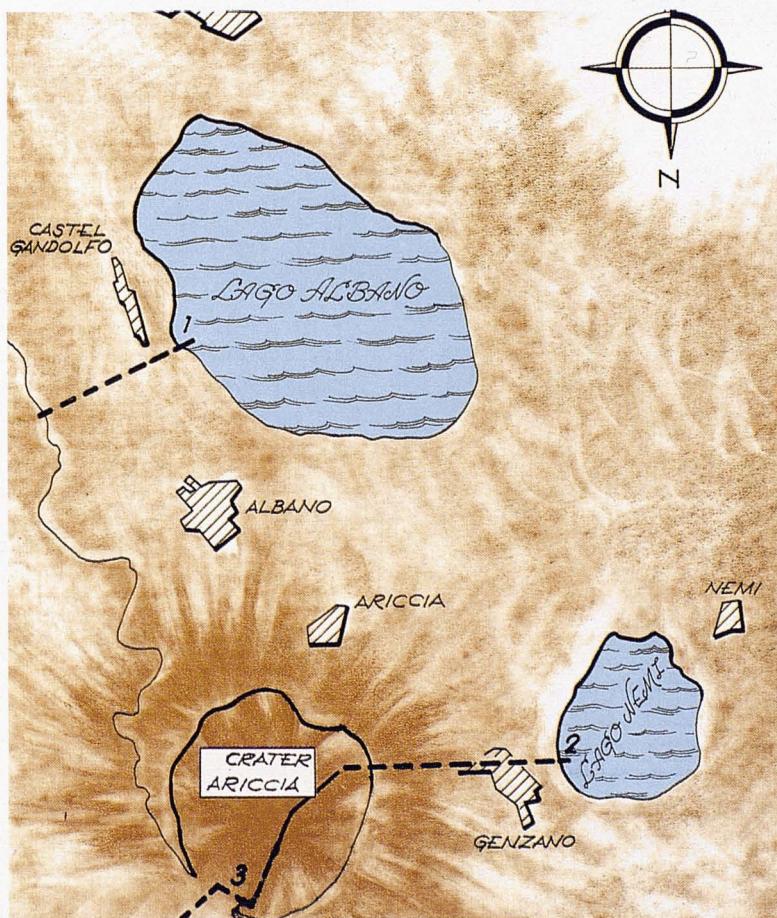


# L'enginyeria subterrània a l'època romana (1)

José Antonio Juncá Ubierna

Doctor enginyer de camins, canals i ports



Túnels romans per al drenatge de llacs: 1.- Presa de l'emissari del llac Albano. 2.- Presa de l'emissari del llac Nemi. 3.- Inici del canal subterrani d'Aríccia.

Roma és el poble de l'antiguitat que va aconseguir el domini més gran en l'art de la construcció de túnels. Van haver de passar quinze segles per superar el nivell de les tècniques d'execució que van emprar. Aquest treball, que publiquem en dues parts, ofereix un repàs de les realitzacions més sobresortints en el camp de l'enginyeria subterrània, agrupant-les a partir de criteris funcionals. En aquesta primera part es glossen les obres més destacables per a mineria, els túnels de carreteres i els túnels de drenatge.

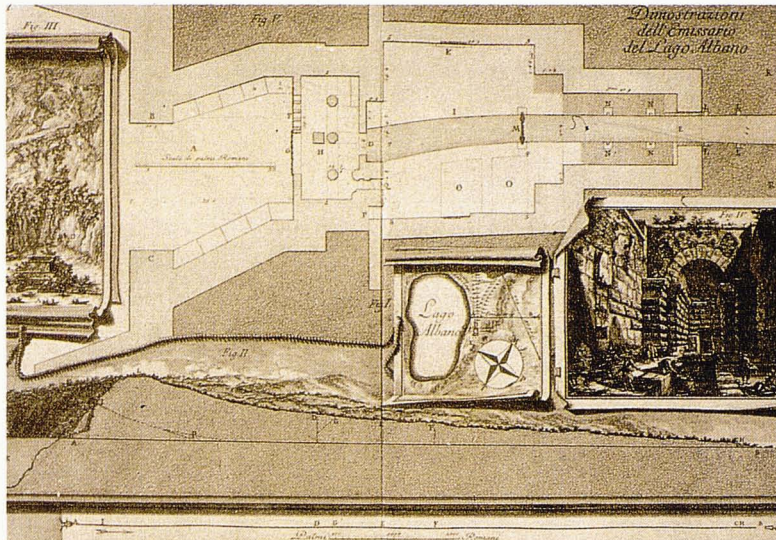
Juntament amb Egipte, Roma és el poble de l'antiguitat que va assolir un domini més gran en l'art de construir túnels, de tipologia diversa i amb propòsits diferents. Hi ha centenars de quilòmetres de galeries practicades abans i durant l'imperi romà, moltes encara pendents d'ésser explorades i estudiades en profunditat.

### Mines romanes.

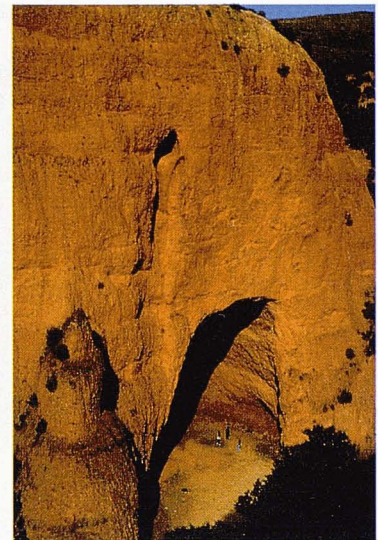
#### L'obra gegantina de Las Médulas

La mineria no havia experimentat canvis importants en l'època grega, i els romans tampoc no van fer innovacions, encara que introduïren maquinària per estendre els sistemes de drenatge mitjançant sínies de catúfols, de manera que van poder treballar a les mines inundades o fins i tot en nivells inferiors. La roca era perforada amb falques i martells, i encara que la tècnica del foc era coneguda, no es practicà, d'acord amb Plini, a causa dels efectes del vapor i del fum.

Són famoses les mines romanes auríferes. Es foradava la muntanya amb un formiguer de galeries que s'apuntalaven provisionalment amb bigues de fusta; un cop enllestida la xarxa subterrània es procedia a eliminar tota l'obra de contenció de la màxima profunditat cap a l'exterior; a continuació es feia circular per l'interior l'aigua d'un riu (prèviament desviat de la seva llera natural mitjançant canals, viaductes i túnels) que arrossegava la mena o mineral brut d'or, fins a dipositar-lo al curs de sortida de l'aigua.



Emissari del llac Albano. Gravats de Piranesi.



Explotació aurífera de Las Médulas.

A Espanya són notables les explotacions auríferes de Montefurado i de Las Médulas.

A la conca mitjana del riu Sil es conserven nombrosos vestigis de l'activitat enginyera dels romans, i s'hi destaca el túnel de Montefurado pel qual s'han derivat les aigües del riu durant uns 1.800 anys. La secció transversal del túnel té prop de 20 metres d'amplada per vint d'alçada, i la longitud original era de prop de 200 metres, i es calcula la data de la seva construcció -on s'aplicà la tècnica del foc- en la primera meitat del segle II dC.

Però les tasques per obtenir or en aquesta zona no tingueren tanta importància com les que es van fer aigües amunt, a la comarca de Las Médulas. Aquest jaciment aurífer explotat pels romans és, sens dubte, una de les obres més gegantines de l'antiguitat hispana, tant per la complexitat del sistema i la qualificació tècnica de qui les va portar a terme com pel volum de metres cúbics de terra remenada.

Els treballs de Las Médulas van tenir origen durant el regnat d'August, van perdurar fins als anys de la nostra era, i va començar a ser rendible l'explotació a partir de l'any 50 dC, amb Claudi i Neró en el poder. El

terreny correspon a formacions detrítiques de final del terciari o principi del quaternari. Els màxims rendiments d'or, uns 8.000 kg anuals, es van obtenir en l'època de Trajà, i la recerca va ser abandonada definitivament cap a l'any 210 dC.

Durant 200 anys van treballar a Las Médulas uns deu mil homes que van excavar més de 240 milions de metres cúbics i van obtenir una renda total de 960.000 quilograms d'or pur, xifres prou eloqüents.

### **Tècnica constructiva aplicada en l'enginyeria subterrània romana**

Les galeries i els túnels etruscos i romans avançaven amb l'ajut de pics i pales fets servir per homes lliures i soldats. Les primeres bombes eficients, amb pocs metres d'elevació, no van aparèixer fins el segle I aC.

Per a Vitruvi era fonamental, en la tècnica dels túnels, procedir a un treball precís d'anivellació. Els instruments que permetien efectuar tasques de topografia eren les mires en creu, el nivell de l'aigua i la ploma. Els pendents recomanats per a les galeries dels aqüeductes oscil·laven en un rang entre el 0,02%, per a Plini, i «no inferior al 0'5%» segons Vitruvi.

Respecte de la perforació de pous

verticals auxiliars per a l'excavació correcta del túnel principal, no hi ha coincidència quant al seu nombre adequat; així, mentre Plini creu que 71 m és la distància òptima entre pous, Vitruvi redueix aquesta xifra a la meitat.

La majoria d'aquestes galeries verticals no ultrapassaven profunditats de 40-50 m; només en ocasions excepcionals se superaven els 100 m, cosa que requeria un esforç extraordinari.

Aquests pous, de secció rectangular, tenen com a finalitat no sols l'extracció dels materials excavats i la ventilació de l'àrea de treball, sinó també permetre atacar l'obra des de diversos fronts i -sobretot- facilitar el control topogràfic de la correcta alineació del túnel.

Els enginyers romans eren capaços de perforar amb èxit túnels que arribaven fins a 1.600 m de longitud sense haver de recórrer gairebé mai a galeries verticals intermèdies.

La majoria dels túnels romans eren de secció rectangular, i amb volta de canó només en casos d'extrema dificultat; cosa que impedia cavar estructures estables en presència de forces laterals d'una certa consideració.



Galeria de sanejament de Lutetia.



Las Médulas. Panoràmica des d'Orellán (Lleó).

### Túnels per a ferms

Encara que els romans no prodigaren aquest tipus de túnels, cal fer esment del túnel de Pausilippo, prop de Nàpols, construït l'any 36 aC, d'acord amb Estrabó, essent emperador Cèsar August. Considerada com una de les galeries més llargues perforades en l'antiguitat amb els seus 1.500 m de longitud, tenia 8 m d'amplada i una alçada variable.

Un altre túnel famós romà de carretera és el del pas Furlo situat a la Via Flaminia, que travessa els Apenins en una zona que des de temps antiquíssims ha tingut gran importància en el tràfic entre les regions internes de la Itàlia central i la costa de l'Adriàtic.

La segona galeria de Furlo, també coneguda per Petra Pertusa, la roca perforada, fou excavada entre els anys 70 i 76 dC, per ordre de l'emperador Vespasià, amb una longitud de 40 m, i amb una amplada i una alçada equivalents a 5 m.

### Túnels per a drenatge de llacs

Entre les moltes obres de drenatge realitzades per Roma, en un bon nombre de casos s'aplicà la solució túnel. Els emissaris de llacs formaven part de grans projectes d'enginyeria

civil; aquests treballs -alguns portats a terme cap als anys 500-400 aC, de possible autoria etrusca- tenien com a propòsit regular el nivell dels nombrosos llacs tancats a les zones volcàniques de la Itàlia central. Destaquen els túnels albanos, emissaris dels llacs Albano, Nemi i Ariccia, i la galeria per a rebaixar el nivell de les aigües del llac Fucino.

### Túnel per al drenatge del llac Albano

El túnel per al drenatge del llac Albano, situat al cràter d'un volcà extingit a uns 26 km al sud de Roma, és alhora un dels túnels més antics coneguts, construït probablement durant el segle V aC.

El sanejament del llac Albano, considerat com «una de les obres més perfectes de l'enginyeria hidràulica romana», fon els seus orígens amb llegendes sobre l'oracle de Delfos i la conquesta de Veyes, últim reducte dels etruscos.

Ciceró assenyala que la dessecació del vas mitjançant l'emissari va tenir com a objectiu beneficiar les granges de la rodalia, atès que el descens del nivell de les aigües, aproximadament fins a la meitat de la profunditat màxima del llac, va evitar que es produïssin les freqüents inundacions que, abans d'entrar en funcionament

aquest -formidable per a l'època en què es va dur a terme- complex hidrodinàmic, negaven les terres circumdants a les ribes del cràter volcànic. El drenatge va permetre disposar d'una important superfície addicional de terres de conreu. La superfície del vas era de 9,74 km<sup>2</sup>.

L'emissari es foradà al vessant del llac format per roca de *peperino* amb intercalacions de lava, essent el conjunt de consistència segura, el que va fer innecessari revestir la secció del túnel; la longitud total de la galeria és d'uns 1.400 m en alineació recta. La secció transversal és rectangular amb dimensions mitjanes d'1 m d'amplada i 3 m d'alçada. El pendent mitjà és aproximadament del 0'12%.

La tècnica de perforació, molt rudimentària, consistia a excavar el massís manualment amb ajut de cisells. El termini d'execució de l'obra de dos anys reflectit en diverses fonts el trobem doncs, molt curt.

### Túnel per a rebaixar el nivell del llac Nemi

Al sud del llac Albano, i molt pròxim, es troba el llac Nemi, també d'origen volcànic, el vas del qual ocupa una superfície de 10,54 km<sup>2</sup> i que en algun moment del segle V a C va ser

drenat mitjançant un túnel de 1.600 m de longitud.

La secció de la galeria principal és rectangular -l'obra continua donant servei actualment-, de dimensions una mica menors que les de l'emissari del llac Albano, i el seu pendent mitjà és del 0'8%.

El túnel fou excavat simultàniament des de tots dos fronts i es van trobar ambdós avenços a 1.300 m de l'embocadura situada aigua amunt. En el punt de trobada es produí un error de 3 m entre els nivells de totes dues seccions mentre que l'error en horitzontal resultà insignificant.

El túnel disposa de només dos pous verticals, bastant propers a les embocadures de la galeria principal; serviren bàsicament com a punts externs de referència a l'inici de la perforació perquè aquesta procedís en la direcció correcta. També s'aprecien tres galeries inclinades, que foren excavades des del túnel principal cap a la superfície.

### **Túnel per a la dessecació del llac Ariccia**

Aquest túnel va lligat a l'emissari del llac Nemi; en efecte, l'aigua procedent d'aquest circula per un canal que creua el cràter de l'Ariccia; en el seu tram més profund el canal pren la forma del túnel. La galeria, que té una longitud de 650 m, va ser perforada mitjançant nombrosos pous seguint una tècnica similar a la utilitzada per a la construcció de canals. L'obra va aconseguir dessecar per complet l'embassament, atès que l'Ariccia no era un llac permanent.

El canal d'Ariccia fou construït amb anterioritat al túnel del llac Nemi atès que d'una altra manera l'aigua vessada per aquest hauria inundat el cràter de l'Ariccia.

Atès que són pròxims els túnels dels llacs Albano, Nemi i Ariccia, podem suposar que es construïren en la mateixa època. Essent el túnel de

Nemi més rudimentari que el d'Albano es pot concloure que va ser perforat amb anterioritat. La localització d'un antic temple anterior al 500-400 a.C. a les terres rescatades al llac Nemi pel túnel dóna una importantíssima referència temporal a aquestes obres subterrànies.

### **Túnel pel drenatge del llac Fucino**

L'emissari del llac Fucino, definit per Plini com «el treball de les obres públiques més important de tots els temps», constitueix no gens menys un "brillant fracàs" de l'enginyeria romana, si ens atenem als resultats més que mediocres obtinguts després d'un esforç titànic que es prolongà durant els onze anys que duraren els treballs de construcció -iniciats l'any 41 dC i completats el 52- essent Claudi emperador el qual va seguir els consells de Rufino per a emprendre tan magna obra.

El túnel més gran construït pels romans no va aconseguir drenar el llac Fucino, la superfície mitjana del qual és d'uns 140 km<sup>2</sup> i que ocupa una depressió d'origen càrstico-tectònic en una àrea muntanyosa calcària situada uns 100 km a l'est de Roma; la conducció té una longitud de 5.995 m, dels quals 5.595 són amb galeria.

A l'emissari del Fucino es referiren els historiadors clàssics Suetoni, Plini i Tàcit. És una obra molt ben documentada.

La secció transversal del túnel és molt variable en tot el traçat, i oscil·la entre la forma rectangular, amb volta semicircular i dimensions finals d'1,80 m d'amplada per 3,0 m d'alçada en clau, i trams rectangulars simples o fins i tot triangulars, i s'hi redueix l'àrea a la tercera o quarta part, respectivament, de la secció normal. El túnel es revestia amb formigó en obra de fàbrica de totxo on les característiques del terreny ho exigien.

La galeria principal s'excavà -tal com

ha referit Plini- a partir de 33 pous verticals, que en ocasions superaven els cent metres, i nombroses galeries inclinades practicades a intervals regulars pel traçat del túnel. Van intervenir-hi milers de cavalls i uns 30.000 homes, i aquesta «meravella del món antic» es va cobrar moltes vides en un procés constructiu esquitxat d'incidents i de catàstrofes, a causa de la precària organització de l'obra i també d'un terreny de característiques molt variables amb una estratificació que no permetia, amb freqüència, mantenir testeres verticals. Va deixar definitivament de funcionar entre els anys 500 i 700.

L'emissari del Fucino fou probablement el projecte més gran que podia ser escomès raonablement amb la tecnologia llavors disponible. En definitiva, el que fou un dels més grans treballs realitzats per l'home a l'antiguitat, marca a la vegada el punt màxim i els límits de l'enginyeria civil de Roma.

**Nota:** La bibliografia emprada per l'autor anirà recollida en la segona part d'aquest article.