

Falso túnel para protección de carretera frente a desprendimientos. N-260 Congosto de Ventamillo – Campo.

Cut-and-cover) tunnel to protect road against landslides. N-260 Congosto de Ventamillo - Campo.

Luis Sopena Corvinos^a, Juan Jesús Álvarez Andrés^b, Conchita Lucas Serrano^c, Miguel Estaún Ibáñez^d, Alejandro Marín Ibáñez^e, Jose María Morejón López^f, Alberto Ortega Giménez^g, Gabriel Sola Munárriz^h

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Ingeniero estructural Dirección Técnica. lsopenac@dragados.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Jefe Servicio Dirección Técnica. jjalvarez@dragados.com

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Jefe Departamento Dirección Técnica. clucass@dragados.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. STRUCRES ENGINEERING. Director Técnico. mestaun@strucres.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. STRUCRES ENGINEERING. Departamento Técnico. amarin@strucres.com

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Jefe de Obra. jmorejonl@dragados.com

^g Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS. Jefe de Producción. aortegag@dragados.com

^h Ingeniero en Geodesia y Cartografía. DRAGADOS. Jefe de Oficina Técnica. gsolam@dragados.com

RESUMEN

Durante los trabajos de ejecución del proyecto “Acondicionamiento de la N-260 Tramo Congosto de Ventamillo – Campo”, en la provincia de Huesca, se produce un desprendimiento en el desmonte D28. Se inicia entonces una obra de emergencia en la que, además de los trabajos de estabilización de dicho talud, se requiere de una estructura de protección frente a posibles futuros desprendimientos en esa zona, justo en el emboquille del túnel 1. La estructura de protección, con una longitud total de 64 m, se diseña como un falso túnel, tipo marco de hormigón armado, con dos zonas diferenciadas: la primera de 35 m de longitud, cerrada (con ventanas), y la segunda, de 29 m, abierta (visera en voladizo).

ABSTRACT

During the execution of the project ‘Conditioning of the N-260 Congosto de Ventamillo - Campo Section’, in the province of Huesca, a landslide occurred in the D28 cutting. An emergency work was then started in which, in addition to the works to stabilise the slope, a protective structure was required to prevent possible future landslides in that area, at the south portal of tunnel 1. The protection structure, with a total length of 64 m, is designed as a cut and cover tunnel, reinforced concrete frame, with two different areas: the first section, 35 m long, closed (with windows), and the second, 29 m long, open (cantilever lintel).

PALABRAS CLAVE: construcción de estructuras, falso túnel, protección, impacto, desprendimiento, visera, emergencia.

KEYWORDS: structural engineering, cut-and-cover, protection, impact, landslide, cantilever lintel, emergency.

1. Introducción

Durante los trabajos de ejecución del proyecto “Acondicionamiento de la N-260 Tramo Congosto del Ventamillo – Campo”, en la provincia de Huesca, se produjo un desprendimiento en el desmonte D28, situado junto al emboquille Sur del Túnel 1 de dicho proyecto. Se inició una obra de emergencia en la que, además de trabajos de estabilización de dicho talud, se requirió de una estructura de protección frente a posibles futuros desprendimientos en esa zona, entre el PK 7815+00 (emboquille sur del túnel 1) y el PK 7865+00).

Este lecho está contenido en su extremo por un peto de entre 2,00 y 2,60 m de altura que, además de dar una capacidad adicional de contención de los posibles desprendimientos, impide que éstos salten por encima y vayan al río.

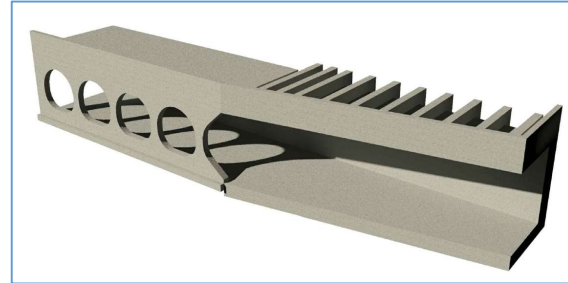


Figura 1. Render 3D del proyecto del falso túnel.

2. Descripción general.

La estructura de protección se diseña como un falso túnel de hormigón armado tipo marco. Además de proteger ese tramo de carretera frente a posibles desprendimientos, debe resolver la transición con el túnel 1 (resultante del cambio de trazado de la N260, metiéndose en esa zona dentro de la montaña), así como permitir el paso de vehículos por la carretera de servicio (antiguo trazado de la N260, que quedará por fuera del túnel). Por ello, hay dos zonas diferenciadas: la primera, en una longitud de 35 m (que incluye 2,50 m de transición con el túnel), pegada al emboquille del túnel, cerrada (con ventanas) y la segunda, en los restantes 29 m, abierta con dintel en voladizo para permitir el paso de vehículos por el desvío a la carretera de servicio por fuera del túnel (ver figura 1).

Para cumplir su función de protección frente a desprendimientos y resistir las acciones de las eventuales rocas caídas se define un lecho de amortiguación sobre el dintel, de 1,00 m de espesor total, que ayuda a recibir, amortiguar y repartir los impactos de los desprendimientos.

3. Estudio desprendimiento de rocas.

Para el cálculo de las acciones provenientes del desprendimiento de rocas se utiliza como referencia el Manual de la Japan Road Association 2000 [1], junto con un análisis de la morfología rocosa del talud. Tras un análisis detallado, se aplican las siguientes hipótesis:

- Acumulación máxima de material de desprendimientos menores hasta 3,00 m, compatible con caídas de rocas grandes puntuales.
- Caída de roca de 600 kg a 17 m de altura, sobre el lecho de amortiguación. Impacto equivalente de 49 t en 2,05 m².
- Caída de roca de 600 kg a 17 m de altura, sobre el material acumulado. Impacto equivalente de 26 t en 11,80 m².
- Caída de roca de 600 kg a 3 m de altura, sobre el lecho de amortiguación. Impacto equivalente de 17 t en 2,79 m².

4. Secciones tipo.

4.1 Sección tipo cerrada.

Los primeros 35 m tienen una sección típica de falso túnel en marco de hormigón, cerrada con ventanas para ganar en claridad y reducir el efecto túnel (ver figuras 2 y 3). Las dimensiones interiores son 11,30 m en horizontal y 8,00 m en vertical. El espesor de losa es de 1,00 m, el del muro de trasdós de 1,00 m y el del muro exterior de 0,80 m, con un dintel macizo de canto constante de 1,20 m. Todos los elementos son de hormigón armado.

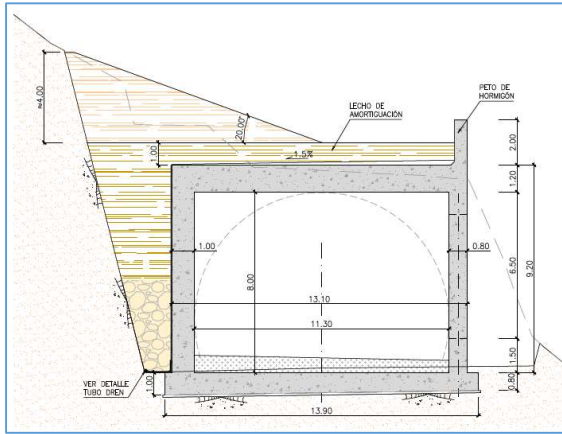


Figura 2. Sección transversal en zona cerrada.

En esta zona en el muro exterior se ejecutan unas aberturas o ventanas, 4 en total, con forma ovalada (con el objetivo de reducir el consumo de materiales en obra, añadiendo además valor estético a una estructura que va a quedar integrada en un entorno natural de gran valor) de 6 m de ancho por 5,50 m de alto, dejando 1,00 m de pared sólida entre las mismas.

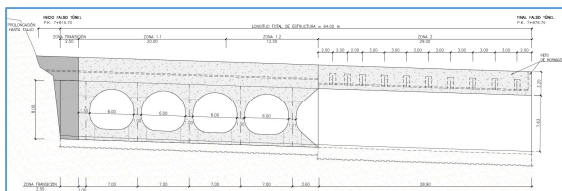


Figura 3. Alzado longitudinal falso túnel.

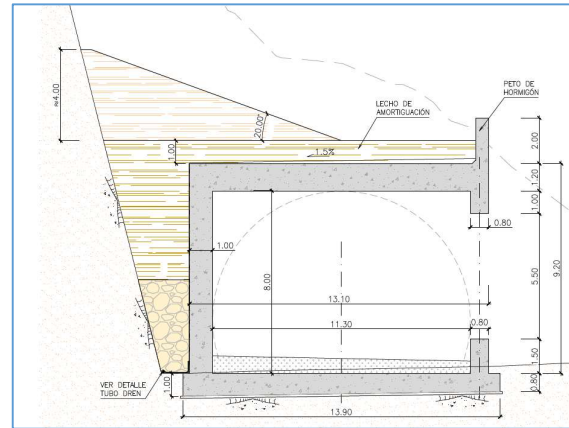


Figura 4. Sección transversal en zona cerrada por ventana.

4.2 Sección tipo abierta.

Los siguientes 29 m tienen una sección tipo diferente y menos habitual, totalmente abierta por el lado exterior, de forma que el dintel está en voladizo (ver figura 5), con una luz variable de 11,30 a 7,00 m. Como ya se ha indicado, esta condición viene impuesta por la necesidad de dejar paso al tramo del trazado actual por fuera del túnel, que queda como vía de servicio. Debido a la gran luz de este voladizo, la estructura resultante es compleja y difícil de dimensionar, especialmente frente a las hipótesis de impacto de rocas mencionadas anteriormente.

Para poder garantizar la estabilidad del conjunto, y resistir los esfuerzos, bajo esta configuración se materializan unos contrafuertes en el muro de trasdós que tienen continuidad en unos nervios o riostras de los que se dota al dintel, de 1,50 m de canto, 0,80 m de ancho y equiespaciadas 3,00 m (salvo en la zona de máximo voladizo que se colocan 3 riostras a 2,00 m de distancia). La solera es de 1,50 m de canto, el muro de trasdós de 1,00 m y el dintel nervado de 0,60 m. Todos los elementos de hormigón armado.

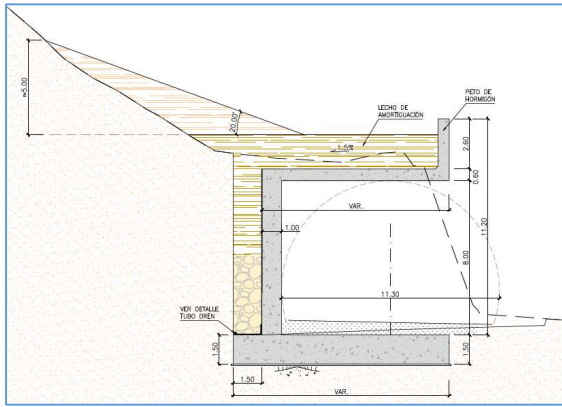


Figura 5. Sección transversal en zona abierta (visera).

En la figura 6 se muestra una sección transversal de la zona de visera, con contrafuertes y dintel nervado, en la que se aprecia la complejidad y la densidad de armado.

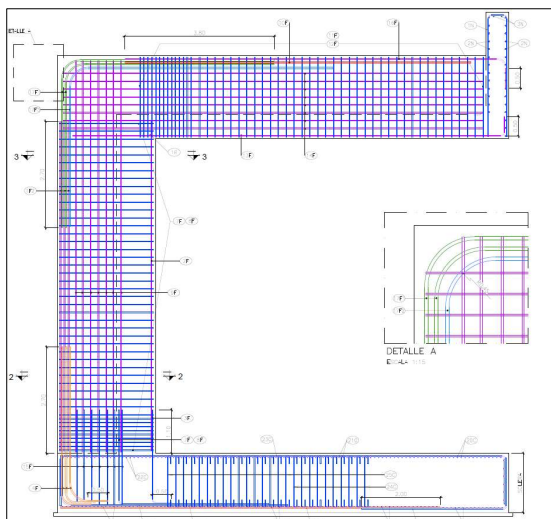


Figura 6. Sección de armado en zona de contrafuertes y visera nervada.

5. Proceso constructivo.

El proceso constructivo es mediante medios convencionales, encofrados y cimbras para ejecución in situ de elementos de hormigón armado, con la dificultad en algunos elementos de una alta densidad de armado derivada de los esfuerzos generados por el voladizo.

Al encontrarse esta estructura dentro de las actuaciones de ampliación de la N260 entre Campo y Congosto de Ventamillo, discurriendo

dicha carretera a media ladera y paralela al río Ésera, durante las distintas fases de ejecución del proceso constructivo fue necesario garantizar el paso de vehículos de emergencia, así como pasos alternativos de tráfico en determinados periodos de tiempo, para lo cual se aprovechó el trazado existente de la carretera por fuera del túnel, pero también hubo que adaptar ciertas fases de ejecución de solera principalmente de la zona abierta (zona de visera), donde se juntan los trazados nuevo y antiguo.

A continuación se detallan las distintas fases de ejecución de los diferentes elementos estructurales del falso túnel, con imágenes ilustrativas.

5.1 Ejecución de solera.

Una vez terminados los trabajos de estabilización del talud (bulones, anclajes, gunitado), se comenzó con los trabajos para ejecutar la solera del falso túnel, comenzando por la excavación, en terreno rocoso en su mayor parte, mediante medios mecánicos (ver figura 7).



Figura 7. Trabajos de preparación del terreno para apoyo de losa inferior.

Preparada la base de apoyo de la solera, se procedió al ferrallado in situ sobre el hormigón de limpieza (ver figura 7) y hormigonado mediante varias bombas estacionarias de forma simultánea (ver figuras 8 y 9).



Figura 8. Ferrallado de losa inferior y esperas para arranques de muros y contrafuertes.

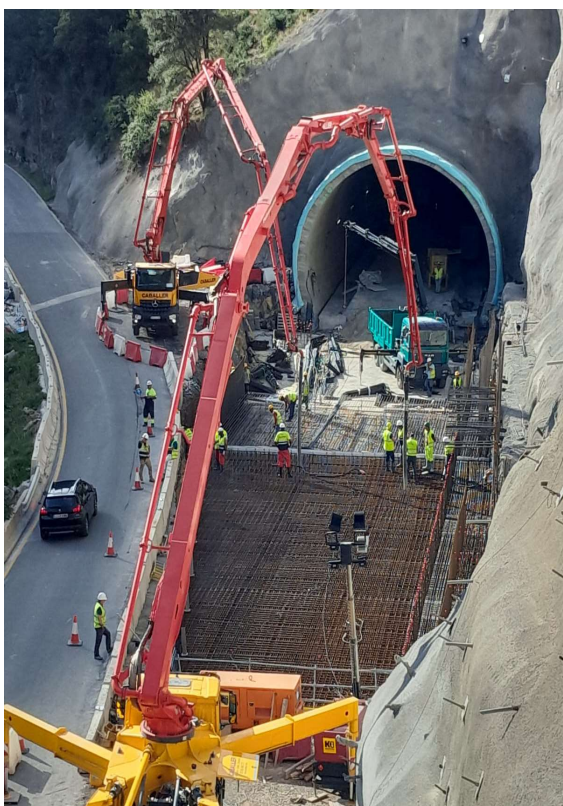


Figura 9. Hormigonado de losa inferior.

5.2 Ejecución de hastial izquierdo, zona 1.

Una vez hormigonada la solera, se procedió a la ejecución de los alzados, esto es, los hastiales. Se comenzó por el hastial izquierdo, el que da al talud, y dentro del mismo por la parte más cercana al túnel, denominada zona 1. A su vez, debido a la altura, se dividió su ejecución en 2 fases.

De esta manera, se procedió con el ferrallado, encofrado y hormigonado de la fase 1 (hasta unos 2,5 m de altura) de la zona 1 (unos

36 m en longitudinal desde el túnel) del hastial izquierdo (ver figuras 10 y 11).



Figura 10. Ferrallado y encofrado de zona 1 fase 1 de hastial izquierdo.

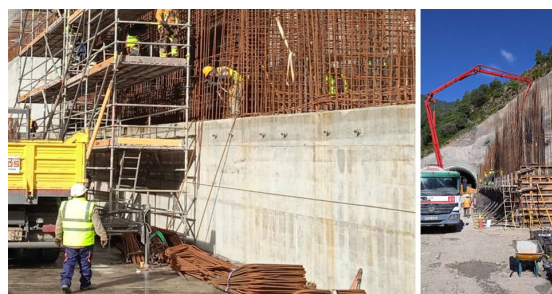


Figura 11. Encofrado y hormigonado de zona 1 fase 1 de hastial izquierdo.

Una vez la fase 1 tiene resistencia suficiente, se procedió al encofrado, ferrallado y hormigonado de la fase 2 (hasta coronación y entronque con dintel) de esta zona 1 del hastial izquierdo (ver figuras 12 y 13).



Figura 12. Ferrallado y encofrado de zona 1 fase 2 de hastial izquierdo.



Figura 13. Encofrado y hormigonado de zona 1 fase 2 de hastial izquierdo.

5.3 Ejecución de hastial derecho.

Con cierto solape con las actividades de ejecución de la zona 1 del hastial izquierdo, se comenzó con la ejecución del hastial derecho, el del lado río. Este hastial se dividió también en 2 fases en altura, siendo la primera (fase 1) la definida por la cota de comienzo de las ventanas, y segunda (fase 2) la zona de las ventanas. Ver figuras 14 y 15.



Figura 14. Ferrallado y encofrado de fase 1 de hastial derecho.



Figura 15. Hormigonado de fase 1 de hastial derecho.

Una vez hormigonada la fase 1, se comenzó con la fase 2, en la que destacan los encofrados, completamente artesanales, para la materialización de las ventanas ovaladas en este hastial. Dicha geometría complicó también la definición e instalación de ferralla, pero sobre todo la operación de hormigonado, siendo necesario adoptar diversas medidas que aseguraran la posición de los encofrados ovalados durante el hormigonado, soportando las presiones del hormigón fresco que en algún momento podían llegar a estar descompensadas.

Se procedió por tanto al ferrallado, colocación de encofrados y hormigonado de la fase 2 del hastial derecho, tal y como se muestra en las figuras 16, 17 y 18.



Figura 16. Ferrallado y encofrado de fase 2 de hastial derecho.

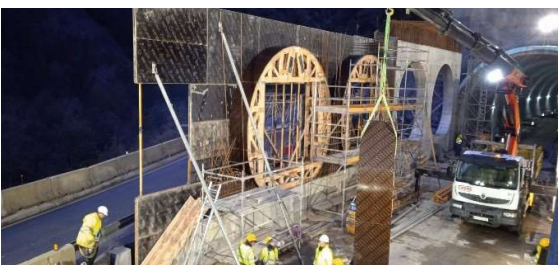


Figura 17. Ferrallado y encofrado de fase 2 de hastial derecho.



Figura 18. Hastial derecho ya hormigonado, con los encofrados ovalados para las ventanas sin retirar.

5.4 Ejecución de dintel, zona cerrada.

Solapando con la ejecución de los hastiales en la zona 2 (zona de visera) se comenzó con los trabajos de ejecución del dintel del falso túnel. Se procedió a la instalación de una cimbra cuajada, mediante torres de cimbra, y encofrado estándar

para dintel recto, para posteriormente instalar la ferralla y proceder al hormigonado mediante camión bomba, en diferentes etapas. Ver figuras 19 y 20.



Figura 19. Cimbra y encofrado para ejecución de dintel, zona cerrada.



Figura 20. Ferrallado del dintel en zona cerrada.

5.5 Ejecución de hastial izquierdo, zona 2.

Tal y como se ha comentado, dentro de la secuencia de ejecución, en la que se fueron solapando las actividades de ejecución de los distintos elementos, principalmente desde la boquilla del túnel hacia la zona abierta, se prosiguió con la ejecución del hastial izquierdo, el del lado ladera, en su zona 2 (zona de visera). Esta zona presenta la complejidad de los contrafuertes, elementos en el trasdós del muro, que además de la geometría presentan gran complejidad para su ferrallado debido a la alta densidad de armado que requieren. Ver figura 21.



Figura 21. Ferrallado, encofrado y hormigonado de zona 2 del hastial izquierdo. Contrafuertes.

5.6 Ejecución de dintel, zona abierta (visera).

Como ya se ha comentado, en la zona de la visera fue necesaria la materialización de unos potentes contrafuertes en el trasdós del hastial. Por un lado, dichos contrafuertes deben tener continuidad con el dintel, y por otro, el propio dintel necesita de un canto importante para soportar los esfuerzos del voladizo, así como para controlar la flecha. De esta manera, se le da continuidad a los contrafuertes en el dintel, a modo de refuerzos transversales, dotando al mismo de la capacidad resistente y rigidez necesarias y a su vez aligerando en gran medida respecto a una solución de dintel de canto constante. Ver figuras 22, 23 y 24.



Figura 23. Encofrado y hormigonado de contrafuertes en dintel.



Figura 22. Cimbra y encofrado para ejecución de dintel, zona abierta (visera).



Figura 24. Vista de nervios en dintel zona visera, ya hormigonados.

5.7 Ejecución de peto sobre dintel.

Por último, se procedió a la ejecución del peto de cierre sobre el dintel, tanto en zona cerrada como en zona abierta. Dicho peto tiene como

misión la de hacer de barrera de contención de posibles desprendimientos futuros de material de la ladera, especialmente los de tamaño mediano o pequeño, impidiendo que salten sobre la estructura y acaben en la vía de servicio o en el río. Ver figura 25.



Figura 25. Ferrallado y encofrado de peto lateral.

A continuación se muestran las figuras 26 y 27 en las que se observa la estructura ya terminada, a falta de algunos acabados.

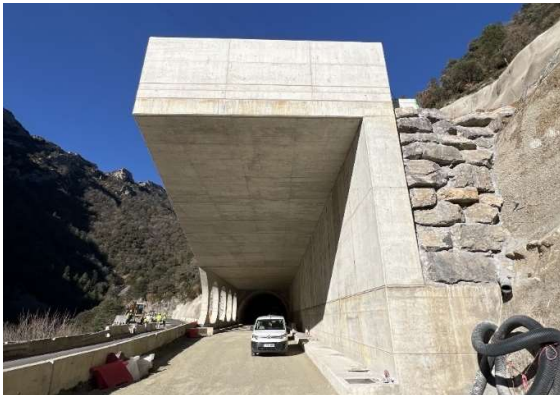


Figura 26. Estructura terminada. Vista desde zona de visera.

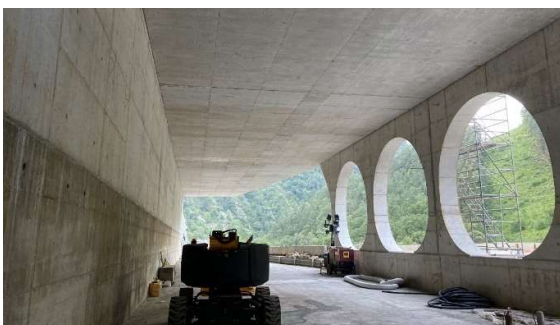


Figura 27. Estructura ya terminada. Vista desde el túnel (interior).

5.8 Ejecución de acabados.

Una vez terminada la estructura, se procedió a la ejecución del relleno del trasdós del hastial izquierdo (con grava hasta coronación, previa ejecución de drenaje en zona inferior), así como el relleno sobre el dintel de la misma. Dicho relleno tiene una misión estructural, como lecho amortiguador de posibles futuros impactos por desprendimiento de rocas, así como una misión estética, integrando mejor la estructura en la ladera y el entorno. Ver figuras 28 y 29.

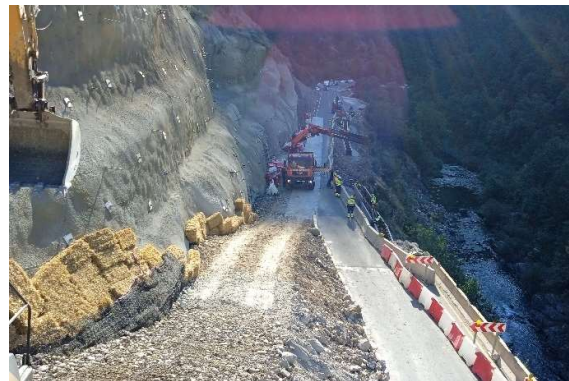


Figura 28. Ejecución de rampa de acceso para relleno sobre dintel.



Figura 29. Ejecución de relleno sobre dintel.

Dentro de los acabados, podría considerarse la transición con el emboquille del túnel, la cual se ejecutó solapando con otras actividades de ejecución del falso túnel. Ver figura 30.



Figura 30. Ejecución de transición con emboquille del túnel.

Finalmente, se procedió a instalar unos paneles de acero corten, que tienen como misión añadir valor estético a la estructura terminada. Ver figuras 31 y 32.

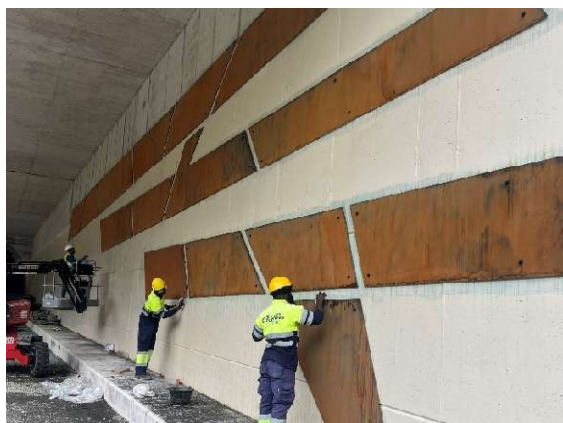


Figura 31. Instalación de paneles de acero corten en la cara vista del hastial izquierdo.



Figura 32. Instalación de paneles de acero corten en hastial izquierdo, peto y cierre con la ladera.

La construcción de esta estructura se llevó a cabo entre agosto de 2022 y julio de 2023, solapando con el resto de actividades de acondicionamiento de la carretera N260 entre Campo y el Congosto de Ventamillo.



Figura 33. Transición entre túnel y falso túnel, ya con las instalaciones y en servicio.

Agradecimientos

En primer lugar, al equipo de obra de DRAGADOS, no solo por sacar adelante un proyecto de gran complejidad técnica y logística, realizando enormes sacrificios, sino por toda la documentación y ayuda que han proporcionado para elaborar este documento. Mención especial a las diferentes áreas de la Dirección Técnica de DRAGADOS que se han involucrado en el proyecto, desde Obras Lineales, Materiales, Topografía, Geotecnia, Planificación y Métodos y Estructuras. Por último, aunque no menos importante, al equipo de Strucres, responsables de la redacción del proyecto y de la asistencia técnica a la obra.

Referencias

- [1] Japan Road Association: Rock fall countermeasure manual, 2000.