

LA FRONTERA DEL TÚNEL

D. Andreu Estany i Serra

Arquitecto

Esteyco, S.A.P.

En la mayoría de disciplinas especializadas las fronteras, los límites y las interacciones con elementos externos acostumbran a ser los entornos más difusos y de mayor variabilidad.

También en la ingeniería o en la arquitectura, las transiciones entre estructuras, espacios o entornos distintos son los elementos de mayor dificultad y de mayor grado de incertidumbre proyectual. Son, a su vez, los elementos que pueden desarrollarse con mayor creatividad y menos reglados, por la incertidumbre de cómo enfrentarse a ellos y por las posibilidades variadas de las propuestas que pueden acometerse.

Pasar de un entorno a otro, de una estructura a otra, siempre supone una turbulencia en el modo de proyectar infraestructuras lineales. Aparecen condiciones de contorno nuevas, entornos cambiantes, situaciones imprevistas y la necesidad de afrontar las posibles propuestas de un modo interdisciplinar.

El estudio de las transiciones entre estructuras no es un ámbito especializado en la ingeniería como puedan ser los túneles, los puentes y viaductos o el trazado, y por tanto necesitan de la intervención simultánea de especialistas en estos campos pero con una visión integradora y global del entorno y los condicionantes de cada una de las especialidades implicadas.

El paso de un túnel excavado en mina a un viaducto, o a otra estructura en falso túnel o a una estructura abierta para protección de desprendimientos, tiene por tanto muchas aproximaciones y puede ser abordado por distintos profesionales, siempre que se tenga en consideración la complejidad y las especificidades que se solapan en ese punto: la geología, la orografía, el trazado de la vía, la estructura del túnel, los temas de seguridad y evacuación, la señalización y las instalaciones propias y la relación de continuidad con otras estructuras.

No pueden darse reglas específicas de cómo deberían ser estas transiciones, ni como deberían resolverse los entornos de lo que podríamos llamar “la frontera del túnel” puesto que se trata de una decisión muy particular de diseño pero condicionada como se ha dicho por necesidades funcionales y estructurales, por la orografía, el entorno y el paisaje, los condicionantes socio-ambientales, el proceso constructivo, la disponibilidad de espacio y los desvíos de tráfico, etc...

El concepto de frontera del túnel podría materializarse en lo que llamamos comúnmente las bocas o emboquilles del túnel. Esta es, quizás, la zona más identificable de los túneles, la que le aporta visibilidad e identificación. Es la zona que puede apreciarse en una perspectiva amplia al aproximarse desde el exterior y por tanto, la que más se presta a una valoración estética, por su propia configuración y por ser el elemento de transición entre el túnel y el entorno, en el objetivo final de integrarse de algún modo en el paisaje.

Por su elevada visibilidad, la resolución satisfactoria de estos entornos de frontera son el reflejo del nivel de integración no solo de la propia estructura sino extensivamente de todo el trazado de una vía.



Figura 1. Procurar un buen “encaje” entre el paisaje, la orografía y las características de la carretera o vía ferroviaria, son objetivos necesarios e irrenunciables a la hora de proyectar estas estructuras.

La integración en el territorio

De la infinita casuística que puede confluír en cada caso particular a la hora de resolver la transición de un túnel al exterior, quizás hay una regla fundamental que debería abordarse en todos los casos: la integración de la boca en la orografía que la contiene y en el paisaje que la enmarca.

Este concepto de integración es en sí muy amplio y difícil de materializar, podríamos definirlo como el esfuerzo máximo a realizar por profesionales de distintas disciplinas: geólogos, biólogos, ingenieros, paisajistas,... para minimizar la afección de esta nueva cicatriz en el paisaje.

Existen medios y tecnologías específicas aplicables a la resolución de estos entornos de frontera, comúnmente muy complejos por la dificultad de restitución de excavaciones con taludes muy verticales o de vaciados importantes de laderas produciendo grandes brechas obligadas por condicionantes geológicos o por trazados en esviaje respecto a las laderas del terreno.

Generalmente no existen problemas técnicos irresolubles para abordar una buena integración de las boquillas y los entornos resultantes de la construcción del túnel, más bien se evidencia en muchos casos un cierto abandono en la resolución del problema por aspectos económicos o por minusvaloración de la importancia de los temas de integración y restitución paisajística y medioambiental.

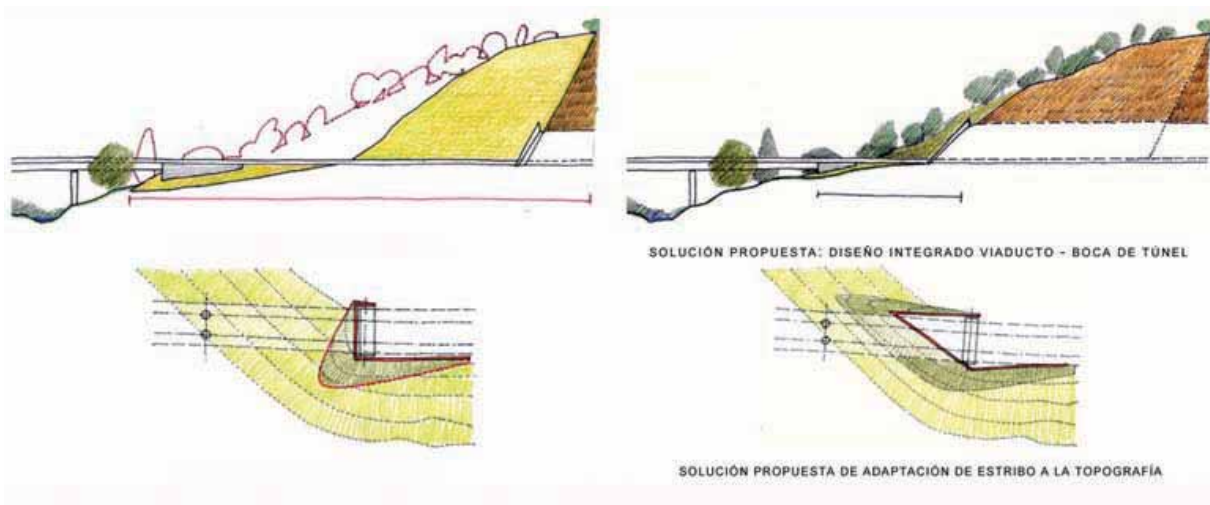


Figura 2. Procurar un buen “encaje” en el paisaje y restituir la orografía al estado inicial

La geología y la orografía del lugar son sin duda cuestiones relevantes a la hora de abordar la integración de una boca de un túnel. La geología porque es la que condiciona en primer lugar la construcción del túnel y la configuración de los extremos del mismo. La orografía porque finalmente habrá de restituirse el entorno afectado a un modelado adaptado en continuidad a las laderas limítrofes..

En frentes verticales en roca, los emboquilles casi pueden llegar a desaparecer por innecesarios, minimizándose a la implementación de los temas de seguridad y protección contra desprendimientos. La propia configuración de la roca, la belleza de los estratos o una decisión estética, pueden hacer innecesarios elementos de transición demasiado evidentes.



Figura 3. Túnel en mina en el parque nacional Zion en Utah Figura 4. Utilización publicitaria de una boca de túnel

En ocasiones cuando los estratos rocosos se encuentran a cierta profundidad, tratando de buscar roca sana, los emboquilles se profundizan contra el terreno natural mediante grandes desmontes, que posteriormente son restituidos construyendo largos túneles artificiales de emboquilles con su posterior relleno. Esta solución con mucha frecuencia genera importantes afecciones en los terrenos de frente de emboquille que finalmente deberán ser restituidos.

Esto implica nuevas estructuras añadidas al túnel, los falsos túneles de transición entre el túnel excavado y la topografía final, y paralelamente condicionantes de planificación, el acopio temporal de las tierras excavadas para su restitución final, y la recuperación y mantenimiento de la tierra vegetal para recuperar posteriormente el

sustrato vegetal sobre el terreno afectado por la obra. Implica también una labor de proyectación de disciplinas complementarias y en definitiva una aportación económica adicional.



Figura 5. Falso túnel y restitución topográfica

La integración, por tanto no es solo un concepto “estético” que se reduce a un acicalamiento final en forma de revegetación o de construcción final de elementos “puerta” del túnel, sino que nace simultáneamente con la conceptualización del proyecto de ingeniería entendido como un proceso interdisciplinar (geología, estructuras, topografía, trazado), que será el sustrato sobre el que se implementarán los acabados finales: plantaciones, muros, señalización, iluminación...

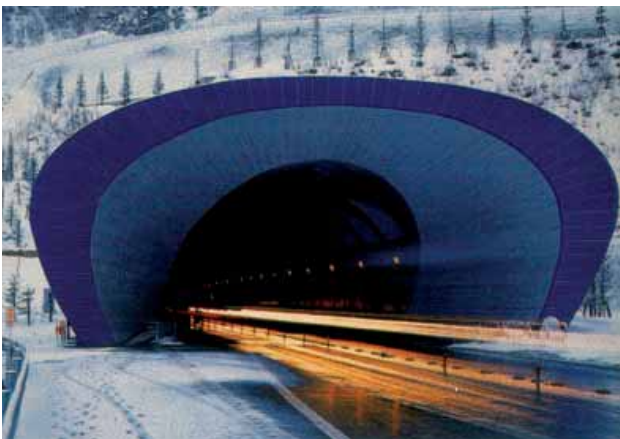


Figura 6. Túnel de Kan Etsu



Figura 7. Tunnel d'Orelle

Hay genéricamente dos maneras de abordar el entorno frontera y las boquillas de los túneles:

- por mimetización de la estructura en el entorno y la orografía
- mediante estructuras sobrepuestas al entorno y soluciones más diseñadas

La primera es quizás la más habitual y la más neutra en el paisaje. Son soluciones siempre correctas y exitosas cuando aportan además la implementación de otras disciplinas: paisajismo, adecuación topográfica,... Son soluciones que delatan la intención del proyectista de la infraestructura de intentar minimizar la afección de la nueva vía sobre el territorio, puesto que estos emboquilles suelen adaptarse estrictamente a la configuración y pendientes de las laderas sobre las que se insertan o atraviesan.

Es fácil encontrar muy buenos ejemplos de este tipo de emboquilles, de adecuada funcionalidad e integración en el entorno tanto en prolongación de bocas de los túneles excavados como en túneles artificiales.



Figura 8 y 9. Emboquilles integrados en el entorno

En el tramo Frankfurt-Köln del tren de alta velocidad alemán se han diseñado boquillas en hormigón que permiten adaptarse con la misma tipología a diferentes indicaciones de las laderas y se formalizan además como un elemento de protección que evita cualquier desprendimiento sobre la vía. Un elemento bien diseñado y de nulo mantenimiento, ya que al no existir redes de protección, barandas ni elementos metálicos evita labores de repintado, vandalización, sustitución, etc.



Figura 10 y 11. Bocas de túnel en el tramo ferroviario entre Frankfurt y Köln

La autopista A5 italiana en el tramo entre Aosta y el túnel del Montblanc atraviesa orografías muy abruptas que hacen necesaria la construcción de numerosos túneles en situaciones de topografías complejas con emboquilles muy esviados. Las soluciones de integración de las emboquilles y restauración de las laderas presentan soluciones muy adecuadas y con un nivel de acabados excepcional.



Figura 12 y 13. Restitución de túneles en la A5 italiana en el tramo entre Aosta y el túnel del Montblanc

En la salida del futuro túnel de la Conreria en Tiana (Barcelona), se realizó una adaptación de todo el entorno de salida del túnel para integrarlo a la situación urbana de ambos municipios permitiendo además la reordenación de varios equipamientos públicos, la canalización de un arroyo y la creación de un parque sobre los entornos de dominio público.



Figura 14 y 15. Restitución del entorno de la boca sur del túnel de la Conreria en Barcelona

La boca norte del futuro túnel entre Miribilla y Ametzola en Bilbao, exigía también esta labor de integración puesto que la propia boca por su situación y visibilidad iba a convertirse en un elemento más del futuro parque de la ladera de Irala.

Inicialmente, una pasarela peatonal diseñada desde un proyecto de arquitectura y el emboquille del túnel configurado según los condicionantes de un proyecto de ingeniería, iban a ocupar un mismo espacio físico. La solución, integrar ambas en un único elemento que resolviera las cuestiones programáticas, estéticas, constructivas y funcionales de ambos proyectos.

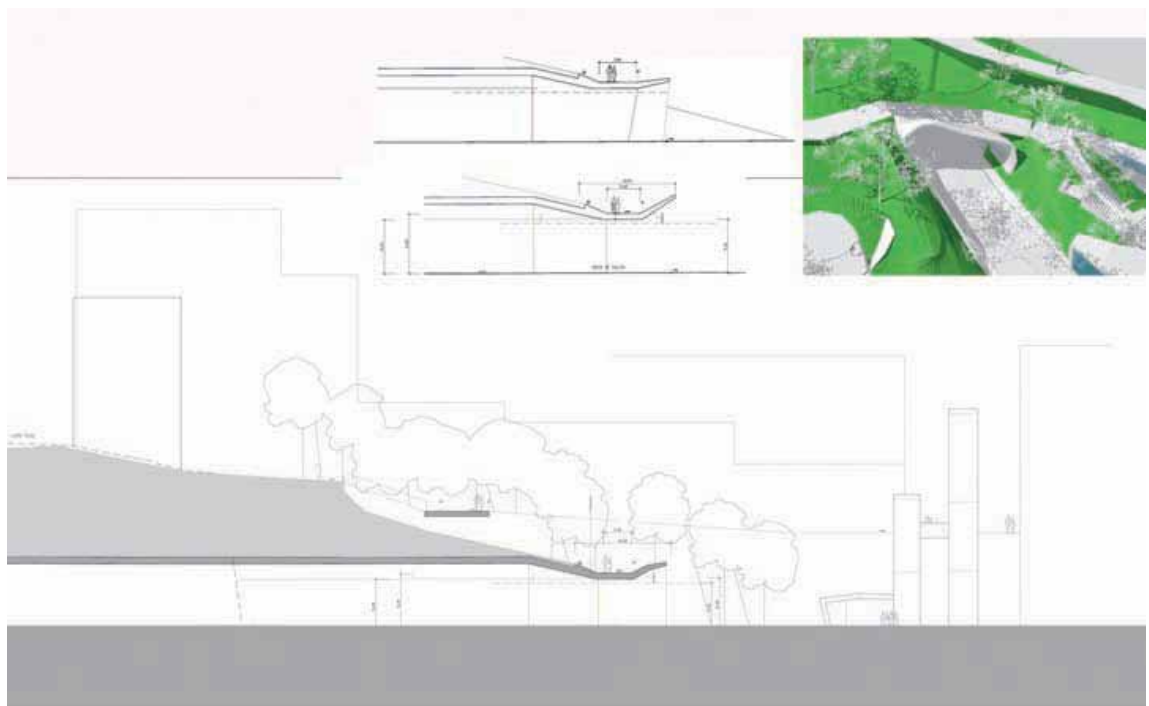


Figura 16 y 17. Perspectiva y detalles de la boca del futuro túnel entre Miribilla y Ametzola en Bilbao.

Las soluciones por “sobreposición” pueden considerarse otro camino de integración, más ligadas a un diseño mas personalizado o a la configuración de un hito, y se desarrollan generalmente en situaciones más complejas donde la restitución topográfica natural es compleja o inviable, o cuando es necesario incluir en la boca del túnel no solo el espacio necesario de paso, sino otras infraestructuras necesarias: edificio de control y vigilancia, espacios para las ventilaciones interiores, edificios para el suministro de energía, espacios de información y peajes, etc.. Son soluciones interesantes cuando no son excesivas o innecesariamente estéticas.



Figura 18. Acceso al túnel de Somport

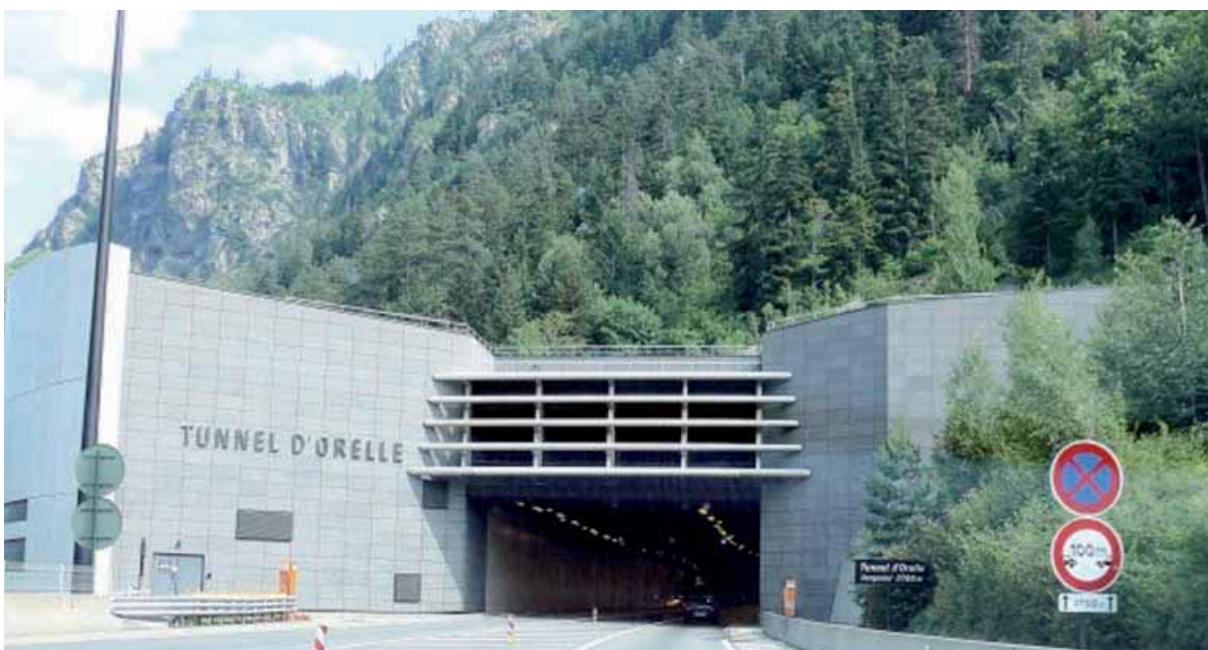


Figura 19. Túnel d'Orelle en la autopista francesa A43

Boquillas en transiciones complejas

La orografía y la geología condicionan el encaje de los emboquilles, tanto en su ubicación como en la dirección del eje de la vía. Conviene que en las boquillas el eje del túnel sea aproximadamente perpendicular a las curvas de nivel para facilitar el inicio de la obra, evitando empujes asimétricos sobre su bóveda precisamente donde la roca suele estar más meteorizada y donde aparecen materiales aluviales y coluviales. Por tanto, la posición de la boquilla condicionará la estabilidad de los taludes frontales y laterales de la trinchera de acceso.

La resolución correcta de estas situaciones exige habitualmente soluciones costosas y afectan no solo al ámbito estricto de la excavación sino que puede llegar a extenderse más allá para conseguir una armonización adecuada con el entorno inmediato.

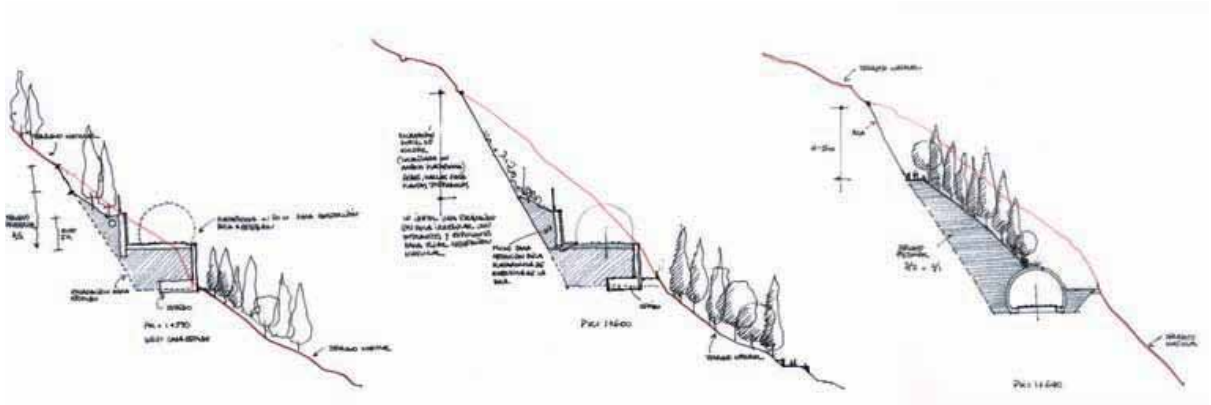


Figura 20, 21 y 22. Los tratamientos de estabilización de los taludes laterales abruptos pueden abordarse con soluciones más o menos “construidas”. Ejemplos en Austria y Francia.

Las transiciones túnel - viaducto

El trazado en planta debe tener en cuenta la conveniencia de no aproximar un túnel con un viaducto, con un enlace o intersección, etc. Sin embargo en terrenos abruptos o en trazados transversales a la dirección de los valles es inevitable la existencia de túneles y viaductos en continuidad, con la necesidad suplementaria de interponer caminos de acceso, salidas de emergencia, plataformas de maniobra o para instalaciones propias del túnel, etc.

Estas situaciones son muy específicas y precisan soluciones particulares ya que implican la interacción entre estructuras muy distintas y generalmente desarrolladas por diferentes profesionales. La complejidad de estas localizaciones hace además aconsejable la participación de otras especialidades para conseguir una integración final adecuada. La necesidad de esta interacción “obligada” hace que la mayoría de estas situaciones se resuelvan con proyectos multidisciplinarios entre ingenieros, arquitectos y paisajistas con resultados habitualmente satisfactorios.



Figuras 23, 24, 25 y 26. Ejemplos de continuidad entre estructuras de túneles y viaductos

Otros condicionantes

En la ubicación de las boquillas y los espacios de transición existe otro condicionante a implementar como es la conveniencia de disponer de espacios amplios en su proximidad para las instalaciones de obra. Las instalaciones definitivas como el edificio de control, transformadores eléctricos, instalaciones de ventilación, etc., suelen ocupar menos superficies que las de obra, pero al ser permanentes necesitan ser proyectadas para su funcionalidad y de integración en el entorno.

En túneles urbanos o de gran longitud y condicionados por la trascendencia de este tipo de obras, estas instalaciones suelen proyectarse de modo interdisciplinar entre arquitectos e ingenieros resultando en la mayoría de los casos elementos configurados como hitos en el entorno, con diseños muy cuidados.

En proyectos de menor entidad sin embargo no se invierte la misma atención en el cuidado de los acabados y la disposición de los elementos construidos para albergar las instalaciones necesarias o los elementos de seguridad.



Figuras 26 y 27. Elementos espacios no proyectados afean el aspecto del emboquille.

Es importante cuidar los acabados de las boquillas y su integración en el paisaje, evitando caer en una decoración excesiva que pueda distraer la atención e incluso resultar antiestética y poco acorde con su finalidad funcional. Como criterio general, debe procurarse restituir las laderas naturales de los frentes de emboquilles a una situación lo mas aproximada posible a su condición inicial.