, se colocaron distintos elementos de estabilización in situ, desde mallas de guiado hasta redes de cable ancladas mediante bulones.

Las dos fases de obra han supuesto la instalación de 15 barreras dinámicas de entre 4 y 8m de altura y con capacidades de absorción de energía de entre 1.500 y 5.000kJ que suman un total de 820 metros lineales de protección. En zonas de barranco, se instalaron 3 barreras de flujo de detritus para cubrir un total de 200m² en puntos estrechos de los cauces. El resto de medidas de estabilización in situ abarcan una superficie de talud de 11.490m².

Nº DE BARRERAS	CAP. (kJ)	LONG. (m)	ALT. (m)	OBSERVACIONES
2	1500	120	4-5	
2	2000	120	6	
8	3000	405	7	110m en galería dinámica, con cimentaciones especiales para la alineación de la barrera.
3	5000	175	7	

Tabla 1. Barreras dinámicas instaladas en las obras de la carretera TF-445.

Nº DE BARRERAS	CAPACIDAD (kJ)	ALTURA (m)	SUPERFICIE (m ²)
3	2000	6-10	200

Tabla 2. Barreras dinámicas de retención de flujos instaladas en las obras de la carretera TF-445.

SECTORES	DESCRIPCIÓN	CAP. (kN/m ²)	SUP. (m ²)
5	Malla de acero de triple torsión anclada con bastones de acero corrugado de 20mm.	1,6	9480
1	Malla de acero de triple torsión con refuerzos de cable anclada mediante bulones GEWI de 25mm cada 20m ²	7	1560
2	Red de cables acero de 8mm y luz de rombo de 300mm anclada mediante bulones GEWI de 25mm cada 16m ² .	10	450

Tabla 3. Estabilizaciones in situ instaladas en las obras de la carretera TF-445.

Para dichas zonas, el Informe Previo de Análisis de Riesgos definía y establecía una serie de soluciones cuyo importe en conjunto ascendía a unos 3 M€ después de impuestos. Sin embargo, tras la exhaustiva labor de campo y cálculos mediante simulación realizada en la

fase de proyecto, se pudieron dimensionar las diferentes soluciones de barreras dinámicas de una forma más eficiente, dando como resultado un coste final de las obras de 1,65M€ sin incluir el coeficiente de adjudicación del contratista (baja), lo que supone un ahorro de un 46% respecto al presupuesto inicial.

5. OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESPRENDIMIENTOS EN LA CARRETERA INSULAR TF-445. FASE DE EJECUCIÓN.

Como en cualquier otra actividad, de nada sirve un proceso brillante de estudio y diseño para el tratamiento del riesgo geológico si no se acompaña de una adecuada ejecución de las medidas adoptadas. En la obra en cuestión, desde los planteamientos teóricos iniciales, se fue consciente de la complejidad, exigencia técnica y riesgo asumido en la ejecución de las soluciones planteadas.

Debido a las cotas de trabajo y falta de acceso asumidos, se habilitaron vías de ascenso mediante cuerdas a cada uno de los tajos y se dotó todo el recorrido de anclajes seguros, líneas de vida, etc. No obstante, el equipo de trabajo no solo contaba con especialización y experiencia en la ejecución de las obras, sino que la tenía en las técnicas necesarias para manejarse en las condiciones impuestas por el entorno. A pesar de todo, el acceso a los tajos mencionados supuso ascensos por taludes con inclinación superior a 70°, con una inversión de tiempo de más de 30 minutos hasta alcanzarlos.

Dada la imposibilidad de realizar grandes acopios en las zonas de trabajo y la dureza y complejidad para su transporte manual, se ejecutó la instalación de varias tirolinas que facilitarían dichas labores.

Ante similar inconveniente para situar los compresores de aire necesarios en los propios tajos o en andenes cercanos, tanto por la escasez de espacio y la pendiente del terreno como por la extrema dificultad o imposibilidad de su transporte, se realizaron instalaciones de conducción de aire con tuberías semirrígidas y se utilizaron compresores de alta presión situados en la carretera.

A pesar de la desventaja en la producción, los mayores requerimientos de personal especializado y la dureza de trabajo que suponía, las dificultades mencionadas, obligaron a la utilización de los medios más ligeros posibles para acometer los anclajes de las barreras. Anclajes, por otro lado, que incluyeron perforaciones de elevada complejidad por las características de los materiales piroclásticos ya apuntadas.

En especial en los tramos de barreras colocados en niveles inferiores en la segunda fase de las actuaciones, la heterogeneidad de estratos y pendientes de los taludes ya reseñada, se sufragó mediante la ejecución de importantes pilares realizados en altura para mantener tanto el galibo como las prescripciones de instalación de las barreras.



Figura 5. Instalación de barreras mediante helicóptero (izda.). Ubicación de una de las barreras de retención de flujos y panorámica de barreras alineadas bajo ella (dcha.).

Las adversas condiciones de viento, siempre presentes en la zona, y la extrema proximidad al frente del talud a la que debía situarse el helicóptero supusieron un reto añadido para su utilización como medio de apoyo. Contar con un piloto experto en la zona, con un equipo de trabajadores con abultada experiencia de trabajo conjunto y realizar una planificación minuciosa permitió operaciones precisas y rápidas, que posibilitaron la elevación y simultánea fijación de los postes en sus bases en solo un día por cada una de las fases.

Por último, huelga decir que el trabajo conjunto de los técnicos de v-traverca, de los técnicos de Cabildo Insular y los propios redactores del proyecto, realizado con presencia in situ en cada punto de emplazamiento de las medidas de protección, permitieron solucionar de la forma más eficiente posible los detalles de replanteo surgidos por la ineludible diferencia entre la muy concreta topografía real y la más que aceptable información topográfica con la que se trabajó en las fases de proyecto.

6. CONCLUSIÓN.

Para concluir, insistimos en la conveniencia de un trabajo conjunto de verdaderos especialistas, de forma muy especial en formaciones geológicas tan particulares y heterogéneas como las que constituyen los terrenos volcánicos de Canarias.

Estos especialistas (técnicos encargados del proyecto, técnicos de la administración responsable de las infraestructuras protegidas y técnicos de la empresa ejecutora de los trabajos) han de cuidar y responsabilizarse de la eficiencia de las instalaciones, tanto en su diseño y ejecución como en la vigilancia de que ambos factores sean los correctos.

Opinamos que, por su ineficiencia, se deben abandonar diseños o proyectos estandarizados, con poca o insuficiente consideración de las particularidades del terreno al que se destinan, y huir de soluciones en apariencia válidas por su simpleza de ejecución y supuesto menor coste, o por facilitar el uso de meros criterios monetaristas en la fase de adjudicación.

Si cumplir con lo primero aboca a instalaciones de eficiencia superior, de una mayor correlación entre la disminución de riesgo y el coste, e incluso de precio final inferior. No hacerlo conduce a mayores costes, obras redundantes o instalaciones inutilizables o abandonadas y, no menos importante en nuestra opinión, la generalización del descrédito general tanto de los productos instalados y de los técnicos que proyectan su instalación como de la generalidad de las empresas que participan en la ejecución de las obras.



Figura 6. Impacto y fallo en barrera instalada en pasarela, GC-200 (izda.). Impacto y mantenimiento de gálibo mínimo en barrera instalada en pasarela, TF-445 (dcha.).

REFERENCIAS

- González de Vallejo, L.I., Hijazo, T., Ferrer M., Seisdedos, J. 2002. Geomechanical characterization of volcanic materials in Tenerife. Paper presented at the *ISRM International Symposium - EUROCK 2002*, Madeira, Portugal.
- Moura, F., Ribeiro e Sousa, L. 2002. Road tunnels at Madeira Island, Portugal. Paper presented at the *ISRM International Symposium - EUROCK 2002*, Madeira, Portugal.
- Poncela, R. 2015. Estudios geológicos aplicados a las obras públicas en terrenos volcánicos. En: Hernández, L.E., Santamarta, J.C., e ICOG (Editores) . *Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos. Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias*, pp. 225-248.
- Santamarta, J.C., Lario, R.J., Hernández, L.E. 2015. Problemas geotécnicos en las obras subterráneas de captación de aguas en terrenos volcánicos. En: Hernández, L.E., Santamarta, J.C., e ICOG (Editores) . *Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos. Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias*, pp. 157-173.