

Galería prefabricada de protección frente a caída de rocas en el tramo Nuevo-Congosto de la autovía A-23

Precast rock-fall protection gallery at Nuevo-Congosto section of A-23 motorway

Angel Jose LEON ALONSO

Ingeniero de caminos canales y puertos
TIERRA ARMADA SA
Ingeniero de proyectos
aleon@tierraarmada.com

Miguel PELAEZ RUIZ

Ingeniero de caminos canales y puertos
TIERRA ARMADA SA
Director Técnico
mpelaez@tierraarmada.com

RESUMEN

En marzo de 2016, se produjo un derrumbe en un desmonte de 290m de longitud y 37m de altura de la autovía A-23 en el tramo Nuevo-Congosto, que obligó al cierre de una de las calzadas. Para proteger la calzada de futuros desprendimientos, se proyectó y construyó una galería prefabricada, abierta en uno de sus lados, que permitió la apertura de la calzada en diciembre del mismo año. La galería está compuesta por estribos de contrafuerte, pilas, dinteles, vigas pretensadas, prelosas, impostas y encofrados de cargaderos todos ellos elementos prefabricados. La galería se cubrió posteriormente con tierras como elemento amortiguador del impacto de rocas.

ABSTRACT

In March 2016 a rock fall took place at a 290m long, 37m height cutting of A-23 motorway between Nuevo and Congosto de Isuela. The rock fall forced to close the roadway and gave rise to the construction of a one-side opened precast gallery. The motorway could be opened again in December 2016. The gallery is mainly composed by precast elements: abutment composed by counterfort walls and precast lost formworks for the seat-beams; deck composed by precast prestressed beams and pre-slabs; precast columns and lintels. Finally the top of the deck is surrounded by precast coping panels to retain the top fill used to reduce the impact of the rocks.

PALABRAS CLAVE: prefabricado, viga pretensada, caída de rocas, prelosa, imposta, muro.

KEYWORDS: precast, prestressed beams, rock fall, pre-slabs, coping panels, counterfort walls.

1. Descripción del desprendimiento del talud.

El 20 de marzo de 2016 tuvo lugar un desprendimiento de rocas en un talud situado en el kilómetro 377 de la autovía A-23, en Nuevo, que afectó a una de las calzadas (Fig 1). Desde esa fecha fue necesario realizar un desvío del tráfico por la otra calzada, por la que se circuló en modo bidireccional (un carril por sentido) hasta la reapertura de la calzada el 2 de diciembre del mismo año.



Figura 1. Panorámica del desprendimiento.

El talud afectado es un desmante de unos 290m de longitud, talud 1H: 4V y altura máxima de 37m. El talud estaba protegido por una malla de triple torsión que se rompe en parte al desprenderse el material permitiendo que este invada la calzada.

Del informe geotécnico del desprendimiento, realizado por el CEDEX en los días posteriores al desprendimiento, sabemos que la rotura se produjo en la zona inferior del desmante a favor del contacto entre las calizas tableadas inferiores y los paquetes de calizas micríticas masivas situadas sobre ellas. Las primeras constituyen una superficie de deslizamiento que hace que las segundas se desprendan en forma de cuña. En la figura 2 puede apreciarse la cuña una vez limpiada, así como otra cuña más pequeña que se había desprendido anteriormente.



Figura 2. Vista general de la cuña tras el desprendimiento

A la vista de esta problemática, el estudio mencionado concluye que debe realizarse un tratamiento del desmonte en su conjunto dado que el tipo de patología que se ha producido podría repetirse en múltiples zonas del mismo y propone finalmente tres soluciones posibles:

- Refuerzo y sostenimiento mediante bulones y redes de cable.
- Ejecución de una galería antidesprendimientos.
- Modificaciones de trazado.

Asimismo para la segunda de las soluciones, propone dos posibles tipos de galerías: un falso túnel o una galería antidesprendimientos a todo lo largo del desmonte objeto de estudio. Sobre ellos se dispondría un relleno granular destinado a actuar como elemento de estabilización de la zona inferior del desmonte y a proteger la galería frente al impacto provocado por posibles nuevos desprendimientos de la zona superior. Las soluciones manejadas, se esquematizan en la figura 3

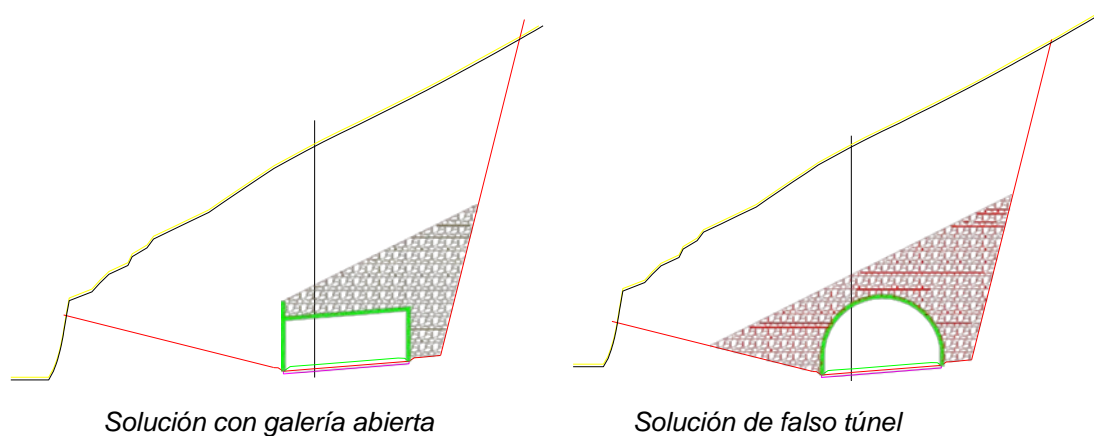


Figura 3. Vista general de la cuña tras el desprendimiento

Una vez estudiadas las distintas soluciones la actuación finalmente adoptada para resolver el problema fue la de realizar un tratamiento previo del talud con la instalación de 350 drenes californianos en las zonas de diaclasas con el objeto de extraer el agua del interior del macizo rocoso (principal causante del problema, agravado por estar situado el talud en una zona de umbría de frecuentes heladas), en el cosido de la roca mediante la instalación de 550 bulones de acero y en la protección con una red de cables acero y malla de triple torsión en una superficie de 3.980m^2 , para recoger eventuales desprendimientos de fragmentos de roca. Después de asegurar el talud, se construiría la galería abierta de 227 m de longitud y una altura libre de 5,50 m objeto de esta ponencia. Sobre la galería se dispondría un relleno de tierras para amortiguar el posible impacto de futuros desprendimientos. Ya se había construido en el mismo tramo una galería de 40m de longitud con la misma tipología, lo que facilitó la elección de esta solución prefabricada gracias a la rapidez de construcción que supone este sistema.

2. Bases del proyecto: Estudio del impacto de rocas y los empujes de tierras.

Antes de comenzar el proyecto definitivo de la galería cuya sección puede verse en la figura 4, se hizo necesario el estudio de las hipótesis de carga a tener en cuenta para el cálculo de la estructura. En este apartado nos centramos en dos puntos, por un lado los rellenos utilizados y por otro las acciones debidas al impacto de rocas sobre el relleno granular superior.

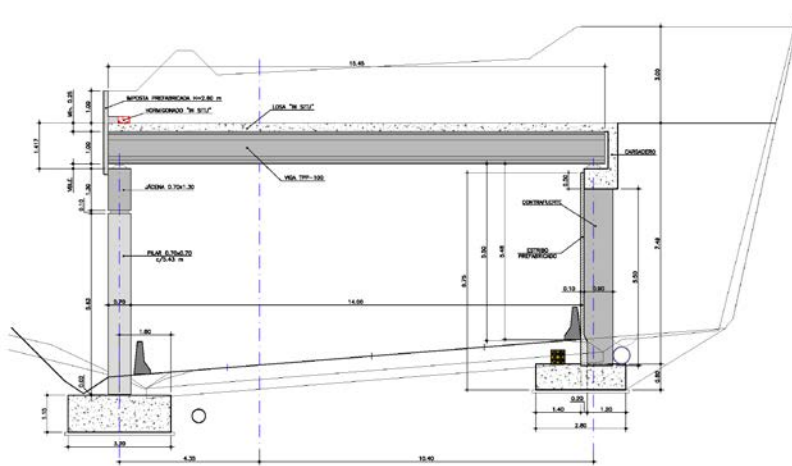


Figura 4. Sección transversal de la galería

2.1. Empujes de tierras.

Uno de los problemas de este tipo de estructuras abiertas es la transmisión de empujes del estribo a las pilas que producen fuerzas horizontales sobre dinteles y pilas que pueden llegar a ser dimensionantes. Otro condicionante asociado a este tipo de estructuras que se sitúan muy cerca de un talud es la necesidad de minimizar las zapatas de los estribos, tanto por estar excavadas en roca como por no descalzar el talud. Por último, la ejecución del relleno en el poco espacio entre estribo y talud constituye también una dificultad a la hora de la ejecución.

Por todos estos motivos, se optó por realizar el relleno con escollera hormigonada. Esto reduce los empujes del terreno y facilita la colocación. En el cálculo se consideró un relleno de peso específico 20kN/m^3 y coeficiente de empuje $K=0.1$ (0.17 antes del endurecimiento del hormigón).

2.2. Estudio del impacto de rocas.

Para el cálculo de las acciones debidas a los desprendimientos, se tuvo en cuenta el estudio realizado por Prointec el cual plantea dos hipótesis de carga sobre la losa superior, una carga dinámica debida a la caída de una cuña de material, y una carga estática debida a la rotura de la cuña y su división en el conjunto de la losa. Esta última se consideró de 30kN/m^2 . Ambas cargas no son concomitantes. La carga estática será considerada como sobrecarga de uso y la dinámica o impacto como carga accidental.

En este punto y sin profundizar en el tema, nos referiremos a los estudios realizados para evaluar el impacto. La caída de una cuña de material sobre la losa superior de la galería supone la transmisión de una energía de impacto sobre la misma. Parte de la energía es amortiguada por el material superior de relleno de la losa, y parte transmitida a la estructura, que debe ser capaz de

soportar este impacto. La mayoría de guías y normativas traducen esta acción dinámica en una tensión estática en la losa superior de la galería.

Para el cálculo de esa carga dinámica el documento de Prointec se basa en las siguientes normativas:

2.2.1. Normativa suiza: ASTRA 12 006, Actions de chutes de pierres sur les galeries de protection

Para el cálculo de la carga estática correspondiente a un impacto, la normativa suiza considera tanto las dimensiones y altura del bloque de cálculo, como el espesor y características del colchón de terreno y el tipo de rotura, dúctil o frágil, de la galería.

La formulación empleada por esta normativa se indica a continuación:

$$F_k = 2,8 \cdot e^{-0,5} \cdot r^{0,7} \cdot M_{E,k}^{0,4} \cdot \tan \varphi_k \cdot \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{2} \right)^{0,6}$$

$$t = \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{F_k} \right)$$

Donde

F_k (kN), valor de la fuerza de impacto

e (m), espesor del colchón de terreno sobre la losa, relleno

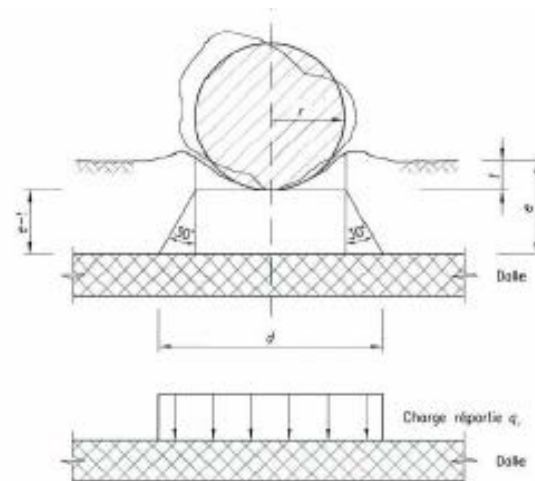
m_k (t), peso del bloque

r (m), radio teórico de la esfera del bloque

v_k (m/s), velocidad del impacto del bloque

$M_{E,k}$ (kN/m²), módulo estático de compresión del material del relleno

Y la distribución de carga sobre la losa seguiría el siguiente esquema:



2.2.2. Normativa japonesa: Formula of handbook of protections against rock falls, Japan Road Association

Por su lado, esta normativa emplea la siguiente formulación:

$$F_k = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{2/5} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \left(\frac{T}{D}\right)^{0.5}$$

Donde

- F_k (kN), valor de la fuerza de impacto
- m (t), peso del bloque
- H (m), altura de caída
- T (m), espesor del relleno
- D (m), diámetro equivalente del bloque
- λ (t/m²), constante de Lamé, 7,84 MPa

De la aplicación de las formulaciones anteriores a los bloques tipo que pueden desprenderse de los dos niveles inestables (superior e inferior), el estudio deduce los siguientes valores de carga estática equivalente, aplicables a las franjas que se indican de caída y rebote:

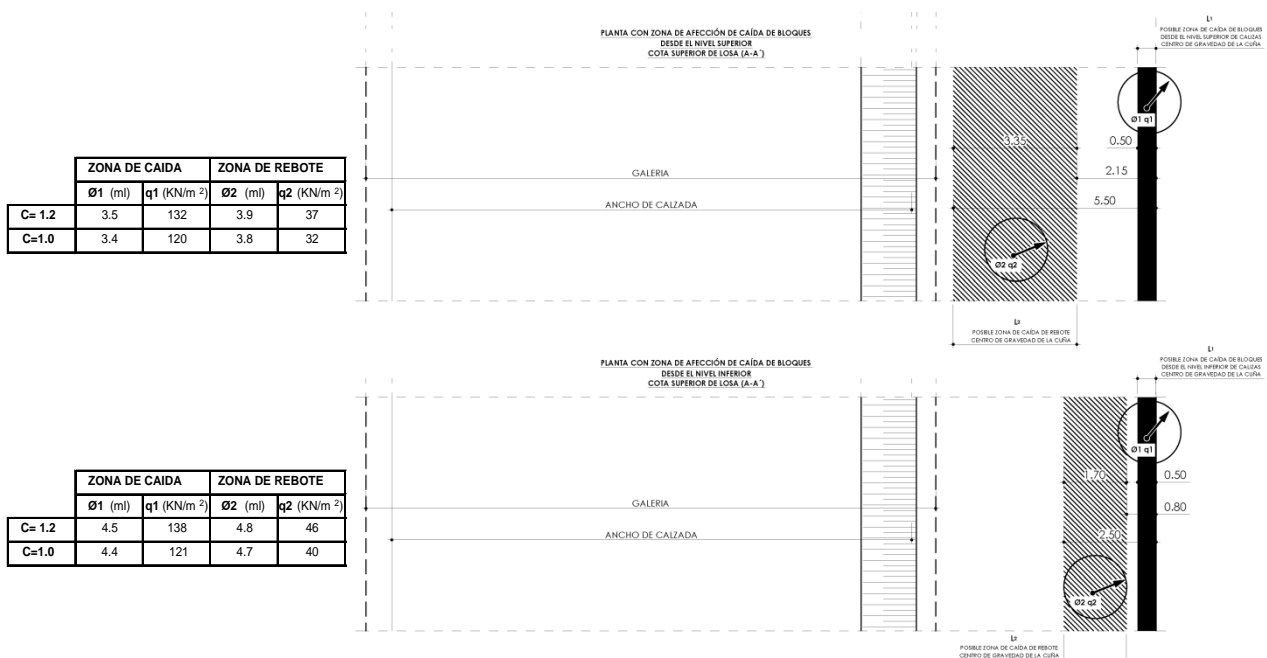


Figura 5. Cargas estáticas equivalentes al impacto de bloques

2.3. Sobrecargas consideradas

Finalmente y en base a las conclusiones de los estudios anteriores el cálculo de la galería se realizó con las siguientes sobrecargas:

2.3.1. Variables

- Sobrecarga de uso: 30KN/m² (correspondiente a la acumulación del material de desprendimiento de rocas del talud)
- Sobrecarga de nieve: 2 KN/m²
- Temperatura: 30°
- Viento: Según la IAP-11

Se consideraron los siguientes valores de combinación para estas acciones:

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga de uso	0.7	0.7	0.7
Sobrecarga de nieve	0.5	0.2	0.0
Temperatura	0.6	0.6	0.5
Viento	0.6	0.2	0.0

Tabla 1. Coeficientes de combinación de acciones

2.3.2. Accidentales

- Impacto de rocas: Se definieron cuatro cargas accidentales no concomitantes correspondientes al impacto de rocas que se desprenden del talud:

Nivel de caída	Zona de impacto	q (KN/m ²)	Ø (m)
Superior	Caída	132	3.50
Superior	Rebote	37	3.90
Inferior	Caída	138	4.50
Inferior	Rebote	46	4.80

Tabla 2. Sobrecarga de impacto

Los valores dados corresponden al nivel de la cota superior del tablero y se trata cargas uniformes de valor q distribuidas en un círculo de diámetro Ø.

3. Descripción de la galería y sus elementos prefabricados.

Pasamos ahora a describir la estructura finalmente realizada que es una galería formada por un tablero de vigas pretensadas que forman un techo plano y se apoyan en un extremo en un estribo de piezas prefabricadas que sostiene al talud y en el otro extremo en un pórtico formado por jácenas y pilares. La planta es curva. Sobre el tablero se coloca una montera de tierras variable entre 1m y 3m (ver figura 4 del anterior apartado)

La galería se divide en cinco tableros, cada 7 a 9 jácenas según el tramo. En la figura 6 puede verse un corte transversal.

El tablero se une, con continuidad de losa, al espaldón de la riostra del muro prefabricado. Las vigas TPP se apoyan en esa riostra y en la jácena opuesta con neoprenos 250x400x41(29); la unión entre pilar y jácena se realiza mediante neoprenos 250x650x41(29), taladrados para el paso, en el centro de los neoprenos, de 2Ø20 que se alojan en vainas previstas de la jácena; de modo que aunque la unión viga-jácena es articulada existe una sujeción adicional a corte transversal y vuelco a torsión: Toda la galería está en pendiente variable con máximo del 6%, lo que obliga a disponer cuñas en los apoyos de la jácena en el pilar, y a colocar la cota superior de zapata a distintas alturas para mantener pilares de longitud constante.

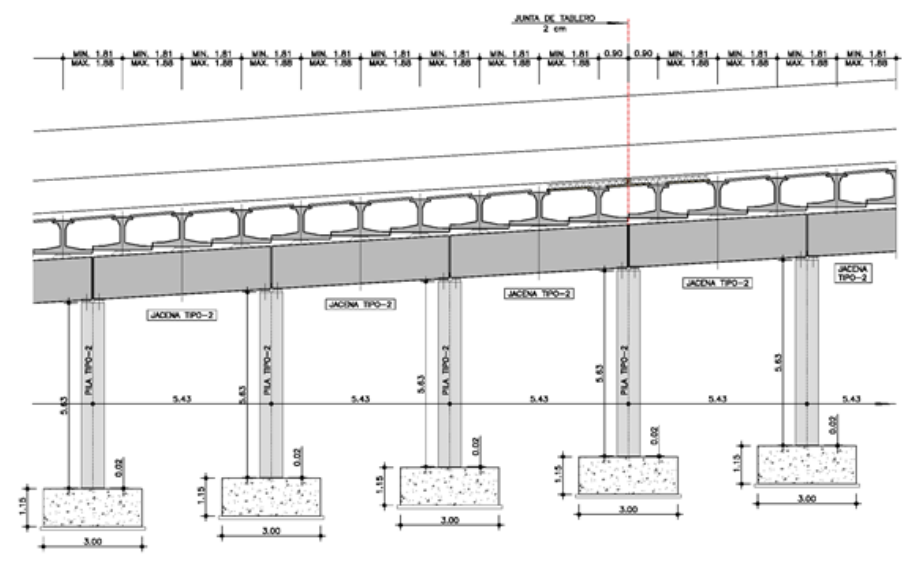


Figura 6. Sección transversal de la galería

3.1. Estribos

El estribo prefabricado, de altura 7.48 m sobre cimentación, se realiza con piezas nervadas de sección en π , ancho 2.4 m, nervio de espesor 20 cm y canto de 90 cm, coronado por un cargadero de hormigón "in situ", que une todas las piezas, y anclado en una zapata corrida de 80 cm de canto, mediante barras salientes.

Habitualmente este tipo de estribos prefabricados se rellenan antes de hormigonar el cargadero, de modo que este puede encofrarse y hormigonarse desde el relleno. Dada la urgencia de la obra y el tipo de relleno, en este caso se optó por hormigonar el cargadero antes de rellenar los estribos. Para ello se prepararon unas prelasas prefabricadas que, apoyadas sobre los contrafuertes, sirvieron de encofrado perdido inferior del cargadero (figura 7)



Figura 7. Colocación de prelasas para encofrado de cargaderos.

3.2. Pilas y dinteles

En el extremo opuesto al estribo reciben las vigas TPP 7 a 9 jácenas rectangulares por tablero de 21 a 27 vigas, de sección 0.7*1.3 m que apoyan en 8 a 10 pilares de sección 70x70cm y altura 5.65 m que se empotran con solución hierro saliente alojado en vainas rellenas de grout en zapatas aisladas de 3.2 x 3.0 x 1.15 m. (figura 8)



Figura 8. Estribos, pilas y dinteles

3.3. Tablero

Cada tablero está formado por 21, 24 ó 27 vigas de T invertida TPP100 de 100 cm de canto y ancho inferior 1.8 m separadas entre ejes de 1.81 y 1.88 m, longitud 15.45 m y luz de cálculo 14.75 m completadas con una losa de hormigón armado de 25 cm de espesor incluida la prelosa de 6 cm. Como puede verse en la figura 9, las alas inferiores de las vigas están separadas apenas 1cm entre ellas de modo que el aspecto interior de la galería simula un techo plano.



Figura 9. Vista de las vigas en T invertida

3.4. Impostas

Para completar el tablero cubriendo las vigas en el frente y laterales se colocaron las impostas de 2.60m de altura que pueden verse en la figura 10, apoyadas sobre la losa. Las impostas sobresalen 1m por encima de la losa sirviendo de sujeción al relleno superior de tierra.

La galería terminada puede verse en la figura 11.



Figura 10. Vista de galería en fase de colocación de impostas



Figura 11. Vista de galería terminada, en fase de relleno de tierras

Agradecimientos

Las empresas que han intervenido en esta obra son las siguientes:

Propiedad: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras

Asistencia geotécnica: CEDEX

Proyecto: Prointec

Construcción: U.T.E Nuevo-Congosto del Isuela

Prefabricación: Tierra Armada