

ELS TÚNELS FERROVIARIS A LA COLLADA DE TOSES

JOSEP SURIOL CASTELLVÍ

ETS D'ENGINYERS DE CAMINS, CANALS I PORTS, UPC.

jose.suriol@upc.edu

Paraules clau: *túnel, ferrocarril, excavació*

The railway tunnels in the Toses Mountain pass

Summary: At the beginning of the 20th century, and within the train network connecting to France, there was a project to extend the train network Barcelona-Ripoll to Ribes de Freser and from there, crossing the Toses pass, to Puigcerdà in order to finally reach France. To overcome the Toses pass, two tunnels were excavated: a 1.057 m helicoidally tunnel and a 3.904 m rectilinear one. The tunnel of Toses presented significant difficulties, especially at heights ranging 1.700-1.800 m from the entry (at Ribes' side). Further to the lining initially planned, the stresses generated were greater than the rock's strength. Thus, to solve the difficulties it was necessary to modify the excavation method, initially the Belgium system, and to coat the tunnel by over excavating the gallery and using linings of up to 3 m wide. Drilling started in September 1911 and ended in February 1919.

Key words: *tunnel, railway, excavation*

1. Introducció

Una característica rellevant del ferrocarril és la baixa fricció que ofereix la roda en rodar sobre el carril, això suposa un important estalvi d'energia sobre d'altres tipus de transport rodat. Aquest fet implica, però, un inconvenient en tractar de vèncer pendents més enllà d'un 3-4%, en ferrocarrils de via ampla, atès que la fricció mobilitzada no

permet obtenir la reacció suficient per tal de compensar el parell motor aplicat. Aquesta limitació del ferrocarril ja va ser constatada als seus inicis; malgrat tot, els enginyers han tractat de superar aquesta dificultat amb diverses solucions. Per tal de vèncer pendents elevats hi ha almenys tres formes de fer-ho: la primera consisteix a projectar corbes de ferradura on la via va girant per tal d'anar guanyant cota, tot tenint en compte el radi mínim de gir (n'hi ha molts exemples); la segona en un traçat en ziga-zaga on el tren canvia de direcció capiculant-se en diversos trams (és el cas del ferrocarril transandí de Lima) i una tercera opció és la del túnel d'helicoide on dins l'excavació es guanya cota de forma continuada. Altres solucions poden ser la via amb cremallera, que obliga a una inversió elevada, i el pla inclinat, on el tren és estirat amb un cable i un motor auxiliar situat a la part alta; ambdues solucions són costoses i s'apliquen quan no hi ha cap altra solució possible.

Pel que fa als túnels a què es fa referència en el present treball, se situen ambdós a la línia de ferrocarril Barcelona - Puigcerdà - La Tor de Querol (França), tot passant per Ribes de Freser i Ripoll. Aquesta línia ferroviària, amb un total de quaranta túnels de diversa categoria, travessa la collada de Toses mitjançant els túnels del Cargol i de Toses, excavats entre el setembre de l'any 1911 i el febrer del 1919. Ambdós túnels se situen a la línia de via única i permeten salvar la complicada orografia de la zona on el ferrocarril s'enfila fins a la cota 1.494 m, la més alta de la península Ibèrica.

Després de notables dificultats, el 10 d'agost de 1919 arribava l'esperat ferrocarril a Ribes de Freser, el 12 de juliol de 1922 a la Molina i, finalment, el 22 d'octubre a Puigcerdà on va ser rebut amb una gran expectació. Cal indicar que l'enllaç internacional amb França no es va produir fins a l'any 1929, un cop superats els problemes d'electrificació de la línia deguts a les dificultats sorgides com a conseqüència del traçat; a la part espanyola la tracció es feia de forma provisional amb locomotora de vapor.

El present treball pretén estudiar els aspectes tècnics que van envoltar l'obra d'enginyeria civil, centrada especialment en la perforació dels túnels esmentats. D'altra banda, cal destacar la importància social que l'obra va tenir a l'època per tal de comunicar les valls de la Cerdanya amb la resta de Catalunya; era efectivament una època en què ja s'havia consolidat l'esforç per tal de connectar tots els racons d'Espanya a través del ferrocarril. També era previst connectar Espanya i França a través dels Pirineus centrals amb ferrocarril, un projecte que s'havia anat retardant des de finals del segle XIX i que implicava decidir entre diverses solucions territorials possibles. Al treball també es fa èmfasi en les dificultats que van haver de vèncer tant l'enginyer director com l'equip de tècnics i operaris per tal que l'obra pogués acabar-se en el termini preestablert.

Cal senyalar de nou que la connexió amb França per ferrocarril a través de la serralada dels Pirineus era una vella aspiració de les forces econòmiques d'ambdós països; així, l'any 1870 s'havien reunit enginyers d'ambdós països per tal d'estudiar una solució, i el 1879 ja s'havien presentat com a possibles solucions la de Canfranc, la que hauria de travessar la part alta del riu Cinca (Osca) i la de Lleida travessant la vall del riu Noguera Pallaresa (Fuster, 1926: 163 i s).

Els diferents interessos territorials posats en joc van retardar un acord sobre l'execució dels projectes esmentats. L'any 1904 es proposà un projecte alternatiu consistent a prolongar la línia de Ripoll fins a Puigcerdà i d'allà travessar cap a França; calia construir, però, 51 km de línia per una orografia complicada; l'Estat el subvencionaria, com la resta de projectes de ferrocarril, a raó de 100.000 pta./km. Aquest nou projecte escurçava la distància entre Barcelona i París en 156 km, però tenia l'escull de la Collada de Toses; inicialment, el cost total del recorregut inclosos els túnels s'estimava en 50 Mpta. Atès que la subvenció de l'Estat era igual per a tots els projectes, el de Toses esdevenia desafavorit per la seva complicació tècnica, i aleshores es va demanar una subvenció proporcional al cost del projecte (Suriol, 2000: 102).

Després d'un llarg procés d'estira i arrossa, el 18 d'agost de 1904 es va signar a París un conveni entre Espanya i França per tal de connectar ambdós països a través d'una línia de ferrocarril que hauria de circular per l'eix Ripoll - Puigcerdà - Aux les Termes (ROP, 1904: 499 i s). El projecte de línia aprovat era d'un sol sentit de circulació i havia de salvar, pel costat espanyol, la collada de Toses; la figura 1 mostra el traçat i la ubicació dels túnels. Com ja s'ha apuntat, la línia tenia aleshores una gran importància social, atès l'aïllament tradicional dels habitants de la Cerdanya respecte de la resta del territori espanyol i també perquè la connexió amb França era preferent des d'un punt de vista estratègic. Malgrat tot, cal senyalar que l'any 1906 es va emetre un informe considerant que el traçat era del tot inadmissible ateses les rasants previsible i l'orografia de la zona (ROP, 1906: 418). Les dificultats aparegudes van fer que l'any 1907 encara no s'hagués ratificat el conveni esmentat.



Figura 1. Situació dels túnels del Cargol i de Toses a la línia de ferrocarril Ripoll - Puigcerdà - Aux les Termes.

Font: GENERALITAT DE CATALUNYA (2004) «Hipermapa. Atles Electrònic de Catalunya», www.gencat.cat, DPTOP, Barcelona.

Malgrat l'endarreriment de l'obra que finalment havia de permetre la circulació del ferrocarril, fonamentalment a causa de la dificultat de coordinar tots els interessos posats en joc, l'excavació del túnel de Toses es va dur a terme entre el mes de setembre de l'any 1911 i el mes de febrer del 1919. L'enginyer director de l'obra va ser Ramon Martínez de Velasco, enginyer de camins, canals i ports. La responsabilitat territorial de l'obra civil era de l'enginyer Josep Maria Fuster, aleshores cap d'estudis i construccions dels ferrocarrils del nord-est, segons la divisió territorial ferroviària de l'època; cal indicar que el seu antecessor, l'enginyer Vicente Salinas, ocupava aquest càrrec quan es va fer el projecte (Fuster, 1926: 167).

L'obra civil es va concedir a una societat comanditària formada per tres socis i un d'ells, el Sr. Retuerta, en tenia la direcció delegada; des del primer moment es va instal·lar a Toses i es va fer càrrec de l'obra. Un accident dissortat va provocar l'electrocució i mort de Retuerta i del metge que el va anar a socórrer. Legalment la societat havia de dissoldre's i formar-se'n una de nova, atès que la viuda no podia representar-la legalment. Aleshores es va pactar que el liquidador de la Societat, en aquest cas l'Estat, podia continuar l'obra assumint una indemnització a la concessionària. Una reial ordre de juliol de 1917 acceptava el dictamen del Consell d'Estat i rescindia el contracte; des d'un punt de vista legal, el setembre de l'any 1917 el conflicte va quedar resolt. L'estat de coses es va complicar una mica més encara atès que s'estava negociant un reformat que havia de suposar un augment del 20% sobre el contracte inicial.

L'Administració estatal va resoldre que continuessin els treballs assumint-ne totalment el cost i ordenant la direcció tècnica al cos d'enginyers de camins, canals i ports. Cal senyalar que les gestions de l'enginyer Velasco van permetre disposar de la maquinària de l'anterior concessionari; així, el juliol de 1918 es van iniciar de nou les obres. A la Taula I es mostra l'estat de les obres al túnel de Toses en el moment de fer-se'n càrrec l'Estat, que estava decidit a assumir tot el cost que se'n derivés mentre s'acabessin les obres al més aviat possible. Efectivament, segons Fuster, i malgrat els problemes tècnics que es van haver de resoldre,

Taula I. Estat de les obres al túnel de Toses en fer-se'n càrrec l'Administració el juliol de l'any 1918.

Tasca	boca sud (m)	boca nord (m)
Avanç	2.208	956
Volta	2.132	891-902
Destrossa	2.027	238
Estreps	2.000	196-223
Contravolta	1.960	196-214

Font: Fuster, 1919: 270.

les obres de perforació dels túnels es van acabar l'any 1919, dos anys abans del que inicialment s'havia previst i amb un cost favorable per a l'Administració.

Tal com s'ha indicat, el 10 d'agost de 1919 es va inaugurar oficialment el tram de Ribes a Ripoll. A l'acte hi va assistir una nodrida representació de les institucions governamentals i catalanes; cal destacar la presència de Cambó que, com a ministre de Foment, havia fet una important tasca en favor de la línia objecte d'estudi (Maluquer, 1919: 425 i s).

2. El túnel del Cargol

Pel que fa al túnel del Cargol, tal com s'ha indicat, és de traça helicoidal i representa una solució adient a la dificultat de vèncer una diferència de cota important en un tram curt voltat de muntanyes; efectivament, amb un tram rectilini no es podia mantenir el pendent màxim exigut pel ferrocarril. El túnel té forma d'helicoide complet d'un sol anell i està constituït per dos trams excavats amb un tram exterior entre ells; cal senyalar que la construcció deixa la sortida del segon tram excavat pràcticament sobre la boca d'entrada del primer tram. La Figura 2 mostra un perfil longitudinal de la galeria excavada.

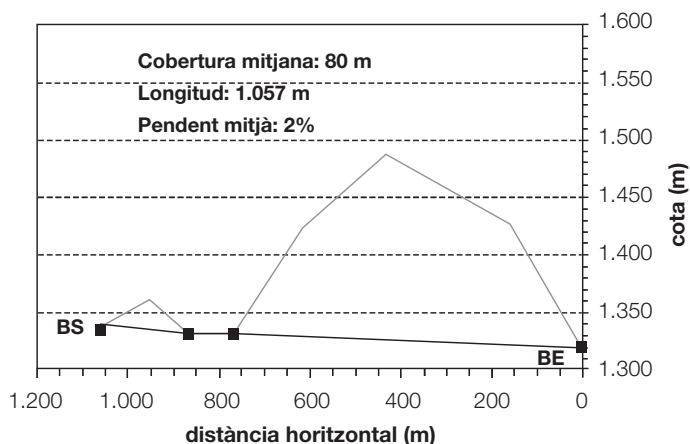


Figura 2. Perfil longitudinal del túnel del Cargol amb la posició de la boca d'entrada i la de sortida juntament amb el tram exterior de 150 m.

Font: Elaboració pròpia.

En concret es presentava la dificultat de vèncer una diferència de cota d'uns 20 m en una distància horitzontal d'uns 50 m; el pendent resultant en un tram rectilini és impossible de vèncer directament pel ferrocarril. Tal com s'ha indicat, a d'altres països s'havia optat per estirar el tren mitjançant un cable o bé per la solució de ziga-zaga emprada en diversos projectes. La solució adoptada va ser la d'excavar un túnel de traça circular dins de la muntanya per tal de guanyar cota; el projecte va establir un pendent mitjà del 2%.

La longitud total de túnel del Cargol és de 1.057 m que es despleguen sobre un helicoide d'aproximadament 170 m de radi. No va haver-hi especials dificultats en l'excavació d'ambdós trams atesa la bona qualitat de la roca. D'altra banda, a la figura 3 es mostra l'aspecte exterior de la zona on es va excavar el túnel i també un aspecte interior de l'excavació on es pot apreciar la forma totalment manual d'avançar.

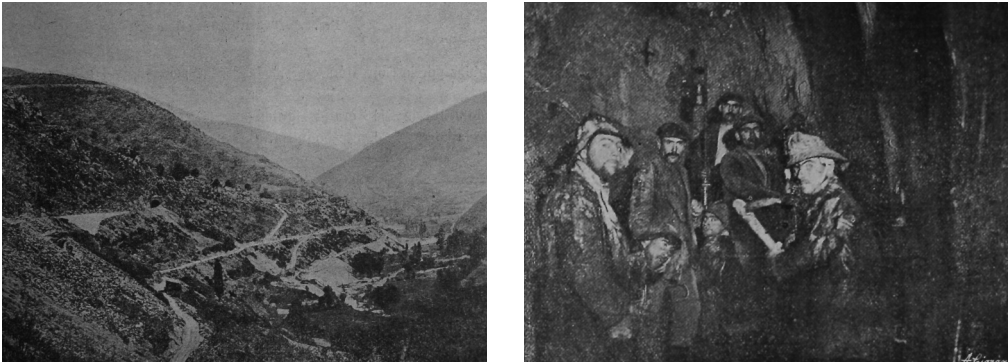


Figura 3. A l'esquerra, l'entrada i la sortida del túnel del Cargol; a la dreta, aspecte de l'excavació l'any 1913.

Font: Fuster, 1919: 269 i 271.

Pel que fa a l'estat actual del túnel del Cargol, cal indicar que el Ministeri de Foment, a través de l'empresa pública ADIF, va aprovar el gener de 2007 la concessió de 373.000 € per a la millora de la il·luminació. Aquesta inversió se situa en el marc d'un pla d'actuació per tal de millorar 24 túnels ferroviaris a Catalunya; la inversió prevista és de 5 M € (El Periòdic d'Andorra, 2007).

3. El túnel de Toses

El segon dels túnels considerats al present treball és el de Toses, que té una longitud total de 3.904 m incloent-hi els 200 m de fals túnel a la sortida. El túnel és de traça rectilínia amb un pendent mitjà de l'1,6 %, malgrat que en algun tram arriba al 3%, un límit que difícilment podien superar les locomotores d'aleshores. La figura 4 mostra un perfil longitudinal del túnel.

Les obres es van iniciar a la boca d'entrada (costat de Ribes) el setembre del 1911; i quant a la boca de sortida (costat de Puigcerdà), es van iniciar a l'estiu del 1912. El mètode d'excavació emprat va ser el conegut sistema Belga, que consisteix a realitzar un avanç manual a secció parcial al qual segueix la construcció de la volta, després es fa la destrossa (*stross*) dels laterals i la construcció dels estreps; finalment, es construeix la contravolta que constitueix la solera del túnel. La figura 5 mostra una seqüència del procés. Les rasants es van establir amb les següents condicions: de 0 a 2.625 m (des de l'inici fins a Toses) amb un pendent del 3%; després, un tram horitzontal de 150 m, i la resta (860 m) amb un pendent del 0,6%. La secció del túnel, lleugerament bombada, és de 30 m² i la volta té un radi de 2,60 m.

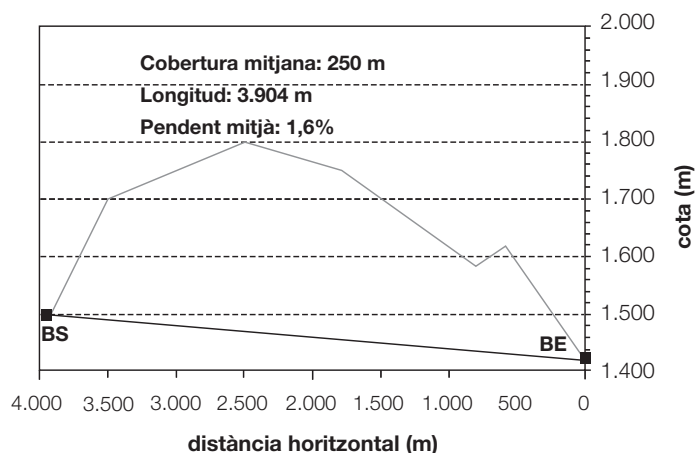


Figura 4. Perfil longitudinal del túnel de Toses. Posició de les boques d'entrada (costat de Ribes) i sortida (costat de Puigcerdà).

Font: Elaboració pròpia.

Durant l'excavació apareixen esquerdes als 500 i als 900 m, des de la boca d'entrada, que són qualificades de lleus. Als 1.720 m de la mateixa boca apareixen esquerdes considerades greus (juny de 1915). Per tal d'analitzar el problema plantejat, es van treure testimonis de roca i es va comprovar la seva càrrega de trencada a compressió simple a l'Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid; els resultats obtinguts al laboratori donaven entre 12 i 23 MPa, valor que es pot considerar de baixa resistència (és habitual en roques que sigui >50 MPa). Cal indicar que aleshores el formigó emprat tenia una càrrega de trencada a compressió simple d'uns 35 MPa.

La perforació es va fer amb una gran dificultat atès que l'excavació s'anava fracturant i la roca no donava la resistència inicialment prevista. L'elevada cobertura del túnel transmetia una tensió elevada sobre la clau i els laterals que el material no podia suportar. Els entibaments i puntals utilitzats sovint feien fallida i calia reforçar-los. Aquest fet provocava preocupació tant entre els obrers, que sovint feien explícites les seves exigències de seguretat, com en la pròpia direcció de l'obra.

Davant dels problemes plantejats, el rei Alfons XIII va convocar una comissió de tècnics formada pels enginyers de camins, canals i ports Coderch, Salinas, Benavent, Zafra i Valenciano. La Comissió va visitar les obres el maig de 1916 i, amb les dades sobre la resistència a la compressió simple de la roca, va dictaminar que els problemes no eren deguts a defectes en l'obra, segons els estàndards en la construcció de túnels, ni tampoc al projecte en particular; aleshores es va decidir que calia reforçar el revestiment amb el gruix necessari a cada punt en concret. A continuació es reproduïx un paràgraf on es mostra l'explicació donada per la Comissió:

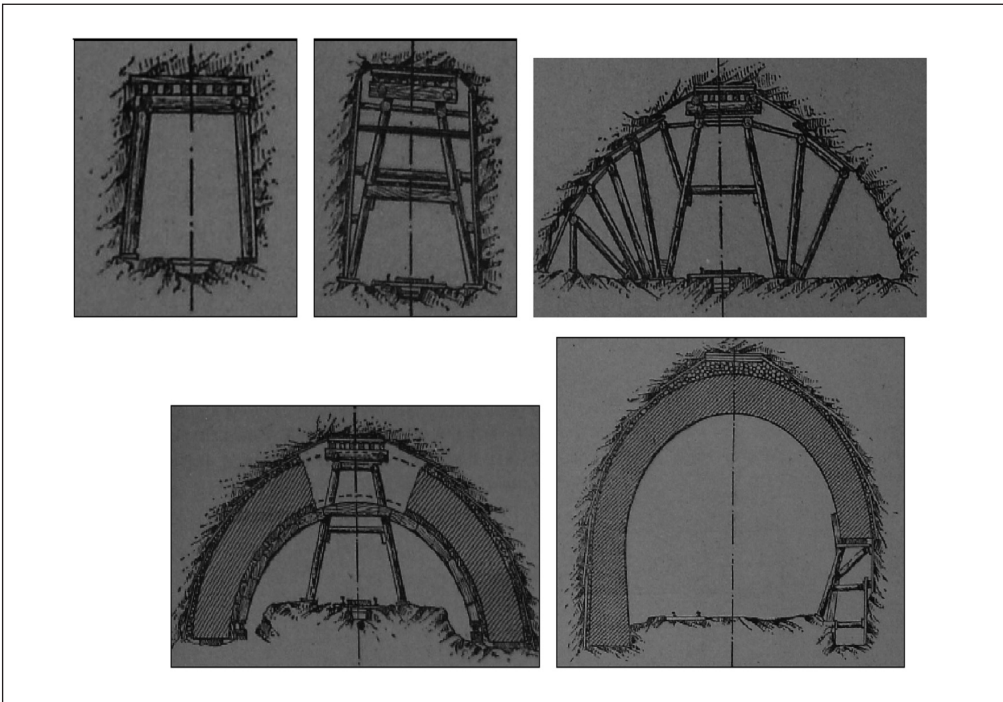


Figura 5. Procés d'excavació del túnel. D'esquerra a dreta i de dalt a baix es pot apreciar l'avanç i l'apuntalament, el revestiment de la volta, la construcció dels estreps i finalment la contravolta (no es veu a la figura) que farà de suport de la via.

Font: Fuster, 1919: 205 i 207.

Entendió por fin la Comisión que las dificultades, más que de la alterabilidad de las rocas puestas al descubierto, provenían de su poca consistencia y de las acciones mecánicas que sufrían por el peso de las masas superiores, circunstancias determinantes de que la primitiva rigidez observada al ser excavadas fuera siendo sustituida por una plasticidad cada vez más cercana a la fluidez, estado que con gráfica y oportuna frase se califica de fluidez perezosa, la cual con el tiempo transmitía a los revestimientos el enorme peso que sobre ellos gravitaba. (Fuster, 1919: 209).

Efectivament la deformació diferida, a tensió aplicada gairebé constant, era la causa dels problemes en cloure's la galeria més enllà del límit acceptable. La càrrega vertical existent sobre la clau del túnel als 1.750 m de la boca d'entrada, amb una cobertura de 270 m, era, segons Fuster i suposant una densitat de la roca de $2,6 \text{ g/cm}^3$, de 7 MPa; en conseqüència, la tensió de plasticitat perfecta era de 14 MPa.

Atesa la geometria del túnel, així com el diàmetre de l'excavació de 6 m, suposada circular, i el gruix del revestiment de 3 m, segons Fuster podria imposar-se al formigó una tensió de treball de 28 MPa, valor que hauria de resistir atès l'estàndard de l'època. El càlcul demostra que el revestiment de 60 cm, previst inicialment, era insuficient. D'altra banda, es pot calcular, segons la teoria de l'elasticitat, que sense revestiment la tensió a la corona de l'excavació és de 3 vegades la tensió vertical, és a dir 21 MPa, valor que supera la resistència mitjana de la roca. En resum: la Comissió recomanà engruixir el revestiment sobreexcavant la galeria, tot tenint cura en els apuntalaments. També calia construir, en alguns punts concrets, anells de sosteniment amb un gruix addicional als estreps. D'altra banda, es considerava que podia haver-hi punts en els quals, a causa de la geometria de l'estratificació, hi haguessin un nivell major de tensions que a la resta de l'excavació.

Atesos els problemes plantejats, es decidí modificar el mètode Belga d'excavació inicial, descrit a la figura 5, pel que es mostra a la figura 6, en la qual es pot apreciar com s'ha modificat el sistema de perforació inicial. Així, es comença l'excavació amb un avanç manual en galeria tot tenint cura de l'apuntalament, se segueix amb la col·locació de formigó a la contravolta (part inferior de l'excavació) per tal de poder continuar amb seguretat excavant els estreps (laterals) i finalment tancar la volta (clau del túnel) amb la contravolta a la soleira. Atesos els problemes, inicialment es va pensar en fer un revestiment de l'excavació, de forma alternativa, a base d'utilitzar roca calcària en lloc d'utilitzar formigó; el cost del transport de la roca era, però, molt elevat i va fer desestimar aquesta possible solució (Fuster, 1919).

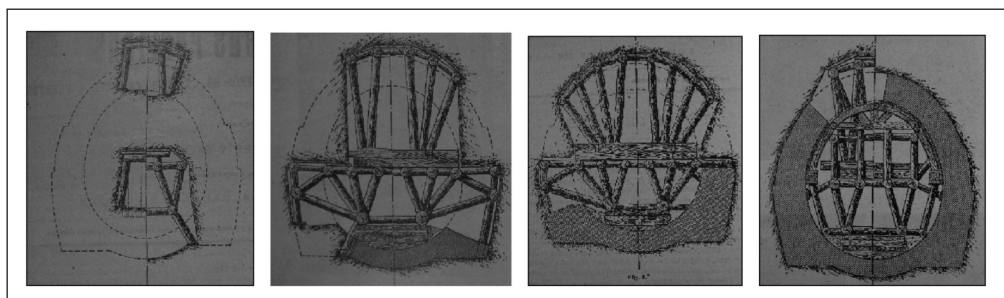


Figura 6. Procés d'excavació modificat. D'esquerra a dreta es pot apreciar l'avanç en galeria i l'apuntalament, l'inici de la contravolta per tal de continuar amb els estreps i la volta.

Font: Fuster, 1919, 234 i 236.

L'apuntalament de l'excavació esdevé un punt clau per tal de seguir perforant. Malgrat que s'utilitzen arbres de tronc ferm i de notable guix, s'esberlen davant la tensió que se genera a causa de l'elevada cobertura del terreny (major de 300 m a la zona central de l'excavació) i les fractures existents al massís. La figura 7 mostra un aspecte dels puntals esberlats

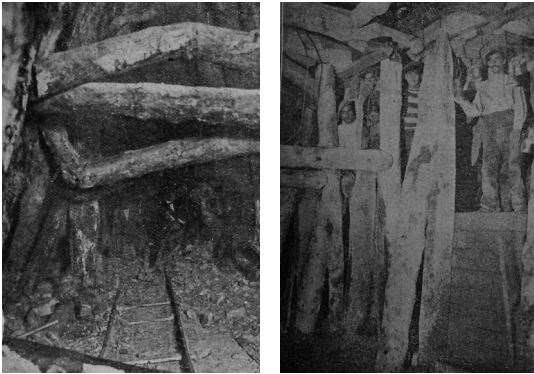


Figura 7. A l'esquerra, vista dels troncs esberlats com a conseqüència de l'empenta del terreny sobre l'excavació; a la dreta apuntalament per tal de construir el mur de formigó de 2 m de gruix.

Font: Fuster, 1919: 237 i 239.

a la galeria i l'apuntalament per tal de construir el mur de revestiment de formigó en massa de fins a 3 m de gruix, en funció de la gravetat del problema a cada punt.

Per motius de seguretat a l'excavació, i en vistes a protegir la vida de les persones que hi treballaven així com la pròpia excavació, es va proposar un reforç dels punts més susceptibles de col·lapse amb formigó en massa que després, un cop ja tancada la secció del túnel (volta, contravolta i estreps), caldria enderrocar.

D'altra banda, i pel que fa a l'equip humà, cal senyalar que a l'excavació hi van treballar uns 250 obrers repartits en 12 brigades. A les tasques de la boca d'entrada es distribuïen en: avanç i destrossa (6), retirada de blocs (1), àrids i formigó (2), manteniment de la via provisional (1) i serveis generals (1). A la boca nord hi havia tan sols una brigada d'avanç i una de serveis generals (Fuster, 1919: 274). Tal com s'ha indicat, es va haver de lamentar la mort per electrocució del Sr. Retuerta, comanditari de la concessionària, i del metge que el va anar a socórrer. Finalment, el túnel va ser calat el 28 de febrer de 1919 a les quatre de la matinalda, després d'un període en el qual s'havien atorgat als obrers tota classe de primes per tal d'avançar tant com fos possible el moment del calat.

Consideracions finals

El 18 d'agost de 1904 se signa a París un conveni entre Espanya i França per tal de dur a terme la construcció de la línia de ferrocarril Ripoll - Puigcerdà - Aux les Termes. L'any 1906, però, un informe en desaconsellava el traçat.

A la banda espanyola calia salvar la collada de Toses. L'obra tenia una gran importància social per als habitants de la Cerdanya i per la connexió amb França. L'excavació dels túnels del Cargol i de Toses es va dur a terme entre el mes de setembre de l'any 1911 i el mes de febrer del 1919.

El mètode d'excavació inicialment emprat era el Belga, que consisteix a realitzar un avanç manual, al qual segueixen la construcció de la volta, després la destrossa, la construcció dels laterals i, finalment, la contravolta.

Van aparèixer dificultats al túnel de Toses. Es va comprovar la mala qualitat de la roca. Les tensions eren superiors a la resistència de la roca amb el revestiment previst. Es van modificar el mètode d'excavació i el gruix del revestiment.

Finalment, el 10 d'agost de 1919 el ferrocarril va arribar a Ribes de Freser i el 22 d'octubre de 1922, a Puigcerdà, on es va celebrar amb gran efusió popular.

Bibliografia

EL PERIÒDIC D'ANDORRA (2007), «373.000 euros per il·luminar el túnel del Cargol», *EP Andorra*, Andorra, 12 de gener de 2007.

FUSTER, J. M. (1919), «Túnel de Tosas», *Revista de Obras Públicas*, vol. I, 205-210, 233-237, 269-274.

FUSTER, J. M. (1926), «Ferrocarriles transpirenaicos: Línea de Lérida a Saint-Girons», *Revista de Obras Públicas*, vol. I, 163-168.

MALUQUER, M. (1919), «Ferrocarril internacional de Ripoll», *Revista de Obras Públicas*, **2292**, 425-431.

ROP (1904), «Los ferrocarriles transpirenaicos», *Revista de Obras Públicas*, **1509**, 499-502.

ROP (1906), «Los ferrocarriles transpirenaicos», *Revista de Obras Públicas*, **1613**, 418.

SURIOL, J. (2000), *Els enginyers de camins a Catalunya a la segona meitat del segle XIX. Anàlisi històrica de la seva presència a la societat catalana*, Tesi doctoral, UB, Barcelona.