TREBALL DE RECERCA

La galena de Bellmunt, del filó a la vida quotidiana

Martín Miranda Muruzábal

Dirigit per Ana Guarinos
Co-dirigit per Mercè Corbella

Segon de batxillerat
Institut Montserrat

04/11/2016

PROGRAMA ARGO

INSTITUTMONTSERRAT

MUSEU DE LES MINES DE BELLMUNT DEL PRIORAT
MUSEU DE LA CIÈNCIA I DE LA TÈCNICA DE CATALUNYA

ÍNDEX

1. Introducció 5
2. Objectius 6
3. Minerals 7
3.1. Introducció 7
3.2. Propietats 7
3.2.1. Propietats escalars 7
3.2.1. Propietats vectorials 7
3.3. Classificació 8
3.4. La galena 10
4. Jaciments minerals 11
4.1 Definició 11
4.2 Tipus 11
4.2.1. Jaciments filonians 11
4.2.2. Jaciments de concentració magmàtica 12
4.2.3. Jaciments de metamorfisme de contacte 12
4.2.4. Jaciments de metamorfisme regional 12
4.2.5. Jaciments sedimentaris estratiformes 13
4.2.6. Jaciments d'oxidació i enriquiment supergènic 13
4.2.7. Jaciments de sublimació 13
5. Explotació del mineral 14
5.1. Mineria 14
5.1.1. Tipus de mines 14
5.1.1.1. De superfície 14
5.1.1.2. Subterrànies 15
5.1.2. Etapes de la mineria 16
5.1.2.1. Exploració 16
5.1.2.2. Explotació 17
5.1.2.3. Tancament 18
5.1.3. Impactes de la mineria 19
5.1.3.1. Atmosfera 19
5.1.3.2. Edafosfera 19
5.1.3.3. Hidrosfera 20

5.1.3.4. Biosfera 20
6. Mines Bellmunt 21
6.1. Situació geogràfica 21
6.2. Context geològic 22
6.3. Mina Eugènia 23
6.4. Mina Règia 23
6.5. Història minera del Priorat 24
6.5.1. Mineria antiga 24
6.5.2. Mineria moderna 24
6.5.3. Segle XX 25
6.5.4. Segle XXI 26
7. Tractament de la galena 27
7.1. Primera etapa: la trituració i la mòlta 27
7.2. Segona etapa: la flotació 28
7.3. Tercera etapa: la fosa 28
7.4. Quarta etapa: refinament 29
8. El plom 30
8.1. Característiques 30
8.2. Isòtops 30
8.3. Contaminació 30
8.3.1. En els éssers humans 31
8.3.2. En els animals 31
8.3.3. En les plantes 32
8.4. Aplicacions del plom a la vida quotidiana 33
8.4.1. Bateries 33
8.4.2. Protecció contra radiacions 33
8.4.3. Pigments 34
8.4.4. Aïllament de cables 34
8.4.5. Llaunes 34
8.4.6. Benzines 34
8.4.7. Explosius 35
8.4.8. Canonades 35
8.4.9. Datació amb isòtops 35
8.5. Evolució en l'ús del plom 36
9. Part pràctica 37
9.1. Introducció 37

9.2. Sortida de camp 37
9.2.1. Objectius de la sortida 37
9.2.2. Explicació de la sortida 37
9.3. Caracterització mineralògica 38
9.3.1. Resultats 39
9.3.2. Conclusions 41
9.4. Pràctica contaminació de sòls 42
9.4.1. Objectiu i hipòtesis 42
9.4.2. Metodologia 43
9.4.2.1. Plantes 43
9.4.2.2. Contaminació per galena 43
9.4.2.3. Aigua 44
9.4.2.4. Posició de les plantes 44
9.4.2.5. Variables 45
9.4.3. Procediment 45
9.4.4. Resultats 46
9.4.4.1. Alçària 46
9.4.4.2. Flors 47
9.4.4.3. Seguiment fotogràfic 48
9.4.5. Conclusions 50
10. Conclusions generals 51
11. Agraïments 52
12. Bibliografia 53

1. INTRODUCCIÓ

La galena (PbS), ha sigut i és, pel seu contingut en plom, un mineral molt important per l'ésser humà i a la vegada, però, molt contaminant pel medi ambient.
En aquest treball, s'estudia com trobem aquest mineral (amb quins altres minerals va associat i en quin tipus de jaciment) en dues mines de Bellmunt del Priorat, la mina Eugènia i la mina Règia, com s'explota i com es tracta.
Per fer aquest estudi, s'ha realitzat una recollida de mostres a les escombreres de les mines esmentades i posteriorment s'ha fet una caracterització mineralògica, de la qual s'han extret diverses conclusions.
D'altra banda, com ja s'ha comentat, la galena és un mineral molt contaminant pel medi ambient. És per això que en aquest treball, com a segona part pràctica, s'ha volgut comprovar aquest fet i s'ha dut a terme un experiment amb petúnies. Aquestes plantes han rebut diferents concentracions d'aquest mineral, per observar com influïa el plom en el seu desenvolupament.

El tema d'aquest treball de recerca va sorgir en una etapa força inicial, ja que des d'un principi, jo volia fer una recerca relacionada amb la geologia i concretament amb minerals. Gràcies al programa Argó, he tingut l'assessorament de la doctora en geologia Mercè Corbella, de la UAB, qui em va suggerir les mines de Bellmunt del Priorat per dur-lo a terme.

2. OBJECTIUS

Part teòrica:

- Conèixer millor la galena com a mineral.
- Conèixer els tipus de jaciments minerals que existeixen segons la seva formació.
- Aprendre les bases de la mineria (tipus, etapes i impactes de la mineria).
- Conèixer geològicament i geogràficament la zona on posteriorment es treballarà (Bellmunt del Priorat).
- Saber quin és el tractament que rep la galena quan s'extreu de la mina.
- Conèixer el plom (les seves característiques, la contaminació que en produeix i les seves aplicacions)

Part pràctica:

- Visitar les mines de Bellmunt del Priorat i recollir mostres d'una escombrera.
- Aprendre a fer una caracterització mineralògica de les mostres recollides i extreure'n conclusions.
- Saber com afecta el plom en el desenvolupament de les plantes.

3. MINERALS

3.1. Introducció

Un mineral és una espècie química natural, de composició definida i d'estructura cristal·lina determinada, que sovint es presenta en formes geomètriques més o menys regulars i majoritàriament en estat sòlid (llevat del mercuri); té tres qualitats essencials: forma una unitat material sòlida i cristal·lina[1], és d'origen natural i pertany a la part sòlida de la Terra, encara que hagi caigut provinent de l'espai exterior.

3.2. Propietats

Les propietats dels minerals es poden dividir en:

3.2.1. Propietats escalars

Són aquelles que no depenen de l'estructura interna del mineral. En aquest grup trobem les següents propietats:

- Hàbit: És l'aparença o forma en què està cristal·litzat el mineral, és de gran ajut per reconèixer el mineral.
- Densitat: És la relació entre la massa d'un mineral i el seu volum.
- Punt de fusió: És la temperatura a la qual es fon un mineral, passa d'estat sòlid a líquid.

3.2.1. Propietats vectorials

Són aquelles que depenen de l'estructura interna del mineral.

- Propietats mecàniques: Estan relacionades amb la cohesió del mineral.
    - Duresa: És la resistència que presenta la superfície d'un mineral a ser ratllada. L'escala de Mohs ordena els mineral segons la seva duresa i assignant-los un valor numèric.
    - Tenacitat: És la resistència que presenta un mineral a trencar-se o deformar-se.
    - Fractura: És l'aspecte que presenta un mineral en trencar-se de forma irregular.

[1] Distribució espacial dels elements que formen un cristall (àtoms o molècules) i que constitueixen en conjunt un edifici amb energia lliure molt petita.

- Exfoliació: És la propietat que tenen alguns minerals en trencar-se en superfícies planes o làmines. Hi ha alguns minerals que no tenen aquesta propietat, n'és el cas del quars o el granat.

- Propietats òptiques: Són les propietats que fan referència al comportament del mineral en relació amb la llum.
  - Color: És una de les característiques més visibles d'un mineral, però no del tot fiable ja que hi ha alguns minerals que presenten una amplia gamma de colors. Aquests minerals que presenten més d'un color s'anomenen al·locromàtics, en canvi els que tenen un únic color, s'anomenen idiocromàtics. Per observar el color d'un mineral, el que s'acostuma a utilitzar és el color de la ratlla[2], que és el color del mineral polvoritzat. Aquesta propietat, té uns colors més constants en cada tipus de mineral.
  - Lluïssor: És l'aspecte que ofereix el mineral en reflectir la llum.
  - Birefringència: Aquesta propietat defineix el desdoblament de la llum en travessar el mineral. Un claríssim exemple d'aquesta propietat és la calcita, en concret l'espat d'Islàndia en el qual es pot veure perfectament com la imatge queda doblement refractada.
- Magnetisme: Aquesta propietat relaciona el comportament d'un mineral davant un imant de ferro. El minerals poden ser paramagnètics (són atrets pels imants), diamagnètics (són repel·lits) o no magnètics (no reaccionen davant un imant).
- Conductivitat:Propietat que relaciona un mineral amb el seu comportament com a conductor elèctric. Els minerals poden ser conductors o no conductors.

3.3. Classificació

Els minerals es classifiquen en 8 grups diferents en funció de la seva composició:

I. Elements natius

Són minerals formats per un sol element químic. Són escassos. Exemples: Or, plata...

II. Sulfurs i compostos afins

Són combinacions d'elements metàl·lics o metal·loides amb sofre, bismut, arsènic... Normalment tenen una densitat alta, un aspecte metàl·lic i tenen una gran importància industrial.

La galena forma part d'aquest grup ja que és un sulfur de plom (PbS).

[2]Aquesta s'aconsegueix ratllant el mineral sobre porcellana.

III. Halurs

Són combinacions de metalls amb elements halògens com el clor o el fluor. Són hidrosolubles.

Exemples: halita, silvina...

IV. Òxids i hidròxids

Són compostos formats per oxigen o per grups hidroxil (OH) i un metall.

Exemples: magnetita, hematies,...

V. Carbonats, nitrats i borats

Són oxisals combinades amb metalls.

Per exemple: calcita, aragonita...

VI. Sulfats, cromats, molibdats i wolframats

Són també oxisals combinades amb metalls. Tenen un aspecte no metàl·lic.

Exemples: barita, guix...

VII. Fosfats, arsenats i vanadats

Són combinacions de fòsfor, arsènic i vanadi amb oxigen.

Exemples: vanadinita, apatita...

VIII. Silicats

Aquest grup és el més important en quantitat de tots ja que representa el 25% dels minerals coneguts i el 90% de volum de l'escorça terrestre.

Són minerals formats per l'ió SiO_4^{4-}. Aquesta unitat té forma de tetraedre. Aquests tetraedres s'uneixen entre sí mitjançant elements com Na, K, Ca, Mg i altres, donant lloc a diferents formes i originant, a la vegada, diverses subclasses de silicats:

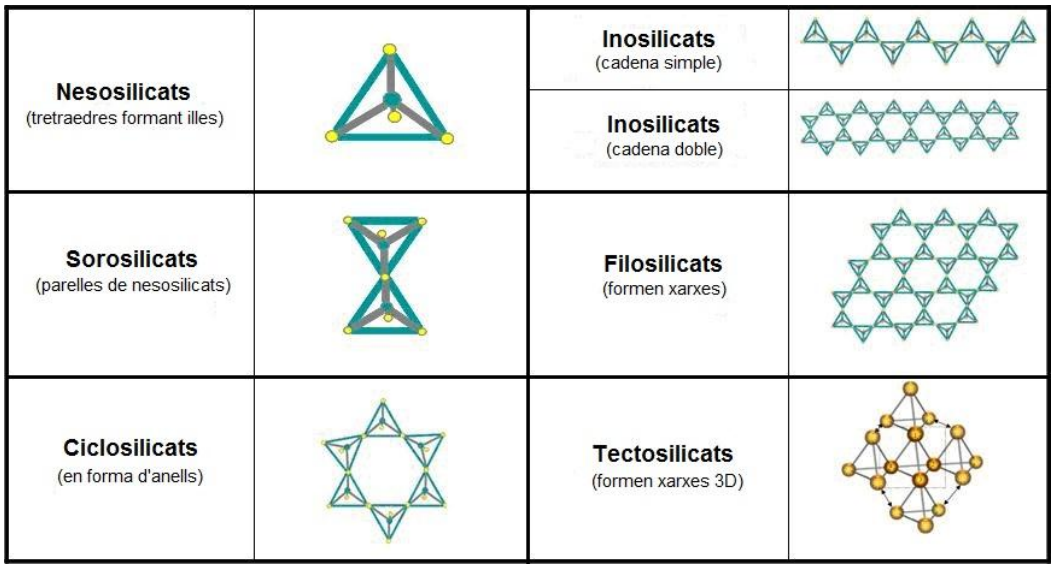


Figura 1 – Quadre on es mostren els diferents tipus de silicats. FONT: http://ceteme.blogspot.com.es/2015/08/silicatos.html (la imatge original ha estat editada)

3.4. La galena

Com he dit abans, la galena es troba situada al grup dels sulfurs, ja que és un sulfur de plom (PbS). Aquest mineral es la mena[3] del plom i sol tenir concentracions entorn al 86% d'aquest metall.

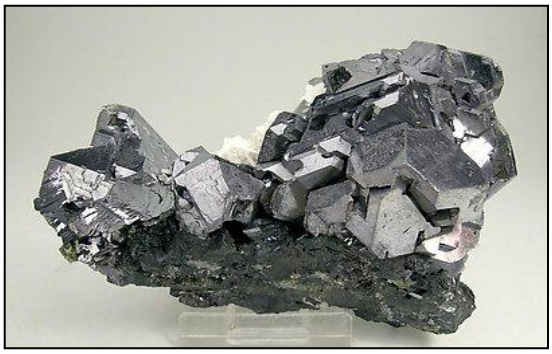


Figura 2 – Mostra de galena. FONT: http://www.fabreminerals.com/search_results.php?LANG=ES&MineralSpeciment=Galena

Les seves propietats són les següents:

HÀBIT	Cristalls cúbics
DENSITAT	Elevada, de 7,2 a 7,6
PUNT DE FUSIÓ	1113°C
DURESA	Baixa, de 2,5 a 3 en l'escala de Mohs
TENACITAT	Molt fràgil
FRACTURA	Subconcoïdal
EXFOLIACIÓ	Cúbica
COLOR (ratlla)	Gris
LLUÏSSOR	Metàl·lica
BIRREFRINGÈNCIA	No
MAGNETISME	No
PROPIETATS ELECTRIQUES	Semiconductor

[3]Associació de minerals que conté substàncies útils en un percentatge suficient per a justificar l'aprofitament d'un o més metalls.

4. JACIMENTS MINERALS

4.1 Definició

Un jaciment mineral és una part d'escorça terrestre en la qual, degut a diferents processos geològics, hi ha hagut una acumulació de minerals o d'algun element metàl·lic. Ha de tenir una mida i una qualitat suficient perquè sigui rendible la seva explotació. Els jaciments minerals també són anomenats dipòsits minerals.

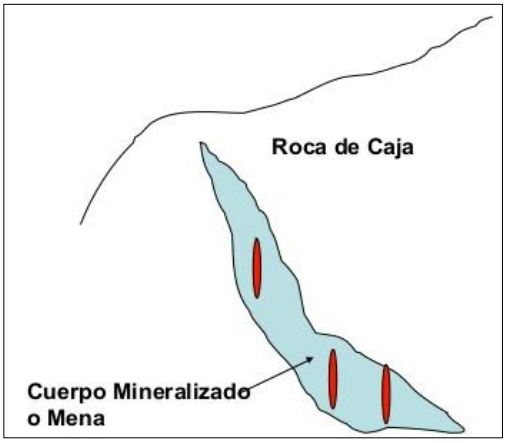


Figura 3. Dibuix on es pot veure un jaciment mineral, entre la roca encaixant. FONT: http://es.slideshare.net/hamiltonfloreszavaleta/01-introduccion-de-siseo-de-mina-subterraneas

4.2 Tipus

Els jaciments minerals es poden classificar utilitzant criteris diversos. En aquest treball utilitzarem el procés geològic que els ha originat.

4.2.1. Jaciments filonians

Són estructures planes que estan estretament relacionades amb fractures (falles o diàclasis). Aquestes mineralitzacions es formen generalment per l'ascensió d'aigües hidrotermals. Aquestes aigües són escalfades per un magma i com a

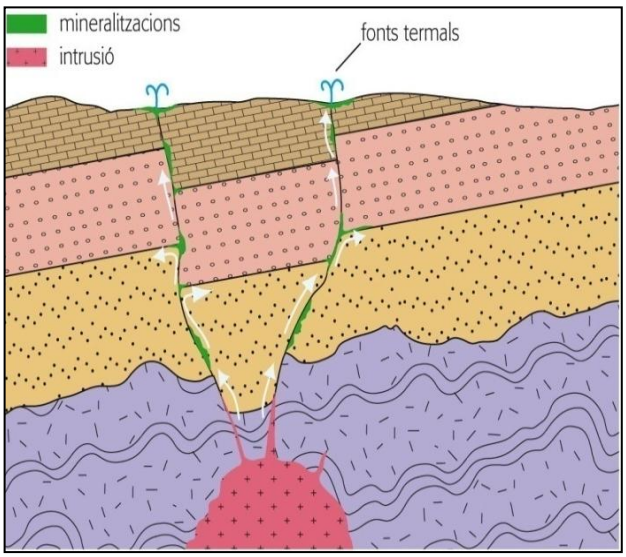


Figura 4 – Dibuix dels jaciments filonians. FONT: Ciències de la terra i del medi ambient 1. Ed. Castellnou.

conseqüència de l'elevada temperatura ascendeixen per fractures de la roca. Aquestes solucions presenten una gran quantitat d'ions que quan precipiten donen lloc a una àmplia gamma de minerals de plom, zinc, bari, fluor, coure, etc.

Les mines estudiades en aquest treball, tenen mineralitzacions filonianes i en concret, els filons presents a les mines són principalment de galena, amb altres minerals com a ganga[4].

4.2.2. Jaciments de concentració magmàtica

Durant la solidificació d'un magma es poden donar diversos processos que generin la concentració de diversos minerals.

Per exemple, en les primeres etapes de solidificació d'un magma, es poden formar roques bàsiques. Aquestes roques bàsiques solen contenir minerals de crom, ferro o titani,entre d'altres.

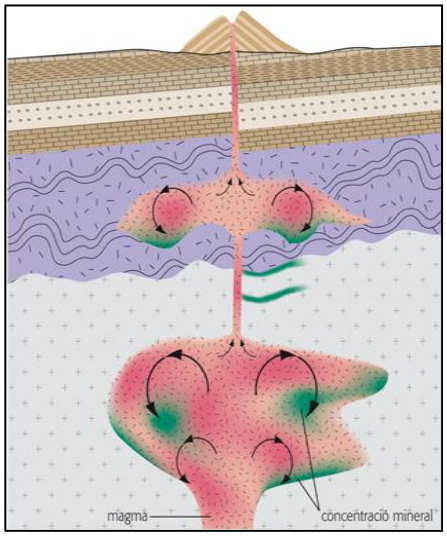


Figura 5 – Dibuix d'un jaciment de concentració magmàtica. FONT: Ciències de la terra i del medi ambient 1. Ed. Castellnou.

4.2.3. Jaciments de metamorfisme de contacte

Es formen a partir del contacte entre intrusions plutòniques i roques sedimentàries. Al produir-se aquest contacte, s'originen substàncies volàtils que reaccionen amb les roques sedimentàries (metasomatisme) i donen lloc a mineralitzacions.

4.2.4. Jaciments de metamorfisme regional

Es tracta de concentracions minerals prèvies que són sotmeses a un augment de temperatura i pressió i donen lloc a noves concentracions minerals.

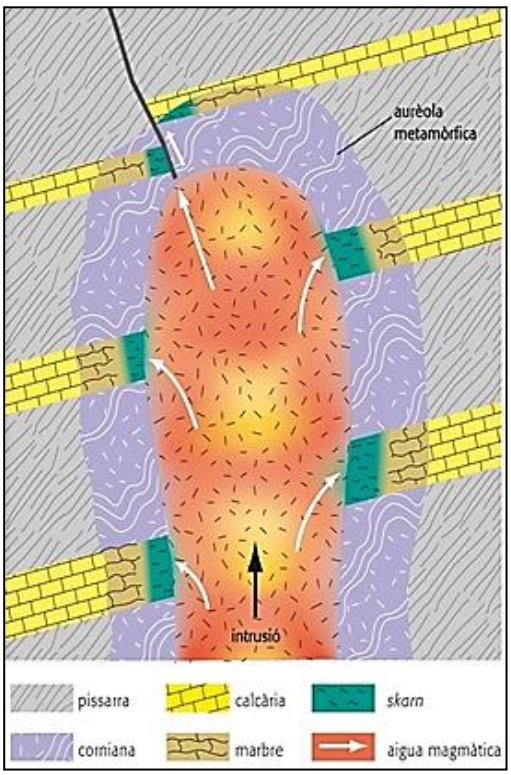


Figura 6 – Dibuix d'un jaciment de metamorfisme de contacte. FONT: Ciències de la terra i del medi ambient 1. Ed. Castellnou.

[4]Conjunt de minerals sense interès pràctic, generalment no metàl·lics.

4.2.5. Jaciments sedimentaris estratiformes

Són jaciments tubulars i concordants amb els estrats. Aquestes mineralitzacions estan relacionades amb el cicle geològic extern. En aquest grup es poden incloure les roques carbonoses i evaporítiques com l'halita i la silvina.

4.2.6. Jaciments d'oxidació i enriquiment supergènic

Estan estretament relacionats amb els sòls. Es formen com a conseqüència de la meteorització química en les roques que afloren a la superfície, formant minerals com les argiles. Aquests minerals són dissolts per l'aigua i infiltrats al sòl. En infiltrar-se, aquestes aigües reaccionen amb el sòl de diferents maneres i donen una gran varietat de tipus de minerals.

La zona superior del sòl, acostuma a concentrar minerals en forma d'òxids, sulfats o carbonats i s'anomena zona d'oxidació.

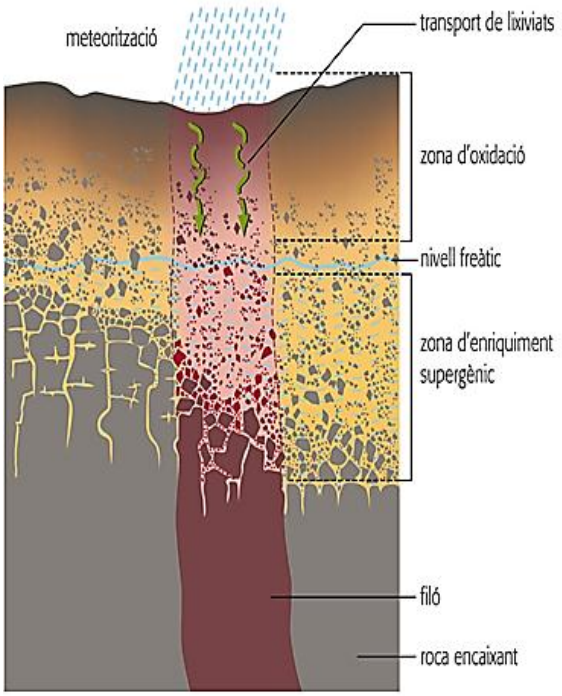


Figura 7 – Dibuix d'un jaciment d'oxidació i enriquiment supergènic. FONT: Ciències de la terra i del medi ambient 1. Ed. Castellnou.

En canvi, a la zona més inferior del sòl acostuma a haver condicions reductores, el que afavoreix la precipitació de sulfurs. Aquesta zona s'anomena zona d'enriquiment supergènic.

4.2.7. Jaciments de sublimació

Aquests jaciments es formen quan cristal·litzen minerals a partir de substàncies gasoses. Son típics de zones volcàniques i es produeixen en els cràters o en zones de fumaroles. Les més típiques són les mineralitzacions de sofre, formades a partir de volàtils procedents del magma.

Figura 8 – Mina de sofre a cel obert. Jaciment de sublimació. FONT: http://www.xatakaciencia.com/quimica/mina-de-azufre-en-ijen-un-infierno-amarillo-en-la-tierra

5. EXPLOTACIÓ DEL MINERAL

5.1. Mineria

La mineria és l'extracció de minerals i altres materials de l'escorça terrestre per obtenir un benefici econòmic. Aquesta activitat es duu a terme a les mines.

La mineria neix i progressa a causa de la necessitat de materials adients pel desenvolupament de cada civilització. Per això no és d'estranyar que els primers vestigis miners es trobin durant tot el paleolític amb exemplars d'explotacions de sílex molt importants. Des de llavors fins a l'actualitat, la mineria no ha deixat de desenvolupar-se d'una manera contínua.

5.1.1. Tipus de mines

5.1.1.1. De superfície

Dintre d'aquest tipus, trobem principalment les mines a cel obert, tot i que també hem de tenir present altres com les de mines hidràuliques o de dragat, les graveres, les pedreres o les mines per dissolució.

Les mines a cel obert són les més importants. i consisteixen en grans excavacions amb terrasses ascendents. La seva explotació és més barata que la de mines subterrànies cosa per la qual, aquest tipus de mines permet explotar dipòsits minerals de baixa llei[5] que si no, no serien econòmicament rendibles. En aquestes mines, el jaciment el trobem a superfície o cobert per una capa poc profunda de sòl.

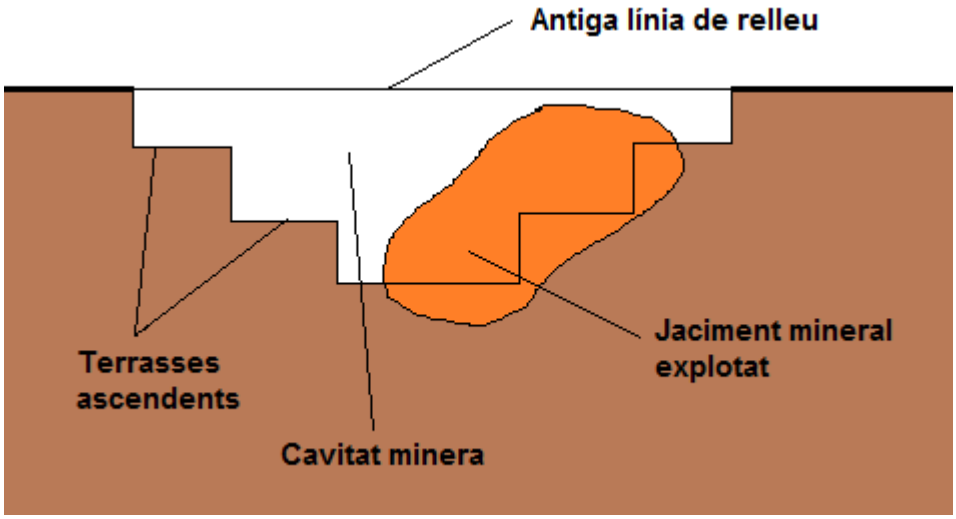


Figura 9 – Dibuix esquemàtic d'una mina a cel obert. Font pròpia.

[5]Concentració que presenta l'element químic d'interès miner del jaciment.

El tipus de material que s'explota, pot anar des de minerals de baix cost com el coure fins a alguns molt cars com l'or o com els diamants, també en aquestes mines s'explota amb gran freqüència el carbó.

Alguns exemples importants d'aquest tipus de mines són:

- Mina Diavik, Canadà (diamants)
- Mina BinghamCanyon, Utah, EEUU (coure)
- Mina Minry, Rússia (diamants)
- Mina Grasberg, Papua occidental, Indonèsia (or i coure)
- Mina Chuquicamata, Xile (coure)

Figura 10 – Mina Chuquicamata, Xile
FONT: Http://www.emol.com/noticias/economia

Figura 11 – Mina Diavik, Canadà
FONT: http://canalviajes.com/diavik-la-espectacular-mina-de-diamantes-de-canada/

5.1.1.2. Subterrànies

Pel que fa a les mines subterrànies, es poden dividir en mines subterrànies en roca tova (carbó) o en roca dura (metalls i minerals). Com el seu nom indica, aquestes mines es troben per sota de la superfície i s'utilitzen per explotar minerals que es troben concentrats en filons.

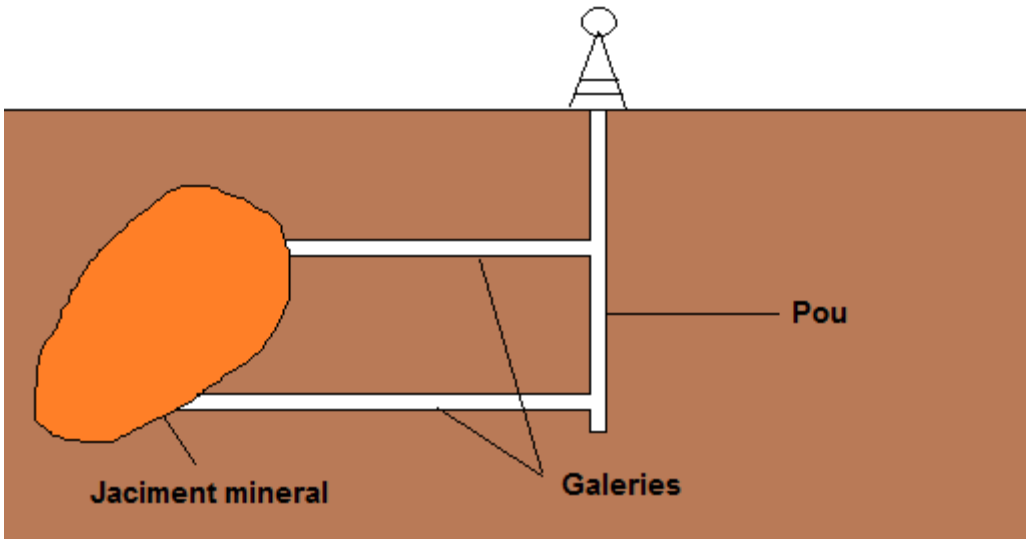


Figura 12 – Dibuix esquemàtic d'una mina subterrània on es poden observar les dues labors bàsiques, els pous i les galeries. Font pròpia.

Les principals labors[6] que hi trobem són:

- Pous:

  Perforació principal vertical o inclinada que serveix per:

  - Extreure el mineral de l'interior de la mina.
  - L'entrada i sortida del personal l'accés de maquinària i materials.
  - Conducció per la ventilació.
  - Pas per diverses funcions necessàries pel funcionament de la mina com l'energia elèctrica, l'aire comprimit i el desguàs.

  En mines amb més d'un pou, el normal és que un d'aquests s'utilitzi únicament per l'extracció del mineral a l'exterior i que els altres realitzin les altres funcions.

- Galeries:

  Perforació horitzontal o inclinada que serveix per:

  - Accedir al jaciment mineral
  - L'accés pel personal, per eines, material, maquinàries, entre d'altres.
  - Reconèixer la continuïtat del jaciment.
  - Pas per diverses funcions necessàries pel funcionament de la mina com l'energia elèctrica, l'aire comprimit i el desguàs.

Les mines estudiades en aquest treball (mina Eugènia i Regia), formen part d'aquest grup.

5.1.2. Etapes de la mineria

Una mina, té tres etapes mineres bàsiques. Aquestes van des de l'exploració de la zona on pot haver-hi un jaciment mineral fins al tancament de la mina, passant per l'etapa d'explotació d'aquesta.

5.1.2.1. Exploració

Dintre d'aquesta etapa, primer trobem la fase de prospecció, que es fa amb l'objectiu de tenir un coneixement general de l'àrea d'interès. Aquesta fase consisteix a observar anomalies geològiques a l'escorça terrestre que puguin indicar possibles jaciments minerals. Per fer aquestes observacions s'utilitzen tècniques com: geofísica, geoquímica, fotografies aèries, cartografia regional...

A continuació, trobem l'exploració en sí, l'objectiu de la qual és obtenir un coneixement detallat del jaciment mineral descobert a la fase de prospecció. Aquest coneixement

[6]Qualsevol forat excavat per explotar un jaciment. Una mina és el conjunt de totes les labors.

detallat consisteix a delimitar les dimensions i enriquiment del jaciment mineral. Per dur a terme aquestes exploracions, s'utilitzen tècniques com sondejos, pous, túnels, entre d'altres.

Finalment, per acabar aquesta primera etapa, s'han de fer diferents estudis per determinar si l'explotació d'aquest jaciment seria econòmicament rendible. No cal oblidar que, per començar l'explotació, s'ha d'haver fet prèviament un estudi d'impacte ambiental i aquest hi ha d'estar aprovat.

5.1.2.2. Explotació

En aquesta segona etapa, el primer que s'ha de fer es començar a excavar fins arribar al jaciment, traient així la roca encaixant i elaborant les labors mineres. A l'hora, s'han de començar a construir les instal·lacions de la mina que serviran per l'extracció, processament i transport del mineral.

Una vegada està tot llest, es comença l'explotació del jaciment. Per dur-la a terme s'han de seguir 3 etapes principals:

- Perforació i voladura
- Carga i transport del mineral
- Tractament del mineral

Aquestes 3 etapes es van repetint contínuament a la vida d'una mina, fins que s'acaba el jaciment mineral o no n'és rendible l'explotació.

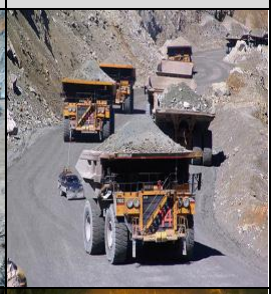
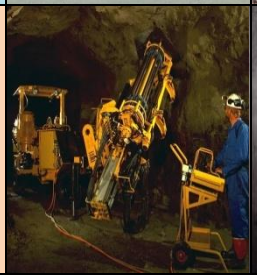
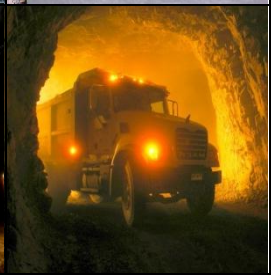
	PERFORACIÓ	VOLADURA	CARGA	TRANSPORT
Mina a cel obert				
Mina subterrània				

Figura 14 – Quadre on es mostra l'etapa d'explotació per a cada tipus de mina. Font pròpia.

5.1.2.3. Tancament

Quan l'etapa d'explotació d'una mina arriba al seu final, es procedeix al tancament.

L'objectiu d'aquesta etapa és restaurar les àrees afectades per l'explotació. Això es duu a terme mitjançant el pla de tancament, el qual està inclòs dintre de l'estudi d'impacte ambiental que es va fer prèviament. Els plans de tancament normalment, tenen les següents fases:

- Enretirada de les instal·lacions
- Recuperació de les geo-formes
- Compactació del terreny
- Reforestació

Una vegada tot això ha acabat, s'ha de fer un seguiment a la zona restaurada fins assegurar l'estabilitat química i física de l'àrea (post-tancament), aquestes observacions solen durar diversos anys.

Un tancament amb èxit, es dona quan les àrees restaurades, es poden mantenir estables en el temps sense la necessitat d'acció humana i es donen les condicions necessàries per mantenir l'harmonia i l'equilibri amb el medi natural i l'ambient social de la zona.

Figura 15 – Mina Golden Cross, Nova Zelanda. 1994: mina activa, 2001: mina tancada. Es pot observar com s'ha restaurat l'area d'activitat minera.
FONT: http://mineriaconfuturo.com.pe/noticias/cierre-de-minas-un-nuevo-futuro

5.1.3. Impactes de la mineria

Els impactes de la mineria afecten la resta de sistemes terrestres: atmosfera, edafosfera, hidrosfera i biosfera.

5.1.3.1. Atmosfera

- Emissions sòlides: Bàsicament s'emet pols que es genera durant les voladures o durant les càrregues i el transport.
- Emissions de gasos: Els gasos són emesos durant la combustió de la maquinària o s'emeten durant voladures. N'hi ha d'altres que estan relacionats amb l'activitat minera, com n'és el cas de la combustió del carbó o la pirometal·lúrgia.
- Soroll: El soroll es produeix durant les voladures principalment, però també amb la maquinària
- Emissió d'aerosols[7]: Aquests aerosols es produeixen durant l'explotació del mineral, però sobretot durant processos d'hidrometal·lúrgia. Aquests processos impliquen regs per aspersió (lixiviació) a piles de mineral utilitzant compostos tòxics com l'àcid sulfúric o el cianur de sodi. L'objectiu dels regs és formar dissolucions que continguin una substància específica, el residu queda de forma insoluble.

5.1.3.2. Edafosfera

- Desertització: Per construir la mina es tallen els arbres presents a la zona del jaciment i un cop s'ha explotat el jaciment, el sòl que queda no és fèrtil.
- Modificació del relleu: Impacte visual i alteració de la dinàmica de processos. Per exemple, les escombreres[8] tenen clarament un impacte visual en l'entorn de la mina.
- Canvi o pèrdua de les propietats físiques dels sols: Principalment són les variacions en la textura[9] dels sòls (porositat, permeabilitat,...).
- Pèrdua de les propietats químiques dels sòls: Contaminació per metalls pesants (plom, coure,...) que contaminen al sòl a traves de les escombreres principalment, però també a partir de processos de lixiviació en pila. Aquestes propietats, es poden veure afectades també per l'acidificació del sòl per acumulació i oxidació de sulfurs.

[7]Partícules sòlides o líquides suspeses en un gas.
[8]Conjunt de roques o minerals sense interès dipositats al costat d'una mina, creant així petites muntanyes d'aquests materials.
[9]Porció en % de pes de les partícules menors a 2 mm de diàmetre.

5.1.3.3. Hidrosfera

- Alteracions de la dinàmica fluvial: Variació del perfil i de la dinàmica del corrent fluvial.
- Contaminació per metalls pesants: Els metalls pesants poden contaminar també la hidrosfera a partir de les escombreres. Les partícules dels metalls que contaminen les aigües poden estar en suspensió (col·loides) o poden estar dissoltes.
- Pèrdua de masses d'aigua: La mina pot ocupar llacs, aqüífers i fins i tot glaceres. Aquests disminueixen la mida o desapareixen.

5.1.3.4. Biosfera

- Desforestació: A l'hora de construir la mina, sovint s'ha de dur a terme una tala per eliminar els arbres o plantes que estan a la zona del jaciment. Als boscos tropicals, per l'extracció de petroli i alumini, per exemple, desapareixen grans superfícies de boscos.
- Contaminació per metalls pesants: Com s'ha indicat anteriorment, els sòls queden contaminats sovint per metalls pesants. Si els sòls estan contaminats, totes els éssers vius que hi visquin quedaran també contaminats. Com que es produeix un procés de bioacumulació, aquesta contaminació passarà a altres éssers vius a través de la cadena tròfica.
- Contaminació acústica: El soroll procedent de les mines, afecta als éssers vius, alterant els ecosistemes. En el cas dels animals silvestres, reaccionen al soroll amb un estat d'alarma, motiu pel qual estan més atents a possibles riscos, s'amaguen i, fins i tot, canvien els seus cicles circadians[10].

[10]Són oscil·lacions de les variables biològiques en interval sregulars de temps. N'és un exemple el cicle de la son.

6. MINES DE BELLMUNT

6.1. Situació geogràfica

Bellmunt del Priorat, és un municipi de la comarca del Priorat, de la província de Tarragona a Catalunya. La zona d'interès mineralògic es troba delimitada al nord i a l'oest pel riu Siurana, a l'est pel poble de Bellmunt i al sud pel barranc de les Calderetes.

Figura 16 – Mapes de situació geográfica de Bellmunt del Priorat.

A 200 metres del nucli urbà del poble de Bellmunt, per la carretera de Bellmunt del Priorat, trobem la mina Eugènia i les seves escombreres. Si es segueix per aquesta carretera durant 1 km més, acabem trobant la mina Règia. Aquestes dues mines seran el lloc on es durà a terme part del meu treball pràctic.

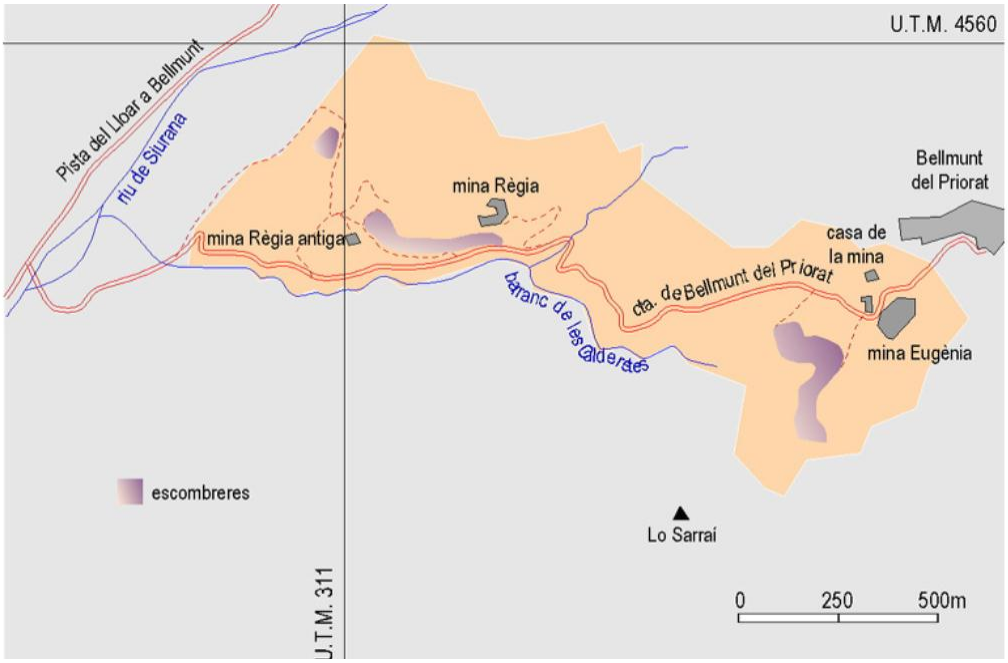


Figura 17 – Mapa de la zona de Bellmunt del Priorat, on es poden observar les dues mines estudiades connectades per la carretera de Bellmunt del Priorat. FONT: GEÒTOP 309 - MINES DE BELLMUNT DEL PRIORAT

6.2. Context geològic

L'àrea de Bellmunt del Priorat, es troba dins del domini estructural del Baix Priorat, caracteritzat per roques detrítiques del Carbonífer. Aquestes, amb el temps i els processos geodinàmics posteriors, van convertir-se en pissarres, que popularment són anomenades llicorelles. Més tard, van ser metamorfitzades i plegades.

Concretament, a la zona de Bellmunt del Priorat, trobem dos grans nivells de roques del carbonífer. El nivell superior està constituït bàsicament per roques pelítiques, majoritàriament pissarres, i té una potència d'uns 100m. El segon nivell, consta principalment de gresos i de pissarres i té una potència d'uns 500m.

Aquests dos nivells van estar sotmesos a grans pressions durant l'orogènesi herciniana, cosa per la qual avui en dia trobem una gran part d'aquests materials plegats. També, en aquest bloc, trobem dics de pòrfir, els quals a l'intruir, van produir metamorfisme de contacte en les roques encaixants, principalment en les pissarres, les quals apareixen lleugerament pigallades (pigues fonamentalment formades per biotita).

Finalment, trobem o trobàvem (degut a la seva explotació) grans filons mineralògics constituïts principalment per galena. Aquests es van crear per aigües hidrotermals ascendents a temperatures entorn els 150℃. Les aigües pujaven per les fractures de la roca encaixant, originades durant l'etapa alpina, i a mesura que ascendien, els fluids anaven mineralitzant. L'ordre de mineralització als filons és el següent: dolomita, ankerita, galena, siegenita, mil·lerita, calcopirita, calcita, marcassita i baritina.

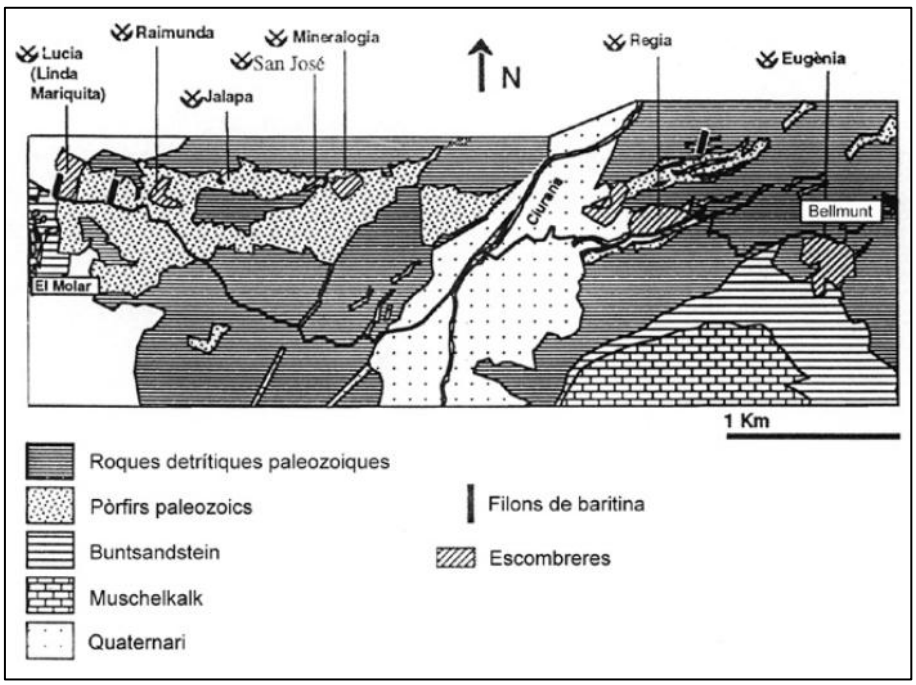


Figura 18 - Mapa geològic de la comarca del priorat, on es poden veure les dues mines estudiades, l'Eugènia i la Règia, envoltades de roques detrítiques (pissarres). FONT: GEÒTOP 309 - MINES DE BELLMUNT DEL PRIORAT

6.3. Mina Eugènia

El mineral explotat era la galena. Va ser la mina de major importància de la zona minera del Priorat. Això era degut a l'elevada quantitat i qualitat de la galena. La mina va arribar a les 20 plantes amb una profunditat total de 620 m.

Els filons mineralògics d'aquesta mina es troben encaixats entre pissarres.

6.4. Mina Règia

Al igual que en la mina Eugènia, el mineral explotat era la galena. Va ser la segona mina més important de la zona del Priorat. La mina consta d'un total de 12 plantes amb una profunditat total de 320 m.

Els filons mineralògics d'aquesta mina es troben encaixats entre dics de pòrfir.

Figura 19 – Fotografia de la mina Règia.
FONT: https://mti-minas-catalunya.blogspot.com.es/2007/08/mina-regia.html

6.5. Història minera del Priorat

6.5.1. Mineria antiga

Durant els segles VIII i VII a.C., ja s'explotava la galena de la zona de Bellmunt del Priorat. Això se sap ja que a un poblat prehistòric a prop d'aquesta zona, van trobar mostres de galena, plom i evidències que s'havia practicat la metal·lúrgia, com poden ser motlles o restes d'escòries de la fosa.

També els romans van aprofitar aquesta zona per explotar minerals. Els treballs en aquestes mines, van poder ser iniciats pels romans als segles I i II d.c. fins que la ciutat de Tarraco va perdre la seva hegemonia i les necessitats de metalls van disminuir. El plom era un metall molt preuat pels romans, utilitzat per la fabricació d'àncores per als seus vaixells. Es pot suposar que els romans transportaven aquest plom per l'Ebre i servia per abastir a la ciutat de Tarraco.

6.5.2. Mineria moderna

Durant el segle XV ja hi havia alguna activitat de mineria moderna a la zona de Bellmunt del Priorat. Però no va ser fins al segle XVI quan es van començar a explotar mines de forma més sistemàtica.

Primer, una família burgesa va explotar durant uns 5 anys varies mines que actualment formen part de la Règia.

Posteriorment, juntament amb la mina Ramona i la mina Grinyons es van incorporar a la corona. Totes aquestes mines les portava un administrador i un comptable que depenien de la Intendència de Catalunya. Durant aquest període, comptaven amb forns de fusió que servien per fondre la galena. Amb aquesta galena es produïa el plom que s'utilitzava per fabricar munició per armes. Al 1809 a causa de la guerra de la independència, es va haver d'abandonar les mines.

Més tard, al 1815 l'administrador de les mines va començar a explotar-les juntament amb els miners de Bellmunt, aquesta explotació es duu a terme sense formalitzar cap mena de contracte. Aquesta explotació dura uns 10 anys fins que les mines queden abandonades, llavors un comerciant es va arrendar les mines i les va rehabilitar invertint molts diners. Això va tenir la seva recompensa, ja que aquest comerciant va treure un gran benefici explotant principalment les mines Blancardera i Espinós. Al 1837 a causa de la guerra carlista, les mines van quedar abandonades i en pèssim estat, després d'haver sigut intensament explotades pels mateixos carlistes.

Aquestes mines queden inactives fins que al 1841 l'Estat firma un arrendament, cosa per la qual les mines són restaurades i queden en un perfecte estat. A partir d'aquí i fins al 1973, va haver-hi una sèrie d'arrendaments amb diferents persones al càrrec. Al

1873, va agafar les mines una empresa belga anomenada “Compagnie des Mines de Bellmunt”. Aquesta petita companyia va començar a explotar les grans mines d’aquesta zona com són la mina Eugènia i la mina Règia. Al principi, elsva costar treure bons rendiments de les mines, i fins i tot van passar per èpoques d’inactivitat, al final, però, van tenir molt èxit.

6.5.3. Segle XX

A principis d’aquest segle, tres homes van crear la companyia “Folch y Albiña”, que es va dedicar a fer explotacions en la zona de Bellmunt. Aquesta companyia va comprar al 1901 l’empresa belga “Compagnie des Mines de Bellmunt” i es va convertir en la major empresa minera de la província. A part d’aquesta companyia, hi havia una altra, que era alemanya i s’anomenava “Reinisch-Nassanis-che Bergwerks und Hüssen Actien Ge-sellschaft”. Aquesta companyia explotava principalment la mina Virgen de los Dolores.

Al 1916 es crea una nova companyia anomenada “S.A. Minas del Priorato” i l’empresa “Folch y Albiña” s’incorpora en aquesta, que a partir dels anys 20 va tenir una gran esplendor.

Al 1926, Bellmunt va tenir el major creixement demogràfic de tota la seva història, constituint el niu de població més dens de tota la comarca. Aquest mateix any, la mina Eugènia constava de 405 m i 13 plantes, i la mina Règia tenia 8 plantes i 250 m. Tres anys més tard, la crisi del 29 va afectar les mines de Bellmunt i a l’empresa “Minas del Priorato S.A.” que va baixar la seva producció i per reduir despeses va eliminar les labors d’explotació.

Al 1931, el preu del plom va baixar, la qual cosa, juntament amb la crisi del 29, va portar a la companyia “Minas del Priorato S.A.” a una situació insostenible que va produir el tancament.

A partir d’aquest moment i fins al 1939, les mines van ser explotades per CI-Plomo (sindicat del plom). En aquest any, es reprenen els treballs de “Minas del Priorato S.A.” i durant una llarga època els treballs es van realitzar amb estabilitat.

Al 1960, es van connectar la planta 8 de la mina Règia i la 9 de l’Eugènia. Finalment, a causa d’una crisis al sector del plom, aquesta companyia va haver de parar els treballs a l’interior de les mines.

Al 1980, es va crear “ExPlom S.A.” amb la finalitat d’aprofitar els residus de les antigues explotacions. Per això, “Minas del Priorato S.A.” va vendre aquesta empresa diversos terrenys com per exemple les escombreres de les mines Règia i Eugènia. Aquesta empresa va cedir els drets a “Panasfalto” (empresa del sector de les obres públiques) que va explotar les escombreres fins al 1993.

A part d'aquesta empresa, en aquesta època, trobem una altra, anomenada "Traminea", que obté les titularitats mineres de Bellmunt, les quals eren propietat de "Minas del Priorato S.A." A part d'aquestes titularitats, n'aconsegueixen més, motiu pel qual aquesta companyia té un control total de la conca minera de Priorat. L'objectiu d'aquesta empresa és obtenir concentrats de plom i plata de les zones mineralitzades i d'antigues escombreres. Al 1991, però, van paralitzar les activitats i instal·laren una planta d'àrids per triturar i classificar pòrfir granulat. Al 1992, es van paralitzar temporalment els treballs i finalment, a causa de diverses irregularitats, aquesta empresa va ser expedida per la Generalitat de Catalunya.

6.5.4. Segle XXI

Actualment, els terrenys que ocupen les instal·lacions de les mines Règia i Eugènia, pertanyen a l'Ajuntament de Bellmunt. Aquest ajuntament, per promoure el turisme en aquesta zona, ha obert un museu de la mina Eugènia a l'edifici que antigament era un taller mecànic d'aquesta mateixa mina. Aquest museu es pot visitar; la visita consta d'una part d'exposició, una altra de pel·lícula documental i finalment t'ofereix un recorregut per la primera planta de la mina Eugènia.

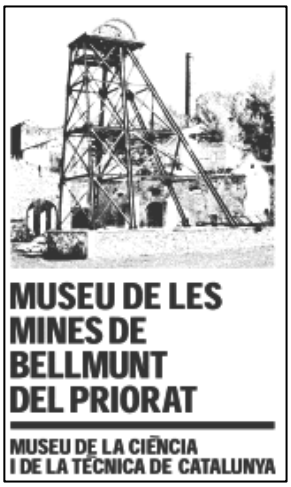


Figura 20 – Museu de les mines de Bellmunt del Priorat. FONT: http://minesbellmunt.com/

7. TRACTAMENT DE LA GALENA

El tractament d'aquest mineral consta de diferents etapes a través de les quals passem d'un sulfur de plom, com a substància inicial, a plom pur.

7.1. Primera etapa: la trituració i la mòlta

Aquesta primera etapa consta de dues fases: la trituració i la mòlta.

En la primera fase, la trituració, l'objectiu és reduir la mida de les mostres inicials de galena i separar aquest mineral de la ganga. En aquesta fase es passa de mostres de fins a 1,5 m a partícules d'entre 0,5-0,2 cm. Té lloc a trituradores i aquest procés s'acostuma a fer en sec.

En la segona fase, la mòlta, es passa de partícules de 0,5-0,2 cm a partícules d'entre 10 i 300 µm. Aquesta fase té lloc a molins amb mecanismes d'abrasió i de trencament d'impacte. Aquests molins són recipients cilíndrics rotatoris d'acer, que contenen una càrrega solta de cossos de trituració. Els cossos poden ser boles o barres d'acer, roca dura i en alguns cassos el mateix mineral.

Un cop la galena surt d'aquests dos processos, en trobem una pols que passa a la fase de concentració, en aquest cas la flotació.

Figura 22 – Galena triturada. Partícules d'aproximadament 0,2 cm.
FONT:
https://www.etsy.com/mx/listing/268643378/triturado-de-galena-pequena-arena-100

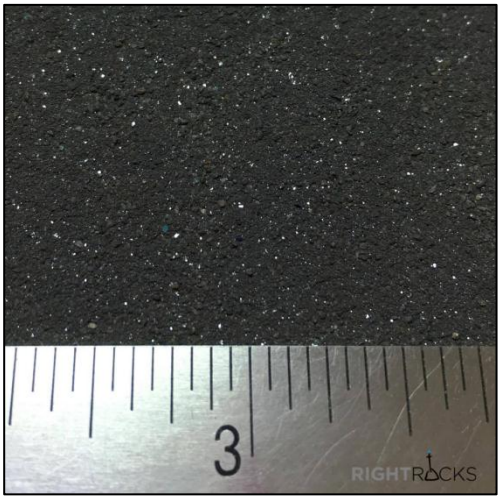


Figura 21 – Galena molta. Partícules d'entre 10 i 300 µm.
FONT:
https://www.etsy.com/mx/listing/268643378/triturado-de-galena-pequena-arena-100

7.2. Segona etapa: la flotació

La flotació és un procés fisicoquímic que serveix per concentrar minerals i eliminar-ne les impureses.

Per dur a terme la flotació, les partícules de galena i les partícules de ganga han de tenir una diferència específica en les propietats fisicoquímiques. Això s'aconsegueix mitjançant un procés en el qual la galena es cobreix amb substàncies hidrofobants, mentre que les partícules de ganga es poden mullar en l'aigua. Les substàncies hidrofobants són substàncies orgàniques i s'anomenen col·lectors. Tot seguit, el mineral pols es barreja amb l'aigua que conté els col·lectors i aquesta dispersió es manté agitada. A continuació,es fa passar a través d'aquesta dispersió sòlid-líquid un flux de bombolles de gas. Les partícules hidrofobants de galena s'adhereixen a les bombolles d'aire que arriben a la superfície, i gràcies als escumants prèviament afegits a aquesta dispersió, formen una escuma que conté galena. Finalment es trenca l'escuma i s'extreu el mineral.

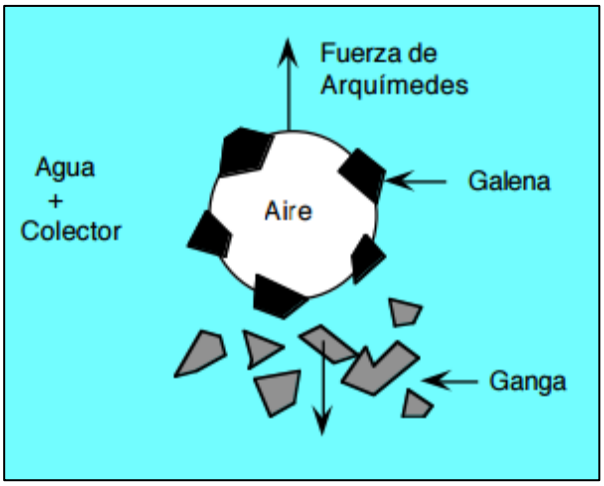


Figura 23 - Dibuix on es pot veure el procés de la flotació. La galena, queda enganxada a la bombolla d'aire mentre que la ganga s'enfonsa. FONT: http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/335a.pdf

7.3. Tercera etapa: la fosa

Quan ja s'ha obtingut la galena concentrada es procedeix a la fosa, que consta de dues fases, l'oxidació o torrat i la reducció.

En el torrat, l'objectiu és l'oxidació del PbS per obtenir PbO. Això s'aconsegueix barrejant la mena, en aquest cas el sulfur de plom, amb sílice, pedra calcària i un material fundent. Aquesta mescla s'escalfa i es fa entrar en contacte amb un agent oxidant, normalment oxigen. Es produeix una reacció d'oxidació i dóna com a productes òxid de plom i diòxid de sofre.

$$2PbS_{(s)} + 3O_{2\,(g)} \rightarrow 2PbO_{(g)} + 2SO_{2\,(g)}$$

El diòxid de sofre normalment es recupera en forma d'àcid sulfúric gas i és a partir del segon producte, l'òxid de plom, que s'obté el plom metàl·lic.

El procés de reducció és el que permet l'obtenció del plom metàl·lic a partir de l'òxid de plom. Aquest procés es duu a terme en forns especials. En aquests forns s'introdueix l'òxid de plom, el carbó de coc[11] (com a combustible) i pedra calcària (com a fundent[12]). El carbó reacciona amb l'aire calent introduït per la part inferior del forn i forma òxid de carboni.

$$2C_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2CO_{(g)}$$

Aquest òxid de carboni, reacciona amb l'òxid de plom i es forma diòxid de carboni i plom metàl·lic que queda fos al fons del forn juntament amb l'escòria.

$$PbO_{(g)} + CO_{(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + Pb_{(l)}$$

7.4. Quarta etapa: refinament

Finalment, aquest plom metàl·lic es refina, normalment, a través del refinament electrolític. Aquest refinament tracta de separar elements d'un compost mitjançant l'electricitat. Això es fa per eliminar possibles impureses de metalls com: coure, estany, arsènic, antimoni, etc. Un cop eliminades aquestes impureses s'obté plom pur.

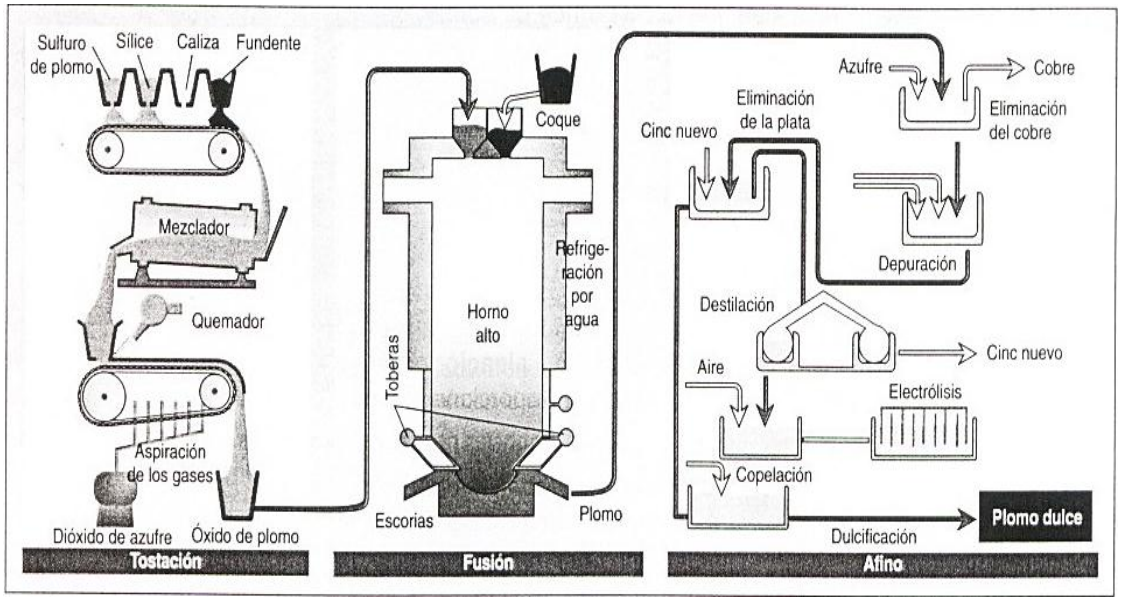


Figura 24 – Esquema que mostra tot el procés de tractament de la galena, des del torrat, fins el refinament, passant per l'oxidació que en aquest cas figura com la fusió.
FONT: http://html.rincondelvago.com/clasificacion-de-los-metales-no-ferricos.html

[11] Residu carbonós obtingut en la destil·lació seca dels carbons bituminosos (que contenen betum) o d'altres combustibles, com el petroli.
[12] Substància que facilita la fusió.

8. EL PLOM

8.1. Característiques

Com ja he explicat en l'apartat anterior, el plom (Pb) s'obté principalment a partir de la galena (PbS), però també està present en altres minerals com la cerussita, l'anglesita o la piromorfita.

El plom és un metall de color platejat amb un to blavós i brillant, que quan s'oxida dóna un color gris. És tou, dúctil i mal·leable i té una densitat molt elevada. Aquest metall és un mal conductor de l'electricitat.

Figura 25 – Lingots de plom.
FONT: http://es.made-in-china.com/co_bestwithbest/product_Pure-Lead-Ingot-with-Pb-99-97-Min_hrignenoy.html

El plom forma part del grup dels metalls pesants, que és un grup de metalls que normalment tenen una gran densitat i que resulten contaminants per al medi ambient.

8.2. Isòtops

Els isòtops són àtoms d'un mateix element que tenen una quantitat diferent de neutrons al nucli i per tant, un diferent número màssic.

Els isòtops s'anomenen amb el símbol de l'element seguit de la massa atòmica de cada isòtop. Per exemple, l'isòtop Pb-207 és un isòtop del plom que té una massa atòmica de 207 u[13].

El plom té 38 isòtops coneguts, quatre dels quals són estables: Pb-204, Pb-206, Pb-207, Pb-208; tenint en compte que massa atòmica estàndard del plom és de 207,2 u.

Els isòtops de plom són els productes finals de les sèries radioactives naturals: el Pb-206 per la sèrie de l'urani, el Pb-207 per la de l'actini i el Pb-208 per la de tori.

8.3. Contaminació

Com ja he dit abans, el plom està dintre del grup de metalls pesants. Això fa que sigui un agent contaminant. Concretament, es parlarà dels seus efectes en els éssers vius.

Aquest metall que no és requerit pel funcionament dels éssers vius. I no només això, sinó que aquest té una gran toxicitat per a tots ells.

[13]Unitat de massa atòmica (u), equival a una dotzena part d'un àtom neutre i no enllaçat de carboni-12.

8.3.1. En els éssers humans

Les persones, es poden veure afectades i exposades al plom en el seu lloc de treball o en el seu entorn, a través principalment de dues vies:

- La primera seria la inhalació de partícules de plom generades per la combustió de metalls que contenen aquest metall. Aquesta inhalació la podríem trobar durant activitats de fosa o durant decapatges de pintura de plom.
- Pel que fa la segona, abastaria la ingestió de pols, aigua o aliments contaminats per aquest metall. Això podria passar, per exemple, a causa dels aliments envasats amb soldadura de plom o mitjançant aigua canalitzada amb canonades de plom o per la bioacumulació en els teixits d'alguns animals, que després formen part de la nostra dieta.

Una vegada el plom està dins l'organisme es distribueix arribant fins a arribar al cervell, al fetge, al ronyó i als ossos (on es diposita). Això provoca el saturnisme, la malaltia específica per contaminació de plom als humans. Aquesta malaltia té efectes gastrointestinals, neurològics, hematològics, efectes al fetge, entre d'altres. Per tractar-la, s'ha de retirar la font d'exposició, després fer un tractament simptomàtic[14] i finalment tractar al pacient amb agents quelants[15], normalment l'edetat de Na_2-Ca, que evita així els efectes tòxics del plom.

8.3.2. En els animals

La contaminació per plom en els animals s'anomena plombisme.

L'exposició dels animal a aquest metall pot ser causada per diferents factors: emissions de plom per part de les mines, contaminació industrial, ploms de pesca, perdigons d'escopeta i pintures i tints abocats a l'aigua.

Una de les contaminacions més freqüents és la de les aus per perdigons d'escopeta o per ploms de pesca. Aquestes aus ingereixen els perdigons confonent-los amb partícules de sorres i graves que normalment s'empassen per ajudar a la trituració de l'aliment. Aquestes petites boles de plom passen al pedrer[16] on poc a poc es van desfent i dissolent, les sals que formen són absorbides gastrointestinalment.

Això porta a la mort, si la víctima ha ingerit un nombre reduït de perdigons, unes dues o tres setmanes després.

[14]Tractament que calma o alleuja els símptomes d'una malaltia.

[15]Substància que forma complexos amb ions de metalls pesants. S'utilitza per evitar els efectes tòxics d'un metall pesant en l'ésser humà.

[16]Apèndix carnós situat al principi de l'intestí que permet triturar finament l'aliment.

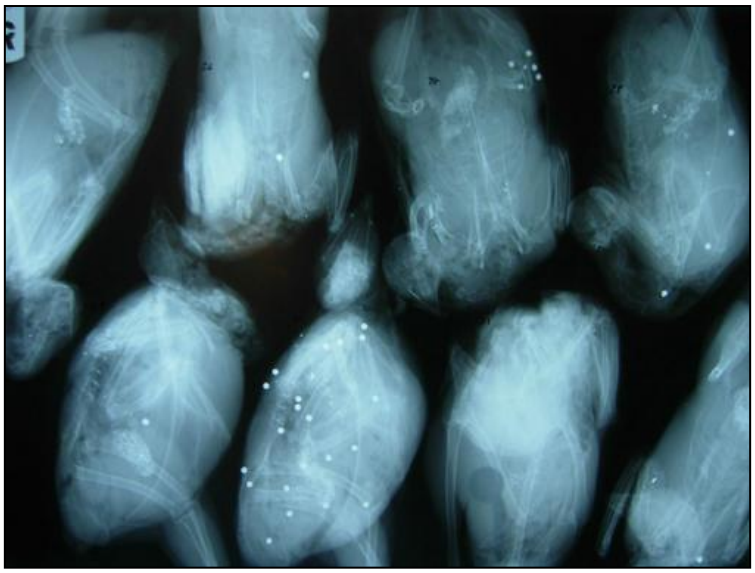


Figura 26 – Radiografia d'unes perdius on es poden observar perfectament tots el perdigons que havien ingerit aquestes. FONT:http://www.agenciasinc.es/Noticias/Estudian-la-transferencia-de-plomo-de-los-perdigones-a-la-carne-de-caza-menor

8.3.3. En les plantes

La contaminació de les plantes està estretament lligada amb la de l'edafosfera i la de l'atmosfera, ja que si el sòl o l'aire està contaminat, les plantes que viuen en aquest entorn quedaran contaminades. Per tant, els causants de la contaminació per plom en plantes seran els de l'atmosfera combinats amb els de l'edafosfera. Les principals fonts de contaminació són:

- Activitat minera
- Fàbriques que duen a terme processos de tractat de mineral
- Gasos contaminants urbans
- Ús de municions militars

El plom, es sol introduir a la planta en forma iònica (Pb^{2+}), causant així un estrès iònic (toxicitat causada per un excés en concentració d'ions). L'absorció del plom en el sòl, s'incrementa en funció de l'increment de pH, des de 3 a 8,5. Cosa que afavoreix l'absorció per part de les plantes.

La fitotoxicitat per plom provoca desordres en les activitats fisiològiques fins matar eventualment les cèl·lules a altes concentracions. Alguns dels processos fisiològics afectats pel plom són: l'activitat enzimàtica, la nutrició mineral i l'estructura de la membrana, entre d'altres. Aquests processos fisiològics afectats causen uns efectes a la planta com la inhibició de la germinació de llavors i el retard en el creixement de les plantes. S'ha d'afegir que el contingut de plom en diferents òrgans de la planta tendeix a decréixer en el següent ordre: arrels > fulles > tija > llavors (Antosiewicz, 1992).

8.4. Aplicacions del plom a la vida quotidiana

El plom ha estat un element molt important en les nostres vides, ja que per les seves característiques n'ha tingut moltíssimes aplicacions. Una gran part d'aquestes s'han vist reduïdes a causa de la toxicitat, que produïa riscos i impactes en el medi.

8.4.1. Bateries

Actualment, la major i més important aplicació del plom són les bateries, aquestes s'anomenen bateries de plom-àcid i comercialment tenen molt èxit pel seu baix cost i perquè es poden aconseguir fàcilment. Es distingeixen tres tipus segons la utilitat de la bateria. El primer tipus són les bateries d'arrencada i d'il·luminació, que s'utilitzen en el món de l'automoció, aquestes tenen un cicle de vida curt. El segon tipus són les bateries de tracció les quals estan dissenyades per tenir descàrregues profundes. I finalment trobem les bateries estacionaries que s'usen per subministrar energia d'emergència en subestacions i en sistemes de telecomunicacions. Aquestes tenen una vida llarga i un baix manteniment.

Figura 27 – Bateria plom – àcid
FONT:
https://autosolar.es/baterias/baterias-plomo-acido

8.4.2. Protecció contra radiacions

Aquesta aplicació es duu a terme en hospitals, laboratoris i clíniques veterinàries on es blinda la cambra on hi haurà la radiació (raig X), mitjançant: làmines de plom, finestres plomades, portes plomades, entre d'altres. En aquest context també estan fabricats amb plom els vestits de protecció que porten el personal i els pacients, els quals són posats a l'hora de fer la radiografia o la prova pertinent.

Figura 29 – Vestit de protección envers els raig X. Utilitzats a hospitals.
FONT:
https://spanish.alibaba.com

Figura 28 – Làmina de plom enrrotllada.
FONT:
http://www.metalesjoral.com/?page_id=89

8.4.3. Pigments

El pigment de plom més important s'anomena blanc plom i aquest s'extreu de la cerussita que és bàsicament un carbonat de plom. Aquest pigment, té un color blanc més càlid que els altres blancs i si s'observa atentament i es compara amb altres pigments blancs, es pot apreciar un to vermellós. El pigment és molt tòxic i és perillós utilitzar-lo en pols ja que és fàcil la seva inhalació.

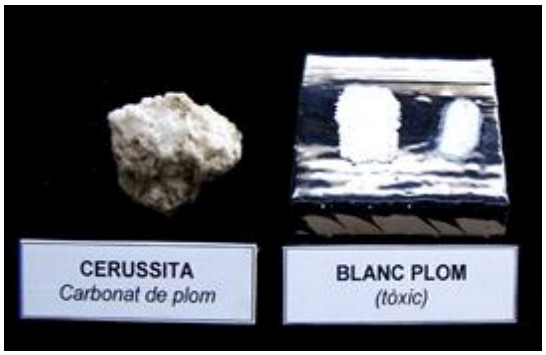


Figura 30 - El pigment blanc plom i el mineral d'on prové, la cerussita.
FONT:
http://www.montartcreation.com/ESPANYOL/cursoscreacion.htm

8.4.4. Aïllament de cables

L'aïllament de cables amb una funda de plom s'utilitza per recobrir cables d'alta i mitja tensió de la indústria petroquímica; per assegurar l'estanqueïtat davant la presència d'hidrocarburs. A part, també trobem recobriments de plom en cables d'aïllament de paper (pràcticament abandonat).

8.4.5. Llaunes

Antigament les llaunes de conserva alimentària se soldaven amb plom. Això comportava que l'aliment quedes contaminat per plom, cosa que implicava que,a la vegada, la persona que consumia aquest aliment ingerís plom. Per això es van prohibir les soldadures amb plom per a les llaunes de conserva. Des del 1990 hi havia restriccions i es buscaven solucions contra la soldadura de plom, però a Europa no va ser fins el 2006 que es va prohibir aquest element.

8.4.6. Benzines

Thomas Midgley al 1921,va trobar una solució a les explosions de motor produïdes pels carburants anteriors. Aquesta solució passava per afegir certes quantitats de plom al combustible, inventant així la benzina amb plom. Aquest tipus de benzines es van començar a utilitzar a partir dels anys 20 i es van prohibir l'any 2001 com a conseqüència dels grans nivells de contaminació d'aquest metall en l'atmosfera.

Figura 31 – Benzines amb plom "Super".
FONT:
http://www.elmundo.es/elmundo/2001/07/05/economia/994359435.html

8.4.7. Explosius

El plom està present als explosius primaris[17] formant part de les següents substàncies:

- Nitrur de plom: S'utilitza en detonadors amb càpsules d'alumini i com a iniciador d'explosius secundaris.
- Estifnat de plom: S'usa com a component de les càpsules fulminants que formen un projectil. També és utilitzat com a iniciador d'explosius secundaris.
- Trinitroresorcinat de plom: Normalment s'utilitza barrejat amb el nitrur de plom com a iniciador d'altres explosius més potents.

8.4.8. Canonades

Antigament i fins als any 70, les canonades estaven fetes de plom, aquestes transportaven les aigües de les instal·lacions públiques fins als habitatges particulars. Es van deixar d'utilitzar per la seva corrosió que comportava la contaminació de l'aigua.

Figura 32 – Canonades de plom.
FONT: http://blogfr24h.es/tuberias-de-plomo-para-agua-potable/

8.4.9. Datació amb isòtops

La datació amb isòtops radioactius o datació radiomètrica és un procediment tècnic per determinar l'edat absoluta de roques, minerals i fòssils. Aquest procés es duu a terme observant el període de semidesintegració d'un isòtop en un altre.

Com ja he comentat a l'apartat 6.2, el plom forma part de diferents sèries radioactives, algunes d'aquestes s'utilitzen per datacions radiomètriques. N'és un exemple el mètode urani-plom, dintre del qual trobem dos mètodes diferents de desintegració i per tant, també de datació:

- De U-238 a Pb-206, amb un període de semidesintegració de $4.510 \cdot 10^6$ anys.
- De U-235 a Pb -207, amb un període de semidesintegració de $710 \cdot 10^6$ anys.

Aquests mètodes són complexos, però a la vegada els més precisos. Al principi, aquests mètodes només servien per datar minerals d'urani. Actualment, es poden datar també roques sedimentàries i fòssils.

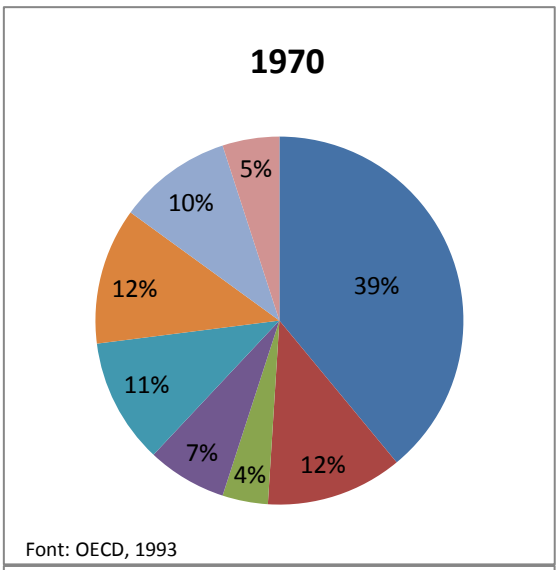
[17] Són explosius que es descomponen mitjançant una detonació iniciada amb un estímul extern; flama, fricció, impacte,...

8.5. Evolució en l'ús del plom

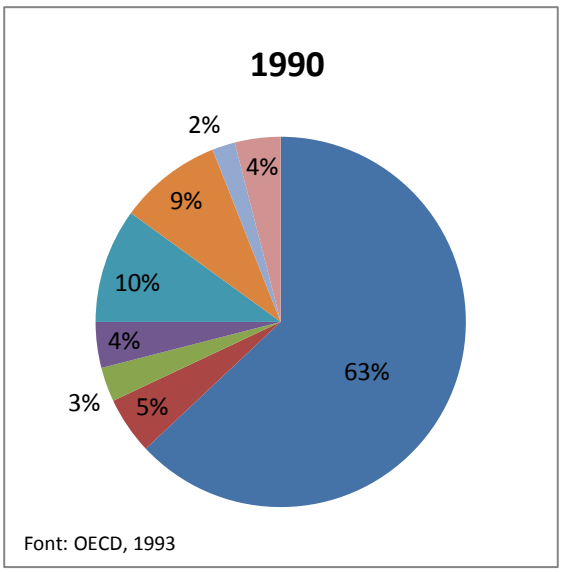
Als següents gràfics s'observa que antigament el plom tenia moltes utilitats i l'ús d'aquest element estava més repartit entre les diverses aplicacions.

Actualment no només han baixat el número d'aplicacions sinó que l'ús d'aquest metall està molt concentrat en una aplicació, les bateries. L'ús de plom per bateries ha pujat més d'un 40% en els últims 50 anys, passant d'un 39% a un 80%.

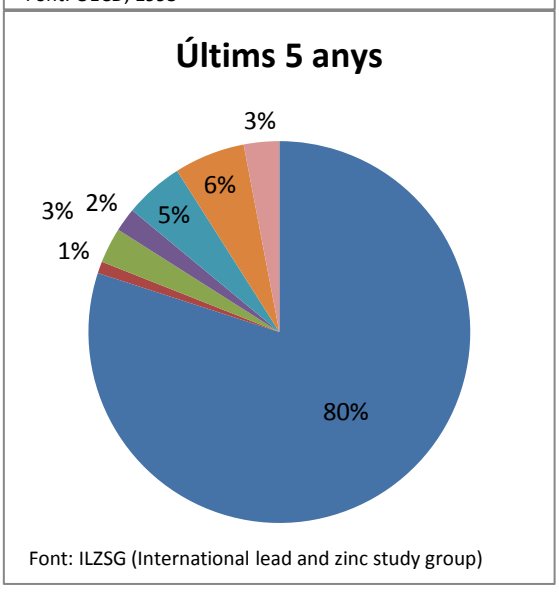
Pel contrari, i com ja he dit prèviament, hi ha algunes aplicacions com les benzines amb plom, les canonades o les soldadures per a llaunes de conserva, que han desaparegut al llarg del temps a causa de la contaminació d'aquest metall al medi ambient i el risc que suposa per la nostra salut. Crida especialment l'atenció l'ús de les benzines amb plom. El 10% de plom que s'hi destinava al 1970 es veu notablement reduït al 1990 a causa de la seva prohibició en alguns països i finalment, en l'actualitat, no trobem cap ús de plom per benzines ja que estan prohibides.



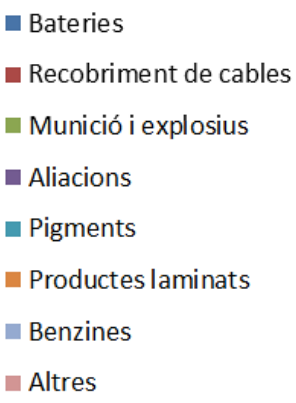
Font: OECD, 1993



Font: OECD, 1993



Font: ILZSG (International lead and zinc study group)



9. PART PRÀCTICA

9.1. Introducció

La part pràctica del meu treball de recerca consta de tres parts: sortida de camp a les mines Eugènia i Règia de Bellmunt del Priorat per la recol·lecció de minerals, identificació de les mostres recollides per la caracterització de la mineralogia de les mines i un experiment per estudiar com afecta la presència de galena al sòl el desenvolupament de les plantes.

9.2. Sortida de camp

Durant aquesta sortida vaig visitar el museu de les Mines de Bellmunt del Priorat, l'escombrera de de la mina Eugènia i l'escombrera de la mina Règia.

9.2.1. Objectius de la sortida

Els meus objectius abans de fer la sortida de camp eren principalment:

- Recollir mostres de minerals en les escombreres d'ambdues mines per poder fer posteriorment la caracterització mineralògica i l'experiment de contaminació de sòls.
- Conèixer la història i geologia de les mines de Bellmunt.

9.2.2. Explicació de la sortida

Per fer la sortida de camp em vaig posar en contacte, via correu electrònic, amb el Museu de les Mines de Bellmunt del Priorat i, tal com vam acordar, el dia 29 maig de 2016 vaig fer la visita a la mina Eugènia.

1) <u>Visita al Museu de les mines de Bellmunt i a la mina Eugènia:</u>

   Vaig iniciar la meva visita amb un recorregut pel museu on hi havia una petita exposició i material audiovisual sobre la mina que em va permetre conèixer aspectes històrics i una introducció a la geologia de la mina.

   La segona part de la visita va ser a l'interior de la mina, concretament a la primera planta d'aquesta, on vaig poder observar aspectes d'interès geològic, com el contacte entre pòrfir i pissarra o restes d'antics filons de galena.

   Com a conclusió d'aquesta visita al museu de les mines i a la primera planta de la mina, podríem dir que dóna, sobretot, una visió històrica, mostrant com es treballava en l'època en què s'hi feia l'explotació.

2) Visita a les escombreres de la mina Eugènia i Règia

A continuació, vaig anar a una part de l'escombrera de la mina Eugènia que em van aconsellar els treballadors del museu, que no estava tan rebuscada, per recollir mostres per l apart pràctica del meu treball., A aquesta escombrera s'hi podia accedir sense problema, no hi havia cap restricció. Aquí vaig trobar dos exemplars de galena molt bons, que he fet servir per l'experiment de la contaminació de sòls, i altres minerals més variats.

Tot seguit, vaig anar a la mina Règia, que es troba situada a aproximadament 1 km de la mina Eugènia. Els treballadors del museu m'havien indicat que allà trobaria més varietat i millors mostres ja que no està tan rebuscada (generalment per col·leccionistes). Tal com m'havien dit, vaig trobar més varietat de minerals i vaig poder recollir mostres d'un elevat interès geològic.

Amb aquest última parada vaig tancar la meva sortida de camp, que havia estat molt profitosa i que m'havia permès acomplir els objectius que m'havia fixat.

Figura 33 - Jo cercant minerals a l'escombrera de la mina Règia.

9.3. Caracterització mineralògica

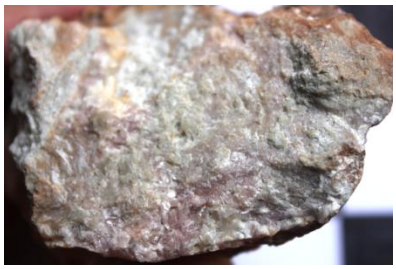
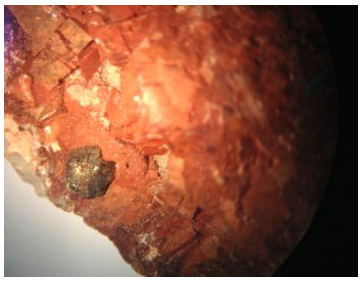
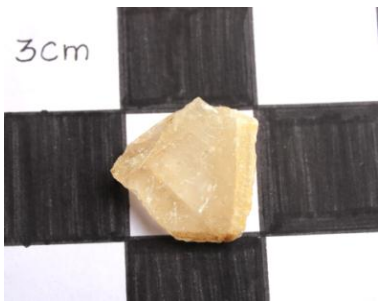
La caracterització mineralògica és la identificació de diferents minerals recollits en una sortida de camp. En el meu cas, dels minerals recollits a les escombreres de les mines Eugènia i Règia a la sortida de camp del mes de maig. El fet d'identificar-ne aquestes mostres ens permet, a la vegada, conèixer la mineralogia de les mines.

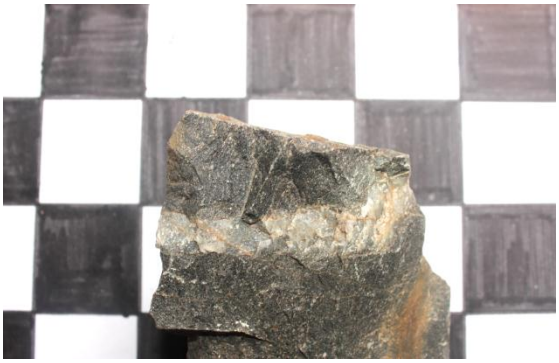
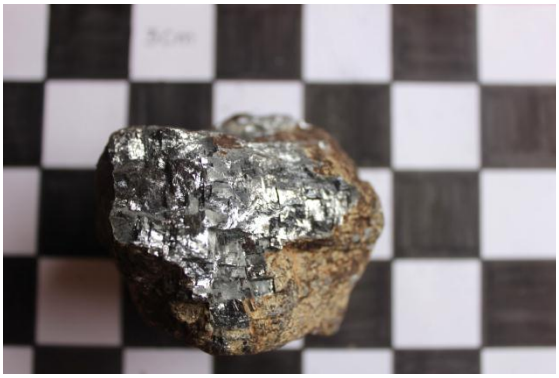
Aquesta fase del treball la vaig portar a terme el dia 30 de juny de 2016 amb l'ajuda i supervisió de la Dra. Mercè Corbella i Cordomí, de la Unitat de Cristal·lografia i Mineralogia del Departament de Geologia de la UAB.

Al seu despatx, vam identificar les mostres que havia recollit i em va ajudar a fer l'esquema del filó de la mina.

9.3.1. Resultats

A partir de les mostres recollides s'han identificat els següents minerals:

MINA RÈGIA			
Mineral	**Fórmula**	**Ganga / Mineral explotat**	**Imatge**
Ankerita	$CaFe^{2+}(CO_3)_2$	Ganga	
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	Ganga	
Galena (sobre ankerita)	PbS	Mineral explotat	
Calcopirita (cristall de calcopirita sobre ankerita)	$CuFeS_2$	Ganga	
Baritina (cristall)	$BaSO_4$	Ganga	

MINA EUGÈNIA			
Mineral	**Fórmula**	**Ganga / Mineral explotat**	**Imatge**
Ankerita	$CaFe^{2+}(CO_3)_2$	Ganga	
Quars (entre prissarra)	SiO_2	Ganga	
Galena	PbS	Mineral explotat	
Calcita	$CaCO_3$	Ganga	

9.3.2. Conclusions

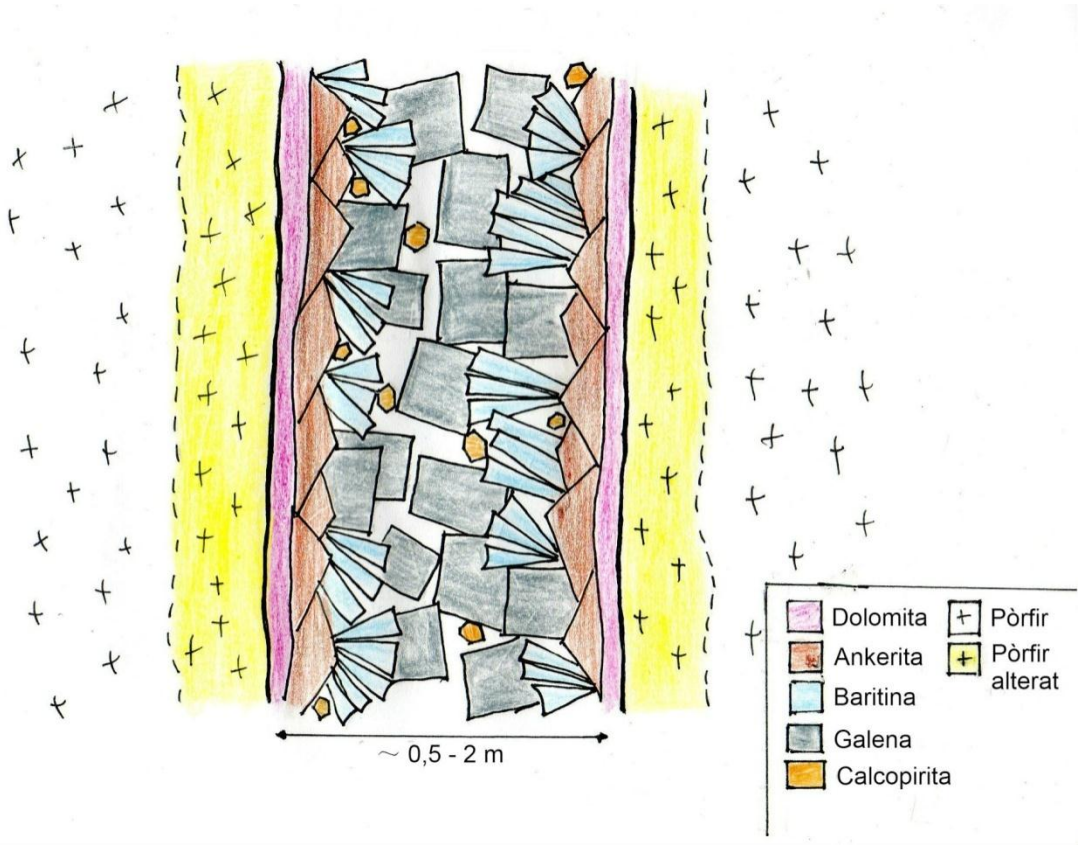
Segons les mostres recollides i observant els contactes entre els minerals i la roca encaixant d'aquestes, vaig poder fer la reconstrucció dels filons de la mina Règia i Eugènia.

S'ha de recordar que aquests filons es van formar per aigües hidrotermals ascendents amb ions dissolts. Aquestes aigües anaven pujant entre les fractures de la roca encaixant i a mesura que anava passant aigua, les fractures s'anaven fent més grans, cosa que permetia la cristal·lització de diferents minerals. El desenvolupament d'aquest procés al llarg del temps va fer que aquestes fractures s'acabaren convertint en filons. Per tant, l'ordre de formació dels minerals va des de la part externa del filó fins al centre d'aquest.

- Mina Règia

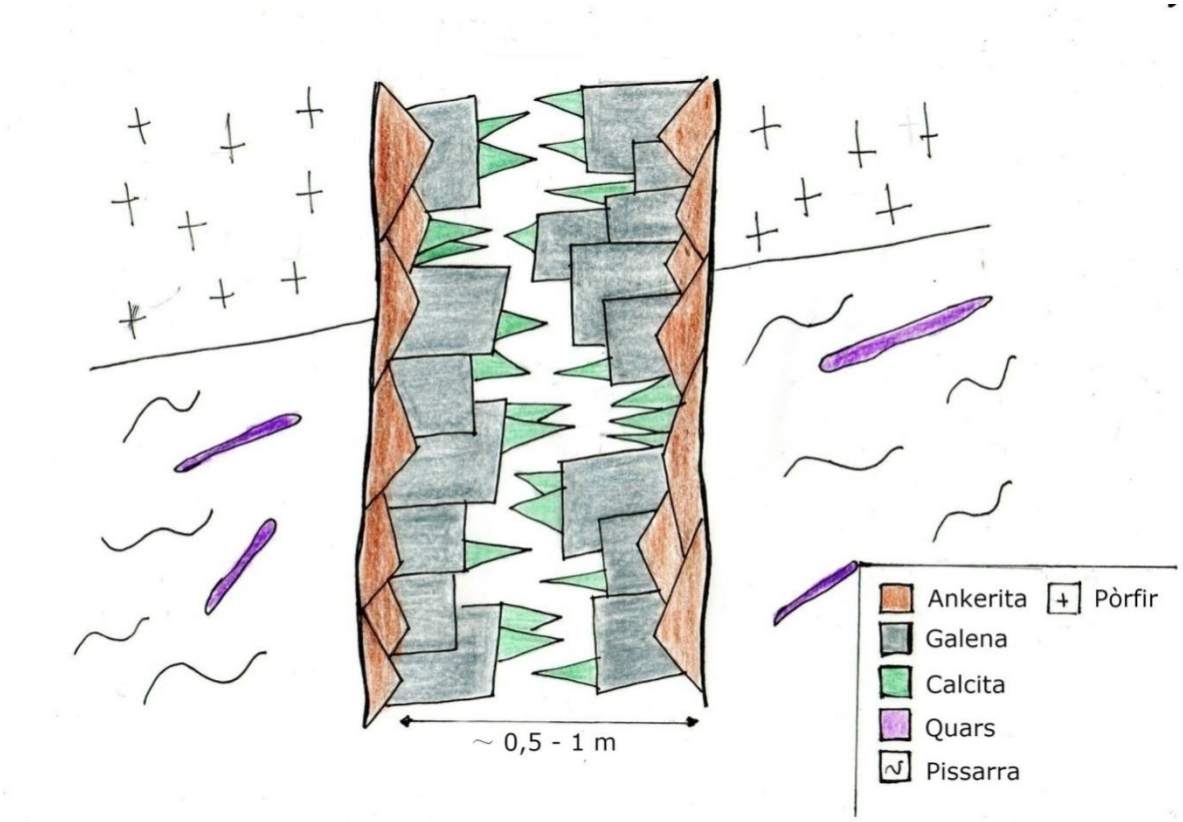
  En aquesta primera mina, trobem com a roca encaixant pòrfir. Aquest, en les zones mes properes al filó i a causa de les aigües hidrotermals, el trobem alterat. Pel que fa l'ordre de formació dels minerals en aquesta mina, el primer a formar-se va ser la dolomita, després l'ankerita, a continuació la baritina i la calcopirita i finalment la galena.

  Per tant, el dibuix d'un dels filons de la mina Règia quedaria de la següent manera:



- Mina Eugènia:

  En aquesta mina, la roca encaixant és majoritàriament pissarra, en la qual, sovint trobem petits filons de quars. S'ha de dir que no sempre és aquesta la roca encaixant, ja que a vegades trobem la pissarra acompanyada de pòrfir, el mateix que està present a la mina Règia. L'ordre de formació dels minerals en aquest cas seria: l'ankerita com primer mineral, seguit de la galena i finalment la calcita. Per tant, el dibuix d'un dels filons d'aquesta mina quedaria de la següent manera:



9.4. Pràctica contaminació de sòls

9.4.1. Objectiu i hipòtesis

L'objectiu d'aquesta pràctica és estudiar com afecta la concentració de galena al sòl en el desenvolupament dels vegetals (*Petunia atkinsiana*).

La hipòtesi del treball és:

Com més concentració de galena al sòl on la planta és cultivada, pitjor serà el seu desenvolupament.

9.4.2. Metodologia

9.4.2.1. Plantes

Per dur a terme aquesta pràctica es van haver de fer dues plantacions.

La plantació 1, va ser amb vinques (*Catharanthus roseus*) a Cantabria. Malauradament, no va sortir gairebé ja que la majoria de les plantes se'm van morir, incloent aquelles que no tenien plom. Segurament, les plantes es van fer malbé a causa de les contínues pluges que va haver-hi.

Per la segona plantació vaig escollir les petúnies (*Petunia atkinsiana*). Vaig triar aquesta planta perquè és de dimensions petites, cosa que em permetia fer la pràctica a casa, de fàcil manteniment i té flors, aspecte que em serviria com a indicador de la salut de la planta. També se li ha d'afegir que tenen un cost força econòmic. Aquesta plantació sí que va tirar endavant i és a la qual pertanyen els resultats de la pràctica.

Figura 34 – Fotografia d'unes petúnies.

9.4.2.2. Contaminació per galena

Les petúnies van rebre un tractament de pols de galena. La galena que es va utilitzar, era de la mina Eugènia, i va ser trobada a l'escombrera d'aquesta mina.

Vaig fer quatre grups de quatre plantes, segons la quantitat de galena a què van ser sotmeses.

Figura 35 – Mostra de galena utilitzada per l'experiment.

Figura 36 - Pols de galena utilitzada.

Aquestes quantitats les vaig determinar basant-me en el límit de plom permès al sòl.

- **Grup 1:** La concentració de plom estava 3 vegades per sobre del valor límit.
- **Grup 2:** La concentració de plom en el valor límit.
- **Grup 3:** La concentració de plom estava 2 vegades per sota del valor límit.
- **Grup 4:** Grup control (no rep el tractament)

Tenint en compte que el límit de plom en els sòls és de 750 mg/kg, que cada planta conté aproximadament uns 200g de terra i que la galena conté aproximadament el 86% en massa de plom, la quantitat de galena que s'ha de posar al grup 2 és de:

$$200\ g \times \frac{750\ mgPb}{1000\ g} \times \frac{1\ g}{1000\ mg} \times \frac{100\ gPbS}{86{,}6\ gPb} = \mathbf{0{,}17\ gPbS}$$

Seguint aquest procediment, els grups queden de la següent manera:

- **Grup 1:** $0{,}17 \times 3 = \mathbf{0{,}51\ g\ PbS}$
- **Grup 2: 0,17 g PbS**
- **Grup 3:** $0{,}17 \div 2 = \mathbf{0{,}085\ g\ PbS}$
- **Grup 4: 0 g PbS**

9.4.2.3. Aigua

Les plantes es regaven cada 2 o 3 dies, depenent de la calor que feia i se les subministraven 150 ml d'aigua cada vegada que eren regades. S'ha de comentar que les plantes no rebien aigua pluvials ja que cada vegada que plovia es posaven a resguard. D'aquesta forma aconseguíem fer el control d'aquesta variable.

9.4.2.4. Posició de les plantes

Es van col·locar les 16 plantes en la paret NE de la terrassa de casa meva, formant 2 files de 8 plantes. El grup 1 constava de les 2 primeres plantes de cada fila, el grup 2, amb les plantes 3 i 4 de cada fila, i així successivament. Per aconseguir que totes les plantes rebessin la mateixa insolació els grups s'anaven rotant cada setmana. D'aquesta forma, el grup 1 passava al lloc del 4, el 4 al del 3, el 3 al del 2 i el 2 al del grup 1 i així successivament.

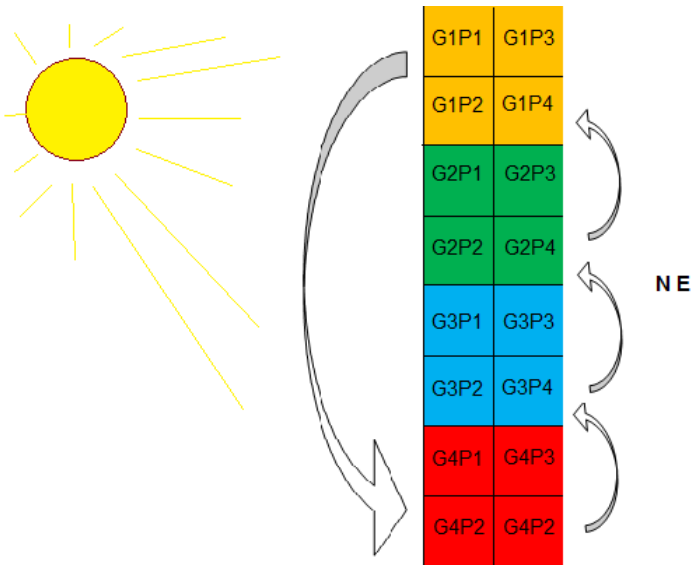


Figura 37 – Esquema de la posició i la rotació de les plantes a la terrassa.

9.4.2.5. Variables

Les variables que vaig tenir en compte per observar l'evolució de les plantes van ser les següents:

- **Alçària:** Mesura de l'alçada de la planta en centímetres. Es mesurava des de la part més alta del test, on començava la planta fins a la part més alta d'aquesta. No es tenien en compte les flors, ja que aquestes van morint i naixent, per tant, si s'haguessin mesurat, l'alçada de la planta no seria constant.
- **Flors :** Recompte de flors de cada planta.

Aquestes variables, van ser mesurades 1 vegada a la setmana.

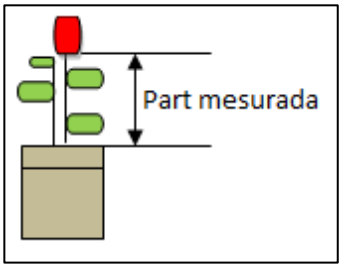


Figura 38 – Esquema que mostra com es mesuraven les plantes.

9.4.3. Procediment

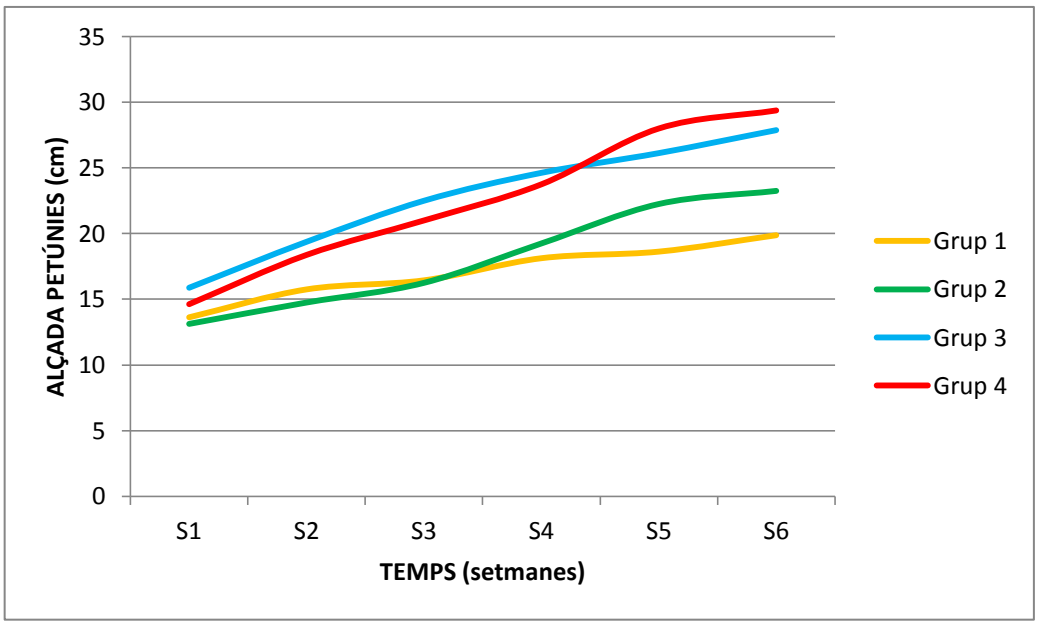
El primer que vaig fer una vegada tenia les plantes, va ser triturar la mostra de galena obtinguda a la mina Eugènia, fins tenir una pols d'aquest mineral. Aquesta pols va ser pesada amb una balança, segons els diferents grups de plantes. Tot seguit, quan ja estaven totes les quantitats pesades, vaig fer un forat al terra de cada planta que se li havia de subministrar galena i vaig introduir la pols corresponent a cada planta. Aquest va ser l'únic tractament que van rebre les plantes. A partir d'aquí es regaven, com ja he dit, cada 2-3 dies i es mesuraven les variables i es feien fotos a les plantes setmanalment.

Figura 39 – Plantació 2

9.4.4. Resultats

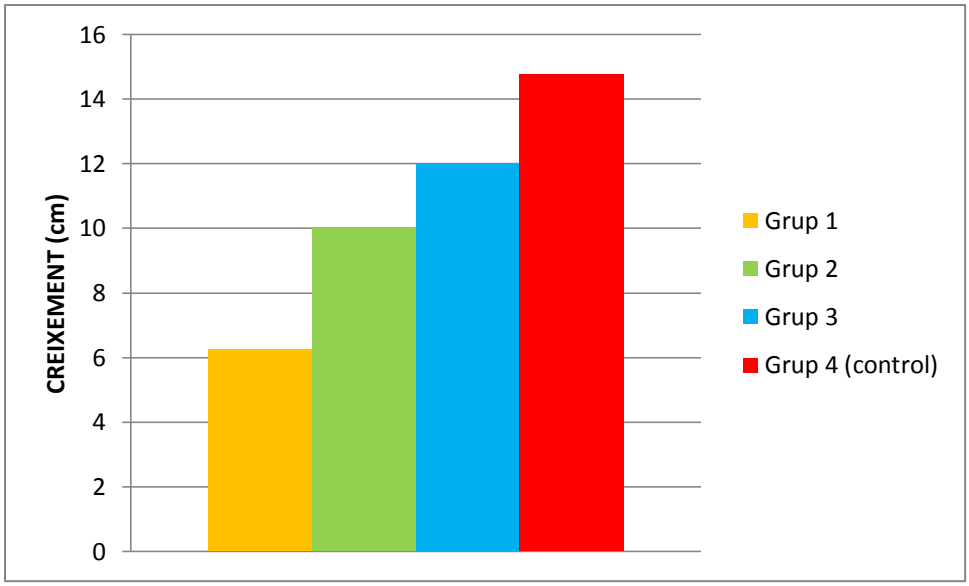
9.4.4.1. Alçària

ALÇÀRIA (cm)	Setmana 1	Setmana 2	Setmana 3	Setmana 4	Setmana 5	Setmana 6
Grup 1	13,625	15,75	16,44	18,125	18,625	19,875
Grup 2	13,125	14,75	16,25	19,25	22,25	23,25
Grup 3	15,875	19,375	22,5	24,625	26,125	27,875
Grup 4	14,625	18,375	21	23,75	28	29,375



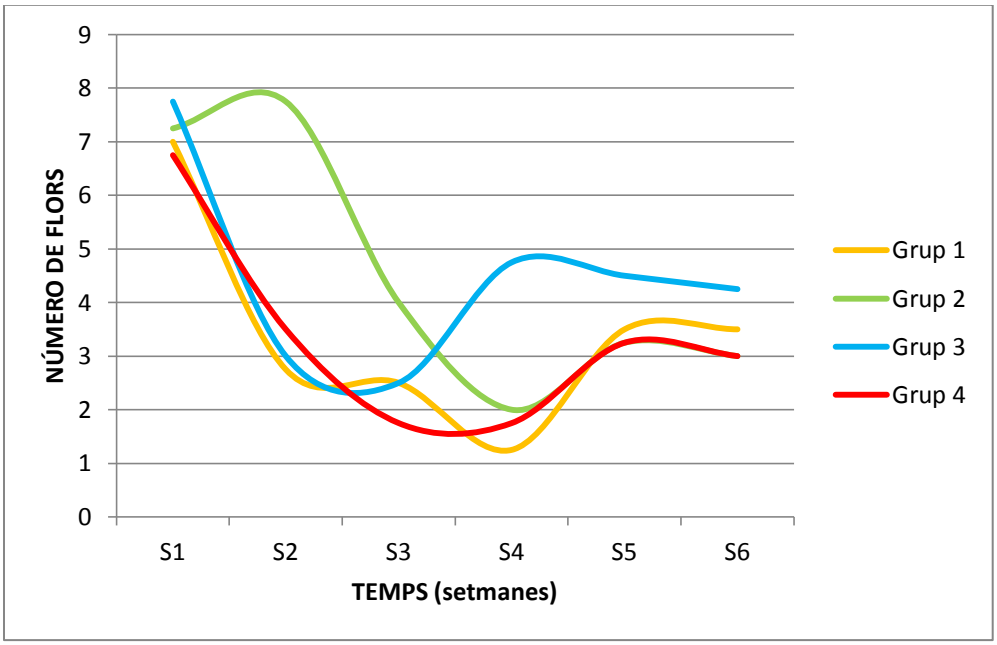
Com que l'alçària inicial i final de cadascuna de les plantes durant el procés era diferent, es va fer un gràfic del creixement:

	QUANTITAT Pb (g)	CREIXEMENT (cm)
Grup 1	0,51	6,25
Grup 2	0,17	10
Grup 3	0,085	12
Grup 4	0	14,75



9.4.4.2. Flors

FLORS	Setmana 1	Setmana 2	Setmana 3	Setmana 4	Setmana 5	Setmana 6
Grup 1	7	2,75	2,5	1,25	3.5	3,5
Grup 2	7,25	7,75	4	2	3,25	3
Grup 3	7,75	3	2,5	4,75	4,5	4,25
Grup 4	6,75	3,5	1,75	1,75	3,25	3



9.4.4.3. Seguiment fotogràfic

- **SETMANA 1**

Grup 1

Grup 2

Grup 3

Grup control

- **SETMANA 3**

Grup 1

Grup 2

Grup 3

Grup control

– **SETMANA 5**

Grup 1

Grup 2

Grup 3

Grup control

9.4.5. Conclusions

Segons els resultats obtinguts, podem dir que tal com es plantejava a la hipòtesi, la presència de plom a la terra de les plantes ha afectat el seu desenvolupament.

De les dues variables estudiades (alçària i nombre de flors), la més afectada n'ha estat el creixement ja que en el nombre de flors no s'han vist canvis significatius entre els diferents grups.

En els gràfics que representen la variació de l'alçada/creixement, es veu com els grups amb més concentració de plom no han crescut tant com els grups amb menys concentració d'aquest metall.

Aquests resultats eren els esperables ja que sabem que el plom és un metall pesant que causa efectes negatius en els éssers vius.

Crida l'atenció, però, que malgrat haver-n'hi grups amb concentracions molt superiors al límits de plom establerts, l'efecte no ha sigut prou fort com per matar les plantes o perquè aquestes es vegin més afectades en referència a les flors. Potser, aquest fet es podria explicar perquè la galena és un mineral molt insoluble en aigua. Com s'ha explicat en l'apartat 8.3.3., el plom se sol introduir a la planta en forma iònica Pb^{2+}, per tant, si la galena no es dissol o es dissol molt poc, és difícil que aquest metall s'introdueixi al vegetal de forma que afecti òrgans reproductors com les flors. A més a més, com ja s'ha comentat també en l'apartat 8.3.3., l'òrgan de les plantes on menys plom trobem són les llavors, que estan explícitament relacionades amb les flors, per lo que es d'esperar que aquestes no es vegin afectades.

En conclusió, podem afirmar que perquè la galena tingués uns efectes més rellevants, la planta hauria de viure en un sòl amb aquest mineral durant bastant més temps.

10. CONCLUSIONS GENERALS

Mitjançant la recerca bibliogràfica i la part pràctica que formen aquest treball de recerca, s'han pogut complir els objectius proposats inicialment.

Dels objectius de la part pràctica, es podrien treure les següents conclusions.
Primer de tot, en referència a la caracterització mineralògica, podríem dir que els filons mineralògics de Bellmunt són d'una potencia elevada i que contenen com a mineral de valor, la galena i com a ganga, ankerita, dolomita, calcita, calcopirita, baritina i quars.
S'ha de comentar també que l'ordre de formació dels minerals que s'ha trobat a les conclusions de la caracterització concorda notablement amb el real, cosa per la qual, es podria afirmar que aquesta primera part pràctica, s'ha completat amb èxit.
Pel que fa la segona part pràctica, es podria dir que la hipòtesis "com més concentració de galena al sòl on la planta és cultivada, pitjor serà el seu desenvolupament", és verdadera. Tot i que, com ja s'ha comentat anteriorment, el plom tarda molt a afectar a la planta a causa de la poca solubilitat de la galena. Igual que la caracterització, en aquesta part s'han complert els objectius proposats.

Personalment, amb aquest treball, he aprés molt en tots els sentits, des de l'àmbit geològic fins l'àmbit lingüístic (redactar). M'ha agradat molt fer el treball, ja que el tema m'interessava i estava il·lusionat en com podia quedar aquest. Al final, però, se'm feia molt pesat treballar, ja que al portar tant de temps treballant en un mateix projecte, acabes cansat.
Tot i així, penso que ha sigut una experiència molt gratificant i que ha valgut la pena.

11. AGRAÏMENTS

En primer lloc, agrair a la Dra. Mercè Corbella per dedicar-me el seu temps, ajudar-me en la part pràctica de la caracterització mineralògica i resoldre dubtes.
En segon lloc, donar les gràcies a l'Ana Guarinos, tutora del meu treball, per les seves correccions i propostes, que han fet que aquest treball sigui possible.
En tercer lloc, agrair al Museu de les mines de Bellmunt per deixar-me fer la visita de la mina i aconsellar-me sobre les zones on fer la recollida de les mostres.
I finalment, donar les gràcies als meus pares per ajudar-me i portar-me a buscar minerals en les escombreres de les mines.

12. BIBLIOGRAFIA

Documents impresos:

- COSTA, Marcel; FERRER, Marc; BONAFEU, M. Dolors; ESTRADA, Montse; ROGER, Eulàlia. *Ciències de la terra i del medi ambient 1.* Segona edició. Barcelona: Castellnou, 2012. ISBN 978-8498049237.

- ABELLA CREUS, Joan; CURTO MILÁ, Carles; FABRE FORNAGUERA, Jordi. Bellmunt del Priorato. *Bocamina.* Abril 2001, número 7.

- MATA I PERELLÓ, Josep. *Els minerals de Catalunya.* Primera edició. Barcelona: 1990. ISBN 84-7283-147-7.

Documents electrònics:

- Wikipedia. *Albayalde* [en línia]. [consulta: 15 de setembre de 2016]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Albayalde

- Wikipedia. *Gasolina* [en línia]. [consulta: 15 de setembre de 2016]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Gasolina#Gasolina_con_plomo

- Bryson, Bill. *Una breve historia de casi todo* [en línia]. [consulta: de 5 de setembre de 2016]. Disponible a: http://www.iesalboran.com/filosofia/unabrevehistoriadecasitodo.pdf

- Wikidot. *Explosivos primarios* [en línia]. [consulta: 15 de setembre de 2016]. Disponible a: http://explosivos.wikidot.com/explosivos-primarios

- Joaquín Armengot, José Antonio Espí, Fernando Vázquez. *Orígenes y desarrollo de la minería* [en línia]. [consulta: 10 de setembre de 2016]. Disponible a: http://ingenierosdeminas.org/publica/IM/IM365-origenes_mineria.pdf

- UPC. *Bateries plom – àcid* [en línia]. [consulta: 1 de setembre de 2016] Disponible a: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9360/Anexos_Sebasti%E1n_Bardo.pdf;jsessionid=57113734E4997386B5AA5D774E1778D9?sequence=2

- Lillo, Javier. *Impactos de la minería en el medio natural* [en línia]. [consulta: 20 d'agost de 2016]. Disponible a: https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf

- Salager, Jean-Louis i Forgiarini de Guedez, Ana. *Fundamentos de la flotación* [en línia]. [consulta: 12 de setembre de 2016]. Disponible a: http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/335a.pdf

- Cortés Ruíz, José Francisco. *Procesos de obtención de metales* [en línia]. [consulta: 12 de setembre de 2016]. Disponible a: http://www.galeon.com/quimica3cch/MINEROMET/obtencionmetales.pdf

- Cortés Ruíz, José Francisco. *Procesos de extracción i concentración de minerales* [en línia]. [consulta: 12 de setembre de 2016]. Disponible a: http://galeon.com/quimica3cch/MINEROMET/Sepycon.pdf

- Vega, Francisca. *Metales no ferrosos* [en línia]. [consulta: 13 de setembre de 2016]. Disponible a: http://es.slideshare.net/recursosabalar/metales-no-ferrosos3

- Jimenez, Antonio. *Plomo* [en línia]. [consulta: 19 de setembre de 2016]. Disponible a: https://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/sinmarcos/elementos/pb.html

- Wikipedia. *Anexo: Isótopos de plomo* [en línia]. [consulta: 20 de setembre de 2016]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Is%C3%B3topos_de_plomo

- García Vargas, Diana. *EFECTOS FISIOLÓGICOS Y COMPARTIMENTACIÓN RADICULAR EN PLANTAS DE Zea mays L. EXPUESTAS A LA TOXICIDAD POR PLOMO* [en línia]. [consulta: 1 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3676/dgv1de1.pdf;jsessionid=B37D3CA58E7AFBCB1095BC6F89C9EF4B?sequence=1

- Maura Mejía, Cecilia. *Metales pesados en suelos y plantas: Contaminación y fitotoxicidad.* [en línia]. [consulta: 1 d'octubre de 2016]. Disponible a: https://es.scribd.com/doc/204360496/METALES-PESADOS-EN-SUELOS-Y-PLANTAS-CONTAMINACION-Y-FITOTOXICIDAD

- Ministerio de medio ambiente. *Conservación de especies amenazadas* [en línia]. [consulta: de 3 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies-amenazadas/cap1_1_tcm7-20809.pdf

- Organización mundial de la salud. *Intoxicación por plomo y salud* [en línia]. [consulta: 3 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/

- International lead and zinc study group. *End uses of lead* [en línia]. [consulta: 5 d'octubre setembre de 2016]. Disponible a: http://www.ilzsg.org/static/enduses.aspx?from=1

- Herrera Carvajal, Hugo. *Etapas en la vida de un proyecto minero* [en línia]. [consulta: 20 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/04/04.-Etapas-en-la-vida-de-un-proyecto-minero.pdf

- Minería en la escuela. *Procesos mineros* [en línia]. [consulta: 20 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www.mineriaenlaescuela.com.ar/procesos-mineros/

- Rojas Vilches, Octavio. *Dataciones* [en línia]. [consulta: 23 d'octubre de 2016]. Disponible a: http://www2.udec.cl/~ocrojas/dataciones.pdf

- Escuder Botinas, Roser i Falgàs Parra, Ester. *GEÒTOP 309 - MINES DE BELLMUNT DEL PRIORAT* [en línia]. [consulta: 15 d'agost de 2016]. Disponible a: http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/inventari_despais_dinteres_geologic/consulta_de_les_fitxes_descriptives_dels_eig/documentos/309_descrip.pdf

- J.L. CRESPO RAMON y B. MICHEL. *ESTUDIO GEOLÓGICO DE LOS YACIMIENTOS MINERALES DEL MACIZO CATALAN ENTRE BELLMUNT DE CIURANA Y MOLA, PRIORATO (TARRAGONA)* [en línia]. [consulta: 15 d'agost de 2016]. Disponible a: http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/79704/1/Estudio_geologico_de_los_yacimientos_min.pdf

- Wikipedia. *Minería* [en línia]. [consulta: 6 de setembre de 2016]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%ADa

- Wikipedia. *Mina (minería)* [en línia]. [consulta: 7 de setembre de 2016]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Mina_(miner%C3%ADa)