

A black and white photograph of a campsite. In the foreground, a large, dark, rectangular object, possibly a tent or a large bag, is partially visible. To the right, a metal bucket is lying on its side. In the background, a bicycle is parked on a paved surface. The overall scene is dimly lit, suggesting an evening or night setting.

## Capítol VII

# LIXIVIACIÓ AL CAMP



## VII. Lixiviació al camp

La manera més efectiva d'avaluar la idoneïtat de les escòries, com de qualsevol altre material alternatiu, és examinar el rendiment que han experimentat en carreteres que han estat subjectes al tràfic durant un cert període de temps. En aquest cas, les reduïdes dimensions dels sots impossibiliten l'obtenció d'informació quantitativa sobre el comportament mecànic de l'escòria en un escenari real, però s'ha considerat oportú fer alguns comentaris en un breu apartat.

Pel que respecta a la lixiviació, si bé és cert que els tests normalitzats realitzats al laboratori aporten informació molt valuosa sobre el comportament dels elements, val a dir que aquesta es troba en certa manera incompleta, ja que es duen a terme sota condicions molt controlades però artificials. L'estudi de la lixiviació al tram experimental és l'altre vessant del comportament ambiental de les escòries, en condicions poc controlades però totalment realistes. El context d'utilització té certes particularitats físiques (com el règim hidràulic, capes de recobriment o el grau de compactació) i es produeixen interaccions i reaccions amb l'entorn que un test de lixiviació no pot contemplar per la rapidesa d'execució, com poden ser processos de carbonatació o oxidació. Així, en vistes a la previsió del potencial impacte ambiental és de vital importància complementar les dades de laboratori amb les obtingudes a un escenari d'aplicació real.

Les especificacions dels projecte de construcció del tram experimental ja han estat explicades però convé recordar que sobre la capa d'escòria hi ha 15 cm d'àrids calcaris en forma de capa granular no lligada (tot-u). Per les seves característiques aquest tot-u ateny altes compacitats i conforma una capa de granulometria força tancada que en certa manera redueix la infiltració eficaç cap als nivells inferiors del ferm. No obstant, no arriba a exercir el mateix efecte impermeabilitzador d'una mescla bituminosa, tot i que aquestes tampoc segellen totalment, tan sols inhibeixen la infiltració vertical però no pas la circulació lateral. Per aquest motiu la

quantitat d'aigua que s'introdueix al sistema és clarament superior a la que es produiria en una carretera amb una certa entitat, en la qual les capes tractades i les mescles bituminoses limiten la infiltració eficaç de la pluja. Com a conseqüència, les lixiviacions estimades corresponen a relacions L/S superiors a les que es produirien en aquest tipus d'aplicacions i per tant reflecteixen les condicions més desfavorables possibles.

## **VII.1 OBSERVACIONS DE CAMP**

---

Malauradament les dimensions dels sots experimentals no permeten la realització d'assaigs mecànics in situ per avaluar la durabilitat de les escòries a llarg termini (per exemple l'assaig de càrrega amb placa). De tota manera la superfície s'ha sotmès a una observació periòdica i no s'ha detectat traces de cap assentament o degradació de les capes durant els gairebé tres anys de funcionament del camí, malgrat que l'esplanada, per la seva naturalesa argilosa, no era la més adequada. Durant l'extensió i compactació de l'escòria no es va detectar cap problema de treballabilitat del material. Així, es pot dir que la utilització d'escòries ha estat satisfactòria, tant durant la posada en obra com pel seu rendiment mecànic durant aquest període de temps. En el projecte ALTMAT (2001) el seguiment de diverses carreteres experimentals, algunes d'elles subjectes a trànsit intens, ha posat de manifest que les escòries presenten un bon comportament funcional i que la trituració produïda per les carregues en moviment durant diversos anys no és significativa.

Paral·lelament s'ha fet un seguiment del tram de camí amb el rebuig d'escòries compactades i sense lligar. La granulometria d'aquest material no era la més òptima per a conformar la capa més superficial, ja que estava pràcticament constituïda per escòria de la fracció 0-5 mm, la fracció 5-20 mm era absent (és la fracció que fou emprada en el formigó i la grava-ciment) i la fracció >20 mm era bastant escassa. La granulometria discontinua i excessivament enriquida en sorra condueix a sistemes poc densos i de baixa compacitat, amb la consegüent poca estabilitat.

La Figura VII-1 mostra els efectes d'aquesta degradació, les imatges corresponen a un tram de pendent pronunciat en el qual l'escolament superficial ha excavat xaragalls que erosionen completament la capa d'escòries i arriben al substrat d'argiles vermelles. A més de la poca estabilitat estructural de la capa, cal afegir-hi la fragmentació de partícules, especialment de vidre domèstic, sota l'efecte del trànsit. Es pot concloure, doncs, que les escòries no són uns àrids òptims per a ser emprats en superfície, com era previsible.

A continuació d'aquest tram s'hi situa un altre en el qual enlloc d'escòries s'hi va estendre un tot-u calcari, amb una granulometria continua molt més adequada. Aquesta capa, més estable, no ha experimentat una degradació tan intensa.



Figura VII-1. Evolució del tram de camí amb el rebuig d'escòries: visions generals i de detall. Aspecte del tram d'escòries una setmana després de l'execució de l'obra el desembre del 2001 (esquerra) i estat del mateix camí el febrer del 2003.

## VII.2 CARACTERÍSTIQUES DELS LIXIVIATS

La composició química dels lixiviats generats durant els diversos períodes de mostreig es detalla a continuació, de manera independent segons el sot considerat: *sot sud*, *sot nord* (tots dos d'escòries) i *sot de calcària*. Per alguns dels primers lixiviats s'ha precisat la intervenció d'un reg artificial, mentre la resta són aigües de pluja infiltrada. Així, es compta amb dos agents lixivians: aigua corrent i aigua de pluja; el primer s'ha analitzat per determinar-ne la composició química, mentre que en els lixiviats d'aigua de pluja s'ha utilitzat com a blanc la mitjana de les concentracions de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{Cl}^-$  mesurades en les aigües de pluja a l'àrea del Montseny durant el període 1983-2000 per Avila i Rodá (2002).

No obstant l'ús d'aigua corrent planteja un problema a l'hora de tractar les dades. Efectivament, en els casos en què s'ha precisat induir un reg el més immediat seria descomptar les concentracions dels elements a l'aigua utilitzada. Aquesta operació porta implícit acceptar que l'únic agent lixiviant que actua és aquesta aigua corrent i que abans del reg el terreny estava sec. Tanmateix se sap amb certesa que hi ha hagut precipitacions

prèvies, una certa proporció de les quals de ben segur resta retinguda a la porositat de les capes, malgrat una superfície aparentment seca. Davant la impossibilitat d'establir la proporció dels dos tipus d'aigües lixiviantes (composicionalment diferents) i procedir a restar les contribucions ponderades, s'ha considerat l'opció de no tenir en compte l'aigua corrent i descomptar només l'aigua de pluja.

A la pràctica passar per alt l'aigua corrent de reg possiblement té repercussions molt limitades sobre els resultats perquè només s'ha utilitzat en dues ocasions i en tot cas mai constitueix per sí sola l'únic lixiviant perquè sempre hi resta pluja retinguda. Aquest fet és especialment significatiu en el segon període de mostreig, en què en quatre mesos la precipitació acumulada va ser deu cops superior a la de reg, i per tant aquest darrer terme podria ser negligit. La seva aportació a la composició química del lixiviat és molt limitada: aquesta aigua corrent conté essencialment  $\text{Ca}^{2+}$  (70 mg/L),  $\text{SO}_4^{2-}$  (45 mg/L), així com altres elements com Na, Cl<sup>-</sup>, Mg, Si, K, Ba i Sr en concentracions de 0.2-20 mg/L, mentre la resta d'elements estan per sota de 0.01 mg/L. Les fraccions lixiviables d'aquests elements a les escòries superen àmpliament les de l'aigua de reg, especialment els primers lixiviat, i per tant l'error que es comet si són menyspreades es mínim. En tot cas si s'accepta no tenir-les en compte els resultats obtinguts seran més pessimistes i consegüentment les previsions seran més conservadores.

El fet d'haver de provocar lixiviacions artificials ve motivat per la capacitat d'absorció de tota la secció estructural dels sots, ja que les tres capes que el conformen són granulars. Per tant, el volum d'aigua que els sots poden assimilar és important, i d'això en deriva una certa dificultat en arribar a un grau de saturació tal que s'iniciï el drenatge i desencadeni l'expulsió de l'aigua acumulada.

### **VII.2.1 SOT SUD ESCÒRIES TOT-U**

Aquest sot ha produït lixiviat permanentment des de la seva entrada en funcionament, tot i que no sempre de manera espontània. Des de la seva construcció el novembre del 2001 fins al febrer del 2002 es van produir algunes precipitacions, però no van ser suficients per a assolir l'estat de saturació necessari per a que s'iniciés la percolació dels lixiviat cap al fons del sot i el subseqüent drenatge cap a l'exterior mitjançant el tub de recollida del fons del sot. Sabent que les escòries tenen una capacitat d'absorció d'aigua molt important i que la humitat amb què es va compactar el material era propera a la òptima però per la branca seca, sembla lògic pensar que aquestes primeres precipitacions queden retingudes (absorbides) a la porositat del material. A partir del juny del 2002 ja es van poder recollir lixiviat generats espontàniament.

### VII.2.1.1 Conductivitat i pH

L'evolució del pH i la conductivitat dels llixiviats recollits es representa a la Figura VII-2. El pH oscil·la entre 7.3 i 9.2 i experimenta algunes fluctuacions. En general els pH són inferiors als que s'havien mesurat als tests de lixiviació ( $\text{pH} > 8.4$ ), especialment en els primers llixiviats generats. Chandler et al. (1997) exposen algunes experiències en les quals també es va observar que els rangs de pH en mesures de camp i lisímetres eren significativament menors que al laboratori, atribuint-ho al fet que els sistemes de drenatge o els tancs de recollida no estan aïllats i un prolongat contacte amb el  $\text{CO}_2$  atmosfèric neutralitza els llixiviats, de manera que és difícil establir fins a quin punt s'aproximen a la realitat. També cal contemplar la possibilitat de que la lixiviació hagi estat prou ràpida com per que no s'hagin pogut establir equilibris de solubilitat.

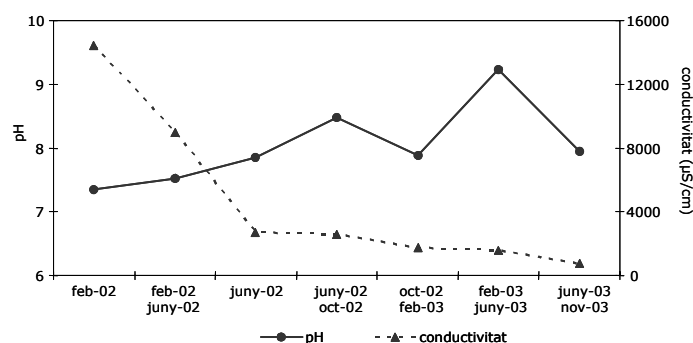


Figura VII-2. Evolució del pH i la conductivitat dels llixiviats recollits al sot sud d'escòries.

La conductivitat, en canvi, presenta una tendència ben definida. El primer llixivat que es produeix té una conductivitat molt alta, arribant als  $14500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ; cal tenir en compte que la relació L/S és molt baixa (a títol comparatiu: el llixivat d'aquesta mateixa escòria realitzat al laboratori segons CEN 12457-3 a  $\text{L}/\text{S}=2 \text{ L}/\text{kg}$  tenia una conductivitat de  $5130 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). En els següents dos llixiviats recollits, equivalent als primers 7 mesos des de la construcció, la conductivitat ha disminuït bruscament fins al  $2700 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Aquest fet indica un ràpid esgotament de les sals més solubles, essencialment clorurs i sulfats solubles (com els de Na o K). En els mesos següents la conductivitat continua disminuint de manera gradual, a causa probablement de l'esgotament progressiu dels sulfats càlcics –menys solubles– que s'ha determinat a partir dels tests de laboratori. A partir del juny del 2002 la conductivitat dels llixiviats de les escòries és comparable a la dels llixiviats de la calcària.

### VII.2.1.2 Composició química

La Figura VII-3 mostra els balanços iònics dels elements majoritaris als llixiviats obtinguts en el sot sud d'escòries. El primer llixivat és molt salí i està clarament dominat per  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ . Les principals sals dissoltes són els clorurs, majoritàriament NaCl però també KCl (hi ha una molt bona correlació entre Na i K, suggerint que es troben en una especiació comú i reemplaçant

l'un a l'altre). En menor proporció s'han dissolt  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (solubles) així com  $\text{CaSO}_4$ , molt menys soluble que aquests darrers però en canvi molt més abundant. També s'ha determinat  $\text{F}^-$  que no obstant als següents lixiviats està en concentracions per sota del límit de detecció, suggerint que es troba en forma molt soluble d'esgotament ràpid (per exemple  $\text{NaF}$  o  $\text{KF}$ ). Les concentracions d'altres constituents com  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{NO}_3^-$  en general són baixes.

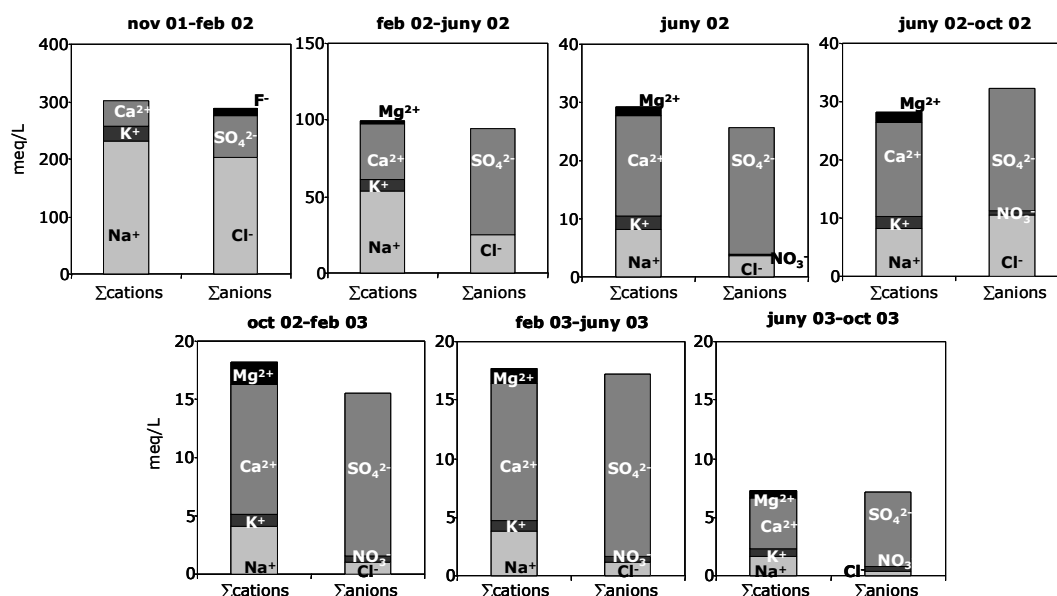


Figura VII-3. Balanç iònic dels principals cations i anions dels lixiviats recollits al sot sud d'escòries.

En els posteriors lixiviats generats les concentracions dels constituents disminueixen de manera sobtada, paral·lelament a la conductivitat. Alhora, canvien les espècies dominants: els clorurs de  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ , i més tard els sulfats solubles (de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  o  $\text{NH}_4^+$ ) s'esgoten i són reemplaçats pels sulfats i el  $\text{Ca}^{2+}$  com a anió i catió majoritari, respectivament. L'esgotament del  $\text{CaSO}_4$  és més progressiu, coincidint amb les observacions al laboratori, ja que és poc soluble.

D'altra banda cal tenir en compte que les dades presentades corresponen a tot el sot, que inclou l'escòria i la capa superior de tot-u calcari. No es tenen dades sobre la concentració de  $\text{CO}_3^{2-}$  als lixiviats però es podria fer una estimació a partir de la diferència entre la suma de cations i d'anions, acceptant que el balanç iònic està equilibrat. Aquesta diferència, però, és molt poc important; malgrat la presència de  $\text{CaCO}_3$  a les escòries i que aquest és el mineral principal de la capa de tot-u, la seva dissolució és pràcticament negligible probablement perquè al seu baix producte de solubilitat s'hi afegeix un fort efecte d'ió comú exercit per les altes fraccions lixiviatades de  $\text{CaSO}_4$ , tres ordres de magnitud més soluble. El  $\text{Mg}^{2+}$  dissolt no presenta cap correlació amb altres constituents, però no es descarta que pugui estar relacionat amb una certa dissolució del tot-u calcari, ja que conté dolomita.



Com s'exposarà més detalladament en l'apartat VII.4, mitjançant l'extracció de testimonis d'aquest sot, la determinació de composició química dels lixiviats i el registre de les pluges que han tingut lloc a la zona, s'ha pogut fer una estimació del volum d'aigua que realment s'infiltra i interactua amb la capa d'escòria. A partir d'aquest paràmetre s'ha calculat que en els dos primers anys des de la construcció del tram s'han produït en total uns 8 m<sup>3</sup> (8116 L, segons s'ha calculat) de lixiviats al sot d'escòries. El primer lixiviat del sot d'escòries conté dissoltes quantitats importants de molts elements, perquè és la primera extracció i a més a una relació L/S molt baixa; es tracta d'un lixiviat extremadament concentrat però volumètricament poc important, perquè suposa només un 4% del total d'aigües infiltrades. En el darrer període de mostreig, es va produir més lixiviat (un 20% en volum respecte al total) i els continguts dels constituents eren molt inferiors. Per aquest motiu s'ha calculat la composició química mitjana dels 8 m<sup>3</sup> de lixiviats del sot sud produïts en dos anys, ponderada a la quantitat d'aigua infiltrada en cada període. Aquestes dades, exposades a la Taula VII-1, indiquen les concentracions dels elements a les aigües que en el context d'un escenari sense aïllament serien alliberades al medi.

A fi de fer una estimació de si aquestes concentracions serien assumibles per l'entorn, s'inclouen a títol comparatiu els valors límit establerts en dues normatives d'aigües, concretament la d'abocament a llera pública (Reial decret 849/1986) i la de criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua per al consum humà (Reial decret 140/2003). És evident que la primera és la que més s'adapta al context d'utilització de les escòries, però com ja s'ha destacat al capítol VI es dona la paradoxa de que la darrera és molt més permissiva en la concentració de Cu. S'hi inclou també la composició química del primer lixiviat del sot de calcària, per posar de manifest que un material natural també lixiviat certs constituents. Finalment la Taula VII-1 es completa amb els valors màxims admissibles per l'Ordre sobre valorització d'escòries, malgrat que aquests valors límit fan referència a les concentracions dels lixiviats segons el test DIN 38414 a L/S=10 L/kg. Convé recordar que aquestes dades no corresponen exclusivament a la lixiviació de l'escòria sinó de tot el sot.

Si bé a priori es podria esperar que els lixiviats generats fossin efluents amb una càrrega contaminant possiblement preocupant, a la pràctica s'observa que les concentracions mitjanes ponderades dels elements en aquests poc més de 8 m<sup>3</sup> són més baixes que els continguts màxims admesos per a abocaments a llera pública pel RD849/1976, llevat de F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i Cu, que tan sols els excedeixen lleugerament. No obstant, el contingut dels dos darrers sí és inferior al valor límit establert en els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà (RD140/2003), juntament amb les concentracions d'alguns elements com B, Cr, Pb o Cd. D'aquesta comparació se'n dedueix que la lixiviació dels metalls pesants és de moderada a baixa i que només en destaca el Cu. De tota manera aquesta afirmació té algunes limitacions perquè a la llista de valors límit per a abocaments a llera pública del RD849/1986 no hi ha prescripcions d'elements com Mo, Sb o Se, els quals com s'ha demostrat al capítol VI són d'especial interès als lixiviats de les escòries.

Taula VII-1. Concentracions ponderades de diversos constituents determinades als llixiviats generats al sot Sud, concentracions del primer llixivat del sot de calcària i valors màxims admesos de diversos paràmetres en aigües per a diferents usos i per als llixiviats segons DIN 38414 de les escòries potencialment valoritzables. cond: conductivitat dels llixiviats;<sup>(III)</sup>:concentració de Cr<sup>3+</sup>; <sup>(VI)</sup>:concentració de Cr<sup>6-</sup>.

paràmetre	unitats	sot sud	calcària febrer 2002	RD849/1986	RD140/2003	DIN
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	mg/L	1416	32	2000	250	-
<b>Cl</b>	mg/L	596	18	2000	250	-
<b>Na</b>	mg/L	590	125	-	200	-
<b>Ca</b>	mg/L	362	40	-	-	-
<b>K</b>	mg/L	144	11	-	-	-
<b>Mg</b>	mg/L	18	28	-	-	-
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	16	<0.5	10	50	-
<b>B</b>	mg/L	0.95	0.13	-	1.0	-
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	mg/L	<0.5	<0.5	-	0.5	-
<b>P</b>	mg/L	<0.1	0.1	10	-	-
<b>Al</b>	µg/L	595	<50	1000	200	-
<b>Cu</b>	µg/L	349	5	200	2000	2000
<b>Zn</b>	µg/L	116	<1	3000	-	2000
<b>Ni</b>	µg/L	38	5	2000	20	-
<b>Cr</b>	µg/L	36	7	2000 <sup>(III)</sup> , 200 <sup>(VI)</sup>	50	100 <sup>(VI)</sup>
<b>Sb</b>	µg/L	36	2	-	5	-
<b>Ba</b>	µg/L	29	47	20000	-	-
<b>W</b>	µg/L	25	6	-	-	-
<b>As</b>	µg/L	16	3	500	10	100
<b>Se</b>	µg/L	16	5	-	10	-
<b>F</b>	mg/L	10	<1	6	1.5	-
<b>Pb</b>	µg/L	9	<1	200	25	500
<b>Sn</b>	µg/L	1	<1	10000	-	-
<b>Cd</b>	µg/L	1	<1	-	5.0	100
<b>Fe</b>	µg/L	<100	<100	2000	200	-
<b>Mn</b>	µg/L	<100	<100	2000	50	-
<b>pH</b>	-	7.35-9.23	8.37	5.5-9.5	6.5-9.5	-
<b>cond@20°C</b>	µS/cm	3926	1025	-	2500	-

Quant a la comparació de les concentracions mitjanes llixiviades amb els valors límit que figuren a l'Ordre sobre valorització d'escòries, convé tenir present que els nivells màxims que conté aquesta Ordre es fonamenten en el test DIN 38414, que opera a una relació L/S de 10 L/kg, més elevada que les observades al camp. Malgrat això, els continguts de As, Cd, Cu, Cr, Pb i Zn estan molt per sota dels màxims permesos i per tant no han de representar en absolut una limitació a la valorització de les escòries.

D'altra banda, en comparació amb les valors límit estipulats per l'Ordre sobre valorització d'escòries, fins i tot el primer llixivat de camp, tot i ser extremadament concentrat, està empobrit en Cd (5 µg/L), Zn (125 µg/L al primer llixivat i 314 µg/L al segon) i Pb (138 µg/L). Aquest fet, complementat amb les observacions realitzades al laboratori, aporta informació qualitativa sobre el grau d'adequació de les prescripcions d'aquesta Ordre a la realitat, i suggereix que potser seria desitjable una revisió per adaptar-la específicament a les particularitats de la llixiviació de les escòries.

No es tenen dades sobre la llixiviació de compostos orgànics, però segons Hjelmars (1996) el contingut de substàncies orgàniques als llixiviats d'un monoabocador d'escòries de incineració de residus sòlids urbans és molt baix.

## VII.2.2 SOT NORD D'ESCÒRIES TOT-U

Al contrari que l'anterior, aquest sot instrumentat ha mostrat un comportament anòmal pel que fa a la producció de lixiviats. Tot i que tres mesos després de la construcció (febrer del 2002), en no haver generat lixiviats es va regar reproduint una precipitació de 65 L/m<sup>2</sup>, no se'n van poder obtenir. Durant més d'un any aquest sot va restar aparentment inactiu i es va considerar la possibilitat que durant el procés de construcció s'hagués produït una rotació del tub de recollida de lixiviats de tal manera que les perforacions s'havien desplaçat a la part inferior, juntament amb una manca d'estanquitat del sistema a jutjar per algunes fuites laterals observades després del reg artificial. No obstant, durant el període comprès entre octubre del 2002 i febrer del 2003, el sot va començar a drenar de manera permanent les aigües infiltrades.

### VII.2.2.1 Conductivitat i pH

Els primers lixiviats generats s'han perdut i per tant el registre de dades és força limitat; es correspondria amb les tres darreres dades determinades al sot sud. El pH és similar al del sot sud i també experimenta un augment als lixiviats del període febrer-juny del 2003. La conductivitat és més baixa, possiblement perquè el reg artificial realitzat en aquest sot el febrer del 2002 va ser considerable, i en ser el primer lixiviat va dissoldre gran quantitat de sals, però malauradament no va poder ser mostrejat. El lleuger augment de la conductivitat en el darrer lixiviat es deu a que la relació L/S de cada període és diferent. Les dades són perfectament comparables a les conductivitats de la calcària, com es veurà. La conductivitat de tots els lixiviats que s'han pogut recollir és inferior a la mesurada en els darrers lixiviats de l'altre sot d'escòries; això suggereix que l'esgotament està més avançat.

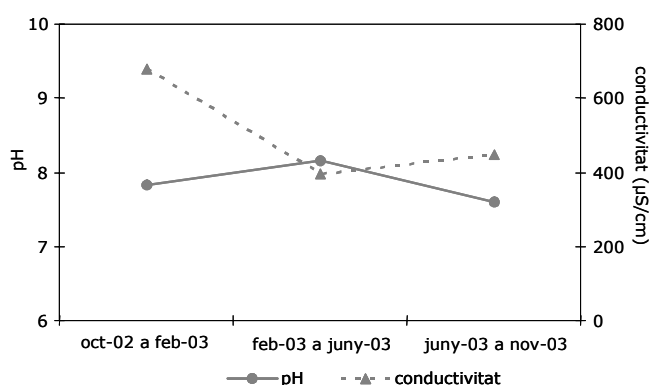


Figura VII-4. Evolució del pH i la conductivitat dels lixiviats recollits al sot nord d'escòries.

### VII.2.2.2 Composició química

Efectivament, els lixiviats d'aquest sot estan menys concentrats. La Figura VII-5 mostra el balanç iònic entre les espècies més abundants als lixiviats, noteu que les concentracions són inferiors a les registrades en els lixiviats del sot sud per al mateix període. Els constituents més abundants són també  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ , enllaçant amb la successió de gràfics de la Figura VII-3.  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  estan pràcticament esgotats però en cada extracció se'n dissol una petita proporció més, atès que la seva fracció lixiviable és molt considerable.

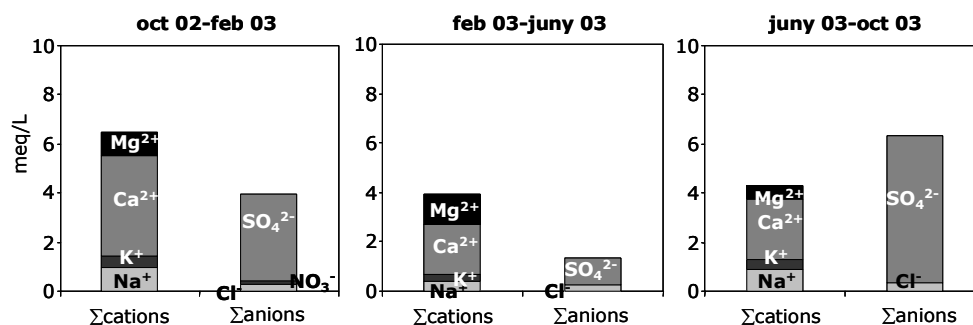


Figura VII-5. Balanç iònic dels principals cations i anions dels lixiviats recollits al sot nord d'escòries.

La Taula VII-2 mostra la comparació de la composició química del primer lixiviat del sot sud i el darrer del sot nord, amb l'objectiu de poder constatar que les concentracions que s'alliberen al medi transcorreguts dos anys son extremadament baixes i que l'esgotament de la fracció lixiviable de molts elements es pot atènyer en un període de temps més curt del que a primera vista podria semblar. Com en el sot sud, les concentracions dels elements a les aigües corresponents al darrer lixiviat són inferiors als valors màxims admesos per les normatives d'abocament a llera pública (Reial decret 849/1986) i fins i tot també la de criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua per al consum humà (Reial decret 140/2003) tret de Sb, lleugerament superior al nivell màxim admissible.

Taula VII-2. Comparació entre les concentracions (mg/L) de diversos constituents determinades al primer lixiviat del sot sud (febrer del 2002, L/S=0.12) i al darrer del sot nord (novembre 2003, L/S=0.56).

	sot sud feb 2002	sot nord nov 03		sot sud feb 02	sot nord nov 03
$\text{Cl}^-$	7158	13	Cu	3.6	0.02
Na	5325	20	Mo	0.84	0.009
$\text{SO}_4^{2-}$	3510	66	B	0.66	0.3
K	963	17	V	0.42	0.001
Ca	898	48	Cr	0.32	0.002
Ba	0.03	0.02	As	0.19	0.003
Mg	16	7	Pb	0.14	0.001
P	1.1	<0.1	Zn	0.13	0.04
Al	1.98	<0.1	W	0.11	0.006
Si	1.7	3.3	Ni	0.07	0.009
Cd	0.005	0.004	Sn	0.002	0.004
Sr	1.9	0.12	Se	0.097	0.002
Fe	0.14	<0.1	Sb	0.057	0.013

## VII.2.3 SOT DE CALCÀRIA

### VII.2.3.1 Conductivitat i pH

El pH dels lixiviats de la calcària és comparable al de les escòries, i experimenta una lleugera disminució amb el temps. Les conductivitats (260-1025  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) són molt inferiors a les dels primers lixiviats dels sots d'escòries però comparables amb les dels darrers obtinguts, un cop les sals més solubles ja han estat mobilitzades. L'evolució temporal de la conductivitat dels lixiviats és també decreixent (tret del darrer lixiviats, que com en el sot nord no segueix aquesta tendència).

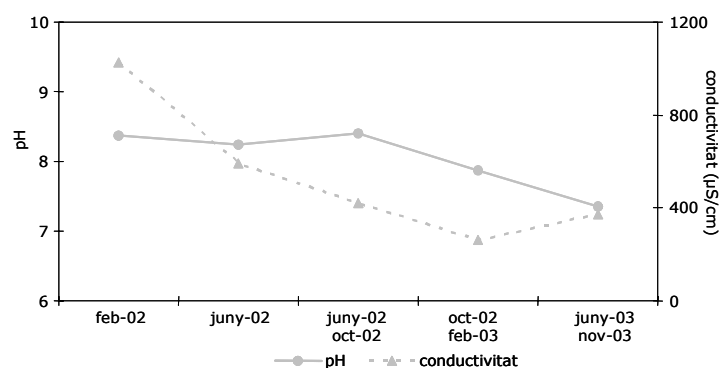


Figura VII-6. Evolució del pH i la conductivitat dels lixiviats recollits al sot de calcària.

### VII.2.3.2 Composició química

La composició química del primer lixiviats ja s'ha detallat a l'anterior Taula VII-1. Com era d'esperar per la naturalesa del material, el lixiviats presenta concentracions molt baixes per la major part dels elements analitzats i és molt diferent del generat als sots d'escòries; no obstant a mesura que les successives lixiviacions van extraient la fracció soluble dels elements de les escòries les similituds són cada cop més notables.

En general els continguts de constituents mobilitzats als lixiviats de l'escòria són superiors als de la calcària, però el tret diferencial és la dissolució de Si i Ba. Aquests elements presenten mobilitats més altes a la calcària, com es pot veure a la Taula VII-3, malgrat que els sots d'escòries també contenen una certa proporció de calcària; en el cas del Si aquest comportament ja s'havia detectat en els tests de laboratori (capítol VI).

Taula VII-3. Concentració de Ba i Si a diversos lixiviats dels 3 sots instrumentats.

paràmetre	unitats	SOT SUD		SOT NORD		CALCÀRIA	
		feb.2002	nov.2003	feb.2002	nov.2003	feb.2002	nov.2003
Ba	$\mu\text{g}/\text{L}$	27	16	16	23	47	99
Si	$\text{mg}/\text{L}$	1.7	1.8	2.6	3.3	4.4	1.3

Aquest fet té rellevància a l'hora de descomptar la contribució de la calcària al lixiviats de tot el sot, ja que com es veurà més endavant es creu que es pot produir una dissolució de la calcària i posterior precipitació quan les aigües entren en contacte amb la capa d'escòries.

Atesa la mineralogia del material, essencialment carbonatat, el balanç iònic (Figura VII-7) es presenta incomplet pel que fa als anions, a falta de les concentracions de  $\text{CO}_3^{2-}$  que compensarien el desequilibri. En tot cas és palesa la ràpida disminució dels continguts de  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , mentre les quantitats dissoltes dels altres elements es mantenen, per bé que a nivells molt baixos.

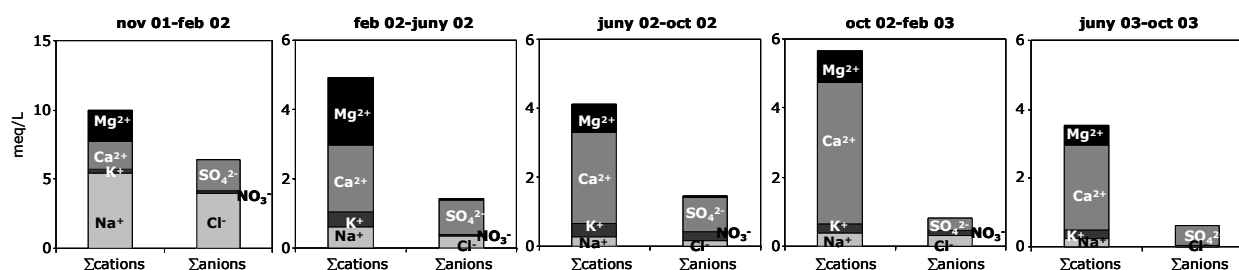


Figura VII-7. Balanç iònic dels principals cations i anions dels lixiviats recollits al sot Sud d'escòries.

## VII.3 EXTRACCIÓ DE TESTIMONIS

El 22 de febrer del 2003, 15 mesos després de la construcció i entrada en funcionament dels sots experimentals es va procedir a l'extracció de testimonis d'escòria amb l'objectiu de determinar l'esgotament d'elements que s'havia produït durant les successives lixiviacions que havien tingut lloc durant el període de funcionament.

### VII.3.1 COMPOSICIÓ QUÍMICA

La Taula VII-4 mostra les diferències entre les concentracions d'alguns elements en l'escòria de Mataró mostrejada el novembre del 2001 abans i després de ser col·locada al tram experimental i estar subjecta a la percolació i rentatge de les aigües de pluja. La diferència entre ambdós valors correspondria a la quantitat que ha estat dissolta per aquestes aigües.

A causa de la baixa solubilitat global de les escòries, les diferències que s'observen entre la mostra inicial i els testimonis són poc importants, de manera que el factor heterogeneïtat adquireix més importància que en cas de tractar-se d'un subproducte d'alta fracció soluble (com ara els residus de depuració de gasos). Per aquest motiu s'ha considerat necessari presentar les dades de les dues rèpliques analitzades enlloc de la mitjana, a fi de discernir les diferències degudes a la lixiviació o a la pròpia variabilitat inherent a les escòries. En tots els casos el procediment d'obtenció de les dues submostres a analitzar ha estat similar, s'ha aplicat una trituració per reduir la mida de partícula i un successiu quarterament per obtenir una porció representativa de material i minimitzar els possibles problemes d'heterogeneïtat.

Taula VII-4. Contingut d'alguns elements a les escòries de Mataró el novembre del 2001 i dels testimonis extrets el febrer del 2003. Dades en mg/kg.

	ABANS (novembre 2001)		DESPRÉS (febrer 2003)	
Ca	100459	101134	98308	95114
Na	41521	42033	34694	31355
K	12345	12578	11856	10857
Mg	11435	11549	10486	9810
S	3582	3601	1288	1200
Ti	3047	3370	3106	2927
Cu	2224	2268	5469	4378
Zn	2015	2016	2312	2022
Pb	1865	1342	885	846
Ba	976	992	880	810
Sn	656	535	108	104
Cr	260	285	247	221
Ni	115	152	99	87
W	88	103	71	64
V	23	23	32	28
Co	20	20	22	19
As	16	16	11	10
Se	12	12	0.3	1
Mo	7	9	5	3

D'entre els elements majoritaris s'observa que els continguts de Na i S han experimentat una important reducció d'al voltant del 30% i el 75% respectivament, ja que formen sals més o menys solubles (clorurs i sulfats) que són molt mòbils. En canvi, en Ca, K i Mg mostren també una disminució entre mostra inicial i testimoni que seria atribuïble a les successives extraccions, però és molt menys significativa.

Quant als elements minoritaris i els traces, alguns d'ells veuen reduïdes les seves concentracions (per exemple Pb i Sn), d'altres pràcticament les mantenen (Ti, Zn, Co) però en d'altres augmenta (Cu). Aquesta aparent paradoxa és deguda a l'esmentada heterogeneïtat del material. Efectivament, coneixent l'heterogeneïtat de les escòries en aquesta escala de treball convé prendre algunes precaucions a l'hora d'interpretar el balanç de masses. Els metalls estan subjectes a l'efecte *pebble* i una disminució que no sigui clarament significativa com la experimentada pel Na no es pot atribuir amb fiabilitat a un esgotament per lixiviació. Al contrari, les oscil·lacions observades entren dins els rangs de variació naturals i esperables per a aquesta tipologia de materials i per tant no es poden treure conclusions.

La determinació de la fracció que ha estat lixivada a partir de la diferència entre la mostra originària i el testimoni pot donar lloc a interpretacions errònies i és poc fiable en cas de tractar-se de materials heterogenis, coincidint amb les observacions realitzades per Schreurs et al. (2000).

### VII.3.2 LIXIVIACIÓ

Una altra alternativa és la comparació dels resultats dels tests de lixiviació de la escòria inicial dels testimonis amb l'objectiu de detectar quins han estat els elements que més s'han lixiviat durant aquest període. S'assumeix que no s'han produït canvis significatius en la mineralogia durant aquest període que puguin afectar la seva solubilitat. En el cas de les escòries aquesta premissa només es compleix en cas d'utilitzar material ja madurat; si les escòries emprades

fossin fresques els canvis en l'especiació dels elements durant les primeres setmanes serien molt dràstics i modificarien en gran mesura la mobilitat dels elements.

El pH dels llixiviats segons el test CEN de l'escòria original i del testimoni és molt similar (pH de 8.55 i 8.99 respectivament), però en canvi la conductivitat és considerablement diferent (Figura VII-8): els llixiviats de l'escòria l'any 2001 tenen una conductivitat de 1805  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , però les progressives llixiviacions per les aigües de pluja renten ràpidament les fases més solubles, de manera 15 mesos més tard la quantitat de sals ha disminuït dràsticament: la conductivitat dels llixiviats CEN de l'escòria és només de 408  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un valor molt baix i comparable amb les conductivitats dels llixiviats de la fracció grava (>5 mm) de les escòries (vegeu capítol VI).

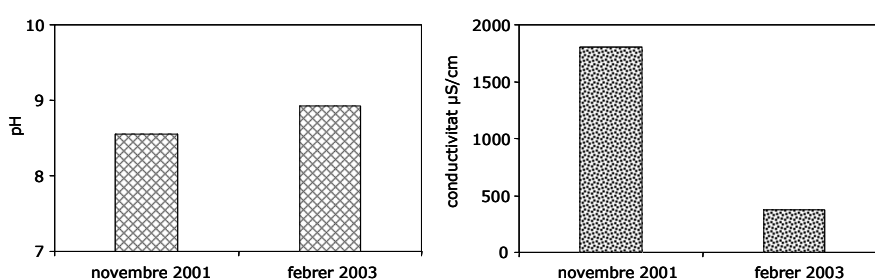


Figura VII-8. pH i conductivitats dels llixiviats segons CEN12457-2 de les escòries de Mataró i dels testimonis.

La comparació entre la composició química dels llixiviats de l'escòria inicial i els testimonis permet constatar el que s'havia intuït observant les conductivitats d'ambdós llixiviats (Taula VII-5).

Taula VII-5. Emissions d'alguns elements als llixiviats segons CEN 12457-2 de les escòries de Mataró el novembre del 2001 i dels testimonis extrets el febrer del 2003.  $\sigma$ : desviació estàndard. Dades en mg/kg.

	ABANS (novembre 2001)		DESPRÉS (febrer 2003)	
	mitjana	$\sigma$	mitjana	$\sigma$
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5454	159	1386	121
Cl <sup>-</sup>	2166	101	33	4
Ca	2137	30	645	63
Na	1690	27	118	9
K	385	11	123	3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	102	11	6	5
Al	61	8	73	11
Mg	38	2	8	3
Si	3.4	0.1	10	8
Sr	8.0	0.6	2.5	0.5
B	3.7	0.7	4.5	0.3
Cu	2.43	0.05	1.27	0.48
Zn	0.48	0.06	<0.5	<0.5
Ba	0.413	0.004	0.37	0.20
Sb	0.22	0.01	0.35	0.02
W	0.29	0.03	0.23	0.02
Pb	0.14	0.02	0.30	0.34
Mo	0.30	0.01	0.11	0.02
Mn	0.06	0.01	0.15	0.19
Cr	0.070	0.003	0.138	0.033
Ni	0.100	0.003	0.043	0.015
V	0.094	0.004	0.087	0.013
Se	0.058	0.023	<0.001	<0.001
As	0.034	0.003	0.022	0.004



Durant el període inicial des de la construcció del tram les aigües de pluja dissolen una gran proporció de sals malgrat que la lixiviació es produeix a relacions L/S molt baixes. Així, durant aquests 15 mesos s'ha produït l'esgotament del 98% del  $\text{Cl}^-$  lixiviable, originàriament en forma de  $\text{NaCl}$ : el Na també ha reduït un 93% la seva fracció extraïble. Les reduccions dels constituents d'altres sals arriben al 94% de disminució del  $\text{NO}_3^-$  lixiviable, el 75% del  $\text{SO}_4^{2-}$ , el 70% del Ca, el 78% del Mg, el 68% del K i el 69% del Sr lixiviable. En canvi en els metalls i altres elements de baixa mobilitat a l'escòria (per exemple W, Ni o V), no es veu clara la variació, i en alguns casos com Al, Pb, Cr o B s'observa un augment de les emissions, a causa de l'efecte *pebble* anteriorment detectat. Malgrat tot, el Cu sí ha experimentat una disminució clara de la seva fracció lixiviable, atribuïble a les elevades emissions en el primer lixiviat de camp, i les fraccions solubles de Mo i Se també han minvat perquè han estat mobilitzades durant aquests 15 mesos de funcionament del tram experimental.

## VII.4 APROXIMACIÓ A LA RELACIÓ L/S

Establir la dinàmica d'esgotament progressiu de la fracció lixiviable dels elements a través dels rentatges consecutius només és possible si les composicions químiques de cada una d'elles s'expressen en la mateixa escala, això és, traslladar-les a lixiviació sobre mostra seca i en funció de la relació L/S. Per a aquest efecte es requereix quantificar el líquid i el sòlid que intervenen en la lixiviació. A partir de les característiques geomètriques dels sots es pot fer una estimació del volum de material que allotgen al seu interior i, d'aquí, la massa d'escòria que és rentada. Per altra banda es compta amb el registre de les precipitacions a l'observatori de Tagamanent, que reflecteix la pluviometria de la zona. A partir de les dades d'aquest observatori, que pertany a la xarxa d'estacions automàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya, s'ha pogut fer una estimació del volum d'agent lixiviant.

### VII.4.1 ESTIMACIÓ DEL PES DE SÒLID : CUBICACIÓ DELS SOTS

A la Figura VII-9 es mostra les capes, dimensions i característiques geomètriques dels instrumentats sots d'escòries. Com es pot veure, el rebliment consta de 3 capes: una capa d'escòries de mida  $>20\text{mm}$  (fracció d'àrid rebutjada per al formigó i la grava-ciment) que recobreix el tub per tal d'exercir de filtre dels fins i evitar que s'obturin les perforacions. A sobre s'hi situen les capes d'escòries, que estan recobertes per 15 cm d'un tot-u artificial de calcària dolomítica que s'ha estès sobre tots els sots i constitueix l'acabat.

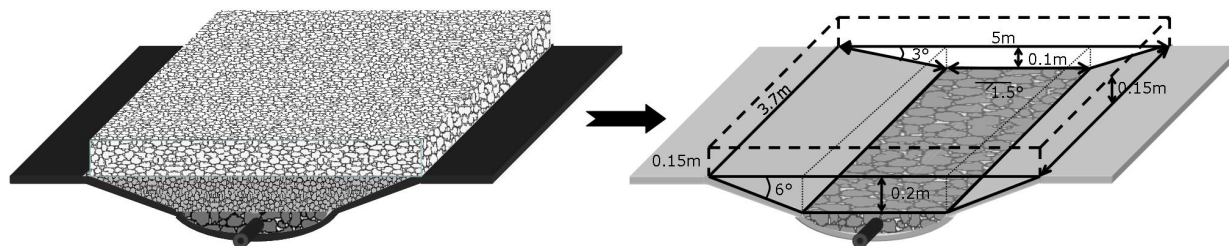


Figura VII-9. Geometria dels sots d'escòries del tram experimental, delimitats pel teixit asfàltic. Les capes més fosques representen l'escòria (la capa inferior de granulometria més grollera correspon a la grava d'escòria >20mm) i la més clara representa la calcària.

La quantificació del pes d'escòries que reomple els sots s'ha realitzat calculant el volum ocupat per aquest material dins el sot i tenint en compte la densitat seca in situ, que va ser avaluada pel mètode de la sorra. La densitat seca mitjana mesurada és de  $1675 \text{ kg/m}^3$ .

La capa d'escòria >20mm que s'ha estès per filtrar els lixiviats no segueix la geometria del sot, inicialment amb dues pendents diferents, sinó que la simplifica i suavitza. Aquesta capa, que constitueix la base de la capa d'escòria tot-u cobreix la part central del sot i té una superfície plana que bascula lleugerament cap a la part més profunda, amb un pendent estimat del proper al 3%. Com ja s'ha exposat anteriorment, al voltant del 85% de la grava que conforma aquesta capa està constituïda per vidre d'origen domèstic i fragments ceràmics i àrids, components molt insolubles. La fracció restant consisteix majoritàriament en productes de fusió, ja que el percentatge –en pes– de material combustible és extremadament baix, i les partícules metàl·liques són molt poc abundants (< 2% en pes). De fet el contingut d'aquests constituents és tan baix gràcies a l'eficàcia de la planta de processament de l'escòria per tal d'obtenir escograva. Es pot concloure, doncs, que la seva contribució als lixiviats resulta, com a conseqüència, limitada. Aquesta suposició s'ha verificat mitjançant tests de laboratori aplicats sobre la fracció grava de l'escòria, s'ha pogut observar que presenta solubilitats molt baixes de tots els elements, especialment si es compara amb les fraccions lixiviables de l'escòria global i, encara més, amb els fins. Aquesta capa contribueix a les concentracions dels elements determinades als lixiviats recollits però s'ha considerat que, per simplificar el model, es podia negligir la seva aportació. Per contra, com s'exposarà més endavant sí s'ha descomptat la contribució de la capa de calcària que hi ha sobre l'escòria, tot i que també és bastant insoluble. A partir de totes les dades s'ha pogut establir que la massa d'escòria dels sots sud i nord és d'uns 2900 kg, mentre que la capa superior de calcària d'aquests sots, prenent una densitat seca aproximada (no mesurada) de  $2200 \text{ kg/m}^3$ , equivaldria a uns 6100 kg d'àrid.

El càlcul de l'aportació de la capa de calcària als lixiviats dels sots d'escòries s'ha realitzat gràcies a que es disposa d'un altre sot exclusivament de calcària, les característiques del qual s'observen a l'esquema de la Figura VII-10. Prenent la densitat seca aproximada de  $2200 \text{ kg/m}^3$ , la massa de calcària continguda a tot el sot (capa inferior inclosa) és d'11500 kg.

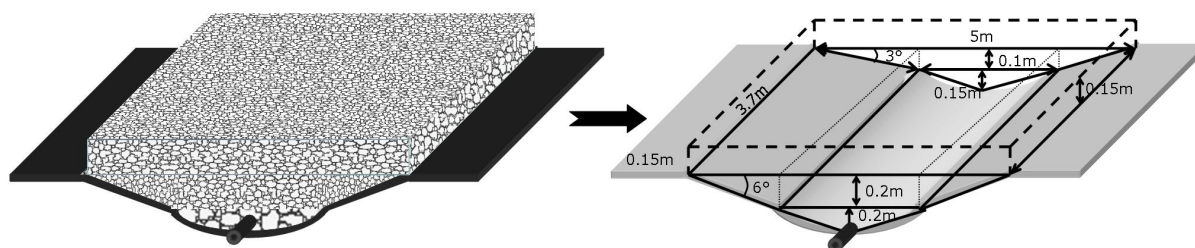


Figura VII-10. Esquemes de la geometria i dimensions del sot de calcària del tram experimental.

## VII.4.2 ESTIMACIÓ DEL VOLUM DE LÍQUID

Són conegudes les precipitacions diàries des de la construcció del tram gràcies al registre de dades del Servei Meteorològic de Catalunya; no obstant, el camí en aquest tram té un cert pendent (al voltant del 3-4%), que afavoreix l'escolament superficial en detriment de la infiltració. A més les altes compacitats del tot-u artificial que està en superfície també dificulten la infiltració, tot i que en cap cas no la redueixen com ho faria una capa bituminosa.

No es coneix amb detall les característiques hidrològiques de l'escenari, és a dir, alguns paràmetres com la permeabilitat del tot-u artificial, la capacitat d'infiltració o l'estat de saturació del ferm en cada moment. Per tant, és difícil calcular el volum d'aigua que entra en joc en la lixiviació a partir de dades mesurades sobre el terreny.

S'ha considerat més apropiat deduir de manera empírica quin és el volum d'aigua que realment s'introdueix al terreny; per simplificar els càlculs s'accepta que de la precipitació caiguda sempre se n'infiltra un percentatge que és constant, i es passa per alt la contribució a la lixiviació de la capa superior de calcària, que d'altra banda és molt minsa com ja s'ha vist als tests de laboratori realitzats.

El càlcul consisteix en un senzill balanç de masses (expressió VII-1 i Taula VII-6) en el qual hi intervenen dades de laboratori i de camp. D'una banda hi ha els lixiviats recollits que cada sot ha generat en els diferents períodes de mostreig fins a l'extracció dels testimonis ( $i$  períodes). Per a cada període es té la pluja acumulada ( $L_i$ ) i la concentració de cada element ( $C_i$ ). La proporció de cada pluja que s'infiltra se suposa constant i és la incògnita ( $\alpha$ ). Aquests paràmetres constitueixen la part de camp. L'altre factor del balanç de masses és la diferència en la composició de l'escòria de Mataró de novembre recent mostrejada i els testimonis d'aquesta mateixa escòria extrets 15 mesos després. Durant aquest temps les successives precipitacions han lixiviat una certa proporció de constituents, que es pot avaluar per diferència de concentracions. El registre de dades incomplet del sot nord d'escòries fa que només es pugui efectuar aquests càlculs sobre el sot sud.

$$(C_{2001} - C_{2003})m_e = \alpha \sum_{i=1}^V L_i C_i \quad (\text{VII-1})$$

Taula VII-6. Paràmetres utilitzats en el càlcul del volum d'aigua que intervé en cada lixiviació.

<i>símbol</i>	<i>descripció</i>	<i>unitats</i>
$\alpha$	coeficient d'infiltració eficaç	-
$C_{2001}$	concentració d'un constituent a l'escòria recollida a la planta	mg/kg
$C_{2003}$	concentració d'un constituent al testimoni del sot extret el febrer del 2003	mg/kg
$m_e$	massa d'escòria al sot	kg
$i$	períodes de mostreig (I, II, III, IV, V)	-
$L_i$	precipitació natural i artificial que ha tingut lloc en cada període	L
$C_i$	concentració d'un constituent al lixiviat de cada període	mg/L

Inicialment es va intentar quantificar aquesta pèrdua a partir de l'anàlisi químic sobre mostra seca de l'escòria inicial i dels testimonis. A la pràctica com ja s'ha explicat les diferències no eren representatives i en molts casos estaven subjectes a l'heterogeneïtat del material en aquesta escala de treball. Per aquest motiu es va decidir optar per la variació observada en la lixiviació a laboratori segons CEN 12457-2 de la mostra inicial i el testimoni. Aquesta lixiviació al laboratori posa de relleu molt més clarament la disminució de sals més o menys solubles que han estat rentades durant el temps de servei de l'obra i a partir d'aquestes dades juntament amb el marc temporal conegut i les precipitacions es pot fer una estimació dels volums d'aigua que han lixiviat. Aquesta manera és molt més representativa i fiable que la comparació de la composició química sobre mostra sòlida perquè la quantitat de mostra analitzada i utilitzada és 3 ordres de magnitud més alta (0.1 g front 100 g).

Per a aquesta estimació s'ha pres com a indicadors més fiables del fraccionament de l'aigua de pluja i la infiltració eficaç aquells constituents que compleixen diverses condicions:

- estan en concentracions elevades a l'escòria (descartant els elements traça)
- són molt mòbils, ja que les concentracions lixiviatades més altes minimitzen els errors (descartant els metalls)
- la seva solubilitat és independent del pH, si més no en el rang de 7 a 10 (es descarten elements com Mg)
- els constituents han de ser importants al lixiviat de l'escòria però minoritaris a la calcària, ja que per al càlcul es requereix assignar tota la concentració a l'escòria i no tenir en compte la contribució del tot-u artificial calcari de la superfície (es descarta Ca i Sr)

Els indicadors que assoleixen les condicions esmentades són, doncs,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ . Així, els coeficients  $\alpha$  determinats empíricament a partir d'alguns constituents són:  $\text{Na}^+$ :0.30,  $\text{K}^+$ :0.21,  $\text{SO}_4^{2-}$ :0.34 i  $\text{Cl}^-$ :0.39 (així com Mg 0.22 i Cu 0.37, tot i que es consideren menys fiables). Es pren com a coeficient d'infiltració eficaç un valor de 0.30, és a dir, que per tant que un 30% de la precipitació interactua amb el terreny i intervé en la lixiviació.

## VII.5 LIXIVIACIÓ AL CAMP I RELACIÓ AMB ELS TESTS DE LABORATORI

### VII.5.1 EMISSIONS I NIVELLS D'IMMISSIÓ

Cal tenir en compte que els lixiviats recollits als sots d'escòries provenen del rentatge de dos materials diferents: l'escòria i la calcària de la superfície. Tot i que s'ha demostrat que la mobilitat dels elements presents a aquesta darrera és baixa, s'ha descomptat la seva contribució. El sot d'àrids calcaris no tan sols ha estat útil per valorar la lixiviació de les escòries en relació la d'un material natural, addicionalment ha permès destriar les dues fraccions lixiviables que es corresponen amb els dos materials dels sots d'escòries. Per a aquest efecte s'ha acceptat com a aproximació que no hi ha interacció química entre ambdues capes, que no es produeixen precipitacions un cop el lixivat deixa la calcària i s'introdueix a l'escòria i que la fracció d'escòria >20mm allotjada al fons del sots no lixivia. Coneixent la massa de calcària que contenen els sots d'escòries i la lixiviació d'aquest material a partir de les dades del sot que constitueixen, s'ha calculat la lixiviació neta atribuïble a l'escòria.

Els resultats obtinguts s'han expressat en forma d'emissió acumulada en els dos anys de funcionament. La relació L/S acumulada en aquest interval de temps és de 2.80 L/kg. La Taula VII-7 inclou les emissions acumulades d'alguns constituents juntament amb les emissions determinades en el test CEN de dues fases (CEN 12457-3) aplicat sobre la mateixa escòria de Mataró, amb fins comparatius.

Taula VII-7. Emissions acumulades (mg/kg) i nivells d'immissió ( $I_c$ , en mg/m<sup>2</sup>) previstos segons CEN 12457-3 i mesurats al tram experimental, corresponents a les escòries de Mataró. Es mostra també les immissions màximes permeses ( $I_{m\grave{a}x}$ ). Els càlculs es realitzen en base a una capa de 25 cm d'escòria. \*problema amb el Ba que es discutirà més endavant.

	Emissió			$I_c$ CEN L/S=10		$I_c$ TRAM L/S=2.8		$I_{m\grave{a}x}$
	CEN L/S=2	CEN L/S=10	TRAM L/S=2.8	cat.1	cat.2	cat.1	cat.2	
Sb	0.07	0.22	0.09	142	20	58	<b>8</b>	39
As	0.11	0.11	0.04	169	8	<b>59</b>	3	435
Ba	0.09	0.26	0*	146	27	0*	0*	6300
Cd	0.002	0.002	0.002	1	0.4	<b>1</b>	0.3	12
Cr	0.04	0.07	0.09	37	8	<b>48</b>	11	1500
Co	0.02	0.02	0.01	7	2	<b>6</b>	1	300
Cu	1.43	2.12	0.95	987	315	<b>443</b>	141	540
Pb	0.02	0.06	0.02	30	9	<b>10</b>	3	1275
Mo	0.32	0.47	0.32	145	55	<b>144</b>	55	150
Ni	0.07	0.08	0.10	35	12	<b>45</b>	15	525
Se	0.09	0.09	0.05	41	17	23	<b>9</b>	15
Sn	0.002	0.01	0.003	5	1	<b>2</b>	0.4	300
V	0.14	0.14	0.07	151	10	<b>78</b>	5	2400
Zn	0.01	0.06	0.27	29	9	<b>127</b>	41	2100
Cl <sup>-</sup>	1908	2021	1649	286965	6907	234185	<b>5636</b>	30000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4446	5960	3912	548245	12225	359869	<b>8024</b>	45000
F <sup>-</sup>	-	-	3890	-	-	<b>13038</b>	3396	14000

La relació L/S acumulada del test CEN 12457-3 és superior (10 L/kg), però consta només de dues extraccions, mentre al tram experimental la relació de 2.80 L/kg es fruit d'extraccions continuades que han anat lixiviant material i esgotant la fracció mobilitzable. Addicionalment s'ha calculat els nivells d'immissió que correspondrien a les emissions acumulades determinades tant al laboratori com al camp, seguint el Decret de Materials de construcció (DMC) holandès. Les expressions i paràmetres empleats en els càlculs realitzats figuren a l'anterior apartat VI.2.5; en aquest cas, però, no s'ha aplicat el factor de correcció  $E_g$  (correcció entre les dades de camp i de laboratori, factor tabulat) i els nivells d'immissió de camp corresponen a una relació L/S molt inferior.

Com es pot veure les emissions de camp dels elements considerats d'interès ambiental pel DMC són, en general, menors o molt properes a les emissions de la primer fase del test CEN, per bé que aquesta és a una relació L/S inferior i consta d'una sola extracció, en contraposició als 6 lixiviats de camp. Tan sols Ni i Cr sobrepassen lleugerament les emissions acumulades a L/S=10 segons CEN, tot i que el marge és molt estret. En canvi Zn és més mòbil en condicions de camp, coincidint amb les observacions de Chandler et al. (1997) i la seva emissió acumulada és de 0.27 mg/kg, davant els 0.06 mg/kg determinats al laboratori. Es desconeixen els motius d'aquest diferent comportament, però es podria descartar una font externa addicional, és a dir una possible contaminació dels lixiviats per part dels materials que conformen el dispositiu de recollida de lixiviats, perquè no s'ha detectat aquesta anomalia als lixiviats corresponents al sot de calcària en relació als tests de lixiviació aplicats al laboratori sobre aquest mateix material.

De tota manera, en termes de nivells d'immissió, malgrat que Zn, que supera les previsions i presenta nivells més alts (127 mg/m<sup>2</sup>), continuen estant molt lluny de la immissió màxima permesa fins i tot per a condicions sense aïllament (2100 mg/m<sup>2</sup>). De fet, en general les lixiviacions de camp es tradueixen en nivells d'immissió inferiors als màxims permesos. Com en les dades de laboratori, altre cop els alliberaments al medi de Sb, Se, Cl<sup>-</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> farien prescriptiu un aïllament del material. En aquest sentit cal destacar que la salinitat dels lixiviats de les escòries constitueix un problema i que, com a conseqüència, és absolutament desaconsellable una apagada amb aigua de mar en vista a la valorització.

En contraposició a les conclusions del capítol VI, el comportament exhibit per Cu i Mo en condicions de camp els elimina de la llista d'elements potencialment conflictius en la que figuraven segons els tests CEN: són menys mòbils i les seves lixiviacions són inferiors, destacant el Cu (la primer fase del test CEN 12457-3 arribava a dissoldre 1.43 mg/kg, xifra clarament per sobre dels 0.95 mg/kg observats en la suma de les sis extraccions). El procés de carbonatació de les escòries possiblement fixa una certa fracció de Cu (entre altres metalls), disminuint-ne la fracció soluble. El cas del Mo és diferent: es dona la particularitat de que el pH més neutre dels lixiviats d'aquestes escòries de Mataró exerceix una influència positiva sobre les emissions i immissions de camp i de laboratori (retenció química) i, a

diferència de les escòries d'altres períodes i d'altres procedències, el Mo presenta mobilitats més baixes. Aquest fet confirma la importància d'evitar la valorització d'escòries no envellides, amb els consegüents pH molt alcalins i un augment de la solubilitat de diversos metalls.

Malgrat que el registre de dades de precipitacions és relativament limitat i els primers lixiviats estan interferits per regs artificials, es pot establir que un any equival aproximadament a un augment en la relació L/S de 1.5 L/kg per a aquest escenari (entès com la conjunció entre règim de precipitacions i configuració de capes). Així, el test europeu esdevindria en aquest escenari una previsió a grans trets de l'emissió acumulada en poc menys de 7 anys. A la pràctica algunes dades de camp superen aquests valors però abans d'entrar en valoracions cal veure les corbes d'esgotament acumulat de la fracció lixiviable dels elements: la majoria adopten morfologies asimptòtiques. Per aquest motiu les emissions acumulades de gran part dels elements als sots experimentals en 7 anys de funcionament no seran molt superiors a les que s'han determinat. L'evolució de les corbes d'emissió acumulada es discuteix a continuació.

## VII.5.2 TENDÈNCIES D'EMISSIÓ DELS ELEMENTS AL CAMP

La Figura VII-11 mostra les dades referents als lixiviats de camp expressats en forma d'emissió acumulada en funció de la relació L/S, també acumulada. Les corbes d'emissió consten de les 6 lixiviacions de què es disposa. La Figura es complementa amb la concentració de cada element a l'escòria i els resultats dels tests de lixiviació realitzats al laboratori, prèviament presentats a la Figura VI-16. La Figura VII-11 inclou només les dades referents a l'escòria de Mataró mostrejada el novembre del 2001, mentre l'anterior Figura VI-16 és una mitjana de totes les escòries i per tant algunes dades poden ser sensiblement diferents.

Possiblement convindria acceptar un rang de tolerància tenint en compte les diferents escales de treball de les dades representades conjuntament: la concentració total de l'escòria de novembre del 2001 s'ha determinat (per triplicat) a partir de 0.1 g, els lixiviats al laboratori (també per triplicat) operen sobre 16-100 g, mentre el sot conté prop de 3000 kg de material. Les dades s'han d'interpretar amb la consegüent precaució.

En funció de les tendències d'evolució de les emissions, els constituents es poden classificar en 4 grups, de manera similar a com ja s'havia determinat al laboratori. Es pren  $E_{acc}$  com a l'emissió acumulada en les 6 lixiviacions, i  $E_i$  com a cada extracció (I-VII), de manera que  $E_{acc} = \sum E_i$ .

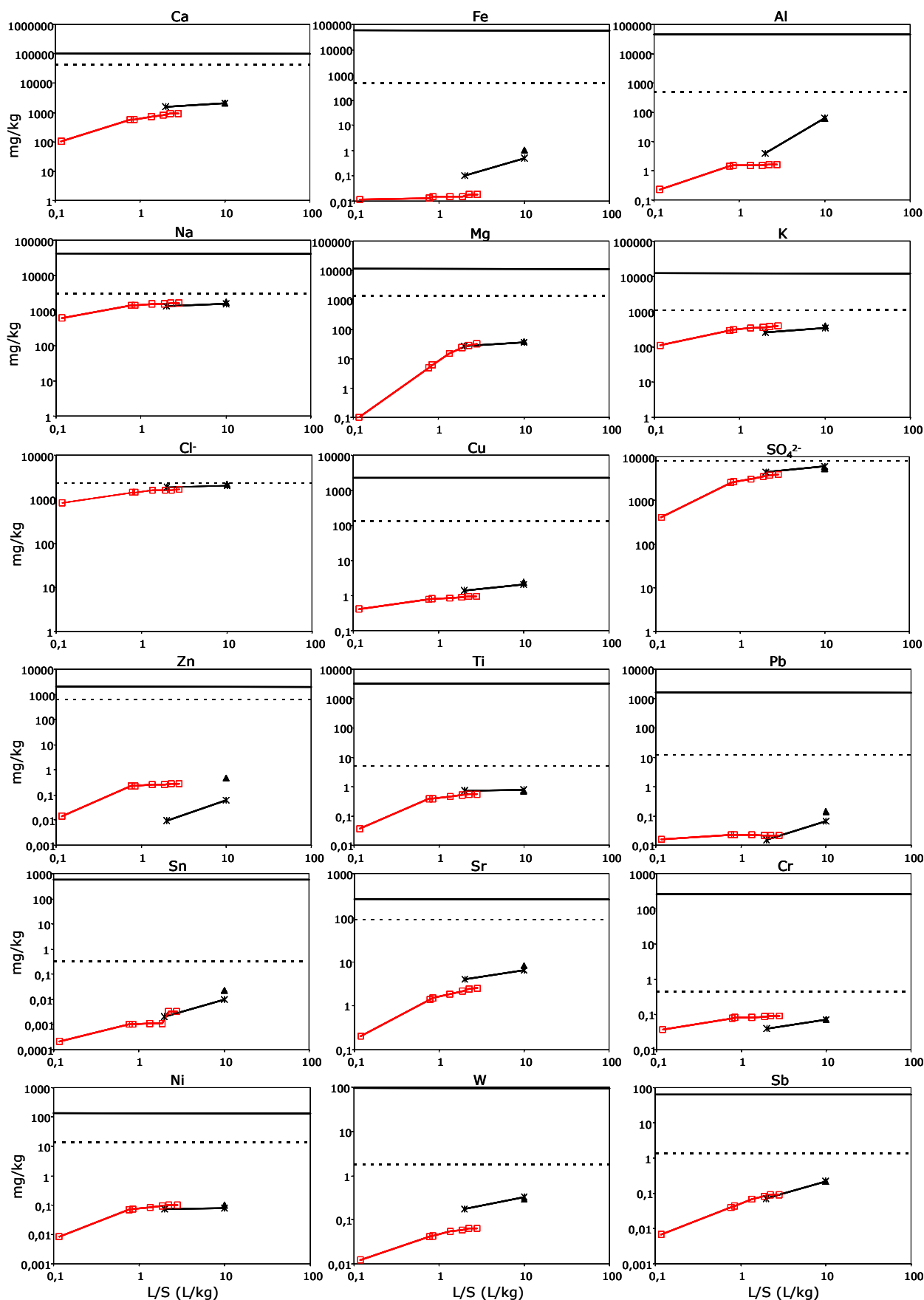


Figura VII-11. Concentracions totals, disponibles, lixiviables i lixiviatades de diversos elements presents a les escòries de Mataró del novembre del 2001 en funció de la relació L/S.



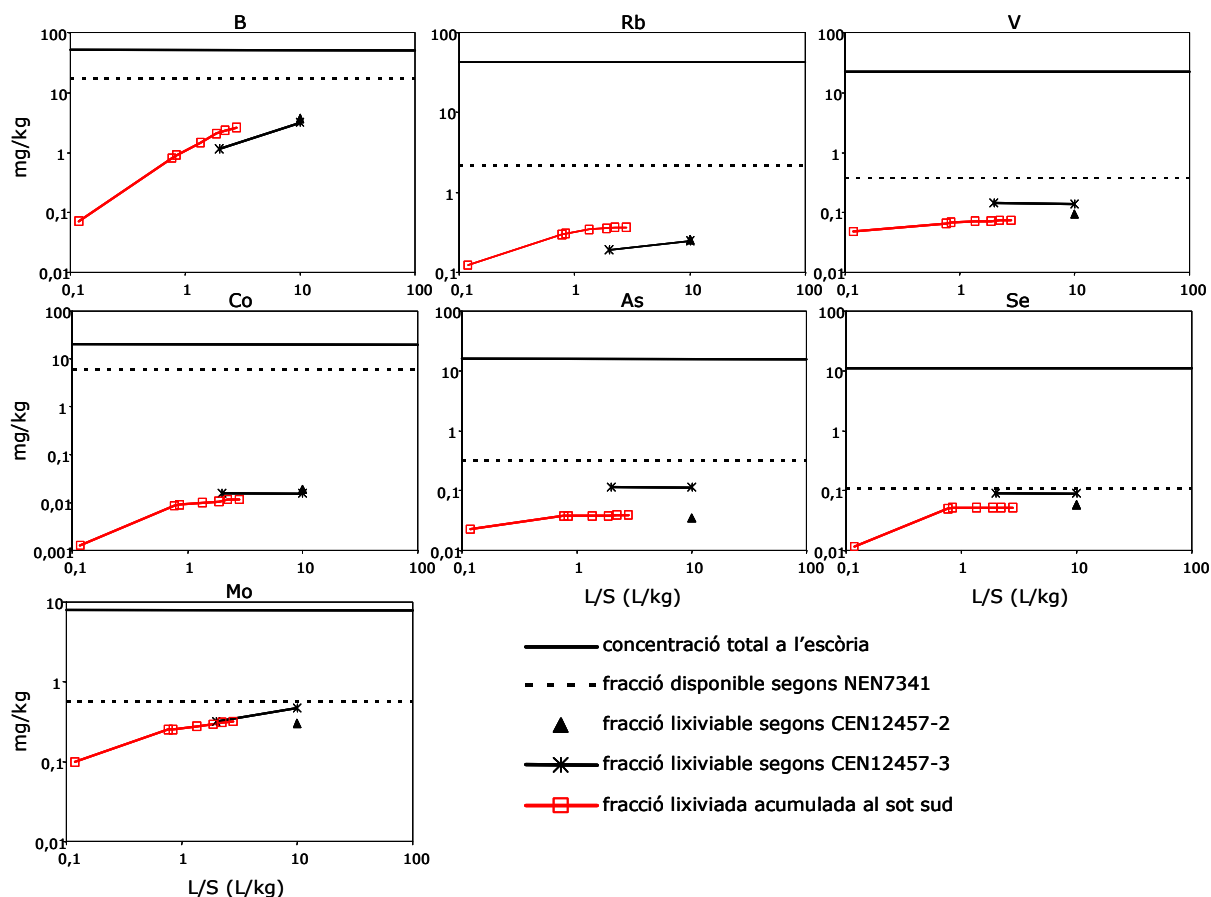


Figura VII-11. (Continuació).

Acceptant que l'eix d'abcises de la Figura VII-11 és convertible a una escala temporal, s'estableix un període d'esgotament propi de cada element, durant el qual és progressivament dissolt en les successives extraccions fins que la fracció llixiviable s'ha alliberat quasi íntegrament i les corbes d'emissió perden pendent, adoptant una morfologia d'asímtota i indicant l'esgotament. Aquest període d'esgotament no és universal sinó que depèn de diversos factors: en primer lloc de la mobilitat de cada constituent (és a dir de l'especiació dels elements) i de la magnitud de la fracció llixiviable, així com de la infiltració (condicionada a la seva vegada per les característiques geomètriques dels sots i el seu rebliment), i també dels eventuals canvis de pH, reaccions redox o altres modificacions de les condicions ambientals. D'aquí que les conclusions que s'extreuen sobre el comportament dels elements en aquest escenari no sigui directament extrapolables a altres materials o altres escenaris amb precipitacions o seccions estructurals diferents.

En general s'ha pogut establir el període d'esgotament de la fracció llixiviable de la majoria dels constituents, així com la seva evolució. El darrer tram de la corba correspon als últims llixiviats recollits i llevat de tres casos s'observa una clara disminució de les emissions. Els períodes d'esgotament de la fracció llixiviable dels elements al tram experimental, sense condicions d'aïllament i amb el coeficient de reducció de la infiltració determinat són, en síntesi, els següents:

### **Esgotament immediat $E_{acc} \approx E_I + E_{II}$ i $E_I \geq E_{II}$**

La primera lixiviació és molt decisiva i constitueix una part important de la lixiviació acumulada. Es caracteritza per corbes pendents molt suaus que indiquen que la primera extracció mobilitza com a mínim la meitat de l'emissió acumulada de l'element, i juntament amb la segona extracció (lleugerament menor) conformen el 80-90% del total acumulat lixiviat. Les subseqüents lixiviacions després de les dues primeres estan molt empobrides en aquests elements.

Dins aquest grup s'hi inclouen els anions i cations de sals molt solubles que són dissolts en gran mesura com Na, K i Cl<sup>-</sup>, així com per altres elements de fracció lixiviable molt més baixa però ràpidament mobilitzable, com Cu, Fe, V, Cr, As, Pb i Cd, coincidint amb les dades de laboratori. El període d'esgotament és en general de menys d'un any, però en el cas del Cl<sup>-</sup> la seva fracció lixiviable és tan alta que l'esgotament pràcticament complert és dona al cap de 12 mesos.

### **Esgotament ràpid $E_{acc} \approx E_I + E_{II}$ i $E_I \ll E_{II}$**

S'ha observat el cas de diversos elements amb una lixiviació concentrada majoritàriament a la segona extracció, mentre la primera extracció mobilitza una quantitat molt limitada de l'element (la diferència pot ser de més d'un ordre de magnitud). Les corbes d'emissió acumulada presenten un primer tram molt inclinat que reflecteix aquest augment considerable en la segona extracció; aquest és el punt d'inflexió de la corba, que cap a relacions L/S més altes té un pendent molt més suau indicant un ràpid esgotament, les següents extraccions dissolen una fracció molt baixa de l'element en qüestió.

Aquesta emissió ràpida però retardada podria ser deguda a que el primer lixiviat renta una fracció molt important de sals i té una càrrega en solució d'ions tan considerable que pot interferir i inhibir la dissolució d'altres elements.

Hi ha diversos elements que presenten aquesta evolució en l'esgotament subdividida en dos trams i amb la segona lixiviació com a punt d'inflexió: és el cas de Al, Ti, Co, Ni, Zn i Se. El seu període d'esgotament tampoc supera els 12 mesos.

### **Esgotament progressiu $E_{VII} \rightarrow 0$**

Característic de sals lleugerament solubles, cada lixiviació mobilitza una fracció similar del constituent i l'emissió acumulada augmenta gradualment, de manera que les corbes d'emissió acumulada mantenen un cert pendent. No obstant, es detecta un canvi de pendent en el darrer tram de la corba que tendeix a ser horitzontal, indicant que les concentracions lixiviables en la darrera extracció han disminuït dràsticament i marcant l'inici de l'esgotament. A més de ser el patró de dissolució característic del CaSO<sub>4</sub> (veieu la similitud entre les corbes del Ca i del SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), també s'ha observat en Mg, Rb, Sn, Sr, W i Sb. Val a dir, però, que l'esgotament del SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no està clarament definit i per tant aquest constituent podria pertànyer

també a la categoria següent. Possiblement en els darrers estadis de lixiviació la dissolució de  $\text{CaSO}_4$  passa a segon terme i s'inicia la d'altres sulfats marginals més insolubles (de Sr, per exemple), i per aquest motiu es continua alliberant una petita quantitat de  $\text{SO}_4^{2-}$  al medi.

En general el període d'esgotament d'aquests elements s'allarga molt més i arriba als 20 mesos des de la construcció del tram.

## Esgotament lent

A diferència del grup anterior, la progressiva dissolució que encara no dona símptomes d'esgotament perquè el tram final encara és ascendent i no s'ha detectat un clar canvi de pendent. És el cas de B, Mo i en menor mesura Sr i  $\text{SO}_4^{2-}$ , el període d'esgotament dels quals està per determinar però supera els 24 mesos.

En vista de que el sot nord porta un cert avantatge temporal en la lixiviació respecte al sot sud, s'ha utilitzat per a complementar la informació, encara que de manera molt qualitativa. La Figura VII-12 mostra l'evolució de les emissions dels 4 constituents en qüestió. En perdre's els primers lixiviats –els més concentrats– la informació és fragmentària i ni les emissions ni les relacions L/S són les reals acumulades. No obstant el que interessa és la morfologia de les corbes corresponents a les tres darreres extraccions. Sembla que les fraccions lixiviables de Sr i  $\text{SO}_4^{2-}$  estan properes a concloure el seu cicle d'esgotament perquè el darrer tram de la corba disminueix el pendent, però no succeeix el mateix amb B i Mo. Aquests elements continuen essent alliberats progressivament, tot i que en el cas del Mo es tracta de concentracions molt baixes. Caldrà esperar encara un cert interval de temps fins que s'aturi la seva progressiva mobilització.

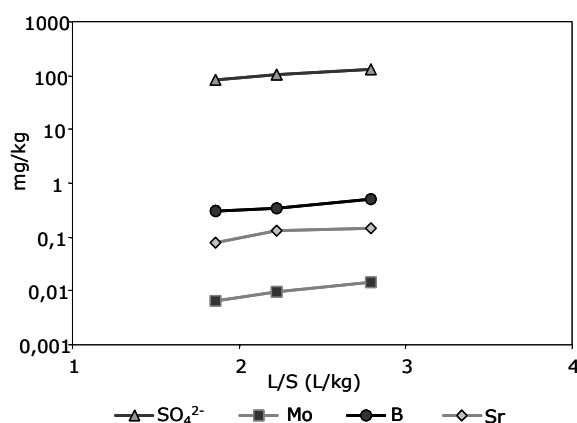


Figura VII-12. Corbes d'emissió acumulada de diverses espècies en els lixiviats del sot Nord.

A partir de la correlació lineal que s'ha determinat entre la conductivitat dels últims 5 lixiviats del sot sud i la relació L/S acumulada (Figura VII-13) s'ha extrapolat la relació L/S que correspondria als lixiviats del sot nord per fer una estimació dels períodes d'esgotament de Sr i  $\text{SO}_4^{2-}$ . Aquest període s'estén fins a una relació L/S de 3.20 L/kg aproximadament, que equivaldria a uns 26 mesos, és a dir, poc més de 2 anys.

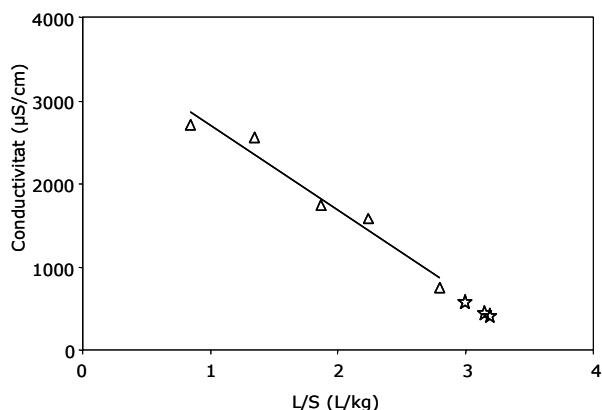


Figura VII-13. Correlació entre els darrers 5 lixiviatos del sot Sud (triangles) i la relació L/S acumulada ( $R^2=0.96$ ), i extrapolació de les conductivitats dels lixiviatos del sot Nord (estrelles).

## Altres

Com ja s'ha comentat anteriorment hi ha dos casos especials en què hi ha certes dificultats en restar la proporció corresponent a la lixiviació de la capa de calcària situada sobre l'escòria: Ba i Si. La Figura VII-14 il·lustra que aquests elements són més mòbils al sot de calcària (corbes gris clar) que al sot sud, que conté escòries i calcària (gris fosc). Restant a les dades del sot sud la part proporcional a la capa de calcària, el resultat de l'operació és clarament negatiu, la qual cosa fa pensar que possiblement es produeix una precipitació quan interactua amb l'escòria. Es creu que el Ba precipita quan entra en contacte amb la gran quantitat de sulfats que són dissolts de l'escòria, ja que el  $BaSO_4$  és molt insoluble. Quant al Si, és difícil esbrinar quin és el procés; només se sap que a les escòries és menys soluble. Aquesta observació coincideix amb les dades obtingudes mitjançant els tests CEN, en els quals les fraccions lixiviables de Si a la calcària eren més altes que a les escòries (capítol VI). Aquest comportament és, doncs, poc dependent de les condicions ambientals (entre les quals s'inclou del pH) i l'origen estaria relacionat amb una especiació del Si clarament diferent en els dos materials.

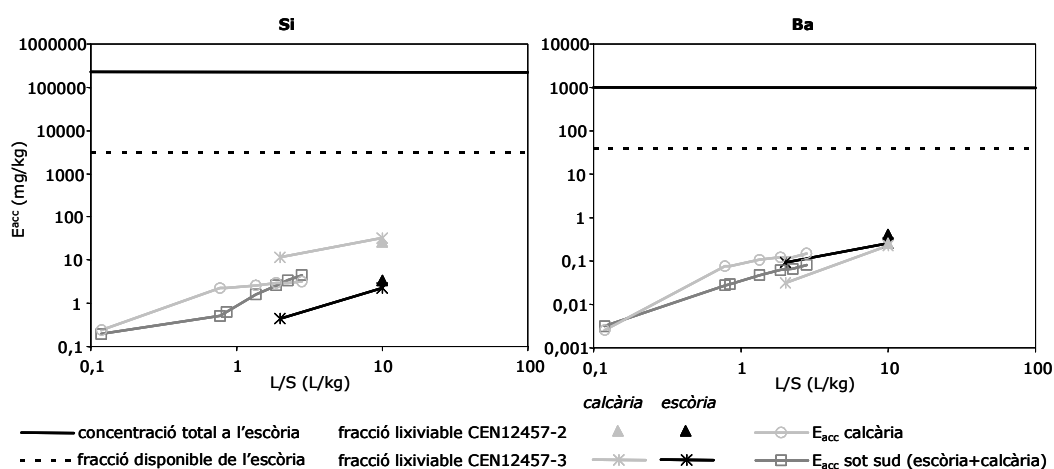


Figura VII-14. Concentracions totals, disponibles i lixiviables de Si i Ba a les escòries. Les corbes d'emissió de camp corresponen a la lixiviació del sot sud (incloent escòria i calcària, però referit només a la massa d'escòria) i del sot de calcària.

En tot cas les corbes del sot d'escòries són encara creixents en les darreres extraccions mentre en les corbes de la calcària ja s'observa un cert esgotament, de manera que aquests comportament s'atribueix a les escòries i podria indicar que les fraccions mobilitzables dels esmentats elements són d'esgotament lent (mentre que a la calcària són d'esgotament progressiu). Aquesta observació es pot constatar a la Figura VII-15, en la qual estan representades les corbes d'emissió d'aquests elements als lixiviats del sot nord, que com ja s'ha exposat anteriorment es correspondrien a 26 mesos després de la construcció del tram. Ambdós elements es podrien afegir a la llista d'espècies d'esgotament lent.

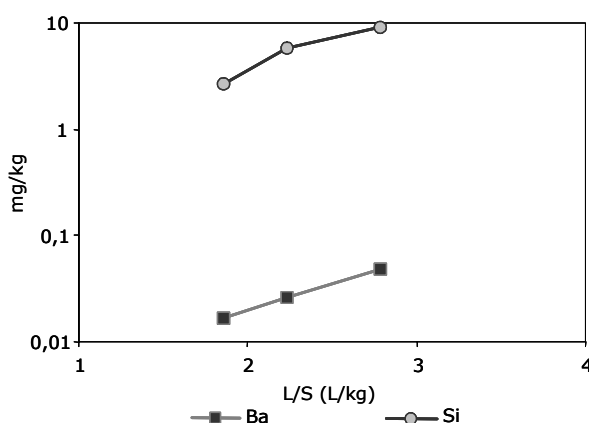


Figura VII-15. Corbes d'emissió acumulada de Ba i Si als lixiviats del sot nord.

La resta d'elements no representats a la Figura VII-11 estan en concentracions molt baixes, properes al límit de detecció, i es troben prou fixats en l'escòria, de manera que se'ls atribueix una importància secundària.

### VII.5.3 APROXIMACIÓ DE LES PREVISIONS DE LABORATORI A LES EMISSIONS I TENDÈNCIES D'ESGOTAMENT

És evident que les prediccions i la gestió de l'impacte s'han de fonamentar en les característiques de l'escenari. En el de Tagamanent, les taxes d'infiltració eficaç són considerables i el procés de lixiviació predominant és clarament la percolació. En aquest context les relacions L/S són relativament elevades i per tant els marcs temporals de les previsions fetes en base als tests de laboratori són més curts. Òbviament una certa impermeabilització proporcionada per exemple per un aïllament del material amb geotèxtils o bé una capa de rodament bituminosa reduiria molt notablement la quantitat d'aigua que s'infiltra i percola a través del material. En aquesta situació l'emissió acumulada seria molt inferior i els resultats dels tests de lixiviació esdevindrien prediccions molt més conservadores.

A la Figura VII-11 s'observa que en general hi ha bona concordança entre les emissions a curt termini obtingudes experimentalment al tram ( $E_{acc}$ ) i les previstes mitjançant els tests de laboratori, especialment el test CEN de dues fases a  $L/S=2$  ( $E_2$ ) i 10 L/kg acumulada ( $E_{10}$ ). Els diferents casos es detallen a continuació:

### **$E_{acc} \leq E_2$**

La primera fase a  $L/S=2$  L/kg al laboratori es presenta com una eina important a l'hora de fer previsions de les emissions a curt termini en un escenari controlat per la percolació, amb altes taxes d'infiltració. Es dona en Ca, Mg,  $SO_4^{2-}$ , Cu, Sr, W, Fe, Al, Se, As, V i Mo (Figura VII-11). En molts casos les corbes de camp enllacen o s'aproximen a la recta corresponent al test CEN de dues fases. La diferència és que mentre aquesta recta de laboratori té un cert pendent, la corba de camp en relacions  $L/S$  de 2 ja s'ha horitzontalitzat indicant que les successives extraccions han anat esgotant la fracció lixiviable de l'espècie en qüestió.

### **$E_2 \leq E_{acc} \leq E_{10}$**

En altres elements la corba de camp no enllaça amb la de laboratori al voltant del punt de  $L/S=2$  sinó per sobre: les diverses extraccions a relacions  $L/S$  petites aconseguen mobilitzar una major proporció del constituent que una sola extracció a una relació  $L/S$  alta. En conseqüència, per a una mateixa relació  $L/S$  les dades de camp siguin lleugerament superiors a les de la primera fase del test CEN i per tant tallen la recta per sobre. No obstant, les emissions són clarament inferiors a l'emissió acumulada a una relació  $L/S$  de 10. És el cas de Pb, Sb i B, entre altres.

### **$E_{acc} \approx E_{10}$**

En altres casos la lixiviació acumulada és molt similar o supera lleugerament les previsions de laboratori a  $L/S=10$ , a priori concebudes per a un marc temporal més llarg. Això succeeix amb els elements que formen sals molt solubles com Na, K,  $Cl^-$ , així com altres elements: Ti, Cr, Ni, Rb i Co.

### **$E_{acc} \gg E_{10}$**

Només la lixiviació acumulada de Zn (0.27 mg/kg) supera àmpliament les previsions fetes en base al test CEN 12457-3 (0.06 mg/kg), però no al test CEN 12457-2 d'una sola fase (0.48 mg/kg). Si bé aquesta incoherència podria ser atribuïda a l'heterogeneïtat de la mostra, segons Chandler et al. (1997) les dades de camp del Zn tendeixen a estar generalment per sobre dels resultats de laboratori, malgrat que se'n desconeixen les causes.

Pel que respecta als elements més conflictius segons s'havia deduït de les dades de laboratori, Cu, Se i Mo, tots ells presenten emissions acumulades inferiors a les previstes però cal fer un seguiment especialment del Mo perquè en 2 anys encara continua sent mobilitzat lentament i no se n'ha pogut determinar el període d'esgotament.

És difícil treure conclusions definitives sobre la validesa dels tests CEN en la tasca d'avaluar les potencials emissions a curt i mig termini, ja que els resultats no són homogenis. Per a moltes espècies, el test CEN és realista i molt ajustat, i les emissions de camp són inferiors o properes a la fase  $L/S=2$  L/kg, l'objectiu de la qual és precisament reproduir les primeres lixiviacions, o bé tendeixen asimptòticament al valor de la segona fase ( $L/S=10$ ).

Hi ha, però, alguns elements ja detallats pels quals les previsions d'emissió en base als tests CEN semblen insuficients i esdevenen una avaluació de laboratori poc conservativa per a aplicacions que comportin altes relacions  $L/S$  com aquesta. El cas més rellevant és el del Zn, mentre que en altres elements se superen les previsions en un marge molt estret que no sembla ser representatiu (per exemple Cr:0.09/0.07 mg/kg, Rb:0.36/0.25 mg/kg)

Amb els tests utilitzats resulta difícil preveure el comportament de les escòries a llarg termini i extrapolar les corbes d'emissió acumulada de la Figura VII-11 cap a relacions  $L/S$  altes. És cert que s'observa un esgotament gairebé general de les fraccions lixiviables dels elements i els increments d'un element a cada nova extracció tendeixen a zero. Malgrat tot, a llarg termini es pot donar el cas que les lixiviacions d'algun(s) element(s) es reactivin, fruit de canvis mineralògics que en modifiquin l'especiació i, consegüentment, la solubilitat. Els tests CEN realitzats són ràpids, realistes i econòmics però –com la majoria de tests de lixiviació estandarditzats- d'abast temporal limitat. D'aquí la importància del test de disponibilitat com a complement (tret d'alguns casos com Mo i V, la utilitzat del qual és molt qüestionable) per a avaluar què pot passar en un marc temporal molt més llarg, en què la biodegradació d'una part residual no incinerada de les escòries podria fer davallar el pH cap a condicions lleugerament àcides com les que tenen lloc en monoabocadors d'escòries segons Kosson et al. (1996).

Les experiències d'utilització d'escòries en carreteres de les quals se'n tingui una perspectiva temporal àmplia són escasses; les recollides al projecte ALTMAT (2001) indiquen que les escòries no compleixen amb les regulacions de diversos països (Holada, Dinamarca, per exemple) si són utilitzades sense recobriment, però sí sota una superfície de molt baixa permeabilitat. Mitjançant sondeigs s'ha pogut establir que el sòl infrajacent mostra un enriquiment important en  $SO_4^{2-}$ , mentre que l'enriquiment en metalls com Cr, Pb o Zn és pràcticament negligible.

## VII.6 CONCLUSIONS

---

El comportament mecànic de les escòries sembla ser com a mínim correcte, ja que en més de dos anys de funcionament no s'ha detectat cap signe de degradació visible.

Les escòries utilitzades han generat lixiviats inicialment molt salins, amb un pH bàsic i lleugerament inferior al que havien mostrat al laboratori. Els primers lixiviats estan molt enriquits en  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , mentre que en els següents van sent reemplaçant per  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  com a espècies majoritàries. Les concentracions dels elements que constitueixen sals més o menys solubles decreixen ràpidament.

Les concentracions dels constituents són inferiors a les decretades per a l'abocament a llera pública (Reial decret 849/1986), excepte els continguts de  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{Cu}$  que superen lleugerament els valors màxims admesos, tot i que els dos darrers compleixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua per al consum humà (Reial decret 140/2003).

La lixiviació de metalls és baixa; cal recordar que el pH dels lixiviats generats per aquestes escòries de Mataró són neutres a alcalins, entre 7 i 9, interval en el qual molts metalls tenen solubilitats molt baixes i s'inhibeixen els comportaments amfòters.

Les emissions acumulades dels elements considerats d'interès ambiental pel Decret de materials de construcció d'Holanda són en general properes a les emissions de la primera fase del test CEN tret del Zn, que és més mòbil en condicions de camp. Tot i això, en termes de nivells d'immissió, tant Zn com As, Cd, Cr, Co, Pb, Sn i V estan lluny de la immissió màxima permesa per la legislació holandesa i pràcticament han conclòs el període d'esgotament de la seva fracció soluble, de manera que les properes lixiviacions no modificaran significativament l'emissió acumulada mesurada a dia d'avui; la lixiviació d'aquests elements, doncs, difícilment constituirà una limitació a la valorització. Quant a Cu i Mo, els nivells d'immissió són propers als valors màxims permesos per a la categoria 1 del DMC, però molt per sota dels de la categoria 2 (mesures d'aïllament). No obstant, si bé se sap que la fracció lixiviable del Cu és ràpidament alliberada, no s'ha pogut establir el període d'esgotament del Mo, motiu pel qual se sospita que l'emissió acumulada - i en conseqüència els nivells d'immissió - podria continuar augmentant fins a fer prescriptiu un aïllament. De fet l'aïllament ja seria necessari a causa de l'excessiva lixiviació de Sb, Se,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{Cl}^-$ .

L'elevada salinitat és, doncs, una possible limitació segons el Decret de materials de construcció holandès, per bé que és un tret aparentment inofensiu i que no entra dins la percepció que en general es té d'espècies contaminants. Les altes fraccions extraïbles juntament amb l'elevada mobilitat comporten un cert risc per a les aigües subterrànies. Per aquest motiu caldria evitar l'apagada de les escòries amb aigua marina.

A partir de les característiques i configuració del tram de Tagamanent així com la seva pluviometria mitjana es pot establir que un any equival a un increment de 1.5 L/kg d'aigua i per tant en aquest context els tests CEN realitzats són previsions a curt i mig termini (fins a poc més de 7 anys).



Hi ha bastant grau de coincidència entre les fraccions lixiviables determinades segons els tests CEN i les fraccions que han estat lixiviades al tram experimental a curt termini. Per a molts elements les dues primeres extraccions són crítiques i suposen la major contribució a l'emissió acumulada, de manera que en les següents extraccions les dissolucions d'aquests elements tendeixen (asimptòticament) a zero. Per a d'altres es requereixen més extraccions per arribar a aquest punt. En general, però, al cap de 2 anys, la fracció lixiviable de gran part de dels elements estan esgotada i les següents lixiviacions extrauran quantitats molt baixes. Només B, Sr, Mo, Si, Ba i  $\text{SO}_4^{2-}$  presenten un esgotament lent i encara ara són progressivament alliberats.

A grans trets els tests CEN realitzats són prou efectius en l'avaluació de les fraccions lixiviables d'un material, se n'obtenen previsions molt realistes i ajustades però que s'emmarquen en una escala temporal bastant curta a causa de la manca de recobriment del sistema i les altes taxes d'infiltració. És a dir, que són previsions poc conservatives en aquest escenari en concret.

En canvi, les fraccions lixiviades –així com les lixiviables– estan molt lluny d'atènyer les fraccions disponibles, a excepció d'alguns constituents presents en fases amb solubilitat poc dependent del pH (per exemple els clorurs) o en espècies més mòbils a pH bàsic (com els molibdatos). El test de disponibilitat, per tant, és molt conservatiu i quedaria en segon terme com a eina de gestió del possible impacte ambiental a curt i mig termini.

La determinació de la lixiviació en condicions reals, juntament l'aplicació del DMC holandès i complementades per les conclusions del capítol anterior permeten identificar quins són els elements potencialment conflictius específicament de les escòries. Aquesta informació és vital de cara a adaptar les regulacions sobre la valorització d'escòries a la naturalesa d'aquest material. Aquestes regulacions han de ser fruit dels aspectes més importants detectats durant la lixiviació, i no guiar-se pel seu contingut a l'escòria. Un cas molt clar és el Cd, la toxicitat del qual es prou coneguda i la seva concentració apareix limitada en moltes normatives, així com al DMC holandès. En canvi, en l'àmbit de les escòries d'incineració és un element d'escàs interès ja que n'estan molt empobrides (2 mg/kg) en comparació amb altres subproductes de la incineració com les cendres volants o els residus de depuració de gasos (veieu dades al capítol I), i a més, el seu baix contingut està fermament lligat. Per aquest motiu se l'ha esmentat en poques ocasions i es pot descartar de la llista d'elements de preocupació ambiental.

La Taula VII-8 mostra una classificació dels elements en funció del seu comportament ambiental a les escòries: el potencial impacte ambiental de la valorització d'escòries seria causat per les lixiviacions de Cu, Mo, Se,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{Cl}^-$ , elements que per tant són la principal preocupació i que segons el DMC farien necessàries mesures d'aïllament del material.

Taula VII-8. Classificació del grau de mobilitat dels elements de les escòries en funció de la seva fracció lixiviable. E: emissió; C: contingut total a l'escòria.

Màxima preocupació	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cu	Sb	Mo	Se							
Precaució	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ba	B	Zn	F <sup>-</sup>								
Sense preocupació, E↑	Ca	Na	K	Mg									
Sense preocupació, E↓	Si	Sr	Pb	Fe	Sn	Ni	Co	V	Cr	Mn	As	TTRR	
	Rb	W	Sc	Ga	Ti	P	Ta	Li	Y	Zr			
Sense preocupació, C → 0	Hg	Ge	Cd	Cs	Hf	Tl	Bi	Be					

Els tres metalls més abundats després de Fe (element amb una altíssima retenció) i Al, Cu, Pb i Zn tenen continguts molt similars a l'escòria però davant la lixiviació manifesten comportaments diversos. El Pb és molt immòbil tant en condicions de laboratori com de camp i per tant no constitueix una espècie de risc. Zn té lixiviacions lleugerament més altes i major mobilitat al camp, però tot i això les emissions continuen sent baixes; no obstant el fet que no es puguin preveure mitjançant els tests de laboratori implica un cert grau d'incertesa que convida a prendre precaucions. En canvi les emissions de Cu són de 1 mg/kg al camp i 2 mg/kg al laboratori, concentracions tals que sí poden fer necessàries mesures de protecció.

Les emissions de Ba al laboratori i al camp són comparables a les que experimenta la calcària, i per tant en principi la lixiviació d'aquest element no hauria de comportar cap problema. De tota manera, a diferència de la calcària la fracció soluble de Ba a les escòries experimenta un esgotament lent el període del qual encara no ha conclòs, motiu pel qual cal fer un seguiment a fi d'observar l'evolució de les successives emissions. També la fracció lixiviable i lixivada de B té un alliberament lent i es desconeix si l'emissió acumulada determinada al camp pot superar les previsions del test CEN, per aquest motiu s'ha de tenir precaució amb la lixiviació d'aquest element. Si bé Si i Sr manifesten un comportament similar a Ba i B, el seu potencial contaminant és negligible. Per la seva mobilitat, també seria convenient controlar les emissions de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i F<sup>-</sup>.

Al marge dels fins ara esmentats, molts altres elements presents a les escòries no són d'especial preocupació, sigui perquè són habituals en aigües naturals (Ca, Na o K), perquè la retenció mineralògica és molt efectiva (com Fe, Ti, V o Si) i/o a causa de la retenció química (per exemple Pb o Mn). Finalment, talment com el Cd, en el mateix grup hi ha altres elements que a les escòries es presenten en continguts baixos (<4 mg/kg), i a més estan molt fixats.

Noteu que tret del Cu, els constituents de màxima prioritat no coincideixen amb els detallats a l'Ordre sobre valorització d'escòries. Aquesta Ordre regula alguns elements que estan molt fixats a l'escòria per retenció mineralògica (Cr) i química (per exemple Pb), mentre que d'altres estan molt empobrits a causa del fraccionament dels elements durant la combustió (per exemple Cd i As, volàtils). L'Ordre sobre valorització d'escòries, en l'apartat que versa sobre les escòries d'incineració de residus sòlids urbans, hauria d'incloure altres constituents que són passats per alt i que no obstant poden desembocar en la contaminació de les aigües

---

subterrànies o dels sòls circumdants si no es prenen precaucions, caldria tenir en compte molt especialment  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cu, Sb, Mo i Se.

Altres cops es considera la possibilitat d'un rentatge per tal d'extraure una certa proporció de les espècies de màxima prioritats i aconseguir que les escòries puguin ser utilitzades sense mesures de protecció (Categoria 2 del DMC holandès). Cal tenir en compte la despesa d'aquest tractament com ja s'ha comentat al capítol VI, ja que a més dels costos energètics es genera un nou flux residual de tipus aquós, per al qual es requereix una dessecació i el subseqüent tractament dels fangs. És necessari, per tant, demostrar que la reducció de la fracció mobilitzable és prou significativa.

Un únic rentatge a una relació L/S de fins a 1 L/kg extrauria una proporció important de la fracció lixiviable dels constituents amb període d'esgotament curt com  $\text{Cl}^-$ , Cu i Se. Malgrat tot, les espècies restants són d'esgotament més progressiu i el rentatge segurament no eliminaria la necessitat d'aplicar algunes restriccions en la utilització d'escòries. Altres cops, per tant, la impermeabilització es planteja com una de les mesures pal·liatives més efectives i econòmiques a curt termini.

De tota manera l'aïllament és una mesura de protecció que no resol el problema a llarg termini, en cas que finalitzi la vida útil de la carretera en qüestió. En aquest context, l'abandonament del vial i la consegüent manca de manteniment comporta la progressiva degradació del ferm. A més d'aquesta circumstància, cal tenir en compte els aspectes de durabilitat del dispositiu d'aïllament, ja que una degradació del material impermeabilitzant també comportaria un canvi en les característiques de l'escenari i en el grau d'exposició de les escòries. La baixa infiltració eficaç en condicions d'impermeabilització inhibeix la lixiviació, i per tant la fracció soluble dels elements ha de romandre retinguda. En el nou escenari d'exposició sense aïllament la fracció mobilitzable dels elements està pràcticament intacta i es produeixen les emissions –i immissions– que no van tenir lloc anteriorment.

Caldria, doncs, tenir un registre dels emplaçaments que contenen escòries per evitar aquestes situacions i que, en cas de finalitzar el període de vida útil, es procedís al desmantellament del ferm i es diposités en un abocador adequat per a aquest efecte en funció de la naturalesa del material. En aquest sentit convé tenir precaució perquè es tractaria d'un residu no especial.

Des d'aquesta perspectiva temporal, utilitzar les escòries sense un aïllament a fi de permetre la infiltració i la producció de lixiviats de manera regulada i controlada té certs avantatges, ja que l'esgotament de les fraccions lixiviables dels elements convertiria les escòries en un material inert i per tant el deteriorament dels dispositius d'aïllament i/o del ferm no comportaria un risc potencial per a l'entorn. Així, en zones urbanes o residencials es pot contemplar la possibilitat impermeabilitzar només la base de la capa d'escòries amb geotèxtil i

utilitzar dispositius de recollida de les aigües de drenatge adjacents al traçat que permetin conduir-les i evacuar-les cap a la xarxa de clavegueram de la zona.

En un període de dos anys, les corbes d'emissió acumulada de gran part dels elements han mostrat símptomes d'esgotament de la fracció lixiviable. Tanmateix es desconeix l'evolució que poden tenir les emissions a llarg termini (>20 anys). Els efectes de la meteorització sobre les escòries al cap dels anys podrien provocar canvis en l'especiació dels elements que reactivin la dissolució de certs elements i les corbes d'emissió tornin a ser creixents. De fet, la filosofia del test de disponibilitat és precisament reproduir la lixiviació que podria tenir lloc en cas de pèrdua de l'alcalinitat del material a molt llarg termini. En tot cas convé continuar amb els mostreigs de lixiviats a fi d'avaluar el progressiu increment de l'emissió acumulada i poder determinar els períodes d'esgotament d'aquells constituents que encara avui es continuen alliberant al tram experimental de Tagamanent.