

TREBALL DE RECERCA

Construcció d'una nova línia de metro a Barcelona des d'un punt de vista geològic: L12



Nom: Patricia Cea Cabrera

Tutor: Francisco Catena

Data: 16/01/2014

2n Batxilerat B

Col·legi Sagrada Família Horta

AGRAÏMENTS

Vull agrair a totes aquelles persones que han fet possible la meva recerca i que, sense la informació i l'ajut que m'han proporcionat de forma desinteressada, mai hagués pogut realitzar-lo.

En primer lloc, agrair a la meva tutora de 1r de Batxillerat, Marienza Saiz, que em va orientar i ajudar a l'hora d'escollir aquest tema, fet que em va permetre veure el treball amb la perspectiva amb que s'ha dut a terme.

A Conchita Pedrós, que va proporcionar-me informació clau sobre els procediments geològics a seguir, ja que va ser partícip en l'obra d'un dels trams construïts, amb documents de la L9 que actualment està encara en construcció, i una memòria de la qual vaig poder extreure la metodologia a seguir.

A Elisabeth Lugo, professora de l'escola, qui m'ha guiat i donat la base científica sobre geologia necessària per saber estructurar el treball i saber quins objectius investigar per tal de verificar la viabilitat del projecte, (tot en les seves hores lliures), i a la bibliotecària de la facultat de geologia de la UB que va ajudar-me en la recerca de mapes geològics de la zona a estudiar. També agrair a Montse Meneses i Inma Jiménez per la seva ajuda en la impressió de mapes, enquestes, esborranys del treball i tot allò que he necessitat, i a Cristian García, qui m'ha proporcionat tots els programes informàtics necessaris per traçar la línia als diferents mapes.

I per últim, agrair al meu tutor de Treball de Recerca, Francisco Catena, qui m'ha orientat i ajudat en la investigació i aconseguit l'ajuda de Elisabeth Lugo, persona que ha sigut crucial en la recerca.

ÍNDIX

0. Introducció	5
1. Situació geològica de la zona de Barcelona	7
1.1 Situació geogràfica	8
1.1.1 Límits	9
1.1.2 Línia de la costa	9
1.2 Context geològic: Litologia	10
2. Recerca d'antecedents per la zona: enfonsament al Carmel	14
2.1 Objectius de la construcció	14
2.2 Causes i conseqüències de l'enfonsament	15
2.2.1 Causes de l'enfonsament	15
2.2.2 Conseqüències de l'enfonsament	17
3. Estudis previs de la zona	19
3.1 Cartografia d'Horta	21
3.2 Cartografia de El Carmel	21
3.3 Cartografia del Parc Güell	21
3.4 Cartografia de l'Avinguda Tibidabo	22
3.5 Cartografia de Sarrià	22
3.6 Cartografia de Reina Elisenda	22
3.7 Cartografia de Zona Universitària	23
3.8 Cartografia de l'Hospital de Sant Joan de Déu	23
3.9 Sondejos propers a la línia	23
4. Materials necessaris per a la perforació del terreny	26
4.1 Materials necessaris per els estudis previs a la perforació del terreny	26
4.2 Materials necessaris per a la perforació del terreny: la tuneladora	27
4.2.1 Parts de la tuneladora	28

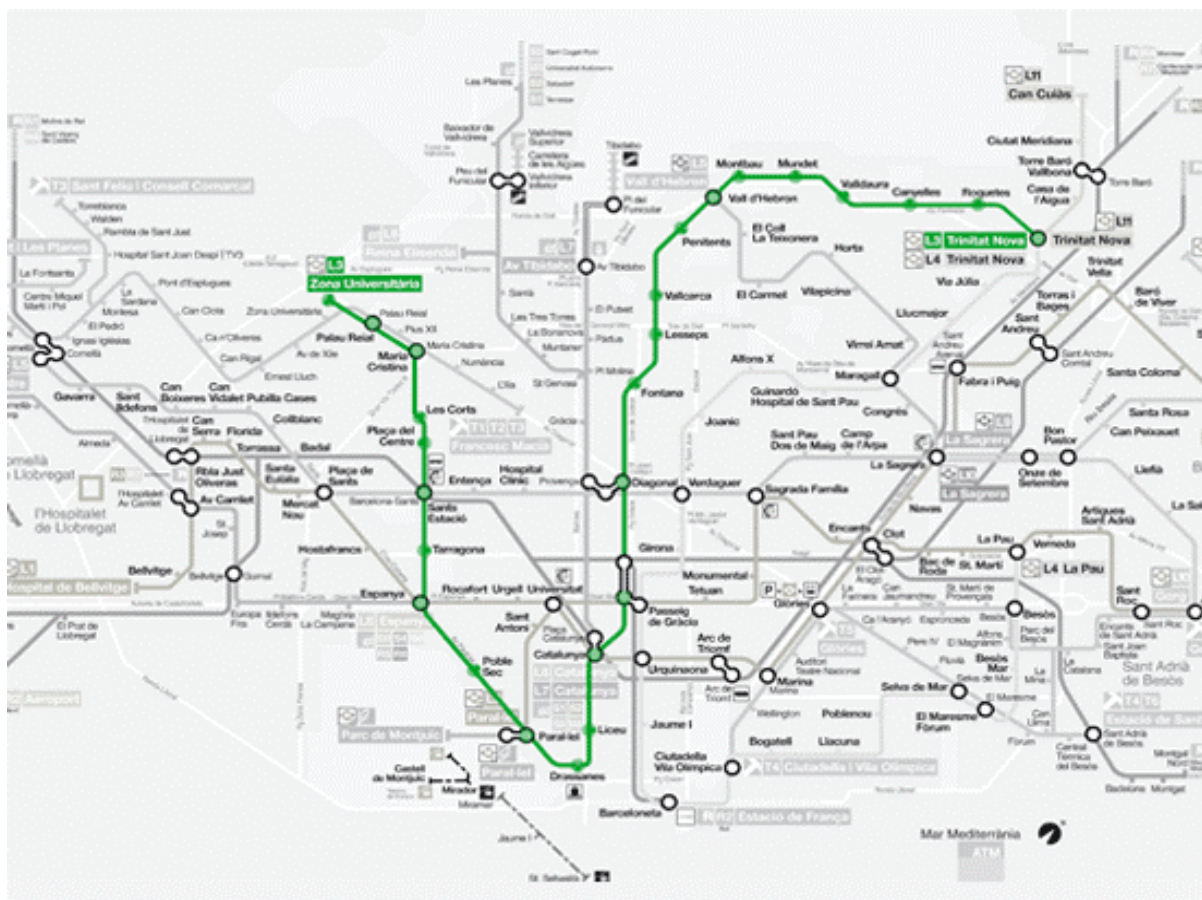
4.2.2	Seccions de la tuneladora	29
4.2.3	Funcionament	30
4.2.4	Tipus de tuneladora	30
4.2.4	Tipus de revestiments del túnel	36
4.3	Materials necessaris per a l'auscultació del túnel	37
5.	Estudi geològic del possible túnel	39
5.1	Trama al mapa satèl·lit	39
5.2	Trama al mapa geològic	41
5.2.1	Pous de ventilació	42
6.	Estudi de les possibles zones problemàtiques	47
6.1	Estudi dels possibles problemes a El Carmel	47
6.2	Estudi dels possibles problemes al Parc Güell	48
6.2.1	Construcció per viaducte	48
6.2.2	Construcció per via subterrània	49
7.	Desenvolupament de la perforació del túnel	50
8.	Despeses econòmiques del projecte	51
9.	Opinió general de la població sobre el projecte	52
9.1	Resultats obtinguts	53
9.2	Conclusions	57
10.	Conclusions finals	58
11.	Bibliografia	59
12.	Annex	61

0. Introducció

El metro és el mitjà de transport més directe, més ràpid i més utilitzat de Barcelona i a més a més, el que menys contaminació produeix de tots. Encara i així, moltes vegades per tal d'arribar al nostre destí hem de fer un tomb innecessari per diferents zones de Barcelona, cosa que fa que perdem temps ja que la ruta traçada no és massa directa.

Donat que l'any que ve tinc interès en anar a la universitat i la UB (Universitat de Barcelona) és una de les meves opcions vaig mirar quina seria la ruta que hauria de seguir. Visc a El Carmel, per tant hauria d'agafar la L5 direcció Vall d'Hebron, arribar fins al final de la línia i a Vall d'Hebron fer transbord i agafar la L3 direcció Zona Universitària, fins a Palau Reial. El temps total que trigaria serien un 40 minuts aproximadament (depenent de l'espera dels metros, la velocitat en que es faci el transbord), mentre que en cotxe són uns 15 minuts.

Aquest problema és generat perquè la L3 baixa fins Drassanes, que està a prop del mar, i torna a pujar cap al barri de Pedralbes, en comptes de seguir una línia recta i més directa.



Línia 3 metro de Barcelona

És per això que va sorgir-me la idea de construir una nova línia de metro molt més directe i que també comunicés altres zones que no disposen d'una parada de metro pròpia per tal de disminuir el temps del trajecte. Per tenir una consciència més real del problema, vaig desplaçar-me a cadascuna de les diferents zones on hi he situat les estacions o mateixa, agafant metro i Ferrocarrils Catalans per a arribar a un destí que realment trigaria la meitat del temps.

La meva decisió de quines parades serien les més adequades i més necessàries va ser determinada seguint el següent criteri: entitats importants mal comunicades, per exemple l'estació de Hospital Sant Joan de Déu on només és pot accedir amb autobús; zones on no hi hagi cap transport públic proper o que aquest no sigui directe, com per exemple les estacions a Parc Güell, Tibidabo i Sarrià.

En conclusió, l'objectiu d'aquest treball és trobar una millora en el nostre transport públic per tal de fer que els ciutadans guanyin en qualitat de vida i en les comoditats donades per la xarxa metropolitana.

1. Situació geològica de la zona de Barcelona

Abans de fer qualsevol tipus d'estudi geològic de la zona concreta on es vol perforar el túnel on es farà la línia de metro, s'ha de tenir un coneixement previ sobre la situació geològica de la zona en general, ja que serà molt important per saber quins factors haurem de tenir en compte per a l'excavació i poder conèixer des d'un inici tots aquells possibles problemes que es poden arribar a donar. Això ens permet començar el projecte amb una avantatge ja que hi podrem prendre mesures preventives i no haver de prendre de correctores un cop feta la perforació.



Mapa geològic de Barcelona. Escala 1:50.000. I.G.M.E. (1928).

1.1 Situació geogràfica

La ciutat de Barcelona es situa sobre una plana inclinada suaument cap al mar i es troba entre els deltes del Besòs i del Llobregat. Aquesta plana descendeix dels relleus muntanyosos de la Serra de Collserola (Tibidabo 516 metres), els quals formen part de la Serra Litoral Catalana i segueixen una direcció sensiblement paral·lela a la línia de la costa.

La part de Barcelona més propera a la serra litoral està esquitxada per petits cims alguns dels quals urbanitzats, i altres coronats per parcs, com són: el Carmel (265,6 metres), Monterols (127,3 metres), el Putxet (182,7 metres), la Rovira (206,8 metres) i el Turó de la Peira (138 metres). Però el cim més conegut de Barcelona, just a sobre de la línia de la costa i separant la ciutat del delta del Llobregat, és la muntanya de Montjuïc (184,8 metres). Finalment esmentar el promontori de sol 16,9 m on s'assenta el nucli històric de la ciutat, la muntanya Tàber. El canvi de pendent, entre la muntanya i la plana, dibuixa a grans trets el límit nord- oest de la zona urbana.

La continuïtat de la plana es veu interrompuda per una alineació muntanyosa de menys alçada que l'anterior i la qual s'uneix en el Coll de Penitents: són els Serrats de la Rovira, que comprenen la sèrie de turons que des de la Peira i la Rovira (267 metres) es dirigeixen al Putxet i el Monterols.

En el sud-est de la ciutat s'aixeca el massís de Montjuïc (172 metres) clarament asimètric, amb una pendent suau cap a la ciutat i un talús irregular, provocat per una falla, en la vessant marítima.



Imatge aèria de la ciutat de Barcelona

1.1.1 Límits

La ciutat de Barcelona limita, de sud a nord-est i en sentit horari, amb els municipis de Prat de Llobregat, Molins de Rei, Sant Cugat del Vallès, Cerdanyola del Vallès, Montcada i Reixac, Santa Coloma de Gramanet i Sant Adrià del Besòs. Els dos primers i els dos últims són els municipis amb els quals la ciutat manté un contacte més estret, amb una densa zona urbana continua que els uneix. Per contra Sant Cugat del Vallès i Cerdanyola del Vallès queden molt separats de Barcelona, ja que la serra Litoral i el parc natural de la serra de Collserola actuen com a barreres naturals.



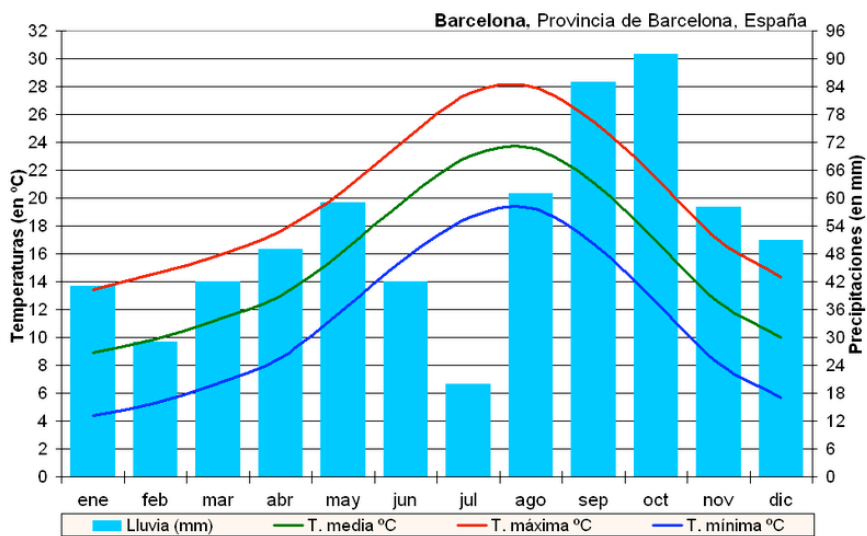
Localització de Barcelona al mapa de municipis



Mapa de municipis de Barcelona

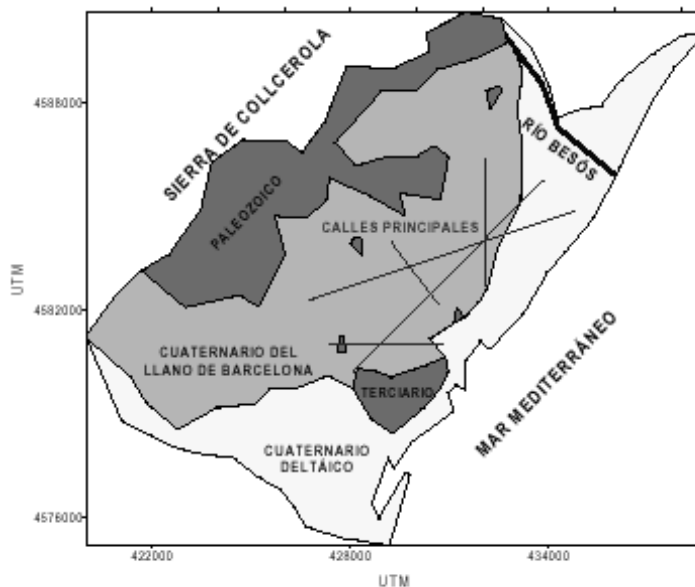
Barcelona té una petita part del seu terme municipal al vessant del Llobregat de la serra de Collserola. Es tracta de Vallvidrera i de les Planes que es troben alguna cosa internades dins del parc natural de Collserola. També forma part del seu terme municipal Santa Creu d'Olorda, cavalcant entre el Vallès Occidental i el Baix Llobregat.

1.1.2 Línia de la costa



Temperatures i volums de pluja mitjans de Barcelona

La línia de la costa de Barcelona ha canviat amb el pas del temps fins al punt que en l'època prehistòrica arribava on avui dia està situada la Plaça de Catalunya. Els terrenys sobre els quals es va assentar la Barceloneta no existien un segle i mig abans de la construcció d'aquest barri. Aquests terrenys són fruit de l'acumulació de sediments de sorra arrossegada pels corrents marins provinents del nord i que serien contingudes per l'espigó del port construït el 1640, i que van acabar per unir l'antiga illa de Maians (on actualment es troba l'estació de França) amb terra ferma, formant la llengua de terra base de la Barceloneta.



Esquema hidrogeològic de l'àrea de Barcelona

En el mapa mostrat anteriorment, podem observar un mapa molt esquemàtic de la hidrologia i geologia de Barcelona. Per una part, s'ens mostra el riu Besòs i el Mar Mediterrani. Aquests dos són factors que influeixen molt en el projecte ja que provoquen que les roques es transformin i es tornin més toves, són un factor erosiu i de transport d'altres materials a zones on no hi serien comuns.

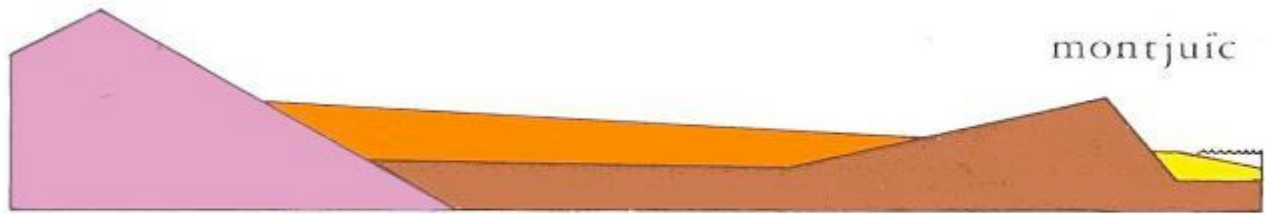
Per altre banda, les zones estan dividides segons a quin temps geològic pertanyen, factor influent en el tipus de roca que trobarem.

1.2 Context geològic: Litologia

La formació de Barcelona pot dividir-se en dues unitats geomorfològiques bàsiques: el sector muntanyós i la plana. Els materials que els formen són totalment diferents.

Les zones muntanyoses estan constituïdes per terrenys Paleozoics, granit. La plana de la ciutat, limitada pels deltes, està formada per un gruix variable de sòls d'edat Quaternària que reposen sobre un sòcol Paleozoic, granit. En la següent fotografia es mostra un tall geològic esquemàtic de la ciutat de Barcelona.

collserola



Paleozoico



Terciario



*Cuaternario
antiguo*



*Cuaternario
moderno*

Tall geològic esquemàtic de Barcelona. Ajuntament de Barcelona, 1972.

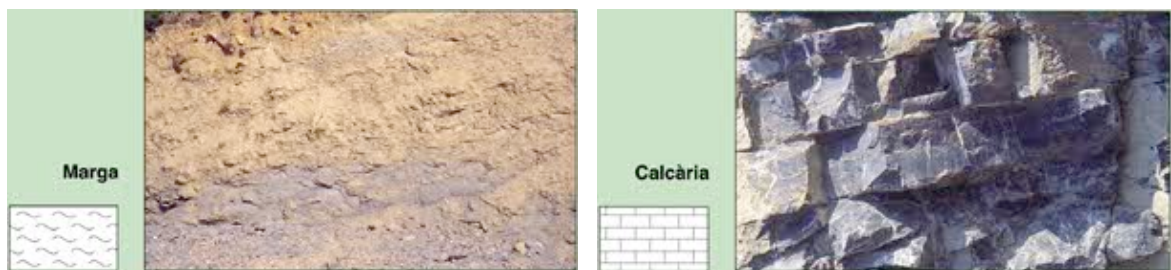
En aquest tall geològic podem observar l'antiguitat dels diferents estrats que hi trobem a trets generals. Això ens ajudarà a l'hora de poder deduir els diferents tipus de materials que hi podem trobar segons l'antiguitat de la roca.

Pel que fa al tipus de roca sedimentària, les més comunes són les següents:

- Detrítiques: d'aquest tipus es presenten el conglomerat, el gres i la lutita.



- No detrítiques (carbonàtiques): Marga i calcària.



- No detrítiques (evaporítiques): Guix i sal.



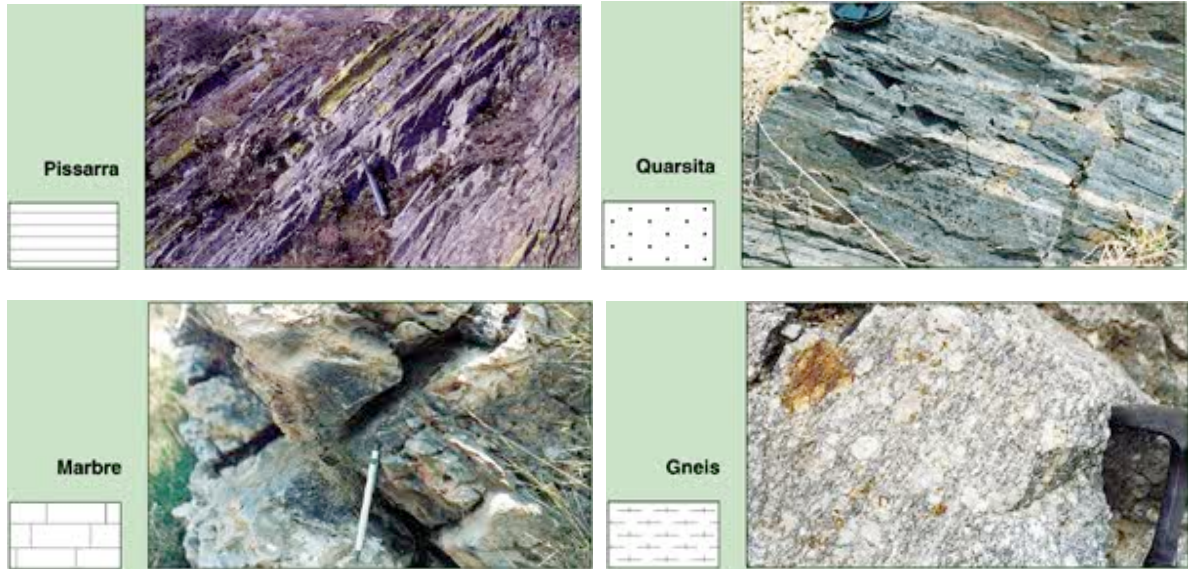
- No detrítiques (orgàniques): Carbó.



- Roques ígnies: Granit i Basalt.



- Roques metamòrfiques: Pissarra, marbre, quarsita i gneis.



Segons el tipus de roca, podem datar l'antiguitat de la zona i saber la seva duresa. Les roques ígnies són les més dures, després les roques metamòrfiques i per últim les roques sedimentàries, que acostumen a ser llims tous.



Enfonsament al carrer Calafell

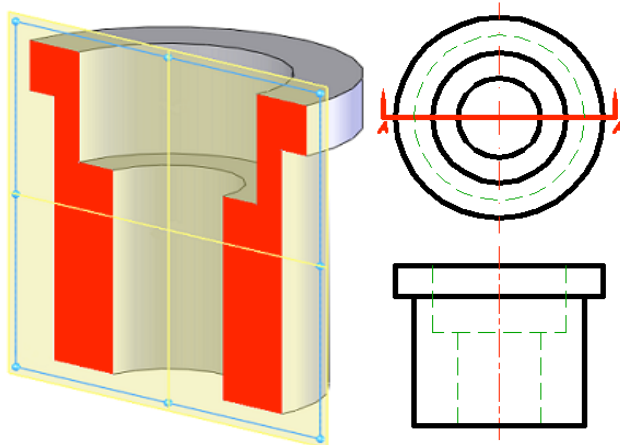
2.2 Causes i conseqüències de l'enfonsament

En el següent punt analitzarem el per què es va produir l'enfonsament i quina repercussió va tenir per la zona.

2.2.1 Causes de l'enfonsament

Les causes principals de l'enfonsament van ser les següents:

1. El projecte del túnel va ser redactat amb presses i l'adjudicació de l'obra es va fer sense publicitat.
2. El túnel s'havia excavat segons el nou mètode austríac, a secció completa, i discorria per un subsòl format per una alternança de gresos i pissarra.



Tall a secció completa

Segons els informes, era un gres amb un RMR de 42 en la zona de l'accident. El RMR és un tipus de classificació que permet classificar les roques *in situ* i permet estimar la situació segons cinc paràmetres:

- La resistència de compressió simple de la roca.
- El RQD (Rock Quality Designation): es defineix com el percentatge de trossos de roca de més de 10 cm de longitud.
- La separació entre les diàclasis (fractura en les roques que no va acompanyada de lliscament dels blocs que determina).
- El seu estat.
- La presència d'aigua freàtica.

Al resultat de cadascun dels paràmetres se li assigna, segons unes taules, un valor y es sumen tots ells per obtenir l'índex de qualitat RMR sense correccions. A aquest valor se li ha de restar un factor d'ajust en funció de l'orientació de les discontinuïtats.

RMR	Descripción	Tiempo Medio Sostén	Ángulo rozamiento
0 - 20	Muy pobre	10 min./0.05 min	< 30°
21 - 40	Pobre	5 horas/ 15 min	30-35°
41 - 60	Regular	1 sem. / 3 meses	35-40°
61 - 80	Bueno	6 a 4 meses	40-45°
81 - 100	Muy bueno	> 5 meses	45°

Taula de valors RMR assenyalant el donat al Carmel

3. Sis mesos després d'haver-se excavat la secció complerta, la convergència (és la reducció de l'interval vertical entre dues capes per l'aprimament dels estrats que intervenen, és a dir, que degut a la pressió lisostàtica es va tancant el pas) del túnel detectada, que va ser de 60 mm, va obligar a executar una contravolta en la zona de

l'accident, és a dir, es va afegir sòl de forma artificial per tal de construir un estrat superior suficientment important com per a que no es vingués a baix.



Zona del col·lapse principal

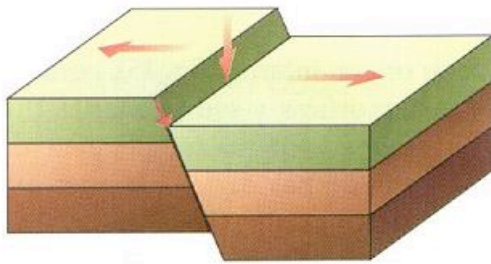
2.2.2 Conseqüències de l'enfonsament

El dia 25 de gener de 2005 va aparèixer una xemeneia, és a dir, va enfonsar-se part del sòl excavat per sota. De seguida, acabat de trobar aquest nou problema, ràpidament els operaris van començar a aplicar les tasques d'estabilització que van consistir en afegir una projecció de formigó però no va ser suficient ja que es va formar un col·lapse total, fenomen el qual no és comú al igual que les xemeneies sí que ho són.

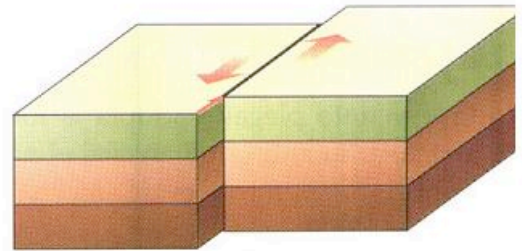
El dia 25 de gener van començar a donar-se tots els problemes. Un desprendiment del túnel va obligar a desallotjar el garatge del carrer Calafell número 12 de Barcelona i l'edifici número 10 del mateix carrer. Aquesta mesura va evitar que es produïssin víctimes mortals en el col·lapse principal.

A conseqüència d'aquest col·lapse, el garatge va desaparèixer en un forat de 18 metres de diàmetre i 35 de profunditat, i van desallotjar 84 blocs de vivendes (1057 persones) i es va enderrocar l'edifici del carrer Calafell, que va quedar amb l'estructura molt danyada. Més tard van haver d'enderrocar-se tres immobles més.

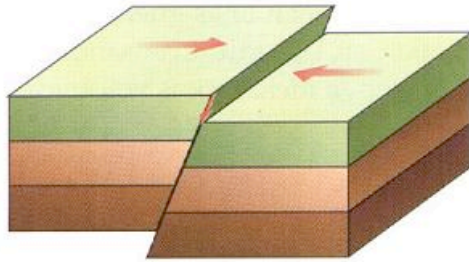
La constructora, la direcció de l'obra i el Departament de Ports i Transports de la Generalitat de Catalunya opinen de manera diferent respecte si la discontinuïtat era una falla vertical o simplement una zona que presentava més diàclisis. El què si sabem amb certesa es que havia servit de llit d'un antic corrent i, per tant, hi havia presència d'aigua. És possible que la suma de tot això sigui hagi donat com a resultat el col·lapse.



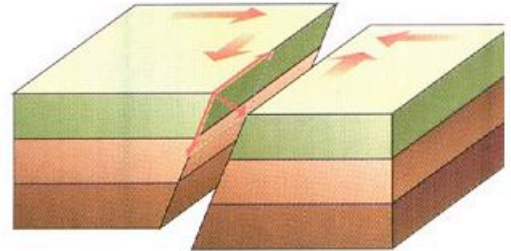
Normal



Horizontal



Inversa



Mixta

Tipus de falla vertical

3. Estudis previs de la zona

Abans de decidir quin serà el recorregut del túnel, s'ha de fer un estudi geològic de cada zona per tal de tenir la seguretat de que el projecte es podrà dur a terme sense problemes. És per això que s'observarà la geologia de cadascuna de les zones al mapa cartogràfic del ICC (Institut Cartogràfic de Catalunya) que ens permetrà descriure la geologia que hi trobem i saber així quines mesures haurem de prendre a l'hora fer la perforació.

Aquesta informació serà complementada amb un llistat de sondejos propers a la zona. Aquests sondejos ens donaran informació sobre els diferents estrats que hi trobem, és a dir, ens indicarà els canvis de materials que es produeixen segons la profunditat en la qual es treballi.

A continuació, es mostra una classificació dels diferents materials que hi podem trobar segons l'origen o tipus litològic (segons la seva litologia, entesa com l'estudi de l'estructura interna i externa de les roques, així com també les seves propietats i origen). Segons aquestes pautes les roques són classificades segons la grandària de gra, de les partícules i també segons les seves característiques físiques i químiques.

Origen o tipus litològic de les roques

- **E:** Evaporítica
- **C:** Carbonàtica
- **D:** Detrítica
 - **Dg:** Detrítica de gra gros
 - **Dh:** Detrítica heterogranular
 - **Dm:** Detrítica de gra mitjà
 - **Df:** Detrítica de gra fi
- **O:** Orgànica o organògena vegetal
- **Nc:** No consolidat
- **P:** Plutònica
- **V:** Volcànica
- **M:** Metamòrfica
- **G:** Ortognèissica

Quimisme i/o mineralogia

- **Q:** Silícic
- **Si:** Silicatat
- **Mx:** Silícic/Silicatat/Carbonàtic

- **Ca:** Calcari
- **Do:** Dolomític
- **Su:** Sulfats
- **Cl:** Clorurs
- **Mo:** Matèria orgànica vegetal
- **PI:** Unitats plurilítiques.

Per poder assolir tota aquesta informació s'ha de seguir la llegenda la qual permetrà fer una interpretació adequada dels diferents mapes que es mostraran. Es per això que mirarem els diferents grups litològics per obtenir informació sobre els materials i les seves característiques.

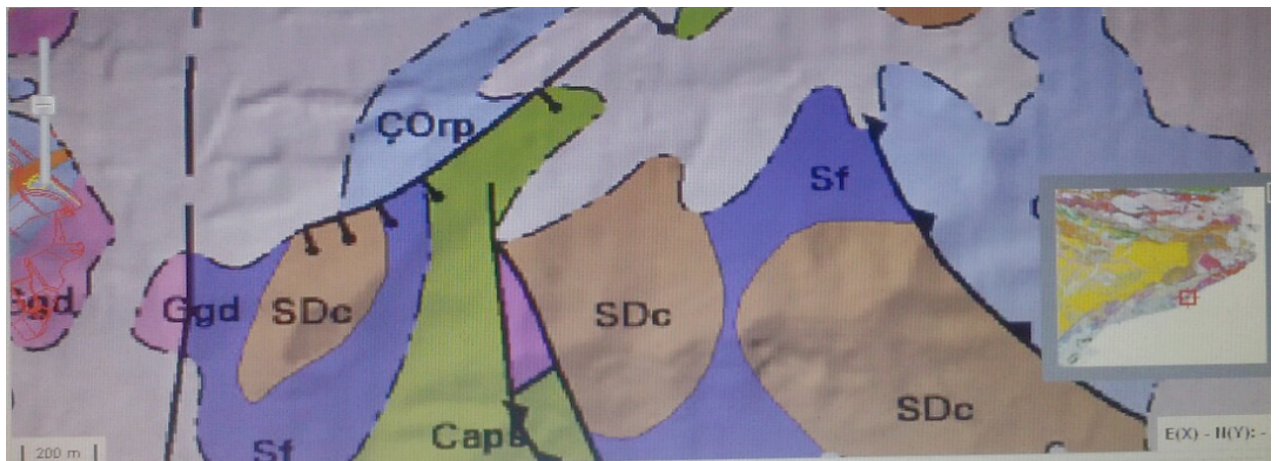
Grups litològics	
Clorurs	
E-Cl	Sals sòdiques i potàssiques
Sulfats	
E-Su	Guixos
Mixtes i sulfats	
DfE-Mx/Su	Lutites, gresos i guixos
Mixtes, carbonats i sulfats	
DfCE-Mx/Ca/Su	Lutites, gresos, calcàries, margues i guixos
Carbonats	
C-Ca	Calcàries
C-Do	Dolomies
C-Ca/Do	Calcàries i dolomies
Carbonats i mixtes	
CDh-Ca/Mx	Travertins i crostes carbonatades
CDg-Ca/Si	Bretxes de carbonats
CDf-Ca/Si	Margocalcàries, margues i calcàries
DfC-Si/Ca	Margues i argiles
Mixtes i carbonats	
DgC-Mx/Ca	Conglomerats i calcàries
DhC-Mx/Ca	Lutites, margues, gresos i calcàries
DmC-Mx/Ca	Gresos i margues
Mixtes	
Dg-Mx	Conglomerats i bretxes
Dh-Mx	Conglomerats, gresos i lutites
Dm-Mx	Gresos
Df-Mx	Gresos i lutites
Mixtes no consolidats	
DhNc-Mx	Graves i còdols, sorres i lutites
DmNc-Mx	Sorres
Mixtes i matèria orgànica	
DfO-Mx/Mo	Lutites i pissarres ampel·liques
Mixtes i matèria orgànica no consolidats	
DfONc-Mx/Mo	Lutites i torba
Carbonats i matèria orgànica	
CO-Ca/Mo	Calcàries i lignits
Unitats plurilítiques i matèria orgànica	
DhCO-PI/Mo	Gresos, conglomerats, margues i lignits
Quars i silicats	
Dg-Q/Si	Conglomerats i bretxes
Dh-Q/Si	Gresos, lutites i conglomerats
Dm-Q/Si	Gresos
P-Q/Si	Leucogranits, granits, granodiorites i tonalites
V-Q/Si	Riolites i roques volcàniques intermèdies
G-Q/Si	Gneis
Silicats i quars	
Df-Si/Q	Lutites, pissarres
P-Si/Q	Diorites i roques plutòniques intermèdies
Silicats	
P-Si	Ofites i roques plutòniques ultrabàsiques
V-Si	Basalts i piroclasts
Unitats plurilítiques	
CDf-PI	Calcàries. Calcopelites. Lutites.
CDm-PI	Calcàries i/o dolomies. Margues. Gresos.
DhC-PI	Gresos. Conglomerats. Calcàries.
M-PI	Esquists i migmatites. Gneis. Marbres i roques calcosilicatades.
Altres	
A-m	Moll

IGC-ICC, 2010

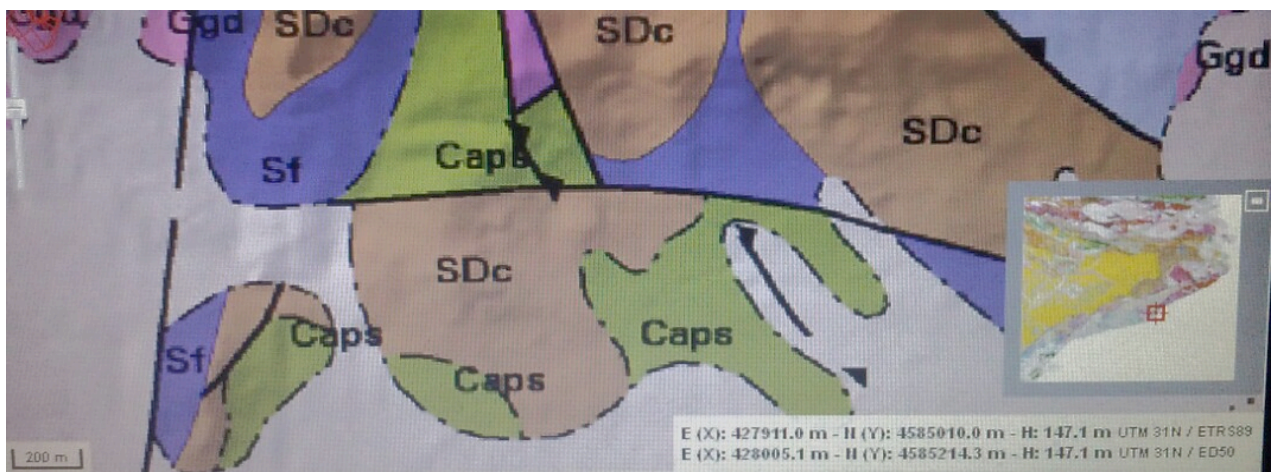
3.1 Cartografia d'Horta



3.2 Cartografia de El Carmel



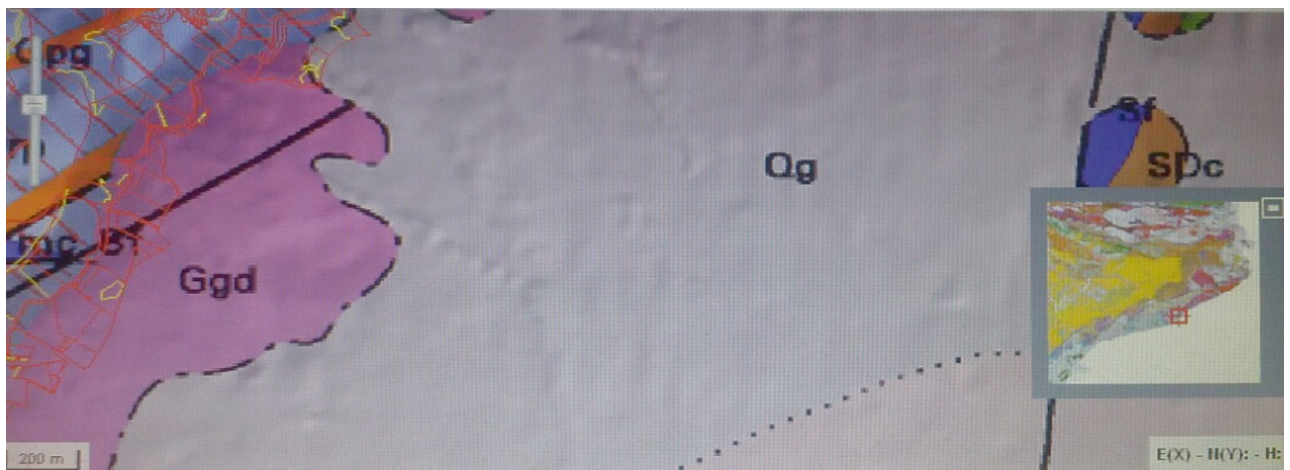
3.3 Cartografia de Parc Güell



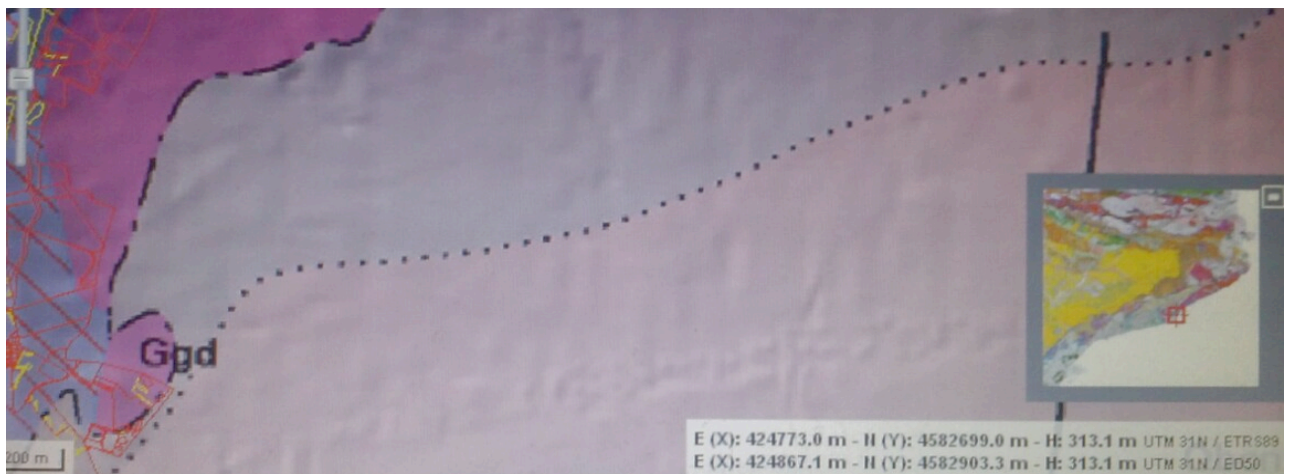
3.4 Cartografia de Tibidabo



3.5 Cartografia de Sarrià



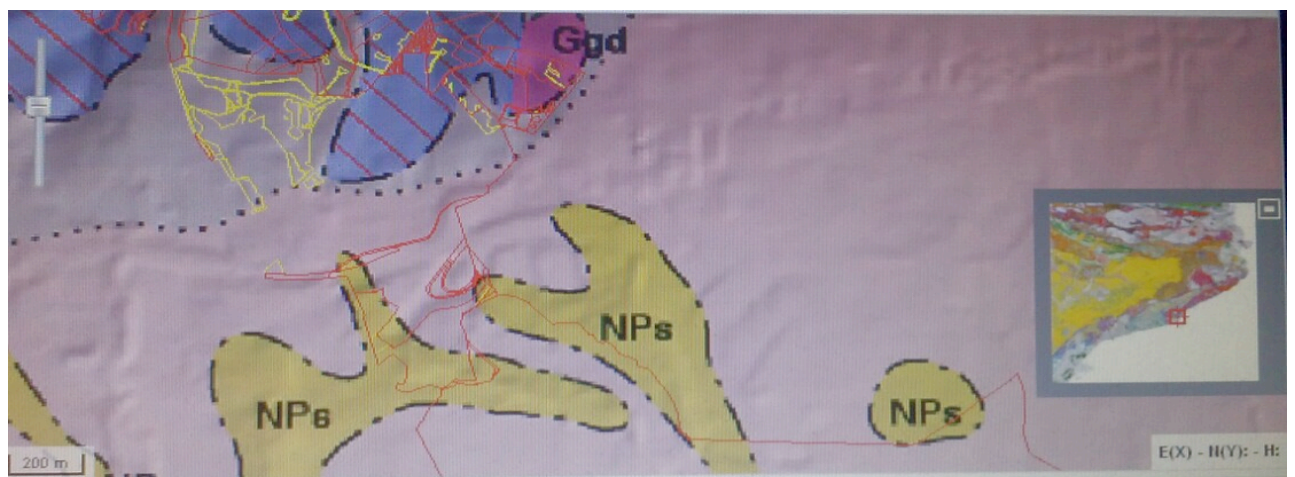
3.6 Cartografia de Reina Elisenda



3.7 Cartografia de Zona Universitària



3.8 Cartografia de Hospital Sant Joan de Déu



3.9 Sondejos propers a la línia

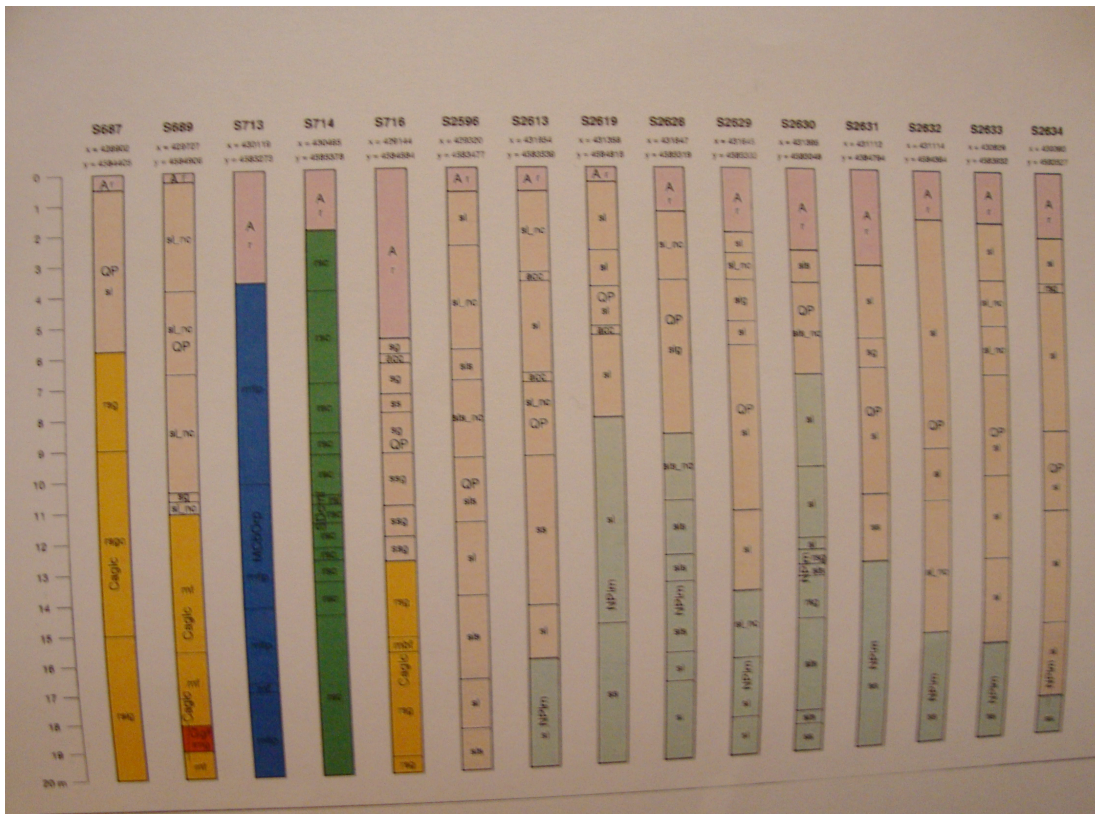
Per tal de conèixer els materials que es poden trobar durant la perforació i saber així el tipus de tuneladora a utilitzar i les mesures preventives a prendre, s'agafa informació de sondejos realitzats en les zones properes a la línia.

Un sondeig és una perforació de petit diàmetre (entre 65 i 140 mm) que, encara que no permeten la visió *in situ* del terreny, d'ells es poden obtenir testimonis del terreny perforat, així com mostres, i realitzar determinats assajos en el seu interior.

En aquest cas, els sondejos pertanyen a l'àrea de Barcelona-Horta, obtinguts del mapa físic de l'IGC, el qual es troba a la facultat de geologia de la UB. Està realitzat a 20 metres:



Sondejos de la zona d'Horta



Sondejos de la zona d'Horta

Seguint la llegenda anterior, podem veure que la gran majoria de material esta format per llims, graves i gresos. Aquests són materials que queden molt solts, característica que s'ha de tenir en compte per tal d'evitar un enfonsament. Tot i això, aquests sondejos confirmen la viabilitat del projecte.



Mapa topogràfic on s'indiquen els sondejos realitzats en la zona, IGC

- ⊕ Sondeigs i cales
- Penetròmetres

En aquest mapa podem observar els sondejos i estudis amb penetròmetre realitzats al voltant de la zona d'estudi.

4. Materials necessaris per a la perforació del terreny

Alhora de realitzar la perforació d'un túnel subterrani, s'han de tenir en compte molts factors diferents com poden ser la pressió, els diferents tipus de roques i sòls, la presència d'un nivell freàtic elevat... És per això que necessitarem uns materials especialitzats segons el treball que volem desenvolupar en tot moment i que ens eviti possibles problemes que sorgeixin.

Dividirem els instruments utilitzats en tres etapes diferents de la perforació: els que utilitzarem per fer uns estudis previs a la perforació del túnel, els materials necessaris per a la perforació i els que utilitzarem després de la perforació del túnel.

4.1 Materials necessaris per als estudis previs a la perforació del terreny

Primerament, realitzarem una auscultació del terreny on s'ha realitzar la perforació. Una auscultació ens serveix per analitzar els moviments de la superfície i veure l'obertura d'esquerdes. Ens permet veure moviments interns del terreny i saber la mesura de les pressions intersticials (pressió que realitzen els estrats superiors sobre el túnel). Aquests són els materials més comuns amb que es realitza l'estudi:

- **Penetròmetre:** ens permet fer un reconeixement de les característiques geotècniques del terreny. Consisteix en la introducció en el terreny d'un element de penetració, generalment de forma cònica, unit a un barnillatge. S'eleva una maça d'un pes definit a una alçada fixada i es deixa caure lliurement. El resultat de l'assaig és el número de cops que són necessaris per a que el penetròmetre s'introdueixi a una determinada profunditat.



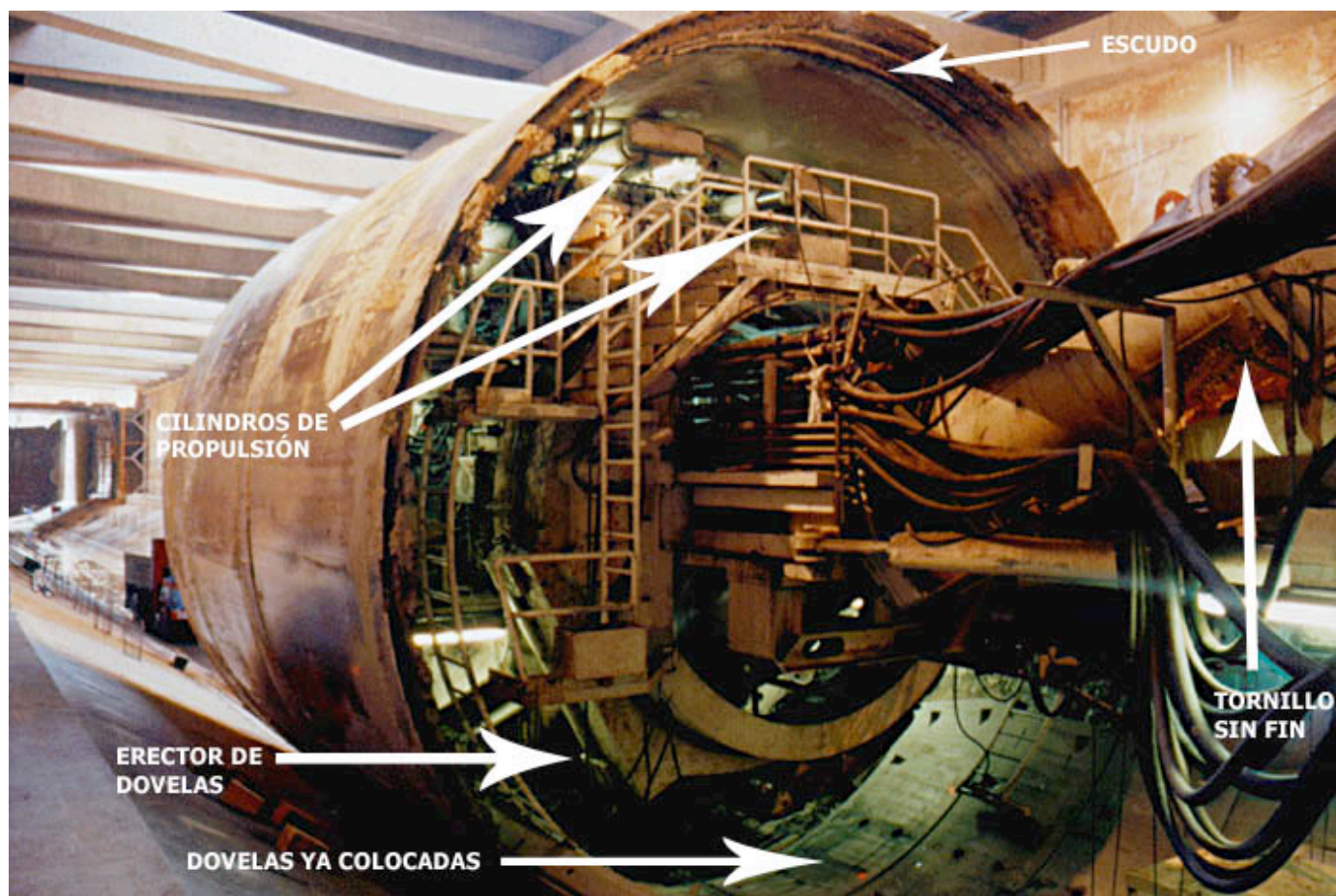
Penetròmetre

Un cop hem realitzat l'auscultació del terreny, el tercer i últim pas seria la cimentació del túnel. Per tal de fer les parets del que seria el túnel i l'estació, s'omple tot el terreny perforat de ciment i es deixa assecar. Una vegada fet aquest pas, la tuneladora passa a través del ciment perfilant el túnel i deixant la cimentació de terra, sostre i parets.

4.2 Materials necessaris per a la perforació del terreny: la tuneladora

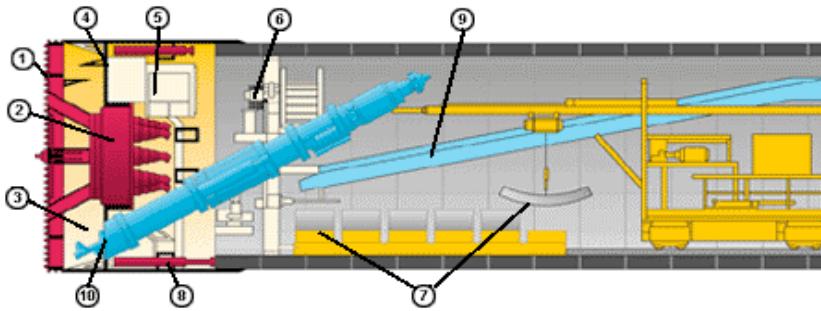
La tuneladora és una màquina capaç d'excavar túnels a secció completa, a la vegada que col·labora en la col·locació de un sosteniment si aquest és necessari, ja sigui de forma provisional o definitiva. L'excavació es realitza normalment mitjançant un cap giratori equipat amb elements de tall i accionada per motors hidràulics (alimentats al seu torn per motors elèctrics, atès que l'alimentació general de la màquina es realitza amb energia elèctrica), tot i que també hi ha tuneladores menys mecanitzades sense cap giratori. L'empenta necessària per avançar s'aconsegueix mitjançant un sistema de gats perimetrals que es recolzen en l'últim anell de sosteniment col·locat o en sabates mòbils (anomenades *grippers*), accionats també per gats que les empenyen contra la paret del túnel, de manera que s'obté un punt fix des d'on empenyeran.

Darrere dels equips d'excavació i avanç se situa l'anomenat *equip de ressaga* de la tuneladora (o en denominació anglesa *back up*), constituït per una sèrie de plataformes arrossegades per la pròpia màquina i que, sovint, roden sobre riells que la mateixa tuneladora col·loca, on s'allotgen tots els equips transformadors, de ventilació, dipòsits de morter i el sistema d'evacuació del material excavat.



Parts essencials de la tuneladora

4.2.1 Parts de la tuneladora



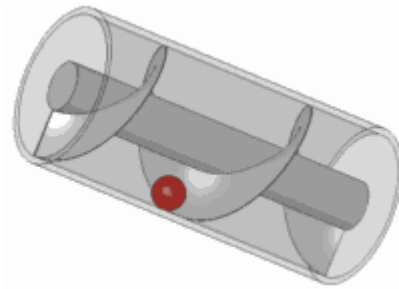
Esquema bàsic de un escut EPB

1. Roda de tall: Part frontal de la tuneladora on es troben els elements de tall que, accionats per motors hidràulics, faran l'acció de perforació de l'estrat. També és anomenada com a cap giratori, ja que accionat pel motor rotarà per tal d'excavar el túnel.
2. Accionament: És la part que acciona la roda de tall per tal de que aquesta faci la seva funció.
3. Cambra d'excavació: És el lloc on es situa el sòl excavat i que permet mantenir la pressió constant sobre el front i permetre així minimitzar els assentaments en la superfície. Aquesta funció es pot reforçar afegint escumes al voltant del material extret.
4. Sensor de pressió: Ens permet disposar en tot moment de les dades de la pressió amb detall ja que aquesta ha de ser constant per evitar un possible enfonsament del terreny.
5. Reclosa d'aire comprimit: Permet el pas del sòl reduint el canvi de pressió i tractant de mantenir-la constant. Presenta dues portes hermètiques que mai s'obren a la vegada per tal de mantenir la pressió.
6. Erector de dovelles: Permet subjectar les dovelles i transportar-les fins al lloc on volem situar-les.
7. Dovelles: És la peça que formarà l'estructura del túnel. Tenen una forma de sector circular i acostumen a estar fetes per formigó armat o premsat. És col·loquen de forma que creen un anell de dovelles al voltant del túnel per aguantar la pressió exercida pels sòls i donar rigidesa a l'estructura. Normalment, un anell està format per set dovelles, on cadascuna tindrà una mesura de 8430 mm de diàmetre interior, 9070 de diàmetre exterior i 1500 mm de longitud.



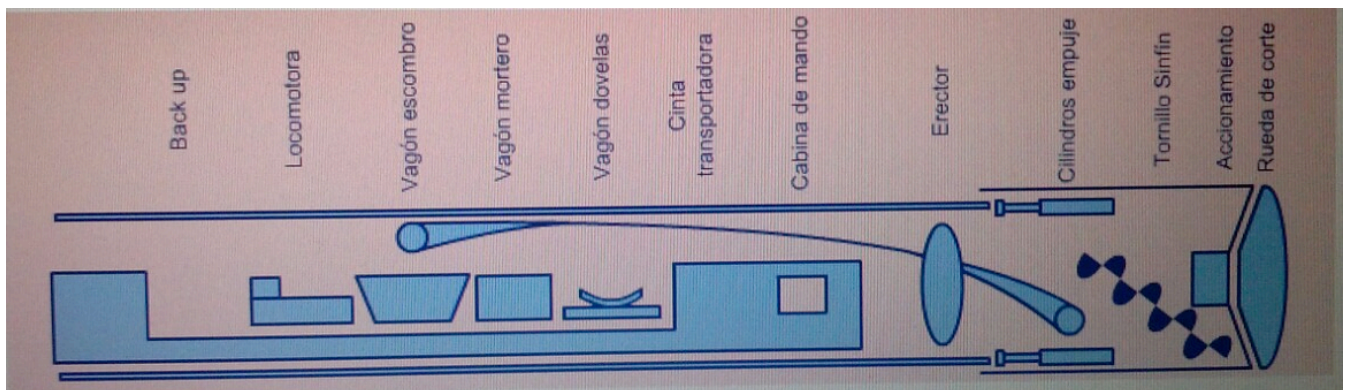
Dovelles de formigó armat

8. Cilindres de propulsió: Proporcionen força mecànica al cargol d'Arquímedes i ajuden a mantenir un balanç de pressions constant.
9. Cinta transportadora: És allà on es diposita el material excavat a partir del cargol d'Arquímedes.
10. Cargol d'Arquímedes o cargol sense fi d'extracció: Màquina gravimètrica helicoidal utilitzada per elevació d'aigua o material excavat. Està format per un tub on hi ha dins un cargol que rota i permet desplaçar d'un lloc a l'altre l'aigua o el sòl sense que s'escampin.



Funcionament del cargol d'Arquímedes

4.2.2 Seccions de la tuneladora



Seccions i parts de la tuneladora

La tuneladora té tres parts principals:

- Escut: és la part principal, on es troba la roda de tall, els cilindres d'empenta i els de guia. En aquesta part també hi trobem el cargol d'Arquímedes o sense fi i l'ector de dovelles.
- *Back up*: Normalment té més de 80 m de llargària. En aquesta àrea es troben la cabina de comandament, els motors principals, la cinta d'extracció de sòls, la ventilació, el transformador elèctric, l'equip injector d'escuma i morter així com les vies del tren.
- Tren: Disposa de vagons per a la runa, un vagó per el morter de farciment i algun altre vagó per al transport de personal o material.

4.2.3 Funcionament

Tota tuneladora (obviant els diversos tipus amb funcions concretes que existeixen) funcionen de la següent manera:

1. Primerament, la roda de tall (que acostuma a ser d'un diàmetre d'uns 9 metres aproximadament) és accionada per un motor elèctric i funciona de la mateixa manera que un trepant normal. Al girar el seu capçal, les seves dents i corrons(també anomenats *Rippers*) perforen la roca. Mentrestant, l'ariet hidràulic empeny el capçal a través del subsòl i la cabina de comandament, que està situada darrere de la roda de tall, controla a partir d'un ordinador la perforació.
2. A mesura que es va perforant, es va transportant el sòl extret a través del cargol d'Arquímedes o cargol sense fi que, aquest impulsat per la força feta pels cilindres de propulsió ajuden a que desplaçar les runes i portar-les a l'exterior. Per això, col·locaren les runes en vagons que les transportaran fora del túnel.
3. Després d'haver fet la perforació, la màquina retrocedeix i injecta escuma per tal de mantenir la pressió constant i evitar que la part superior caigui. Immediatament, l'erector de dovelles serà accionat, anirà agafant les dovelles d'una en una i les anirà situant formant un anell anomenat anell de dovelles. Un cop enllestit aquest pas, s'injectarà ciment per evitar que quedin separacions i imperfeccions que puguin provocar una separació dels anells de dovelles i amb això, la destrucció del túnel. Mentrestant, els *grippers* serviran d'ajut per fer una força d'empenta i evitar que les parets del túnel no aguantin i es davallin. Quan el terreny no és capaç de resistir la pressió dels *grippers*, la tuneladora funciona com un escut simple, és a dir, no és possible fer simultàniament l'excavació i el muntatge de l'anell de dovelles com explicàvem anteriorment. És per això que utilitza uns cilindres auxiliars que es recolzen en l'anell anteriorment construït, per així obtenir la reacció necessària per l'empeny de la roda de tall.
4. Una vegada fet aquest anell, la màquina avança i es disposa a començar a excavar el següent anell. I seguint el mateix procediment per construir cada anell anirà avançant fins a construir el túnel sencer.

4.2.4 Tipus de tuneladora

Segons el tipus de roca que volem perforar hi trobem tres tipus de tuneladores:

- **Talps**

Són tuneladores dissenyades per excavar roques dures o mitjanes, sense molta necessitat de sosteniment. La seva gran diferència és que els escuts no estan dotats de un cilindre d'acer rere la roda de tall que realitza la funció d'entibació provisional.

L'entibació és un tipus d'estructura de contenció provisional molt flexible, utilitzada habitualment en construcció i enginyeria civil.

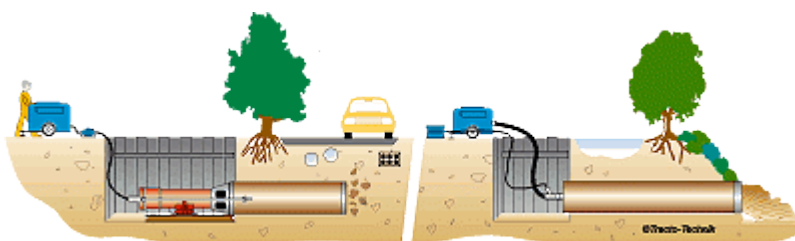


Tuneladora de tipus talp

Procés d'excavació

La força d'empenta es transmet al cap de tall mitjançant cilindres (cilindres d'empenta). La reacció produïda es transmet als costats del túnel mitjançant els *grippers* (força d'ancoratge). Els *grippers* també compensen el par produït pel cap de tall, que es transmet a aquests a través de la biga principal.

Quan s'ha acabat un cicle d'avanç, es necessita tornar a posicionar els *grippers* per la qual es recolza la biga principal al recolzament de darrere. Una vegada ancorats, els *grippers* en el seu nou emplaçament, s'allibera el recolzament de darrere i s'inicia un nou cicle d'avanç.



Esquema funcionament tuneladora de tipus talp

- **Escuts**

Són tuneladores dissenyades per excavar roques toves o sòls, terrenys que necessiten la col·locació d'un sosteniment. A diferència dels anteriors, els escuts tenen una carcassa metàl·lica exterior (que dóna nom a aquest tipus de màquina) que sosté provisionalment el terreny des del front d'avanç fins una part més endavant d'allà on es col·loca el sosteniment definitiu. Sovint estan preparades per avançar sota el nivell freàtic.



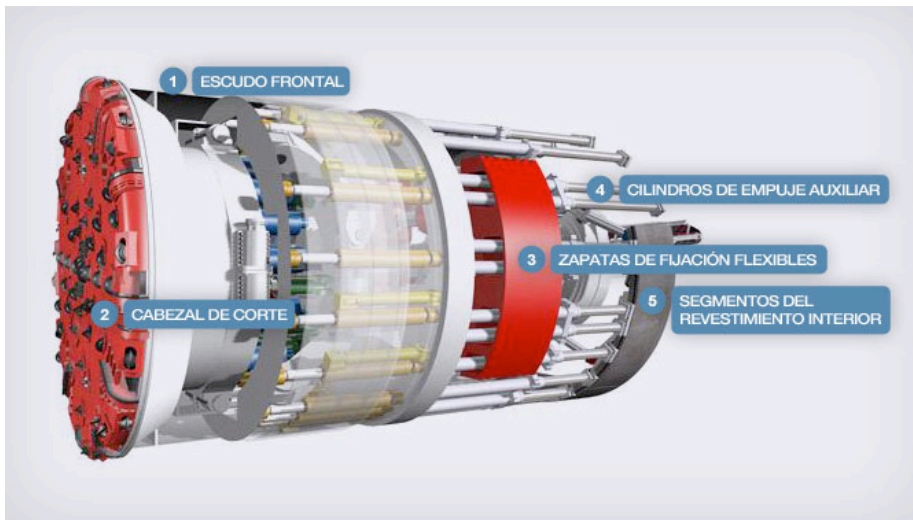
Tuneladora de tipus escut

Procés d'excavació

Si es tracta d'una tuneladora de cap giratori, sol estar equipada amb piques, llistons o *Rippers* (elements que arrenquen els sòls) i talladors (elements que trenquen per identació la roca). També disposa d'una sèrie d'obertures, freqüentment regulables, per on el material arrencat passa a una càmera situada darrere de la roda de tall i des d'on es transporta posteriorment cap a l'exterior de la màquina.

Rere la màquina es troben els motors i la cabina de comandament de la màquina, espais completament protegits per la carcassa metàl·lica.

Seguidament, està tot el sistema de perforació: en primer lloc els cilindres perimetrals (amb un recorregut entre 1,20 i 1,50 metres). Aquests gats perimetrals es recolzen contra l'últim anell col·locat de dovelles del revestiment definitiu del túnel. Quan finalitza el recorregut dels cilindres d'avanç, es col·loca un nou anell de dovelles (en l'interior de la carcassa, que s'estén una part més enllà, de forma que el túnel sempre està sostingut) i es comença un nou cicle d'excavació. Una injecció de morter o greix és necessària per omplir el buit de 7 a 9 cm de gruix entre les dovelles el terreny excavat.



Parts de la tuneladora d'escut

Dins d'aquest tipus de tuneladora, es distingeixen diferents grups:

- **Escuts de front obert:** s'utilitzen quan el front del túnel és estable. El sistema d'excavació pot ser manual, mitjançant un braç fresador, o amb un braç excavador o amb cap giratori. En alguns casos, es pot col·laborar amb l'estabilitat del front un cop acabat cada cicle amb uns panells a forma de reixa. Amb aquest tipus de màquina, si el cap no és giratori, és possible treballar amb seccions no circulars.



Tuneladora d'escut obert

- **Escuts de front tancat:** s'utilitzen quan el front del túnel és inestable, per exemple en terrenys no cohesius, saturats d'aigua, etc. La secció excavada ha de ser circular. N'hi ha de diversos tipus:
 - **Escuts amb tancament mecànic:** l'entrada i sortida de material en la cambra de sòls es regula mitjançant dues portes d'obertura controlada hidràulicament. La màquina té limitacions amb presència d'aigua.
 - **Escuts pressuritzats amb aire comprimit:** són les menys comunes.

- **Escuts de bentonita o hidroescuts:** amb la injecció de bentonita s'aconsegueix establir el terreny per les seves propietats tixotròpiques i facilitar el transport de material mitjançant el bombeig.



Tuneladora d'escut tancat hidroescut

- **Escuts de balanç de pressió de terres EPBs:** el material és extret de la cambra de sòls mitjançant un Cargol d'Arquímedes. Variant la força d'empenta d'avanç i la velocitat d'extracció del cargol, s'aconsegueix controlar la pressió del balanç de sòls, per a que aquesta garanteixi l'estabilitat del front i es minimitzin els assentaments en superfície. Per facilitar l'avaluació de productes poc plàstics amb cargols, sovint s'han d'injectar productes químics per augmentar la plasticitat dels terrenys. Avui en dia, són les que predominen en quant a l'excavació de túnels sota nivell freàtic.



Tuneladora d'escut tancat EPB

- **Doble escut**

Aquest tipus de tuneladora és capaç de treballar com a talp o com a escut, és per això que és ideal per terrenys variables amb sòl-roca. En aquestes hi trobem l'escut dividit en dues parts, la davantera en la que es troba el cap de tall, i la zona de darrere en la que es realitza el muntatge de l'anell de dovelles.



Tuneladora de doble escut

Procés d'excavació

El moviment d'aquestes dues parts de l'escut és independent, situant-se els *grippers* en un buit obert entre ambdós, per tant el cap pot excavar mentre que en la cua de l'escut es van muntant els anells de dovelles. D'aquesta manera els rendiments assolits amb aquest sistema són molt més grans que amb un escut simple. Aquest sistema s'aplica en aquells terrenys capaços de resistir la pressió que transmeten els *grippers*. Al mateix temps que els cilindres d'empenta principal impulsen cap a endavant l'escut de cap i la roda de tall realitza l'excavació, en l'escut de darrere es procedeix al muntatge d'un nou anell de dovelles de sosteniment.

Quan el terreny és més dèbil i no és capaç de resistir la pressió dels *grippers*, la tuneladora funciona com escut simple, tancant-se el buit dels *grippers*, i recolzant-se la tuneladora, mitjançant uns cilindres auxiliars, em l'últim anell col·locat, per així obtenir la reacció necessària per l'empeny del cap de tall (és a dir, treballa com escut normal). Per això, treballant com escut, no és possible fer-lo simultani amb el muntatge de l'anell de dovelles.

4.2.5 Tipus de revestiments del túnel

- **Penetració de tubs:**

Són tubs de formigó armat amb virolla d'acer en un dels seus extrems i unió elàstica mitjançant una junta de goma de compressió i lliscament, especialment dissenyats per al seu ús en condicions en què volem evitar una obertura.



Túnel construït per penetració de tubs

- **Túnels amb dovelles:**

Són els túnels que estan revestits amb dovelles a través de la construcció d'anells de dovelles. Aquesta és la més comuna de les dues.



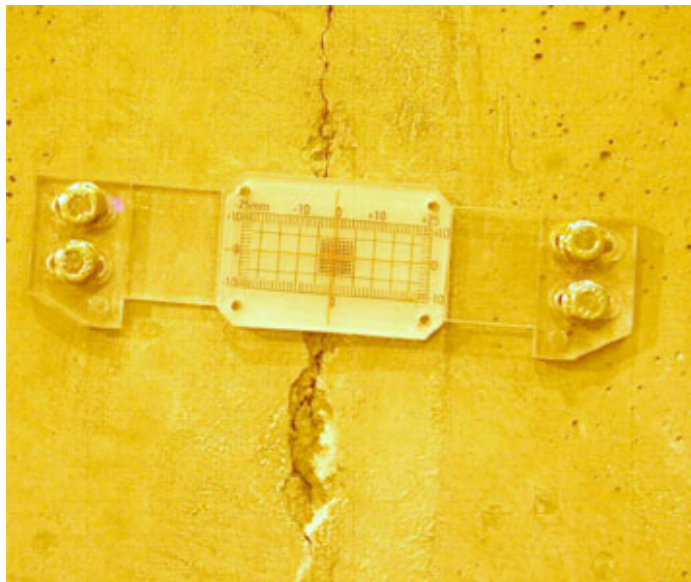
Túnel revestit de dovelles

4.3 Materials necessaris per a la auscultació del túnel

Una vegada construït el túnel, cal fer uns estudis posteriors per tal de comprovar la seva seguretat i qualitat. Els materials que utilitzarem per a les mesures preventives que prendrem seran semblants als d'abans de construir el túnel.

S'haurà de fer una auscultació del túnel per saber si ha sigut cimentat adequadament i tractar de buscar les possibles errades que es poden haver comès al llarg de la seva construcció. Es faran estudis físics del túnel i es calcularan les seves mides, és a dir, es mesurarà la convergència del túnel. Es triaran tres punts on es col·locaran ancoratges des dels quals es mesurarà la distància entre ells. Freqüentment, un o dos cops per setmana aproximadament, s'haurà de revisar que les mesures segueixin sent les mesurades per a que el túnel no es vagi deformant i no s'esfondri.

També serà necessari revisar si han aparegut fissures, tant al túnel com als edificis confrontant. Això es mesurarà amb un fissuròmetre: és l'eina que permet mesurar el gruix d'una fissura, també ens poden permetre mesurar i quantificar els moviments que es produeixen en una fissura en funció del temps o de la temperatura.



Fissuròmetre

Per últim, s'haurà de fer un seguiment de les possibles infiltracions que es pugin fer al túnel i que puguin provocar la deformació o fins i tot el despreniment del túnel, i la comprovació de la resistència de les dovelles, ja que seran les que sostinguin tota la pressió que exerceix el terreny sobre el túnel. Per fer la comprovació, de cada lot de dovelles s'agafa una i es fa una prova, colpejant-la i mesurant la seva duresa i quin és el pes (o treball en Newtons) que suporta. Això ens mostra la qualitat del formigó armat del qual està formada la dovella per compressió simple.



Auscultació dels túnels

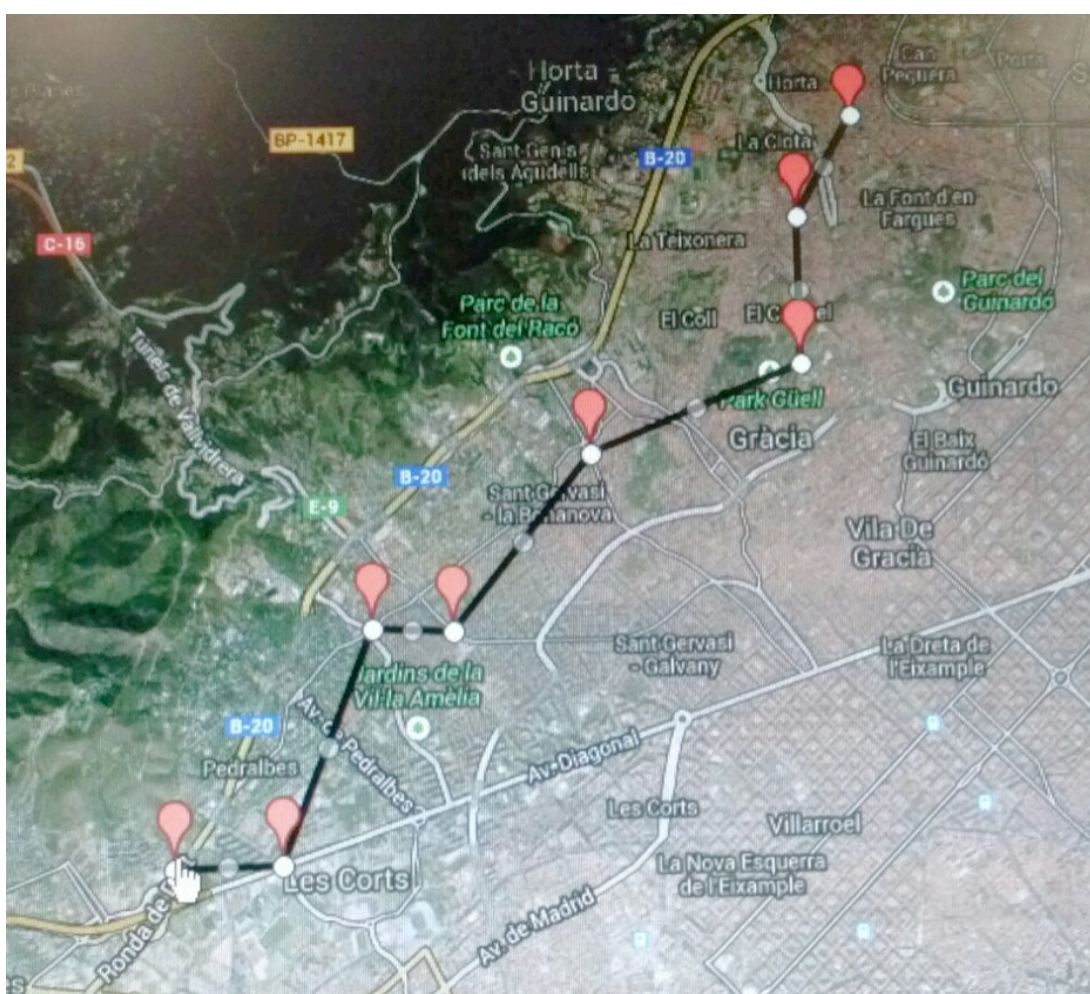


Túnel Tram 4 de la L9 de Barcelona

5. Estudi geològic del possible túnel

Per tal de saber si el túnel plantejat és viable o no, hem de marcar-lo a un mapa satèl·lit o de carrer i a un mapa geològic. El mapa geològic ens aportarà la informació sobre quins materials hi trobarem al llarg de la traçada que segueix el túnel així com ens permetrà veure-ho des de una perspectiva més real i llavors podrem realitzar els canvis necessaris per a evitar els possibles problemes que s'ens presenten. Per altra banda, el mapa satèl·lit ens donarà una visió més metropolitana sobre la ruta que seguirà el túnel, per quins carrers, on es trobarà la boca de metro... i també poder veure així si és possible fer que es perfori per allà o col·locar una boca de metro.

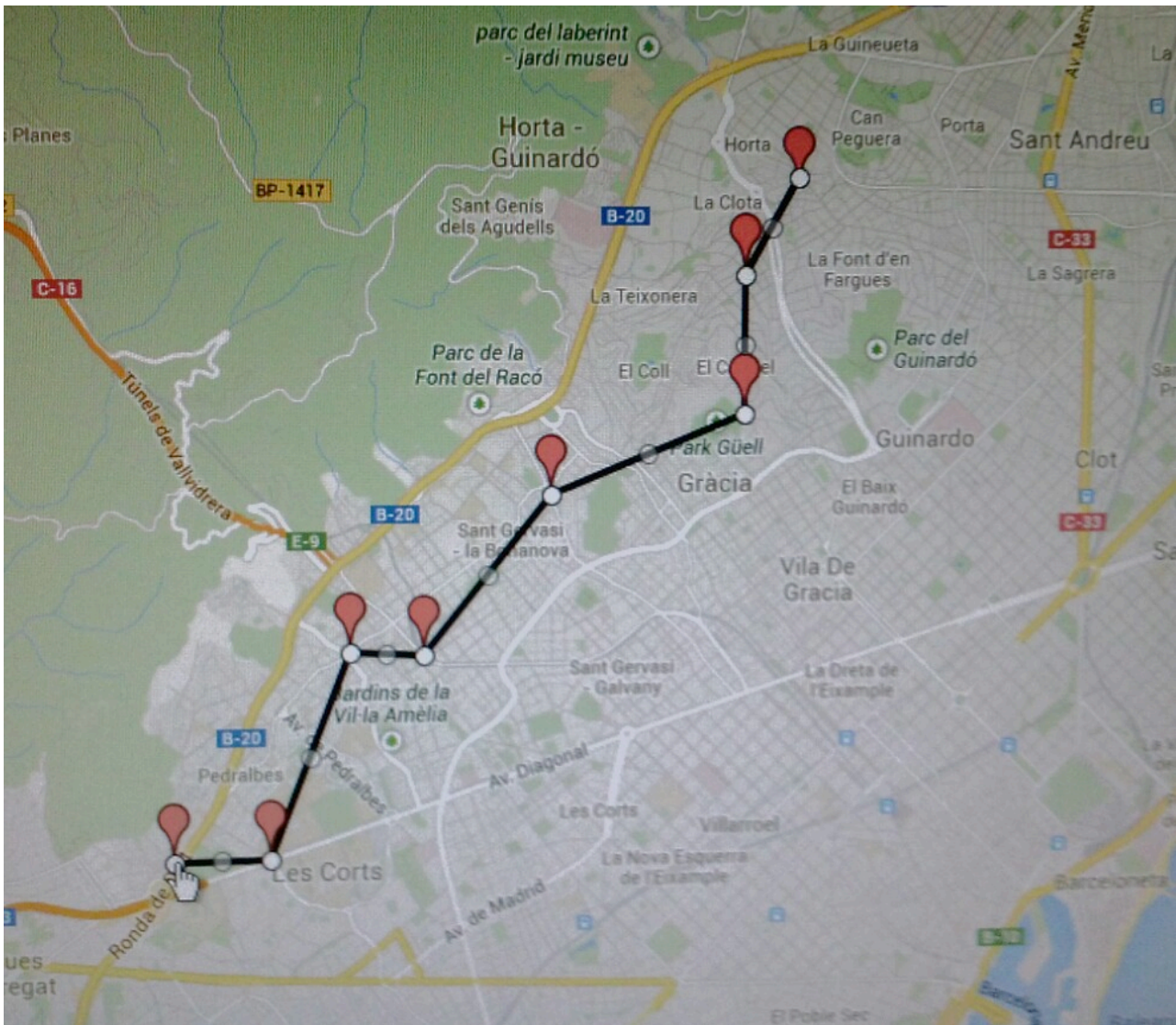
5.1 Trama del mapa satèl·lit



Trama de la L12 al mapa satèl·lit

En aquest mapa satèl·lit podem observar les diferents estacions de la línia construïda en aquest projecte. Començant per a dalt a la dreta hi trobem l'estació d'Horta, i a baix a l'esquerra es troben les parades de Zona Universitària i Hospital Sant Joan de Déu.

Aquest és el trajecte proposat, el qual s'haurà de comprovar la seva viabilitat segons els materials que siguin indicats al mapa geològic.



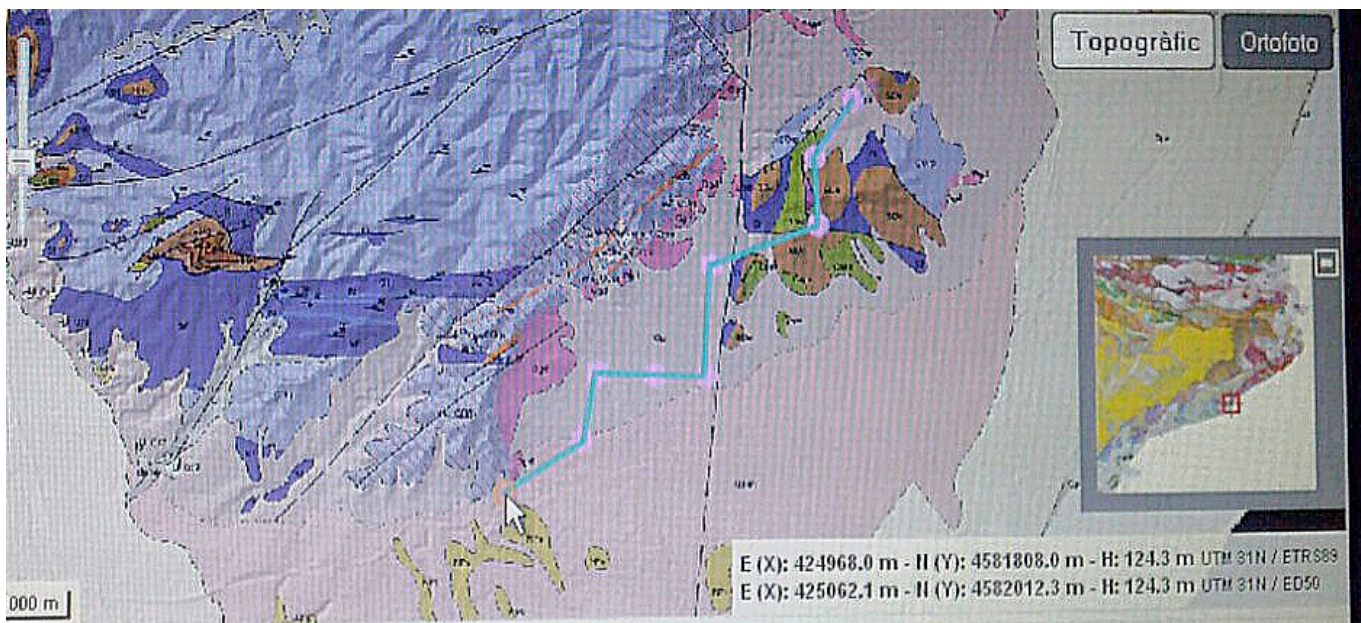
Trama de la L12 al mapa satèl·lit

Els quilòmetres totals i parcials per a cada parada de metro que seran recorreguts són:

- DISTÀNCIA TOTAL DEL TÚNEL: 7842,821 m = 7,843 km
- Distància Horta- El Carmel: 770.548 m
- Distància El Carmel - Parc Güell: 894.243 m
- Distància Parc Güell – Tibidabo: 1,569 km
- Distància Tibidabo – Sarrià: 1.583 km
- Distància Sarrià – Reina Elisenda: 383,767 m
- Distància Reina Elisenda – Zona Universitària: 1.950 km
- Distància Zona Universitària – St. Joan de Déu: 692,263 m

La distància total de la línia és de 7 km 843 metres aproximadament.

5.2 Trama al mapa geològic

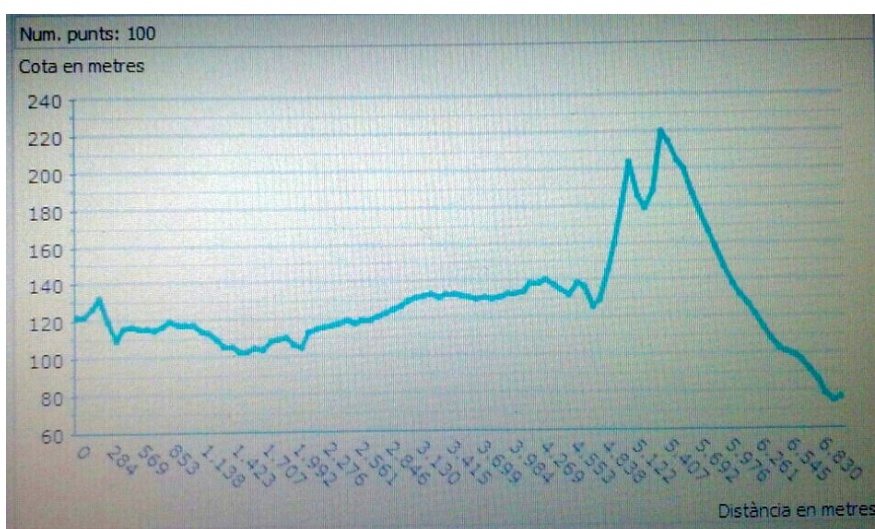


Trama de la L12 al mapa geològic

En el següent mapa geològic es mostra la línia, poden identificar tots els materials que es troben en situats en la zona a estudiar i permetin així saber si el nostre projecte seria viable o no, i si es que no, podent saber el perquè.

Anteriorment, ha sigut estudiada la geologia de cada estació en concret, poden fixar així possible problemes que puguin sorgir o impossibilitats davant de la viabilitat del projecte en qüestió.

La trama està traçada seguint el mateix recorregut que a l'anterior mapa: a dalt a la dreta es troba l'estació d'Horta i a baix a l'esquerra les estacions de Zona Universitària i Hospital Sant Joan de Déu.



Cota altimètrica de la trama

5.2.1 Pous de ventilació

Els pous de ventilació tenen la funció de garantir una salubritat de l'aire que respirem dins de les estacions i els vagons de metro i evitar els riscos si hi ha foc, ja que si hi ha algun problema a tants metres de profunditat sempre serà més complex solucionar-lo que a peu de carrer.

Per a poder garantir una correcta ventilació s'utilitzen els sistemes de ventilació forçada mitjançant ventiladors, en especial a les línies que es troben a gran profunditat i on és particularment difícil que un sistema de ventilació natural (el propi aire que desplacen els trens amb el seu moviment) resulti efectiu.



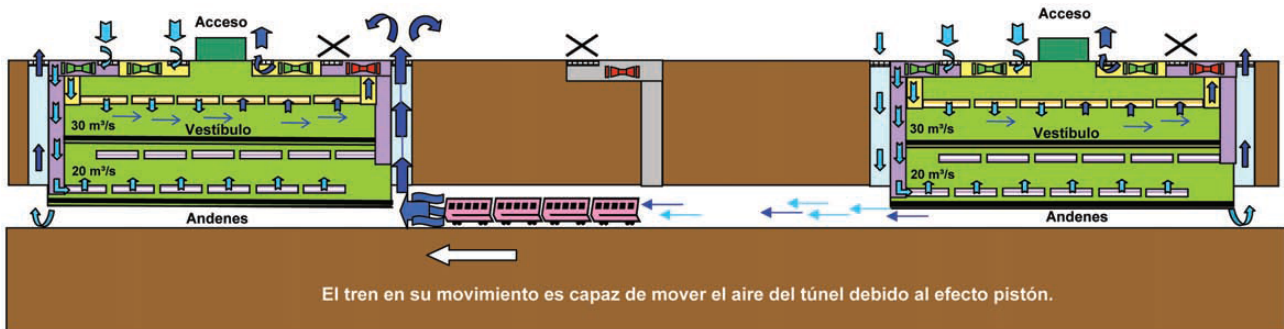
Central de ventilació

Si ens centrem en la ventilació forçada, hem de distingir tres mitjans per a aconseguir-la:

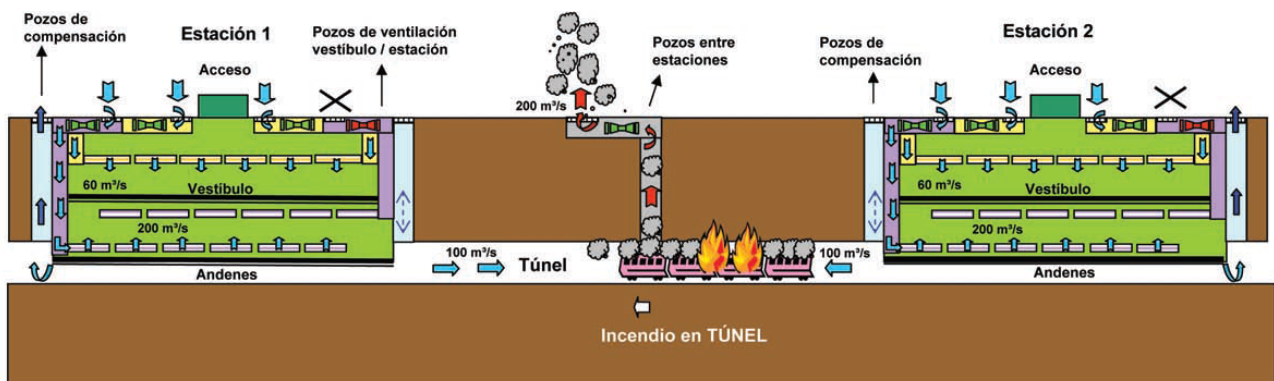
- Pous d'impulsió: Generalment estan ubicats a les estacions. La seva missió és connectar la superfície amb el túnel i introduir aire net mitjançant un ventilador refrigerant el túnel i renovant l'aire del mateix.
- Pous d'extracció: Complementen els pous d'impulsió. Responen a la mateixa mecànica però en sentit invers: s'encarreguen de treure a la superfície l'aire calent i viciat del túnel.
- Pous de compensació: Es troben propers als pous d'extracció. Introdueixen o extreuen l'aire en funció de l'efecte pistó que produeixen els trens al circular.

En cas d'emergència el sistema de ventilació té dues funcions claus:

- L'extracció dels productes de combustió i la incorporació d'aire net per a permetre l'evacuació (els ferits es trobarien un corrent d'aire fresc de cara mentre que el fum s'allunyaria en sentit contrari).
- Servir de base per a instal·lar les columnes seques per les que els bombers introdueixen l'aigua de les mànegues per a l'extinció dels incendis.



Efecte pistó als pous de ventilació



Efecte pistó davant d'un incendi

Els pous de ventilació estan constituïts per dos elements molt importants: els ventiladors i les reixes de ventilació.

Les reixes de ventilació es situen a la superfície del pou de ventilació ja que està en contacte amb el carrer i serà per allà per on s'introdueixi o s'extregui l'aire. En aquestes també es troben els silenciadors que silencien el fort soroll dels ventiladors ja que estan propers als veïns que visquin en la zona.



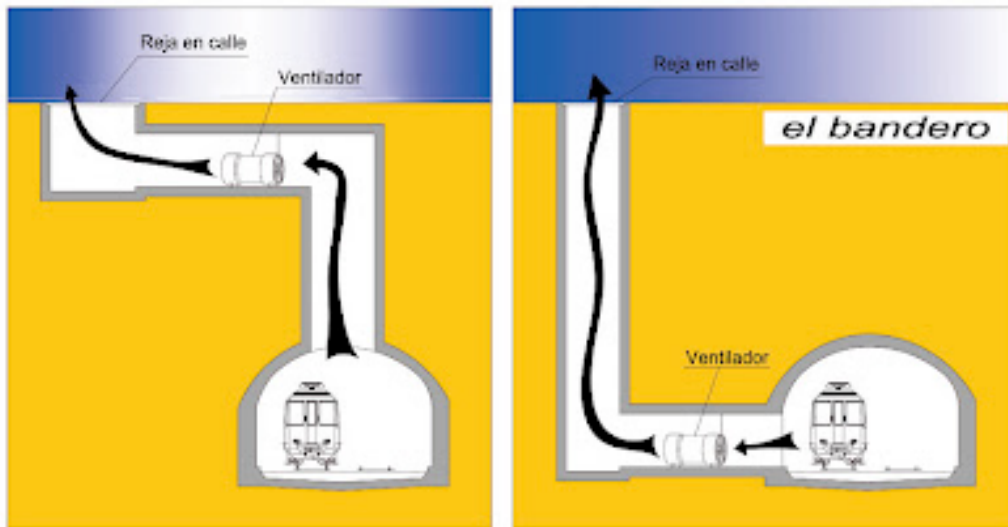
Reixa de ventilació del metro de Barcelona

Normalment, s'acostuma a col·locar un o dos ventiladors per a cada pou de ventilació. Aquests cada cop són més grans perquè les exigències de seguretat de les infraestructures subterrànies són cada dia més estrictes. Són capaços d'arrossegar més caudal de fum. Tenen un diàmetre de 2,40 m de mitjana. Per seguretat i salut, els pous de ventilació han d'estar a uns 500 metres entre estació i estació aproximadament.



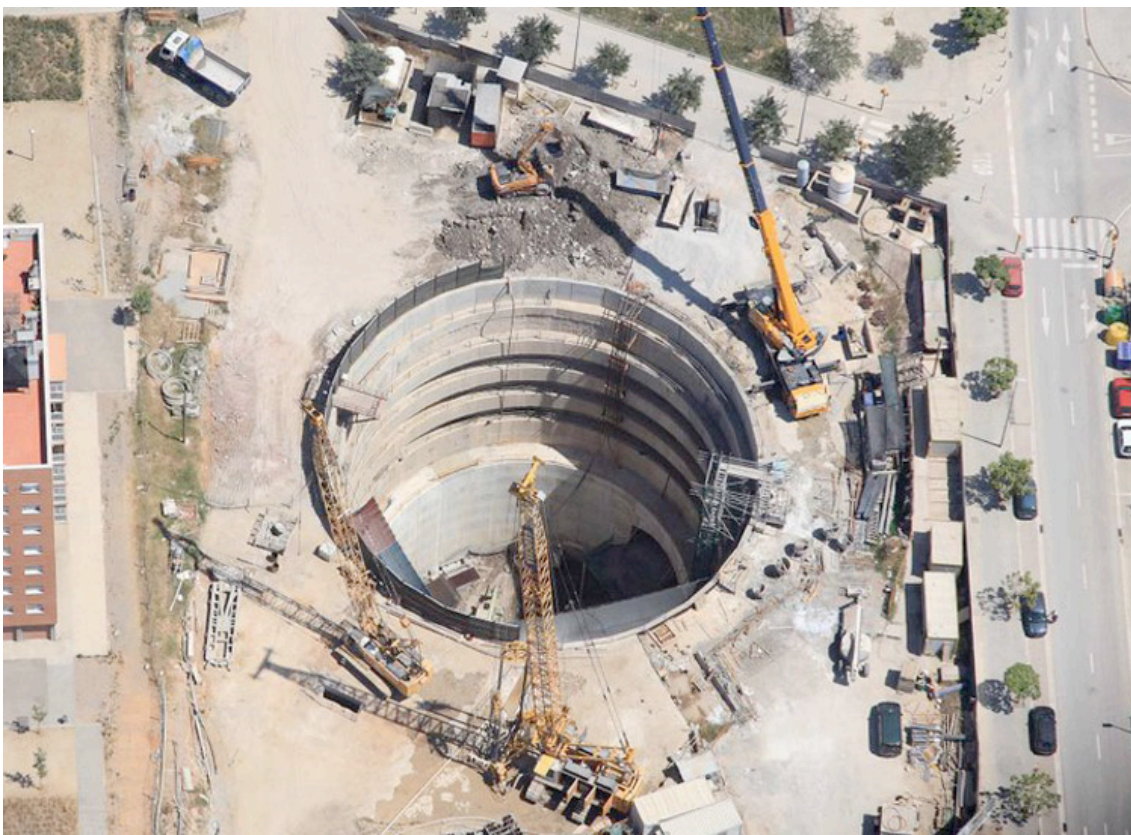
Instal·lació de ventiladors a la L9 de Barcelona

En la següent imatge podem observar les diverses maneres de fer les galeries dels pous de ventilació:



Esquemes de possibles configuracions de pous de ventilació

Com podem observar, el ventilador pot ser col·locat a la part superior o a la part més inferior de la galeria.



Vista aèria del pou bifurcació a l'Hospitalet de Llobregat, L9

Els pous de ventilació de les estacions de nova construcció es trobarien a la següent distància entre estació a estació, essent aquests càlculs aproximats:

- El Carmel – Parc Güell: 447.12 metres
- Parc Güell – Tibidabo: 784.5 metres
- Tibidabo – Sarrià: 791.5 metres
- Sarrià – Reina Elisenda: 191.88 metres
- Reina Elisenda – Zona Universitària: 975 metres
- Zona Universitària – Hospital Sant Joan de Déu: 346.13 metres

6. Estudi de les possibles zones problemàtiques

Anteriorment, s'ha vist la zona de El Carmel com una de les zones problemàtiques a l'hora de construir un túnel. Va ser necessari fer l'estació i el túnel a molta profunditat (uns 70 metres), així que per tal de fer un nou túnel aquí, també ens poden sorgir diferents problemes.

Una de les altres zones a estudiar és el Parc Güell, ja que guarda molta proximitat amb la zona anterior i pot presentar problemes en el moment de la perforació.

6.1 Estudi dels possibles problemes de El Carmel

Com ja s'ha mostrat abans, a la zona de El Carmel es poden produir enfonsaments si no es fa correctament l'elecció d'una tuneladora ni es va amb cura procurant mantenir les pressions constants. Això és provocat per la falla que travessa la zona la qual va ser la que va provocar l'enfonsament anteriorment. Per tant, si perforem un nou túnel, haurem de deixar la distància òptima entre els dos i procurar que el gruix de l'estrat i les pressions siguin els adequats.



Pas de la tuneladora al Tram 1 a la L9 de Barcelona

6.2 Estudi dels possibles problemes a Parc Güell

L'estació de Parc Güell és una estació completament nova i que es començarà de zero. És per això que té un risc més elevat que no pas El Carmel ja que no ha sigut perforada aquesta zona anteriorment i per tant, no es sap amb certesa absoluta els problemes que poden sorgir en el desenvolupament de la perforació.

Si s'observen els antecedents que s'han produït propers a aquesta zona, a més dels problemes que es van donar a El Carmel també hi trobem els problemes a la L9, una nova línia de metro inacabada que és molt propera al Parc Güell, concretament propera a l'estació de Santllehy.

Durant la construcció de la L9, es va produir una inundació per un problema de construcció a prop de la zona de Santa Coloma de Gramanet. Aquesta inundació pot influir a l'hora de perforar el túnel al Parc Güell deguda a la proximitat de l'estació de Santllehy, estació la qual està inacabada i que pot haver portat humitats o corrents d'aigua que poguessin fer que variés la consistència del terreny.

6.2.2 Construcció per viaducte

Un viaducte és una via situada a l'exterior en comptes de l'interior del subsòl ja que dur a terme el procediment habitual de construcció de manera subterrània no és possible o comporta riscos molt elevats. La infraestructura més similar és el pont.

En aquest cas concret, el viaducte aniria de l'estació de El Carmel a Parc Güell i de Parc Güell a Tibidabo, intentant que el màxim de metres possibles es trobessin subterranis.



Foto aèria del viaducte de la Zona Franca, L9

6.2.2 Construcció per via subterrània

En aquesta zona es donen els mateixos problemes o similars que a El Carmel. Es troba en una zona de canvi de materials on es forma una falla, fenomen que dificulta la perforació del túnel però que si es compleixen adequadament les mesures preventives pertinents els problemes que es trobarien serien ínfims.

Les mesures a seguir serien la selecció adequada de la tuneladora, de doble escut en aquest cas, i portar un control exhaustiu de tots els detalls que es donen mentre es duu a terme l'obra.



Túnel Tram 4 L9 de Barcelona

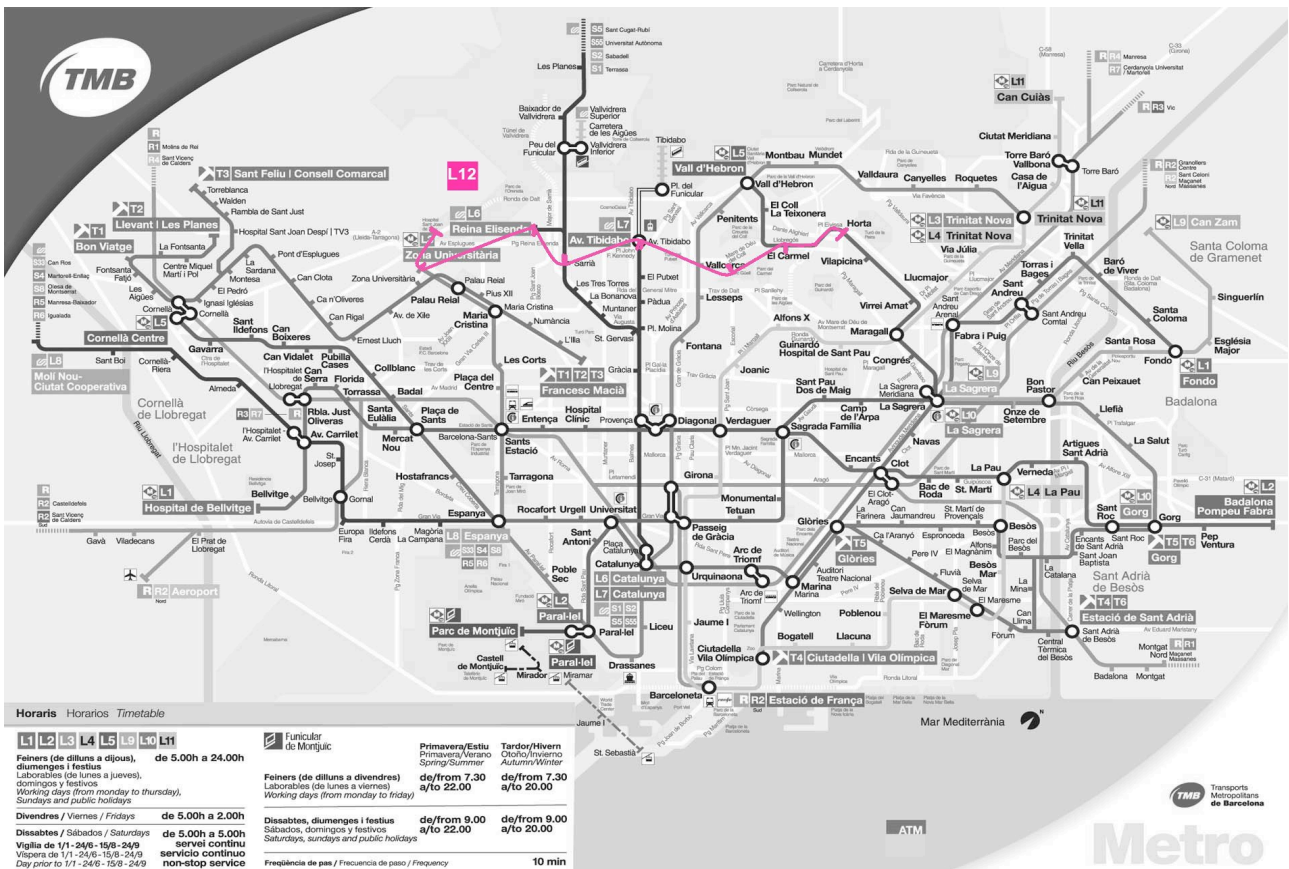
7. Desenvolupament de la perforació de túnel

En primer lloc, haurem d'escollir una tuneladora els més especialitzada possible per la zona on farem la perforació del túnel. Per això, com a mesura preventiva d'accidents, s'han de mirar les característiques pròpies de cada tuneladora i les de la zona a perforar per tal de no equivocar-nos i poder provocar errades molt importants durant el procés d'excavació.

La tuneladora escollida és la de doble escut, ja que pot treballar com a talp i com a escut. Això vol dir que pot treballar tant si hi ha sòl com si hi ha roca, cosa que beneficiarà molt a l'estabilitat del túnel durant la seva perforació i a que tingui un assentament adequat.

Aquesta tuneladora té l'escut dividit en dos, una part davantera en la que es troba el cap de tall, i la zona de darrere en la que es realitza el muntatge de l'anell de dovelles, facilitant així l'estabilitat del túnel ja que a la vegada que perfora està col·locant l'anell de dovelles i fixant tota la circumferència del túnel.

Aquesta característica és molt positiva perquè el terreny del qual està formada la zona per una part és dèbil i pot esfondrar-se amb facilitat si no el tractem adequadament i afegim estabilitat amb l'escut de la tuneladora. Per altre banda, com pot treballar com escut vol dir que pot treballar sota el nivell freàtic, característica necessària ja que la zona és propera a la costa i disposa d'aigües subterrànies que provoquen inestabilitat tant del terreny com de les pressions necessàries per a la construcció adequada del túnel.



Plànol hipotètic del metro de Barcelona amb la L12 incorporada

8. Despeses econòmiques del projecte

Una part molt important a l'hora de poder fer viable aquest projecte també és la quantitat de diners que s'hauran d'invertir per poder-ho portar a terme. Els costos que generen construir el túnel són elevats, per això és imprescindible portar un control exhaustiu sobre les despeses generades.

En la taula adjunta en l'annex (pàg.62) podem observar les despeses econòmiques que van generar dos trams de la L9 del metro de Barcelona, en la qual es mostra els pressupost calculat comparat amb el real.

En la taula que es mostra a continuació podem observar un càlcul aproximat per tram dels costos que generen la construcció d'un túnel separant-los en el cost dels diferents materials.

Excavació túnel amb tuneladora	20.000.000,00 €
Pou de ventilació de motors	2.400.000,00€
Pou de sortida tuneladora	6.000.000,00€
Instal·lacions túnel i pous	2.100.000,00€
Seguretat i salut	200.000,00€
Pous de ventilació i emergència	1.800.000,00€
TOTAL	32.500.000,00€

El pressupost de la construcció del túnel, sense incloure il·luminació ni la construcció de les estacions, seria al voltant d'uns 32.500.000,00€ aproximadament, per dos trams. Per tant, si en aquesta línia hi ha 3 trams:

$$32.500.000,00€ \times 3 = 97.500.000,00€$$

El total de la construcció del túnel és de 97.500.000,00€ aproximadament.



Obres al Tram 1 de la L9 de Barcelona

5. **Li assembla una mesura ecològica com a medi de transport per la ciutat?**

- Sí
- No

6. **Pensa que TMB hauria d'invertir aquests diners en altres projectes o en millorar les infraestructures?**

- Sí
- No
- Dividir el pressupost

7. **Creu que tindrà un impacte negatiu el fet de tenir una parada de metro en aquesta zona?**

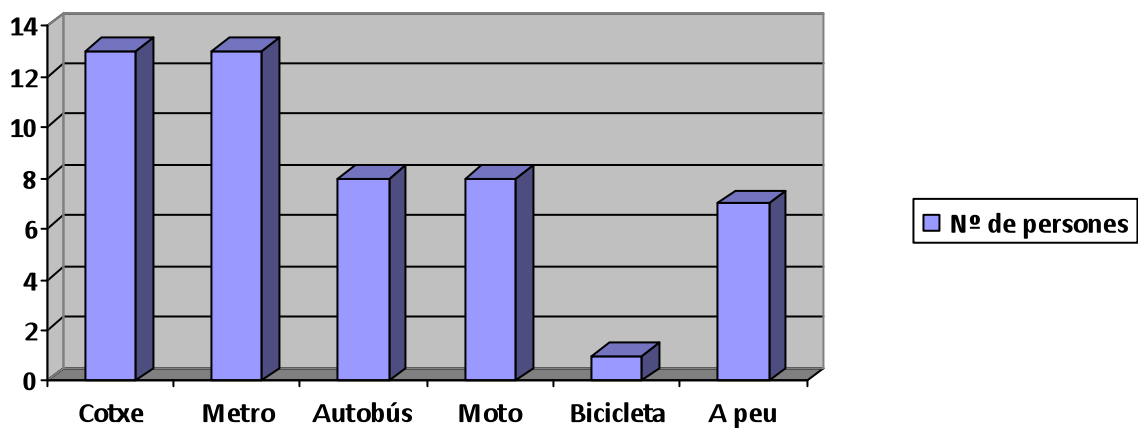
- Sí
- No

9.1 Resultats obtinguts

Resultats obtinguts en la primera pregunta:

1. **Quin mitjà de transport utilitza amb més freqüència per desplaçar-se per la ciutat?**

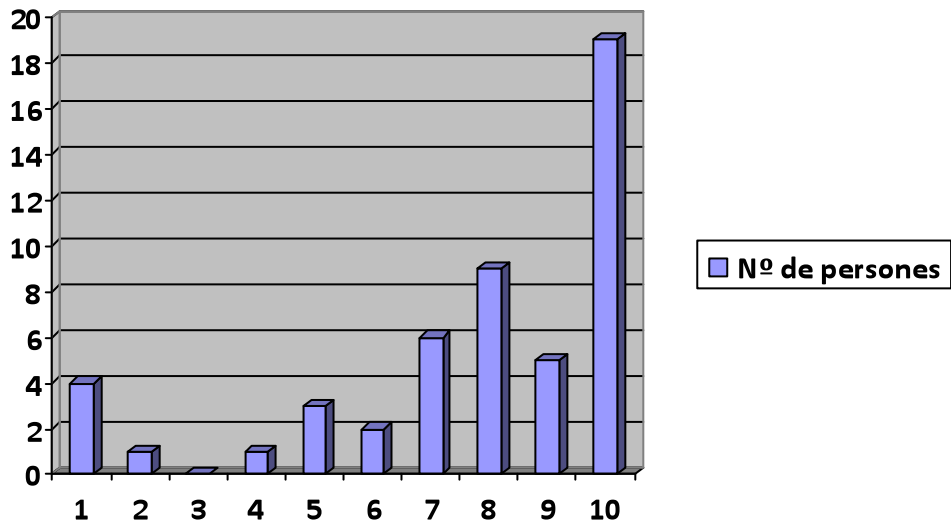
- Cotxe
- Metro
- Autobús
- Bicicleta
- A peu



Resultats obtinguts en la segona pregunta:

2. **Estaria d'acord en que es fes una nova boca de metro en aquesta zona? Avalua de l'1 al 10.**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10



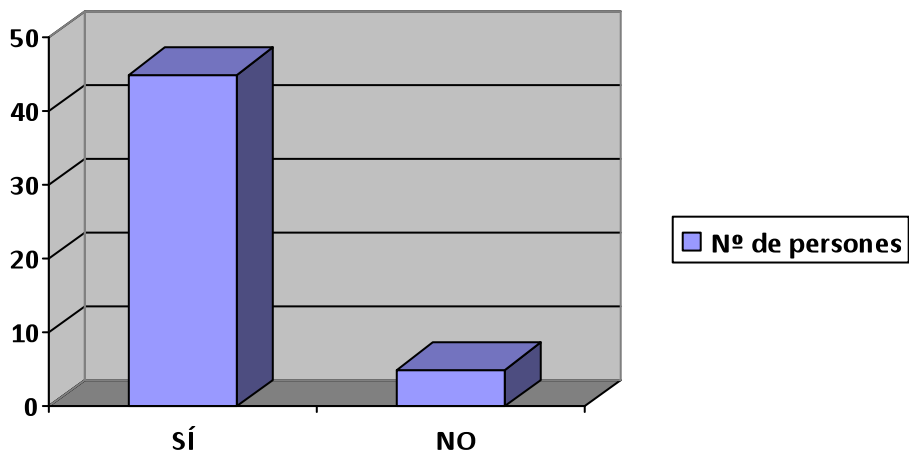
Resultats obtinguts en la tercera pregunta:

3. Creu que seria una avantatge la seva construcció?

· Sí

· No

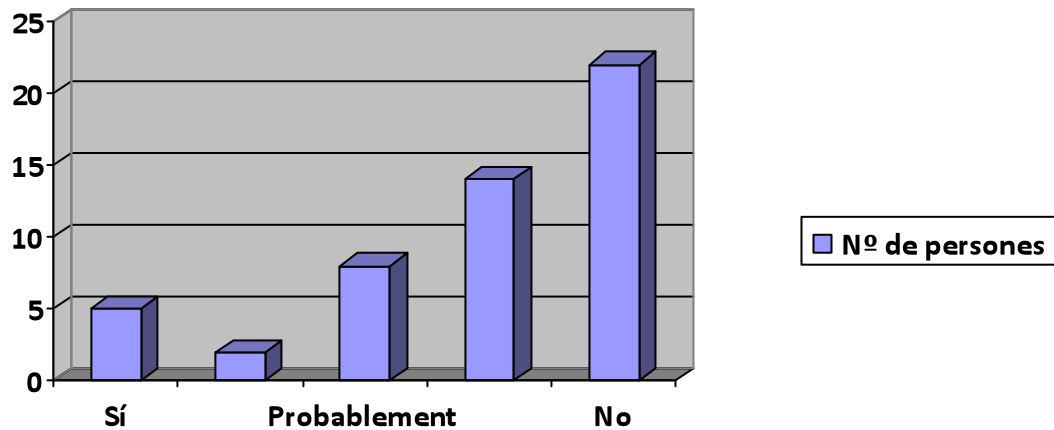
Per què?.....



Resultats obtinguts en la quarta pregunta:

4. Creu que sorgirien problemes en la seva construcció com en l'estació de "El Carmel" o en la L9?

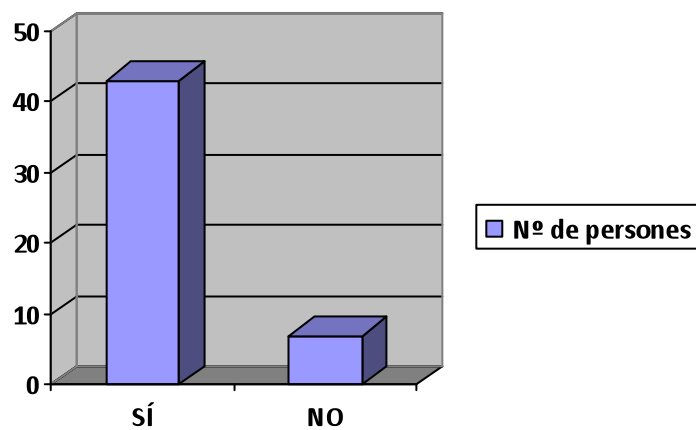
· Sí · Segurament · Probablement · Segurament no · No



Resultats obtinguts en la cinquena pregunta:

5. Li assembla una mesura ecològica com a medi de transport per la ciutat?

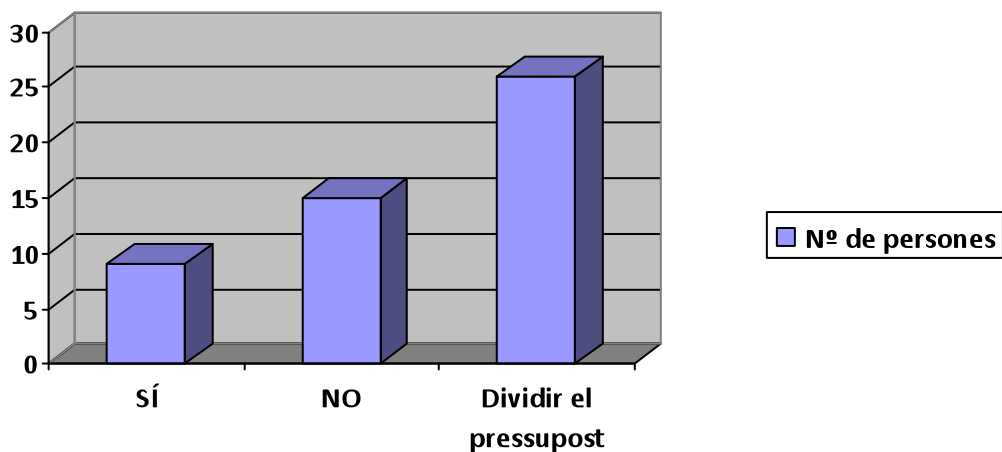
· Sí · No



Resultats obtinguts en la sisena pregunta:

6. Pensa que TMB hauria d'invertir aquests diners en altres projectes o en millorar les infraestructures?

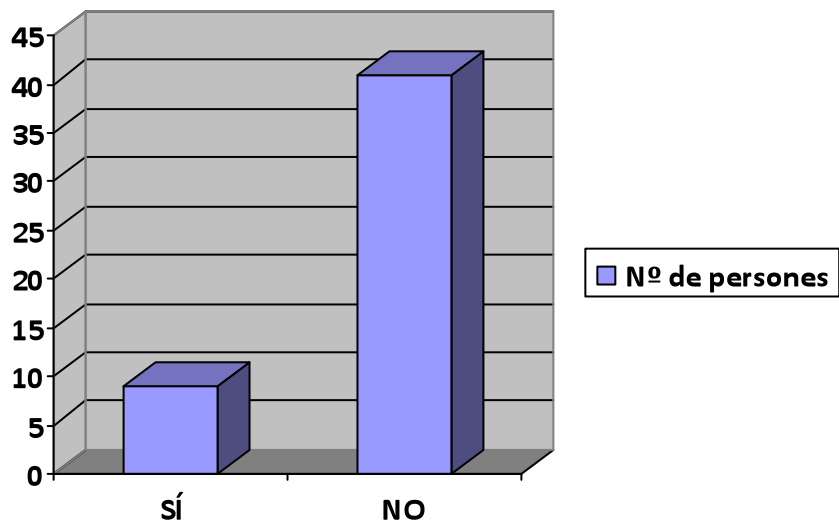
- Sí
- No
- Dividir el pressupost



Resultats obtinguts en la setena pregunta:

7. Creu que tindrà un impacte negatiu el fet de tenir una parada de metro en aquesta zona?

- Sí
- No



9.2 Conclusions

- 1a pregunta

L'edat i la zona són les que influencien en quin tipus de transport utilitzen. Les persones més grans acostumen a anar a peu o en autobús, mentre que els de mitjana edat van en cotxe, moto o el transport públic que sigui més ràpid en arribar a la feina (normalment el metro). També podem observar que tan sols 1 de cada 50 utilitza la bicicleta com a mitjà de transport.

- 2a pregunta

En aquest cas és la zona la que influeix l'opinió de la gent. Les persones més grans principalment de la zona de Reina Elisenda i Sarrià no estan d'acord amb la proposta ja que volen més tranquil·litat i creuen que no és necessari perquè els transports dels quals disposen són suficients.

En canvi, les persones joves i de mitjana edat estaven a favor però sobre tot les persones de la zona de Hospital Sant Joan de Déu estaven completament a favor.

- 3a pregunta

La majoria de persones creuen que és una avantatge la seva construcció perquè facilitaria la comunicació de les zones amb el centre de la ciutat, ja que l'ús més comú és per anar a la feina. La minoria que no està a favor es deu a que no fan ús d'aquest transport públic i per tant, volen més tranquil·litat per la zona i no en veuen la necessitat.

- 4a pregunta

La majoria de persones creu que no o confia en que no ja que donen per suposat que a l'hora de dur a terme una obra tan gran es prendran totes les investigacions i mesures preventives pertinents.

- 5a pregunta

Per a la majoria li assembla que el transport públic és una mesura ecològica encara que no tothom ho creu. La contaminació que es produeix en la seva construcció és molt elevada i tampoc es fa un estalvi tan gran, opinen alguns.

- 6a pregunta

Els ciutadans estan més a favor de trobar un equilibri entre aplicar millores en les línies ja construïdes (com serveis, seients més còmodes, vagons més nous...) i la construcció de noves.

- 7a pregunta

La gran majoria opina que no tindrà cap impacte negatiu en la zona sinó tot el contrari, millorarà la qualitat de vida.

10. Conclusions finals

Per tal de conèixer si el projecte era viable o no, s'ha realitzat una recerca de les característiques de la zona de Barcelona i s'han recollit una sèrie d'antecedents propers al terreny en qüestió per tal d'obtenir un coneixement previ.

Posteriorment, han sigut realitzats uns estudis previs de cadascuna de les zones on es perforarà el túnel, visualitzant primer els mapes cartogràfics dels terrenys i sondejos que ens han donat informació sobre els materials que hi trobarem amb la perforació. Això també ens ajuda en l'elecció de la tuneladora amb la que treballarem, juntament amb les pressions que es donen en les diferents zones.

També ha sigut necessari conèixer tots els materials necessaris per a la perforació del terreny, per als seus estudis previs i posteriors. Aquests últims ens ajuden a saber si les condicions són les adequades i no s'ha produït cap problema al túnel ja construït.

Per altra banda, ha sigut mostrada la trama tant al mapa geològic com al mapa satèl·lit mostrant així quins materials són els que es trobaran i veure que el seu pas no afecta cap infraestructura d'importància. Aquesta part de la recerca ha sigut essencial per verificar la viabilitat de la construcció d'aquesta nova línia de metro.

Com a mesura preventiva, també ha sigut realitzat un estudi de les possibles zones problemàtiques i s'ha mostrat una solució factible, tant en El Carmel com en Parc Güell.

Un cop comprovada la viabilitat del projecte, ha sigut seleccionada una tuneladora, la de tipus de doble escut en aquest cas, i s'ha explicat tot el desenvolupament de perforació del túnel.

Finalment, observant les despeses econòmiques que comporta aquest projecte i les enquestes realitzades als ciutadans de cadascuna de les zones enquestades, la conclusió final que s'obté és que sí seria viable que es dugués a terme la construcció de la L12 ja que és acceptada per la població, econòmicament no suposa una despesa desmesurada en comparació amb altres línies de metro i, el més important, la geologia que presenta el terreny és perforable pels materials que s'utilitzen en l'actualitat.

La hipòtesi es confirma i la línia tindria una longitud d'uns 7,843 km aproximadament, fent que el temps que es triga des d'un punt fins a un altre sigui molt més curt que no pas amb el transport públic actual.

11. Bibliografia

- Antecedents: enfonsament del Carmel:

<http://www.hundimiento.com/content/2/3/es/%BFque-ocurri%F3-en-el-hundimiento-del-carmel.html>

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6381/6/05.pdf>

http://web.archive.org/web/20100622173709/http://www.geoconsult.es/fotos/Publicaciones/Manual/04_ClsGM.pdf

- Auscultació:

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6215/4/03.pdf>

<http://www.youtube.com/watch?v=waZoWFaPKRw>

- Fotografies construcció L9:

<http://www.gencat.cat/L9/>

<http://www.youtube.com/watch?v=3Mk1gvaQJAQ>

- Informació L9:

http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_9_del_Metro_de_Barcelona

<http://l9metrobarcelona.blogspot.com/es/>

- Mapes geològics:

http://www.angles.cat/poum/POUM_DEFINITIU/TEXTOS/ESTUDI_IDENTIFICACIO_RISCOS_GEOLOGICS_ANGLES.pdf

<http://www.bib.ub.edu/es/bibliotecas/geologia/cartoteca-geologia/>

http://hipermapa.ptop.gencat.cat/hipermapa/client/151208/base_high_cat.html

www.tmb.cat

http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/datos/magna50/jpg/d4_jpg/Editado_MAGNA50_421.jpg

http://www.igc.cat/web/ca/mapageol_atles_tipuslitologies.html

http://www.igc.cat/web/ca/mapageol_geotreballs_gt1.html

http://www.igc.cat/web/ca/igc_cataleg.html#geotrebals3

http://siurana.igc.cat/visorIGC/images/llegendes/igc_mgc250_llegenda.pdf

<http://www.ub.edu/geologia/queoferim/es/index/biblioteca.htm>

- Penetròmetre:

http://es.wikipedia.org/wiki/Penetr%C3%B3metro_din%C3%A1mico

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/penetrometro-hidraulico-2da-parte/penetrometro-hidraulico-2da-parte.shtml>

<http://www.youtube.com/watch?v=NDa1hCUrjBw>

- Plànols urbans:
 - <http://www.bcn.cat/guia/bcnpicc.html>
 - www.icc.cat/vissir3
- Pous de ventilació:
 - <http://redferroviariabcn.blogspot.com.es/2012/02/pozos-de-ventilacion-entre-estaciones.html>
 - <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6296/6/05.pdf>
- Situació geogràfica de Barcelona:
 - <http://barcelona-spain.es/cataluna/ubicacion/>
 - http://www.clabsa.es/cat/AiguesSubterrànies_Hidrogeol%C3%B2gic.asp
- Situació geològica de Barcelona:
 - http://aepect.org/documentos-pdf/geologia_catalunya.pdf
 - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Localizaci%C3%B3n_de_Barcelona_-_Barcelona.png
 - http://www.igc.cat/web/ca/mapageol_apren_roques.html
 - <http://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/convergencia>
 - <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3416/7/49912-7.pdf>
- Sondejors:
 - http://catalegidec.icc.cat/SDIExplorer/cercaCatalegIGC.jsp?lang=ca_ES#
 - <http://www.igc.cat/web/ca/geoindex.html>
 - <http://siurana.igc.cat/visorIGC/sondejors.jsp>
- Tuneladora:
 - http://www.adif.es/es_ES/ocio_y_cultura/fichas_informativas/ficha_informativa_00039.shtml
 - http://www.bortubo.com/productos/productos-tubo_hinca_%C3%B8_3000-404.aspx
 - http://www.eurohinca.com/esquema_epb.htm
 - <http://www.eurohinca.com/revestimientos.htm>
 - <http://www.microtunel.com/>
 - http://prefabricadosdelta.com/Productos/Dovelas/Dovelas_Tuneles/seccion=120&idioma=es_ES.do
 - <http://tecnologia.org/imaxes/tuneladora.swf>
 - <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3416/6/49912-6.pdf>
- Viaducte:
 - http://elpais.com/elpais/2011/04/29/actualidad/1304065017_850215.html
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Viaducto>
 - http://territori.scot.cat/cat/notices/2011/12/pla_integral_d_rsquo_actuacions_del_park_gUell_barcelona_2949.php

12. Annex

Tota la informació obtinguda sobre les despeses que suposen el cost de dos trams, provenen de la síntesi de dades del següent document el qual forma part d'una memòria sobre el projecte de la L9. El primer tram és Llobregat-Parc Logístic, i el segon tram Fira-Parc Logístic.

(Vegis pàgina següent).