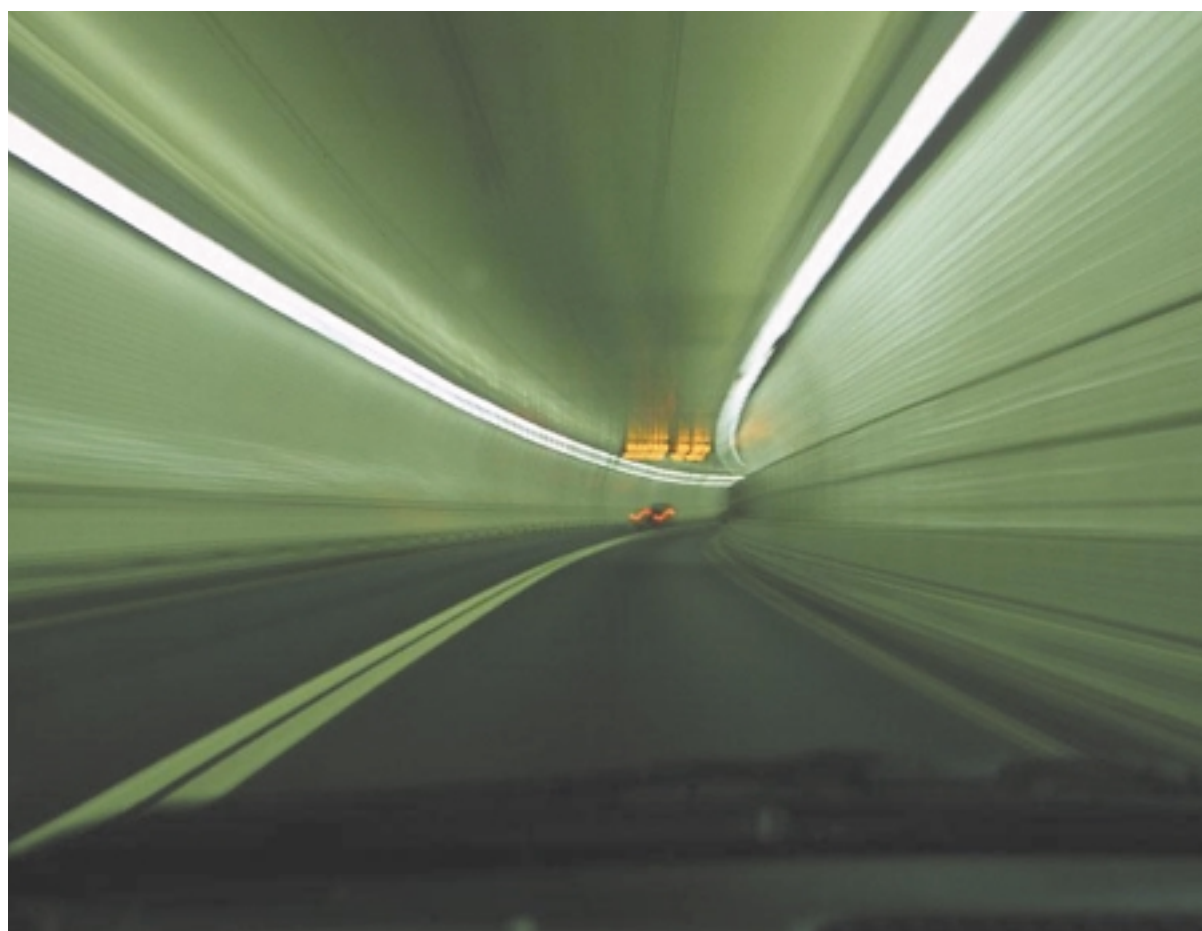


# Puntako teknologia tunelgintzan

Beñardo Kortabarria Olabarria

Elhuyar



ARTXIBOKUA

**Tunelak teknika geologikoen erakustaldirik bikainenetakoak dira: alegia, gizakiaren eta bere asmoen eta lurraren arteko borrokaren emaitza ikusgarrienetakoak. Horregatik, ingeniariantzat tunelak erronka garrantzitsua dira, garestia izateaz gain, tunela egitea arriskutsua eta denbora askoko lana izaten delako.**

TUNELAK OSO IZAERA BEREZIKO OBRAK DIRA, gehienetan lurpean egin behar baita lana. Tamaina askotarikoak izan daitezke: handiak –Mantxakoak kasu, 6-8 metroko diametroko kilometro ugarirekin–, ertainak edo txiki-txikiak –gizakiak ezin sartzerainokoak–. Herrietan eta hirietan tunelak garraio-arentzako bideak hobetzeko, edo estolderia- eta ur-zerbitzua hobetzeko aukera izan daitezke.

Tunelak egiten hasi baino lehen, ezinbestekoa da lurzoruaren azterketa sakonak egitea, batez ere zer nolako lurrarekin egingo den topo jakiteko, eta lur azpian urik dagoen ala ez ikusteko. Izan ere, lurraren ezaugarrien, lur azpiko ura egotearen edo ez egotearen, eta tunelari emango zaion erabileraren arabera erabakitzen da tunela egiteko zein sistema erabili. ➔

Lurra egonkorra bada, zulatze-lanak era mekanikoan egin daitezke. Eraikitzen hasi baino lehen egiten diren prospekzioetan lur azpiko ur-kantitate handirik aurkitzen ez bada, gehienetan ez da beharrezkoa izaten lana egin behar den guneak presurizatzea. Ura dagoela ikusten bada, aldiz, gune horiek presurizatu egiten dira lan-guinetara urik iritsi ez dadin.

Errepiderako zein trenbiderako tunel handiak egiteko, lurra egonkorra denean, zulatzeko lanak makinaz egin daitezke. Makina horiei TBM (*Tunnel Boring Machine*) deitzen zaie. Tunelaren aurrealde osoa zulatzen duten makinak dira. Egia esan, hainbat makinaz osatutako trena izaten da; bakoitzak bere motorra du eta horri esker mugitzen dira trenbidearen gainean. Aurrealdean TBMez buru ebakitzaila dute. Buru horrek biraka-biraka arroka zulatu eta puskatzen duen guztia atzerantz botatzen du. Buru ebakitzailaren ondoren, ezkutua doa. Babesa eskaintzeaz gain, ezkutuaren bidez tunelaren estaldura jartzen da. Horretarako, ezkutuan, oso toki gutxi izan

arren, dobelak mugitzeko eta jartzeko beharrezkoa den tresneria egoten da. Lana ez da erraza, dobelak tonatik gorako piezak izaten direlako.

*“tunelak egin baino lehen, ezinbestekoa da lurzorua azterketa sakonak egitea”*

Aipatutako tresneriari esker estaldura-eraztunen dobelak posizioan jartzen dira, eta eraztunen artekoa kare-esnez bete daiteke. Horrekin batera, ezkutuan dagoen tresneriak zulotik ateratako hondar guztia atzerantz bidaltzen du. Buru birakariaren mugimendua eragin eta dobelak posizioan jartzen dituen tresneria mugiarazten duten motor elektrikoak eta ponpa hidraulikoak ere ezkutuan egoten dira.

Lurra egonkorra ez denean, hau da, ezkuturik jarri ezin denean, beste era batera zulatzen da. Horrelakoetan tunelaren aurrealdean –frontean– ebakiak egiten dituzten makinak erabiltzen dira. Obra-hondakinak lurrera erortzen dira, eta hondezatzeko makinak jaso eta kamioietara eramaten dituzte. Teknika hori erabilia sekzio zirkularra ez duten tunelak egiten dira.

Horrelakoetan, nahitaezkoa izaten da aurrera egin ahala tunelean estaldura jartzea, lurra ez baitu behar besteko erresistentzia estaldurarik gabe osorik irauteko. Estali ezean oso erraza izaten da tuneletako sabaiak eta hormak erortzea eta, ondorioz, istripuak maiz gertatzea. Estalduak egiteko, hormigoia erabiltzen da, aurrez egindako egiturak jarrita edo tunelean bertan kokatutako metalezko egiturak estalita.

Lurra oso gogorra denean, arroka gogorrek, frontea leherketa bidez irioki ohi da: zulo txikiak egiten dira, lehergaia jarri eta zuloa zabaltzen da. Gero, tunela egiteko lanak hasten dira. Horrela esanda, lanak erraza dirudi,

Irudikoa *La Paloma* izeneko TBMa da, lurra zulatzeko tunel ikaragarriak egiteko gai den makina horietako bat. Madrilgo metroa egiteko erabili zen. Maketan ikus daitekeenez, makinaren tamaina dela eta, barruan langileentzat zein tresnentzat toki ugari dago. Makina honen ezaugarri aipagarrienetarikoz batzuk honako hauek dira:

- Tunelaren barne-diametroa: 8.430 milimetro.
- Tunelaren kanpo-diametroa: 9.070 milimetro.
- Dobelen luzera: 1.500 milimetro.
- Ezkutuaren kanpo-diametroa: 9.330 milimetro.
- Ezkutuaren luzera: 8.830 milimetro.
- Ezkutuaren pisua: 597 tona.
- Luzera osoa: 150 metro.
- Pisua guztira: 950 tona.
- Propulzio-zilindroen bultzada-indarra: 10.000 tona.
- Makina zulatzailaren abiadura: 80 milimetro minutuko.
- Ebaketa-gurpilaren gaitasun elektrikoa: 2.000 kW.
- Tunelak egiteko makinaren gaitasun elektrikoa: 4.000 kVA.



*“Iurra egonkorra ez denean, tunelaren aurrealdean ebakiak egiten dituzten makinak erabiltzen dira”*



TMBak hainbat makinaz osatutako trenekin aldera daitezke.

baina behar den lehergai-kantitatearekin asmatzea oso zaila izaten da. Izan ere, asmatuz gero, tamaina egokiko arrokak lortu eta behar den tokian eroriko dira. Horrela, obra-hondakin horiek guztiak errazago atera ahal izango dira. Arroka gogorreko tuneletan, gehienetan ez da estaldurarik egiten; ebaki egiten dira, azal berdindua izan dezaten. Hala ere, arroka erraz apurtzekoa bada eta harri-zatiak erortzeko arriskua bada, aurrez egindako hormigoiarekin egiten dira estaldurak.

Tunelak egiteko sistema bat edo bestea aukeratuta ere, garrantzi berezia du sarbide egokiak egiteak lanerako

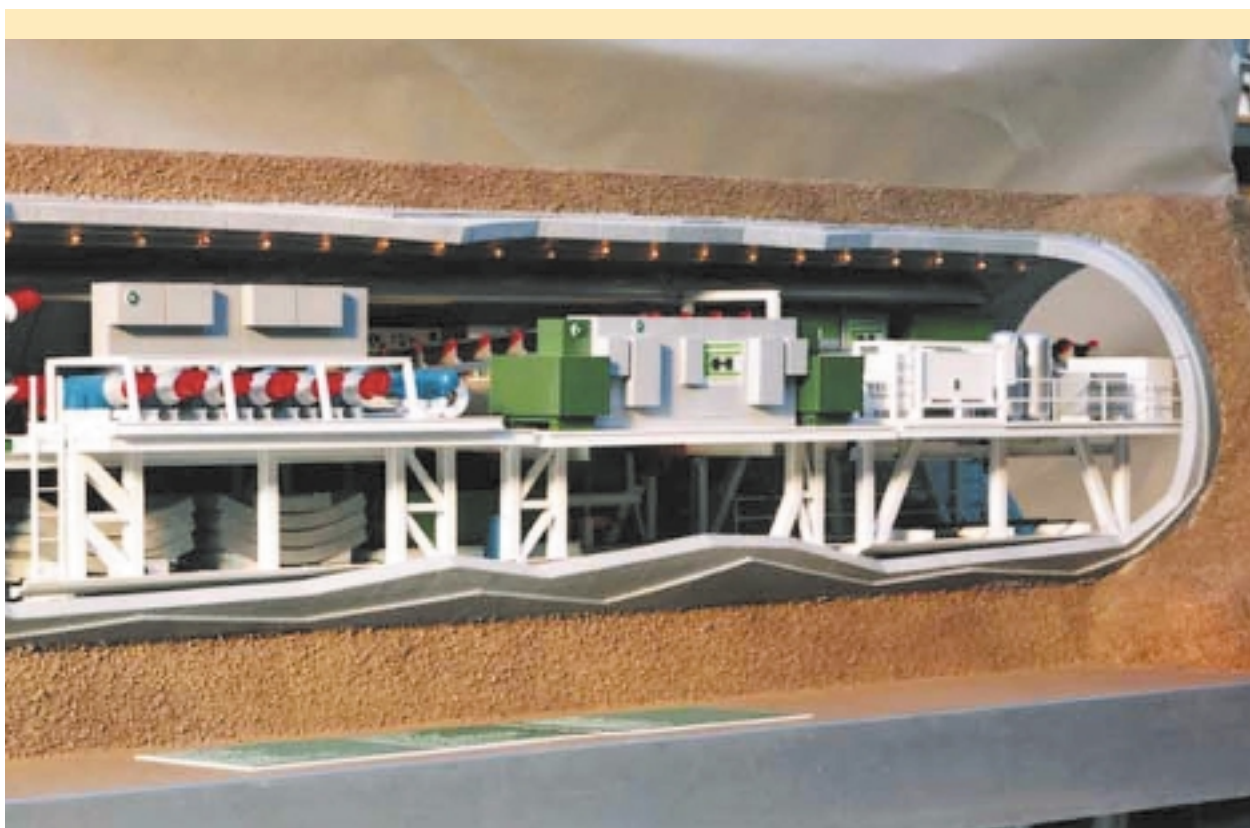
materiala sartzeko zein obra-hondakinak ateratzeko. Tokirik eza tunelgintzaren eragozpen handienetakoa izan ohi da: aurrealdean mugatua izaten da eta tunel barruan beste lan batzuk egiteko aukera larregirik ere ez da izaten.

### Zulatu ala lehertu?

Denboraren eta segurtasunaren arteko orekaren ondorioz, tunelgintzan eztabaida irekia egon da urte askoan: zein da tunelak egiteko sistemarik onena?

Eztabaida tunelak egiteko makina zuzlatzaileak erabiltzearen aldekoen eta aurkakoen artekoa izan da.

Tunela egin behar duten langileen segurtasunari dagokienez, badirudi argi dagoela tunelak egiteko makinak erabiltzea askoz ere hobea dela. Izan ere, fronte irekiko eta diametro handiko tuneletan istripuak eta hondoratzeak sarri samar gertatzen dira. ➔



METRO MADRID





TMBek biraka aritzen den buru ebakitzalea izaten dute aurrealdean.

### TBMak tunel luzeetan

Sekzio handiko munduko tunel luzeenak trenbideetarako eta errepideetarako egin izan dira. Tunel hidraulikoak ere luzeak izan daitezke, baina, oro har, sekzio askoz txikiagoa izaten dute. Japonian Seikan-eko tunela bukatu zen arte, munduko tunel handi gehienak —Mantxakoak salbu— tunel-makinarik gabe egin dira, zulatuta eta leherketa eraginda. Seikaneko tunelak, ordea, tunelen eraikuntza aldatzeko balio izan du.

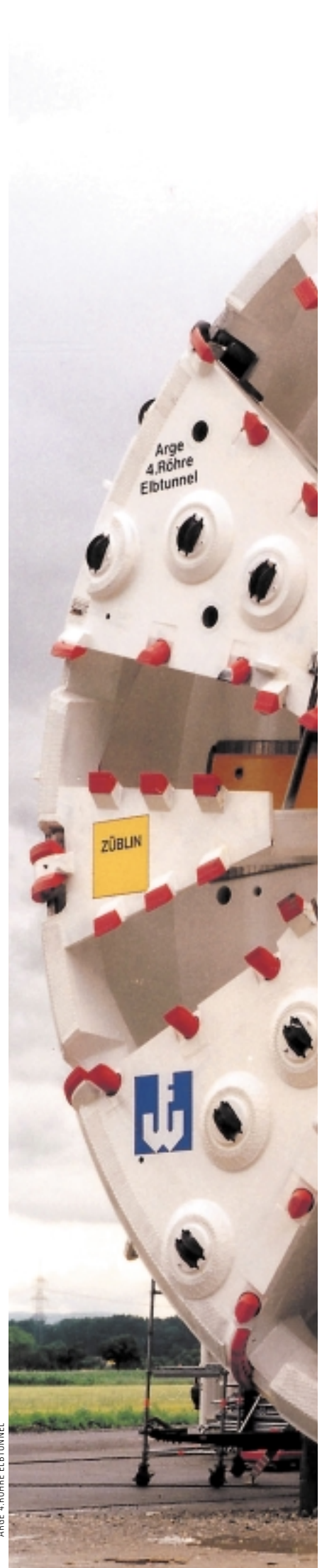
Japonian arazo ugari izan zituzten zulaketekin eta leherketekin. Geroztik abian jarri diren tunel handiak eraikitzeko proiektuak tunelak egiteko makina erraldoiekin egiten ari dira. San Gotardo berria —57 kilometroko bi tunel—, Loetschberg berria —45 kilometroko bi tunel—, Guadarrama —30 kilometroko bi tunel—, Mont Cenis Lyon-Torino —45 kilometroko bi tunel— eta, oro har, trenbideetako tunel handiak eta abiadura handiko trenentzako tunelak egiteko makina zulatzaile erraldoiak erabiltzen ari dira eta erabiliko dira. Beraz, tunel-makinak gailentzen ari dira.

Mantxako kanalekoak tunel-makinak erabilia egin diren tunelik handienetakoa eta munduan ondoen eraikietarikoak dira —nahiz eta eraikitzeko lanetan 10 langile hil ziren—. Jakina denez, kanala hiru tunelek osatzen

dute, trenarentzat bederatzi metroko diametroko bi, eta horien artean dagoen zerbitzu-tunela, sei metroko diametrokoa. Tunel horietako bakoitza egiteko lana bi zatitan banatu zen, frantziarrrena eta ingelesena. Horietako zati bakoitza beste bitan banatu zen, itsasokoa eta lurrekoa; hortaz, proiektua 12 zatitan eraiki zen. Hala ere, tunelak

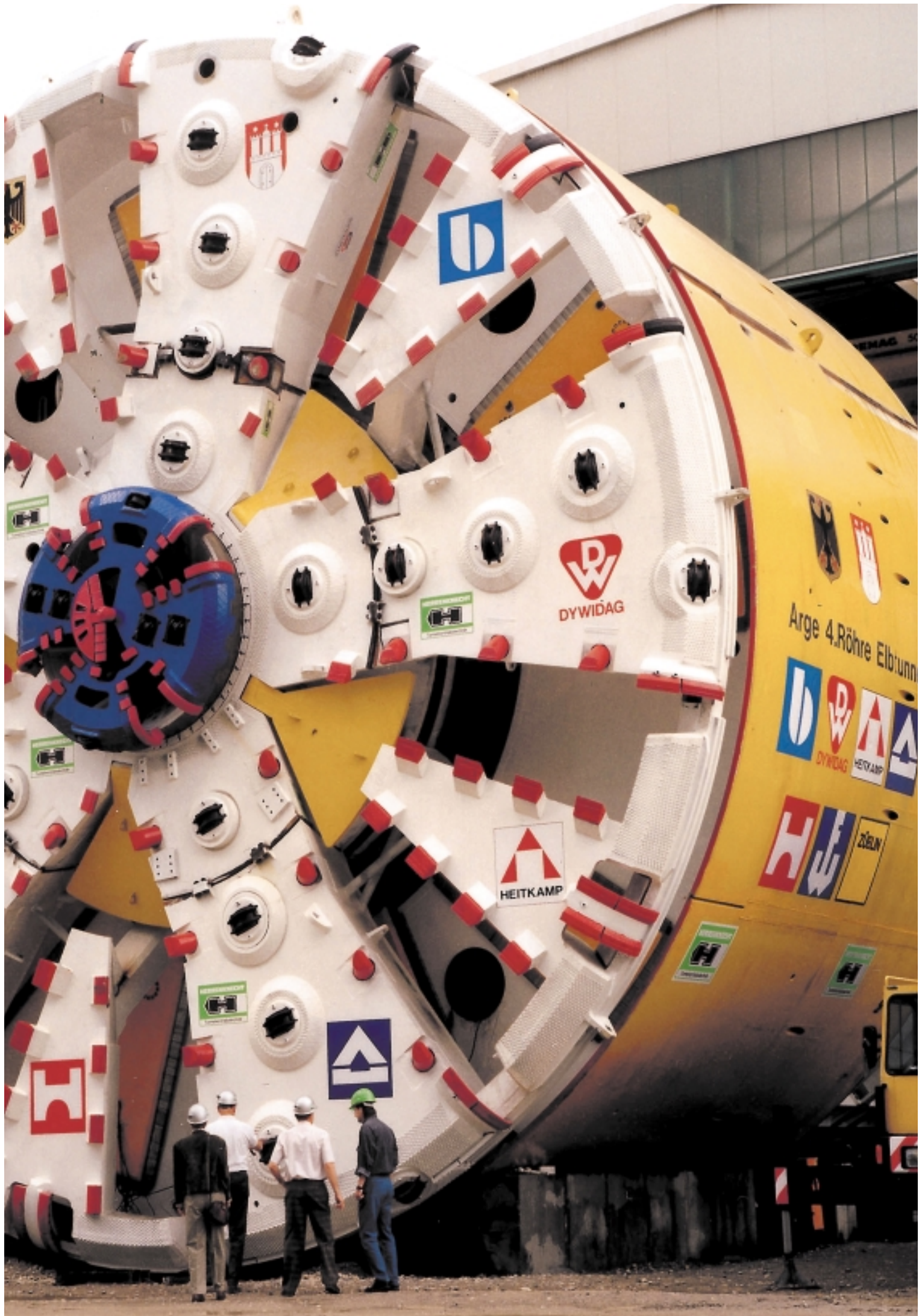
*“adituek diotenez, zulatzeko makinak tunelak luzeak direnean baino ez dira errentagarriak izaten”*

egiteko 11 tunel-makina besterik ez ziren erabili, Frantziako lurreko bi tunel —17 kilometro pasatxo—, makina berekin zulatu zirelako. Mantxako lanean ingelesek tunelak egiteko makina irekiak erabili zituzten eta frantziarrek tunelak egiteko makina itxiak. Batez beste ingelesek hilean 800 metro zulatu zituzten; frantziarrek, berriz, 700. Izan ere, tunel-makina irekiak itxiak baino azkarragoak dira, zulatzen jarraitu ahal izateko ez dutelako uztai-eraztuna jarri beharrik. ➔



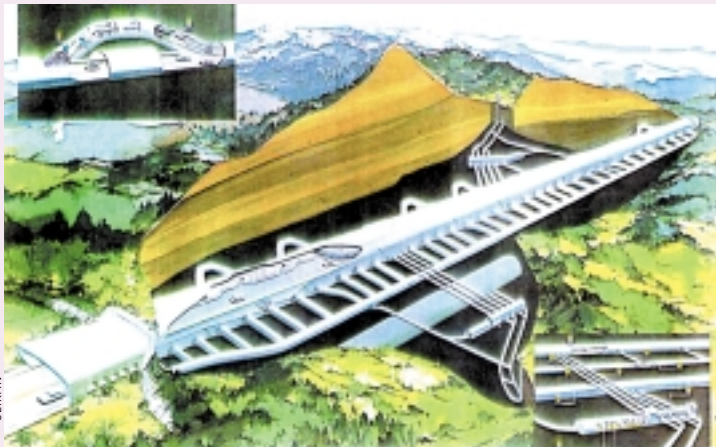
ARGE 4. RÖHRE ELBTUNNEL





## Tunel luzeenak

Errepideetako munduko tunelik luzeena San Gotardokoa da, Suitzan, 2001eko istripuaren ondorioz ospetsu bihurtu zena. 1980. urtean ireki zuten eta 16,3 kilometro ditu. Suitzan daude Seelisberg-ko bi tunelak ere, bakoitza 9 kilometroekin. Arlberg-koak, Austrian, 13,973 kilometro ditu; Frantzia eta Italia arteko Frejus-ekoak, 12,8 kilometro; herrialde bi horiek lotzen dituen Mont-Blanc-ekoak 11,6 kilometro. Horiez gain, luzeenetakoen zerrendan Japoniako hiru tunel sartu behar dira: Kan-etsu tunela 10,86 kilometroekin, Asan 8,6 kilometroekin eta Ena-san 8,4 kilometroekin.



SEIKAN

Japoniako Seikan-eko tunela, munduko tunelik luzeena.

Trenbideetako tunelik luzeenak Japonian daude, Seikan 53,9 kilometroekin eta Dai Shimizu 22,23 kilometroekin. Europan Alpeetakoak eta Apeninoetakoak dira tunelik handienetakoak: Suitzako Simplon 19,8 kilometrokoa; Florentzia eta Bolonia lotzen dituen Apeninoetako 18,5 kilometroko tunela; Alpeetako Mont Cenis 13,6 kilometrokoa; San Gotardo 15 kilometrokoa; Lötschberg-eko tunela 14,6 kilometrokoa eta abar.

Jakina, zulatze orduan, makina-motak ez ezik, lurraren edo arroaren ezaugarriek erabateko garrantzia dute, horren arabera zulatze sistema bat edo bestea aukeratu beharko baita.

Adituek diotenez, tunelak egiteko makinak tunelak luzeak direnean baino ez dira errentagarriak izaten. Horrelako makinak enkarguz egiten dira eta urtebete inguru behar izaten da bakarra egin ahal izateko. Argudio hori sarritan aipatu izan dute tunelak egiteko fronte irekiko sistemak erabiltzearen aldekoek. Dena den, badirudi eztabaida amaierara iristen ari dela.

### Lurpean baina seguru

Azken urteotan Europako tuneletan gertatu diren istripuen ondorioz —zauritutako eta hildako askorekin eta galera ekonomiko handiekin—, argi geratu da tuneletan behar-beharrezkoak

*“tuneletan ez da istripu gehiegi gertatzen. Errepideetako gainerako gunetan gertatzen den istripu-kopurua handiagoa da”*

direla segurtasun- eta erreskate-sistema eraginkorrak. Gaur arte, segurtasunaren faktoreak ez du garrantzi handirik izan tunelak diseinatze orduan. Ez zen aurrikosten istripuak gerta zitezkeenik eta, hortaz, segurtasun- eta erreskate-sistemak eskasak ziren. Mont Blanc-eko tunelean 1999ko martxoan gertatutako istripuak erakutsi zuen gauzak beste era batera egiten hasi behar zela.

Izan ere, tunelak egiteko teknika asko aurreratu da. Horri esker, gero eta tunel luzeagoak egin ahal izan dira, eta trafiko-dentsitate handiagokoak —batez ere kamioientzat—. Horregatik, istripua izateko aukerak ere gehiago dira. Eta esperientziak erakutsi duenez, tuneletan gertatzen diren istripuak larriak izaten dira.

Istripu lazgarrienak han gertatu direlako edo, tunelgintza eta segurtasuna uztartzeko lanean Alpeen inguruko herrialdeek aurreratu dute gehien: Frantziak, Suitzak, Italiak eta Alemaniak. Mont-Blanc-eko istripua gertatu zenean, lau herrialde horiek tunel luzeen egoera aztertze segurtasun-batzordea eratu zuten. Batzorde hark txostena egin eta ondorioztatu zuen, segurtasunari dagokionez, Alpeetako tunelek asko zutela hobetzeko. Txosten haren ondotik, segurtasuna lehentasunen artean ezarrita, Frantziako gobernuak tunelen araudia guztiz aldatu zuen. Horretaz gain, Frantzian bi urte-tik behin biltzen den tuneletako segurtasunari buruzko lan-taldea eratu da. Mont Blanc-eko tunel berritua da (<http://www.atmb.net/>) gauzak aldatzen ari diren adibiderik garbiena.

Dena den, tuneletan ez da istripu gehiegi gertatzen. Errepideetako gainerako gunetan gertatzen den istripu-kopurua askoz ere handiagoa izaten da. Tuneletako istripuak ez dira istripu guztien herena ere izaten. Tuneletan gertatzen diren istripu gehienak alboko hormekin eta aurrean doazen edo atzetik datozen autoekin talka egitearen ondorioz gertatzen dira. Norabide bikoitzeko tuneletan ere, aurrez aurreko talkak maiz samar gertatzen dira. Istripu horietan suterik gertatzen ez bada, gai arriskutsuen isurkirik gertatzen ez bada... istripuak ez du oihartzun handirik izango; aldiz, hondamendiak gertatzen direnean gizartea asaldatu egiten da. Adituek diote tuneletatik kanpo 20 istripu gertatu eta 20 lagun hiltzen badira ez dela ezer gertatzen, baina tunelean gertatutako istripu bakarrean 20 lagun hitzen badira...



Kontuak kontu, tunelek segurtasun-bermea izan dezaten, gero eta neurri gehiago hartzen ari dira.

#### *Bazterbideak eta espaloiak*

Nahitaezkoak dira tunel berri guztietan. Bazterbideek gutxienez bi metro izan behar dituzte eta espaloiek metro eta erdi. 300 metrotik gorako bi norabideko tuneletan, matxuratutako kamioiak bazterrean daudela, bi ibilgailu trabarik gabe gurutzatzeko behar beste koak izan behar dute.

#### *Pertsonentzako babesguneak*

Laguntza jaso arte, 50-100 pertsona hartzeko moduko tokiak izan behar dute. Gaur arte 700 eta 1.000 metro artean jarri izan dira, baina gaur egun 350etik 500 metrora jartzen ari dira. Kanpoko mezuak jaso ahal izateko bozgorailuak eta telebista-pantailak izan behar dituzte. Horretaz gain, luza-ro egoteko prestatuta egon behar dute. Babesgune horiek aireztatzeko sistema independentea dute, tunelaren aireztatzeko sistematik bereizia. Araudi berrien arabera, babesguneek ebakuazio-bideen bidez kanpora irteteko aukera izan behar dute.

#### *Segurtasuneko eta suteen aurkako horma-hobiak*

Bi metrotik gorako zuloak dira, argi-islatazailuz, kuadro elektrikoak, laguntza eskatzeko SOS-zutoinez eta su-itzal-gailuz hornituak. 200 metroko distantziara jarrita egon behar dute, tunelaren alde bietan.

#### *Premiazko aparkalekuak*

Matxura edo istripua gertatuz gero, tuneletan zirkulazio-norabidearen eskuinaldean jartzen dira. Kamioi luzeak sartzeko modukoak izan behar dute.

#### *Pertsonentzako ihesbideak*

Tunelaren kanpoaldera zuzenean irteteko aukera eman behar duten galeriak dira. Zuzenean ezin denean, aireztatzeko-tunelekin edo sabai faltsuekin bat egin dezakete, gero handik irteteko aukera badago behintzat.

#### *Ibilgailuentzako ihesbideak*

Tunelaren kanpoaldera zuzenean irteteko tunelak.

“araudi berriaren arabera, babesguneak ebakuazio-bideak erabiliz kanpora irteteko aukera eman behar dute”

#### *Hainbat ekipamendu*

Suteen aurkako ur-sarea, aire konprimatuaren sistemak, eta isurtzen diren gaiak berreskuratzeko sistemak jarri behar dira.

#### *Ate termikoak*

Segurtasun-sistema hau Frantzia eta Italia arteko Frejuseko tunelean erabili zen lehen aldiz, Mont Blancoko istripua gertatu ondoren. Emaiza oso onak eman ditu. Sistemaren helburua tunelean sartuko diren kamioiak gehiegi berotuta doazen kontrolatzea da. Horretarako, tunelaren sarrera baino lehenago, kamioiak gerarazteko tokia egin zuten. Han, ate termikotik pasaratzen zaie eta informatikaren laguntzaz kamioiaren eskanerra egiten da. Atean jarritako sentsoere termikoei esker, ibilgailuaren tenperaturaren mapa lortzen da. Neumatikoak, balazta-pastillak, motorra, gidariaren kabina... guztia kontrolatzen da. ➔



METRO MADRID

Zulatzeko makinei uztai-eraztuna aldatzen zaie aurrera egin dezaten.

### Seinalizazio-sistema

Oinarri-oinarrizkoa da zirkulazioaren segurtasuna bermatzeko. Erabiltzaileari babesguneak non dauden esaten zaio, horma- edo sute-hobiak non aurki ditzakeen, noiz gelditu behar duen, zenbateko abiadura ibil daitekeen... Semaforoak jartzen dira, mezu-panelak, tunela ixteko barrerak, alarma-argiak, ihes-bideetara daramaten pintura islatzaileak eta abar.

### Airezatzea

Tunelen ohiko erabileran aireztatze-sistema egokia garrantzi handikoa da; suteen kasuan, berriz, ezinbestekoa. Sistema bat baino gehiago behar dira gainera: tuneleko naturala, haizagai-luen bidez lortzen dena, ihesbideetako aireztatze-sistemak eta abar.

### Komunikazioak

Badute bere garrantzia, erabiltzaileei uneoro tuneleko zirkulazioaren egoera zein den adierazteko balio baitute. Telefonía-, telebista- eta irrati-sistemak jartzen eta erabiltzen ari dira gaur egun.

### Kontrol-sistema

Telebista-zirkuitu itxiak eta istripuen detekzio-sistema automatikoak erabiltzen ari dira. Tuneletan telebista-

## Historia apur bat

Tunelen eta meataritzaren historia une berean hasi ziren. Munduan ezagutzen den meategi zaharrena Kristo baino 40.000 urte lehenagokoa da; Bomvu muinoan dago, Swazilandian. Meategi hura hematitea ateratzeko erabiltzen zuten.

Lehen tunelak sua erabilia irekitzen ziren. Zulatzeko hasi behar zuten tokian sua egin eta bat-batean urarekin itzaltzen zuten. Horrela, tenperaturaren aldaketagatik, harkaitza pitzatu egiten zen eta, ondorioz, lanean hasi zitezkeen.

Duela 2.500 urte inguru, Eupalinos arkitektoak Greziako Samos hirira ura eramateko kilometrotik gorako tunela eraiki zuen. Bere gizonak alde bietatik jardun zuten lanean eta erdian egin zuten topo. Inork ez daki greziarrak zer egin zuen lanean ari zirela tunela urez bete ez zedin, baina aldapa egokia emanda, ura Kastor menditik hirira eramatea lortu zuen. Urte batzuk geroago, Kristo baino 35 urte inguru lehenago, Napoles hiririk gertu, 1.500 metroko luzera eta 4 metroko zabalera duen tunela ireki zuten. Antzinako tunelgintzako adibide gehiago ere badaude, esate baterako Trajanoren garaian (98-117), Lugon (Montefurado) eta Leonen (Las Medulas) irekitako urre-meategiak.

Kanalak egiteko tunelak XII. mendean hasi ziren egiten, Frantzia, Midiko kanalarekin. Ordurako teknika asko aurreratuta bazegoen ere (kontuan hartu Eupalinos-en garaian tunela habetu ere ez zutela egin), tunelgintzako iraultza iristear zegoen. Hori XIX. mendean gertatu zen, besteak beste, Marc Isambard Brunel ingeniari britainiarri tunelgintzako langileak babesteko tunelaren pareko zilindro-formako babesgailua erabiltzea otu zitzaionean. Zulatu ahala zilindroa aurrera eramaten zuten eta, horrela, lurra atera zezaketen. Zulatzaileen ondoren, harginek tuneleko horma egiten zuten. Teknika hori lehenbizikoz Tamesis azpiko tunel batean erabili zen, 1843. urtean. Duda barik, aurrerapena handia izan zen, ordura arte tunelgintzan ez baitzegoen inolako babesik. Hemen inguruan, Lizarraga mendateko tunela ere sasoi beretsukoa da, 1853an egiten hasi eta 59an bukatu baitzen.

Tunelgintzarako, Brunel ingeniariaren tresnak baino garrantzi handiagoa trenaren agerpenak izan zuen. Trenei ez zaie gustatzen gora eta behera ibiltzea, ez eta bihurgunez betetako ibilbideetatik mugitzea ere. Hortaz, zubi-gintzarako eta tunelgintzarako, XIX. mendearen bigarren erdialdea oparoa baino oparagoa izan zen. Alpeetako tunel handiak, Mont-Cenis, San Gotardo eta Simplon, adibidez, sasoi hartakoak dira.

Datozen urteotan, tunelgintzak erronka handiak ditu. Abiadura handiko trenek edo hirietako lurpeko trenek ahalik eta ibilbide lau eta zuzenenak behar dituzte. Horregatik, gaur egun tunelgintza gorantz doa.



Segurtasun-hobia Mont Blancetako tunelean.

**“tuneletan  
telebista-kamerak  
jartzen dira  
eta kontrol-gelatik  
zain daitezke”**

-kamerak jartzen dira eta kontrol-gelatik zain daitezke. Trafikoaren kontrola egiteko balio du gehienbat. Iru-dien bidezko detekzio-sistema automatikoak zirkulazioan gerta daitezkeen gorabeherak denbora errealean detektatzea du helburu. Sistema horren oinarriak irudien prozesatze digitalaren teknikak dira.

### Sute-detektagailuak

Ke-detektagailuak, bero-detektagailuak eta telebista bidezko sute-detektagailuak erabiltzen dira.

Tunelak gero eta seguruagoak izan daitezzen, eragile gehiagok ere badute zerikusia: zoruaren egoerak, trafiko-dentsitateak, bihurgune asko edo gutxi izateak, klaustrofobiaren aurkako argiak... guztiak dira kontuan hartzekoak eta beharrezkoak, istripu gutxi gertatu arren tuneletakoak istripu larriak izaten direlako. ■