



L'EXPLOTACIÓ SUBTERRÀNIA DE PEDRERES

geo  **centrum**
Estudis Geotècnics **ENGINYERS, S.L.**
Topografia • Medi Ambient • Projectes

C/ Indústria, 2 entl. 1a
Tel 93 820 46 93
08670 - NAVÁS (Barcelona)
www.geocentrum.com
e-mail: info@geocentrum.com

Eduard Cámara Zapata – Enginyer Tècnic de Mines
GEOCENTRUM ENGINYERS, SL
ecamara@geocentrum.com

L'EXPLOTACIÓ SUBTERRÀNIA DE PEDRERES

Ponència presentada en el marc del II Congrés d'Enginyeria en Llengua Catalana celebrat a Andorra, el dies 19, 20 i 21 de novembre de 2004.

Aquest projecte ha estat possible gràcies a un conveni de programa de cooperació educativa Universitat-Empresa, a l'empara del reial Decret 1497/81 de 19 de juny sobre Programes de Cooperació Educativa.

NÚM. CONVENI **03-330-0058**



Escola Universitària
Politécnica de Manresa

*Departament d'Enginyeria Minera
i Recursos Naturals*



C/ Indústria, 2 entl. 1a
Tel. 93 820 46 93
08670 - NAVÀS (Barcelona)
www.geocentrum.com
e-mail: info@geocentrum.com

L'EXPLOTACIÓ SUBTERRÀNIA DE PEDRERES D'ÀRIDS

Eduard Càmara Zapata. *Enginyer Tècnic de Mines.*

GEOCENTRUM ENGINYERS, SL

ecamara@geocentrum.com

ANTECEDENTS

Coneixem amb el nom d'**àrids**, als materials minerals, sòlids i inerts, que amb les granulometries adequades s'utilitzen en la fabricació de productes artificials resistents, mitjançant una mescla íntima amb materials aglomerants d'activació hidràulica (ciment, calç, etc.) o amb lligants bituminosos. Per extensió, també definirem com a àrids els materials granulars rocosos que s'utilitzen en els ferms de les carreteres, ja sigui amb l'addició d'elements actius o no; al balastre utilitzat en vies de ferrocarril i a les escolleres per a protecció d'obres portuàries, rius i canals, construcció de murs...

Durant l'últim terç del segle XX, s'ha produït un augment progressiu del consum d'àrids, en estret paral·lelisme amb el desenvolupament econòmic dels països més avançats, entre els quals es troba Catalunya, on el consum d'àrids, des de l'any 1995, es situa de forma permanent per sobre de les 6 Tn/hab/any, arribant actualment a les **8 Tm/hab/any**, essent aquest consum un dels millors índexs de mesura de l'activitat econòmica d'un territori.

Les explotacions mineres d'àrids (pedreres i graveres) han evolucionat des d'unes

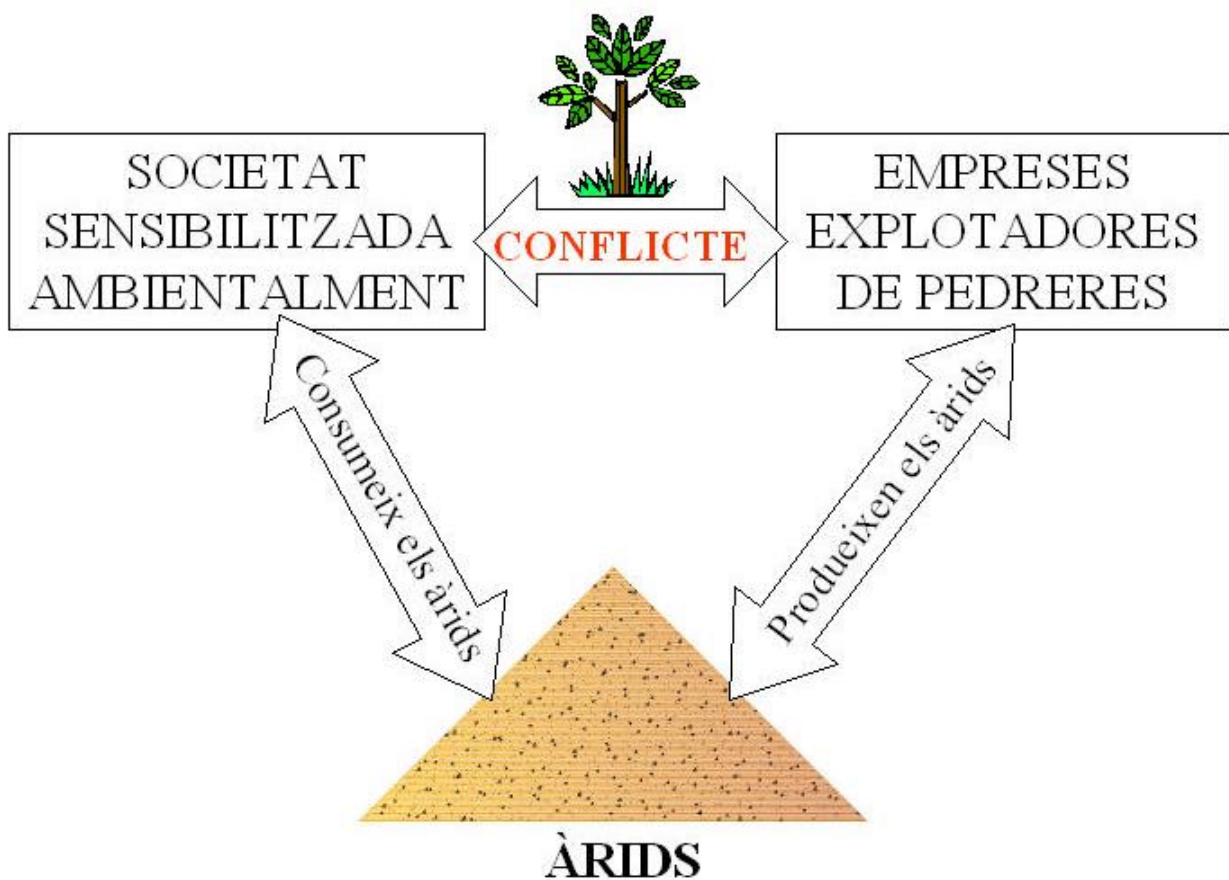


explotacions amb poca o nul·la sensibilitat ambiental fins a unes explotacions on la restauració es contempla com una activitat més del cicle productiu. Malgrat tot, les explotacions mineres en general i les pedreres d'àrids en particular continuen generant una **forta oposició** allà on estan instal·lades o bé on es pretenen instal·lar, pels impactes inevitables que

comporten de degradació paisatgística, generació de pols, soroll, etc., que si bé es poden reduir, no es poden evitar totalment.

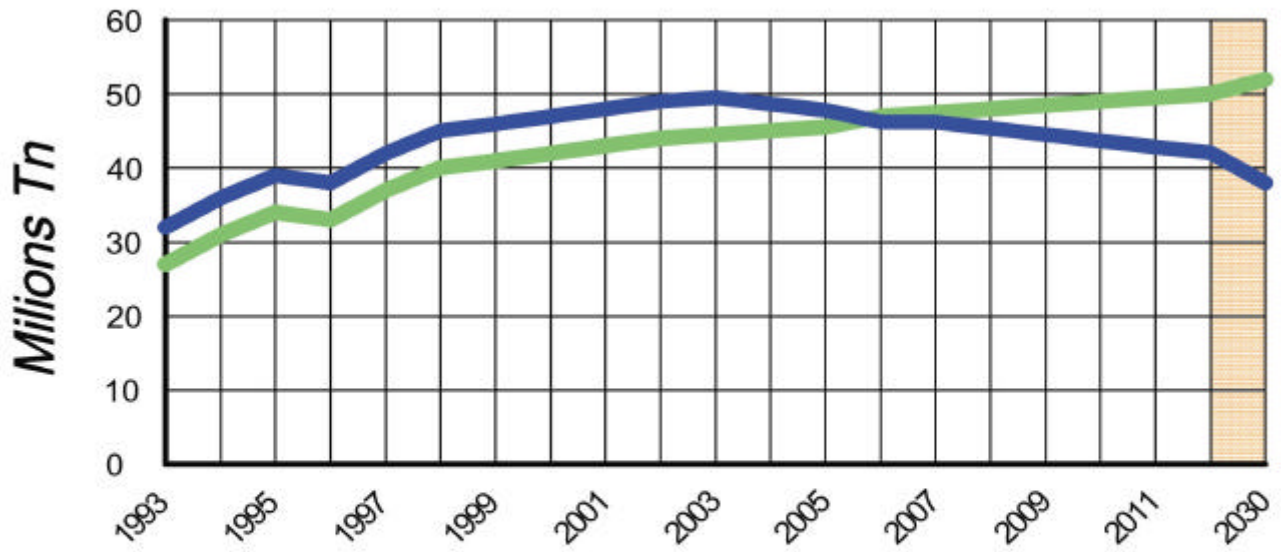
Així doncs, ens trobem en l'actualitat que cada vegada es produeixen amb major freqüència conflictes entre la societat, que necessita els àrids per mantenir el seu nivell de progrés i les empreses productores d'aquests materials que cada vegada troben més oposició, restriccions i limitacions per mantenir o ampliar les seves explotacions.

El següent gràfic vol il·lustrar aquesta situació:



Aquesta problemàtica pot provocar la falta d'abastament suficient d'àrids al mercat català. Segons fonts del **Gremi d'Àrids de Catalunya (2003)**, si analitzem l'evolució del consum previst per als pròxims anys i el comparem amb el subministrament des de pedreres autoritzades (gràfic 1), al ritme actual de creixement de consum previst, poden haver-hi **problemes de subministrament a partir de l'any 2006-2007**.

Gràfic nº 1



— Consum d'àrids



— Subministrament de pedreres autoritzades

Font: Gremi d'Àrids de Catalunya (2003)

OBJECTIUS

L'objectiu que es planteja és trobar una possible solució al conflicte mediambiental presentat, com és explotar amb **mètodes subterranis** les **pedreres** d'àrids. Els **avantatges** que aquestes explotacions comporten són:

- **Tots els impactes ambientals es redueixen d'una manera dràstica o desapareixen.**
- **L'impacte visual i paisatgístic de la pedrera desapareix.**
- **L'impacte sobre la flora i la fauna desapareix.**
- **Es redueix l'impacte per vibracions al disparar voladures més petites.**
- **Les emissions de pols i soroll queden confinades a l'interior de l'explotació.**
- **L'impacte morfològic i edafològic es redueix únicament a les zones d'accés a l'explotació.**
- **Possibiliten explotar reserves de mineral que a cel obert que no són explotables actualment per la seva afectació al patrimoni natural o pel seu "impacte social".**

També tenim, però, uns **inconvenients** que resumidament són:

- **Major cost de producció.**
- **Major complexitat tècnica.**

Alhora voldríem fer reflexionar sobre el debat econòmic-ambiental que aquestes explotacions comporten: la mineria subterrània presenta majors costos d'explotació que la de cel obert. A això se li han de sumar les complicacions associades a una menor capacitat d'extracció del mineral. **Tanmateix els beneficis mediambientals i el desenvolupament sostenible poden fer perfectament viable aquests tipus d'explotacions.**

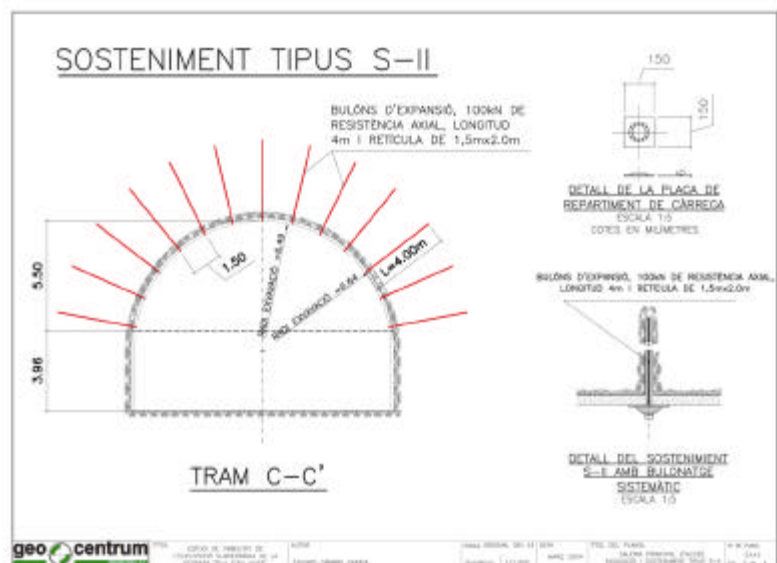
DISSENY DE LES EXPLOTACIONS

Abordar un projecte d'enginyeria d'una explotació subterrània és un tema realment complex en el que cal un treball en equip de professionals en diferents àmbits: **Investigació minera, mecànica de roques, planificació i organització, disseny d'explotacions, instal·lacions elèctriques, estudi de viabilitat econòmica, etc.**

És convenient dividir en **diverses etapes** el projecte d'enginyeria que ha de conduir a l'obertura d'una explotació subterrània.

Primer de tot caldrà realitzar un **Projecte Bàsic** en el que es faci una primera caracterització geològica i geotècnica del massís a explotar que permeti dissenyar a grans trets el sistema d'explotació i les característiques bàsiques d'aquesta, així com poder tenir un ordre de magnitud de la inversió econòmica a realitzar i dels costos de l'explotació.

Si aquest Projecte Bàsic dona uns resultats positius econòmicament i es decideix continuar amb el desenvolupament del projecte, caldrà elaborar un **Projecte Detallat** de l'explotació en el que es desenvoluparan més exhaustivament els diversos apartats del Projecte Bàsic. Per aconseguir això caldrà una campanya d'investigació geològica-geotècnica més detallada, en la que seran imprescindibles la realització de sondejos amb extracció de testimoni continu, mostres inalterades per sotmetre-les a diversos assajos de laboratori, disseny de detall dels sistemes de sosteniment, etc.



Els aspectes tècnics bàsics que s'han de tenir en compte a l'hora d'abordar un **Projecte Bàsic** per a una explotació subterrània d'aquest tipus són els següents:

A la **primera fase** s'ha de fer una recopilació d'informació referent a la zona d'estudi basada en:

- Bibliografia
- Cartografia topogràfica
- Cartografia geològica

La **segona fase** comporta l'estudi de tota la cartografia, els treballs de camp i la presa de mostres i assaigs *in-situ*. En el camp s'han de prendre dades referents a:

- Geologia regional i detallada
- Hidrogeologia
- Estacions geomecàniques amb dades de les discontinuïtats del massís rocós (direcció i capbussament, espaïament, rugositat, resistència dels llavis de les juntes, rebliment i tipus, índex de rebot amb martell de Schmidt, presència d'aigua...)



L'estudi del terreny on es desenvolupa el projecte és un aspecte bàsic en el desenvolupament d'aquest projecte, ja que gran part de l'èxit de qualsevol obra subterrània està en el coneixement detallat del subsòl.

La **tercera fase** són els treballs de gabinet.

- Definició de litotips
- Classificació geomecànica el terreny en base als índexs RMR (Bieniawski), Q (Barton), GSI (Hoek)
- Paràmetres resistents i elàstics.

A partir d'aquest treball de gabinet es procedeix a dissenyar un perfil d'excavació i als càlculs de tots els aspectes d'enginyeria del projecte, arribant finalment a una **secció** i a un **sosteniment tipus** de les excavacions. El binomi secció-sosteniment és clau per determinar els costos d'explotació de la pedrera subterrània. Per una banda és important que la secció dissenyada tingui unes alçades i amplades que permetin la utilització d'equips convencionals de càrrega i transport a cel obert, més econòmics que els equips de perfil baix típics de mineria d'interior. Per altra banda, estarem limitats pel cost del sosteniment que augmenta de manera considerable a l'augmentar la secció.

La **quarta fase** és l'elecció del **mètode d'explotació**. Aquest és un dels factors més importants alhora de tractar qualsevol projecte d'aprofitament subterrani. Aquest ha de satisfer alhora les condicions de producció i d'estabilitat del buit creat.

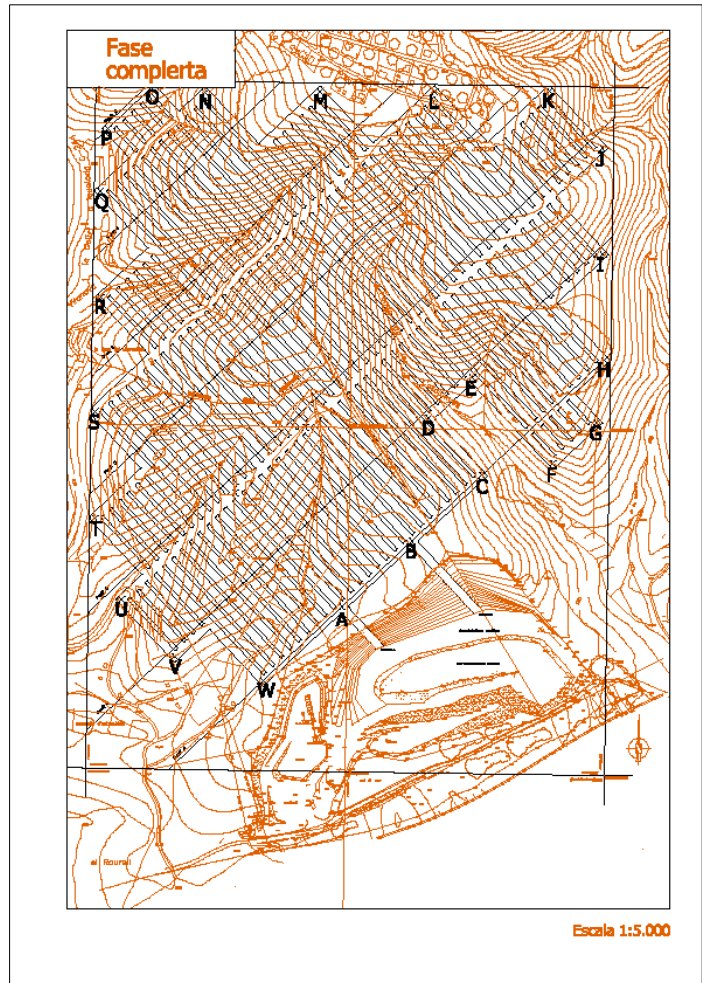
Aquestes condicions prenen singular importància, ja que el recurs explotat es destina a la fabricació d'àrids. Això implica una explotació subterrània que tingui uns costos d'extracció mínims, però alhora una producció màxima per poder rentabilitzar tots els elements que intervenen en aquesta extracció i posterior transformació.

Un dels mètodes d'explotació més adequats és el de **cambres i pilars** paral·lels. Aquest mètode ha estat aplicat àmpliament amb molt èxit en explotacions mineres subterrànies de mineral amb

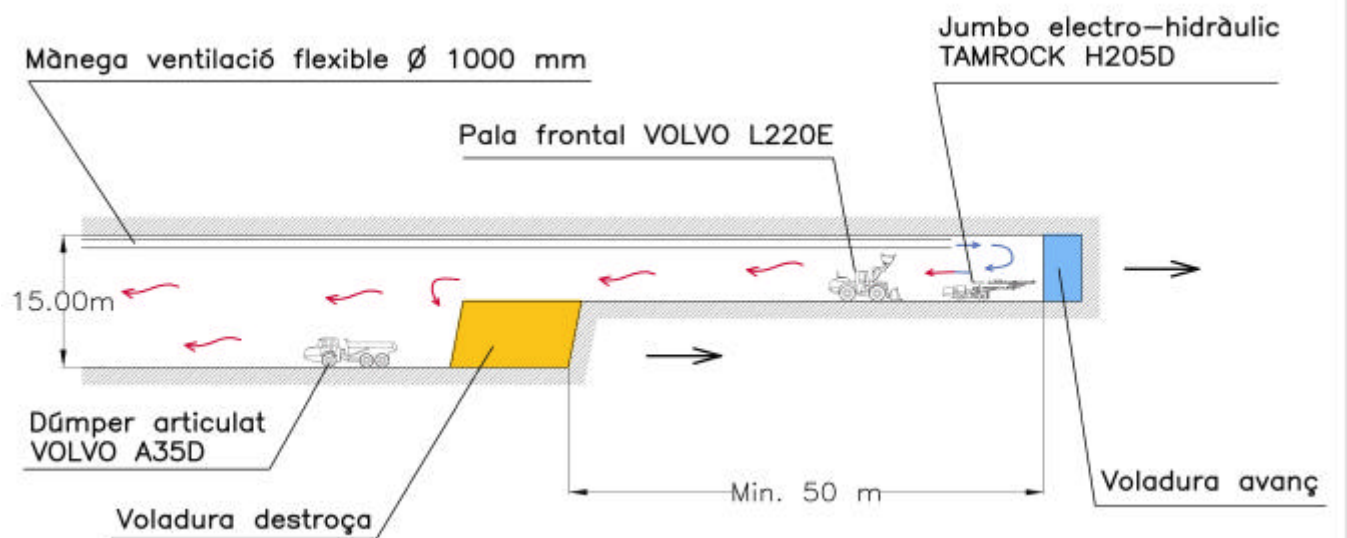
notable potència i on és necessària una gran recuperació. Les principals característiques que defineixen aquest mètode són el seu baix i constant cost d'explotació i que el sosteniment del sostre el realitzen, majoritàriament, els pilars.

Normalment es planteja amb una sèrie de cambres paral·leles amb un pilar continu intermig donant una lleugera pendent per garantir l'evacuació de les aigües d'infiltració per acció única de la gravetat.

Al tractar-se de galeries amb seccions considerables, el mètode d'excavació recomanat és el d'**avanç i destrossa amb explosius**; això vol dir avançar primer la secció superior de la galeria i més tard la secció inferior en destrossa o en banc, que lògicament anirà retardada respecte l'avanç de la galeria.



L'esquema del mètode d'explotació pot ser el següent:



Finalment caldrà considerar la **ventilació**, **electrificació** i altres partides corresponents a l'explotació subterrània del recurs.

ESTUDI ECONÒMIC

A tall d'exemple es presenta una comparació de costos d'una explotació subterrània amb la mateixa explotació a cel obert. Els números que es donen a continuació poden variar en gran mesura en funció dels condicionaments geotècnics, de possibilitat d'accessos a l'interior del massís, etc. **Cada cas concret necessita el seu estudi concret.**

EXEMPLE D'ESTUDI ECONÒMIC

-Recurs explotat:

Roca calcària per a àrid de matxuqueig



-Producció diària:

2.500 Tn/dia



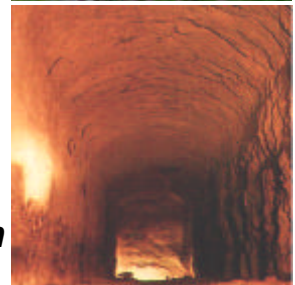
-Classificació del massís rocós:

***Q (Barton) = 35.25
RMR (Bieniawski) = 67
Categoria II***



-Dimensions de les cambres d'explotació projectades:

15 x 15 m



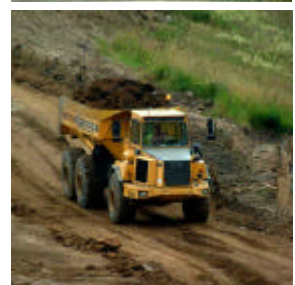
-Sosteniment:

***Bulonatge sistemàtic amb malla de 3 x 3 m
i perns de 3 m de llargada. Gunitat ocasional.***



-Equip de càrrega i transport:

***Pala VOLVO L220E i dos dúmpers
VOLVO A35D***

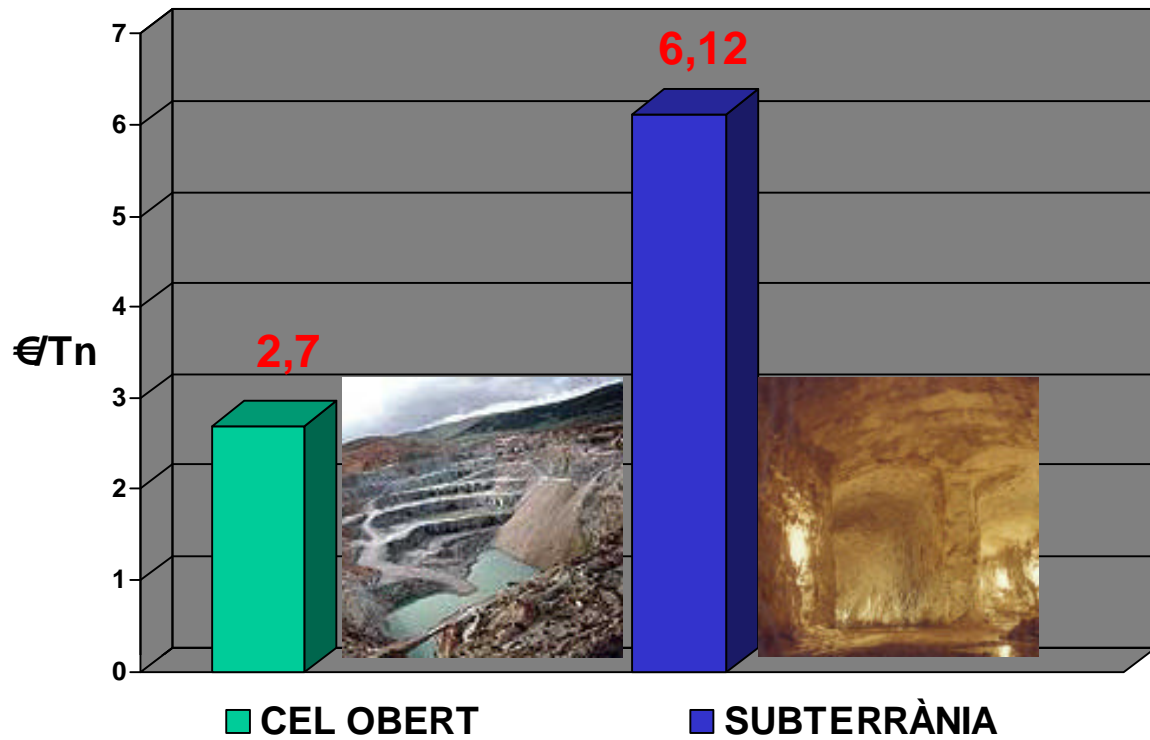


COMPARATIU DE COSTOS DIRECTES DE PRODUCCIÓ

		CEL OBERT	INTERIOR
			
Perforació i explosius		0,60 €/Tn	2,34 €/Tn
Carrega i transport		2,10 €/Tn	2,52 €/Tn
Sosteniment		0,0 €/Tn	0,96 €/Tn
Ventilació Electrificació		0,0 €/Tn	0,30 €/Tn

TOTAL COSTOS DIRECTES DE PRODUCCIÓ

(Cost per Tn arrancada i transportada a planta de classificació i matxuqueig)

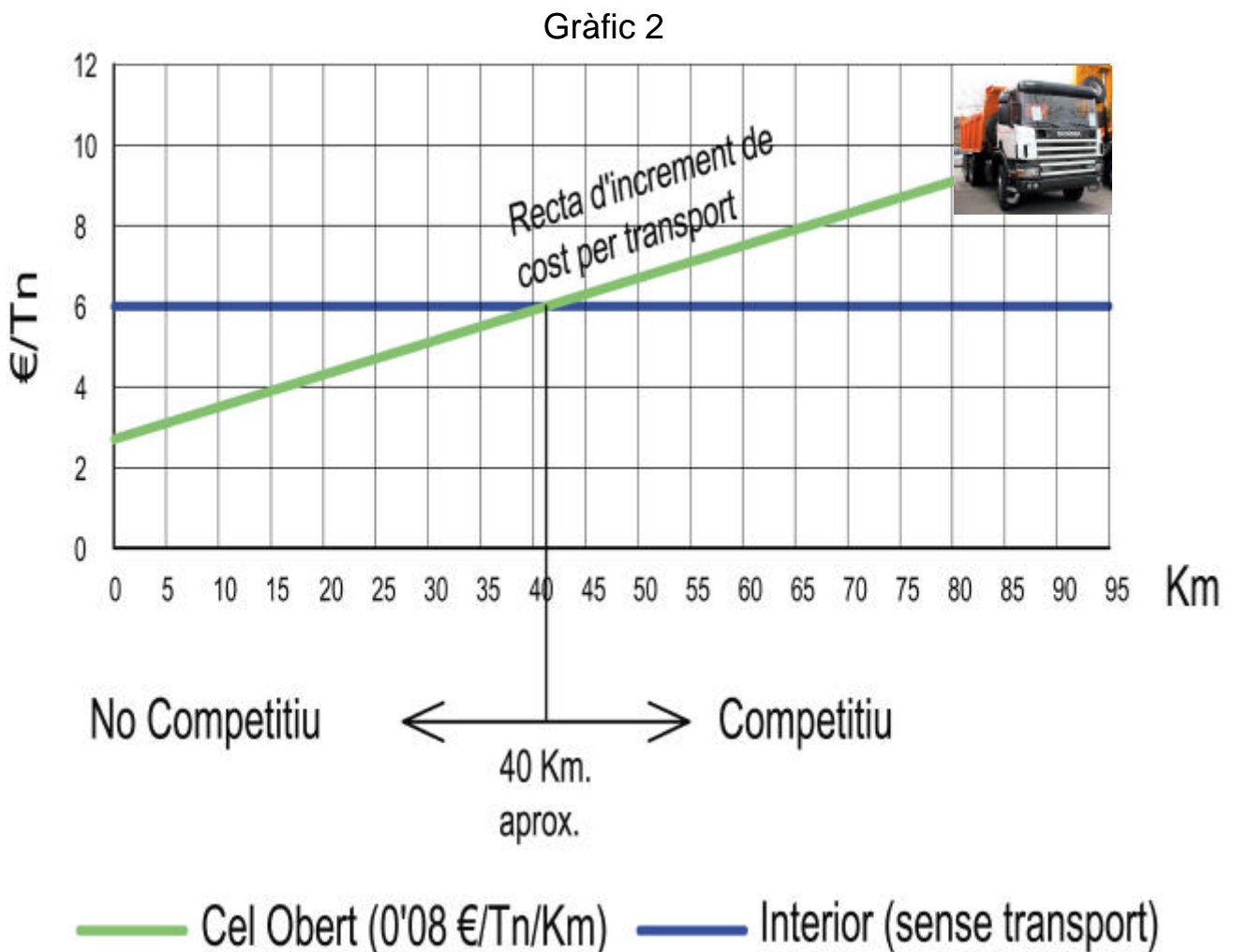


Aquesta diferència de preu podria ser més reduïda si descomptéssim del preu de Tn subterrània els costos de restauració que ens estalviem.

D'altra banda, la viabilitat econòmica de l'explotació d'interior es podria millorar contemplant un **ús posterior de la cavitat creada**, per exemple com a dipòsits de runes.

Amb el preu de cost determinat, tot i ser elevat, podem fer una comparació: Sabent que el preu de transport per Tn d'àrid es situa en uns 0'08 €/Tn/km, la pedrera subterrània començarà a ser competitiva quan les explotacions a cel obert que subministrin l'àrid es trobin ubicades a més de 40 Km de distància del punt de consum, admetent que l'explotació subterrània es troba en aquest punt de consum i per tant sense el sobrecost del transport (gràfic 2). Per exemple, el preu per tona posat en una hipotètica planta de formigó que estigués situada al costat d'una pedrera subterrània seria el mateix que si subministréssim l'àrid d'aquesta planta de formigó des de una pedrera a cel obert situada a 40 km de distància.

Gràficament:









REPERCUSSIÓ EN EL PREU FINAL DE LES OBRES

Encara que el cost de l'àrid subterrani és major, la repercussió **d'aquesta partida** en el **cost total d'una obra** pot suposar un increment del preu final de l'obra d'entre un 1% i un 6%.

Calcularem l'increment en el cost d'una **estructura de formigó armat**, utilitzant les dades de preus i partides que facilita l'Institut de Tecnologia per l'Edificació de Catalunya (ITEC).

Dels diferents elements que componen una estructura de formigó armat (pilars, forjats, lloses, murs, etc), podem dividir percentualment el seu cost segons el quadre de la pàgina següent.

 COST PERCENTUAL D'UNA ESTRUCTURA DE FORMIGÓ ARMAT (ITEC 2004)		
<p>Formigó, de resistència mitjana 25 Nw/mm², inclòs el transport i la posada en obra</p> 	<p>Transport i posada en obra de formigó de resist. mitjana 25 Nw/mm²</p> 	7'0%
<p>Fabricació formigó</p> 	Àrid	6'0%
	Ciment	9'4%
	Additiu	0'4%
	Aigua	0'2%
<p>Acer en barres corrugades</p> 		35'0%
<p>Muntatge i desmuntatge d'encofrats, plafons, taulers...</p> 		42'0%
TOTAL		100'0%

Veiem que el cost dels àrids representa un 6% de mitjana del valor total d'una estructura de formigó armat. Posant números, per una estructura valorada en, per exemple, 120.000 €, els àrids tenen un valor de 7.200 €. Si construïssim la mateixa estructura però utilitzant un àrid de pedrera subterrània de cost el doble, tindríem que el preu final de l'estructura seria de 127.200 €. En resum, **doblant el preu de l'àrid** tenim un **increment del cost** de l'estructura de formigó armat del **6%**.

Si considerem el cas d'un habitatge en el que el cost de l'estructura de formigó representa un 30 % del cost total de l'obra i el 70% restant correspon al cost dels tancaments, instal·lacions d'aigua, d'electricitat, banys, enguixats, aïllaments, cuines, etc., la repercussió en el **preu final total de l'obra** que representa **doblar el preu de l'àrid**, seria inferior al **2%**.

Una de les maneres de fer que aquestes explotacions siguin una realitat, és amb el suport de les **institucions públiques**. Per una banda facilitant al màxim tots els tràmits administratius per la seva instal·lació; per l'altre amb ajudes directes a les empreses per sufragar despeses d'investigació i posada en marxa d'explotacions i finalment amb ajudes indirectes, que podrien ser, per exemple, incentius en el consum d'àrids de procedència subterrània a les obres de titularitat pública. Com veiem, l'increment en el cost d'aquestes obres no seria excessiu i els beneficis ambientals i la contribució a la sostenibilitat del medi serien molt importants.

CONCLUSIONS

Des del punt de vista ambiental, una pedrera subterrània crea un impacte extremadament menor que una pedrera a cel obert; els principals **avantatges** que poden aportar les pedreres subterrànies són:

- La **no alteració del paisatge ni la modificació de la fisiografia** de l'entorn pels desmunts d'excavació.
- La **notable reducció** de l'impacte pel soroll als voltants al quedar restringida a les fonts d'emissió de les instal·lacions exteriors, si es que hi són.
- L'alteració per la pols queda igualment **restringida** als equips citats anteriorment.
- La **nul·la existència** de problemes d'erosió i contaminació de les aigües superficials.
- **No és necessari efectuar treballs de restauració** en terrenys superficials, amb la conseqüent disminució del cost.
- **No afectació** dels factors climatològics.
- **L'augment de possibilitats d'explotació** en indrets on actualment és impossible per condicionaments mediambientals o socials.
- Contribució a la **sostenibilitat** del planeta.

També existeixen **inconvenients**, entre altres:

- **Augment** considerable del preu.
- Major **complexitat** tècnica.

ANNEX: FOTOGRAFIES PRESENTACIÓ CONGRÉS

