

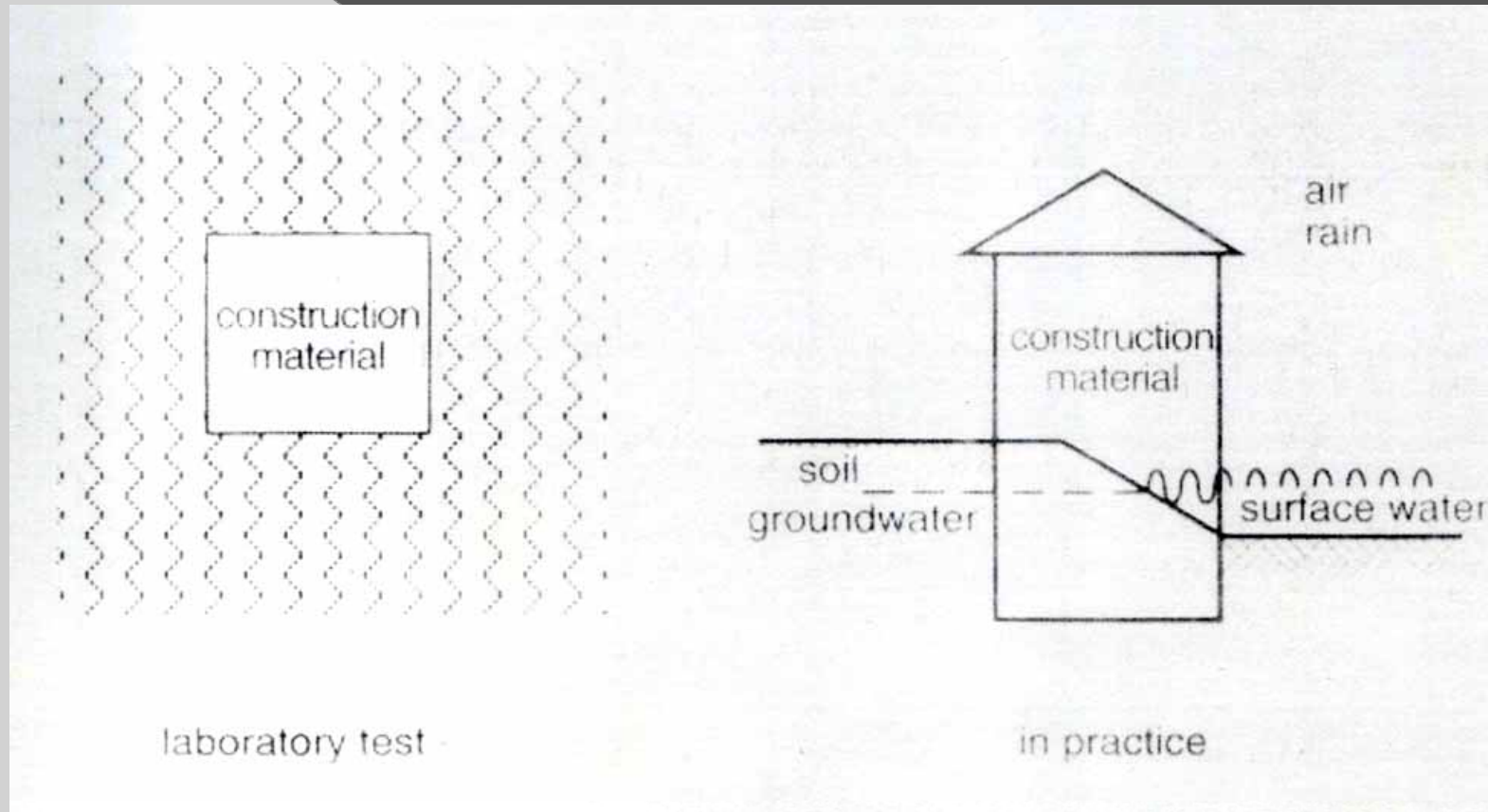
# Lixiviación de áridos reciclados para su uso carretera

Por: Enric Vázquez  
Catedrático de Materiales  
ETS.Ing.Caminos/UPC

# PROTECCIÓN DEL SUELO Y DE LAS AGUAS

- **Emisiones hacia el agua superficial:** cuando los contaminantes son lixiviados en aguas superficiales, la contaminación no queda confinada en la vecindad inmediata de la estructura construida, sino que es dispersada por el flujo de agua.
- El volumen de agua contaminada es reemplazado por el agua nueva, por lo que los aumentos de contaminantes pueden considerarse temporales.
- En comparación con el agua profunda, en la lixiviación superficial la dilución es mucho mayor.

# SUELOS Y AGUAS



# SUELOS Y AGUAS

- **Emisiones en agua profunda:** confinamiento frecuente. Menor dilución
- **Suelo:** material de construcción con una estructura fija y de origen natural, no producido por el hombre.
- **Suelo limpio:** el que no excede ninguno de los valores prescritos para sustancias orgánicas e inorgánicas.

# LIXIVIACIÓN / EXTRACCIÓN DE MATERIALES

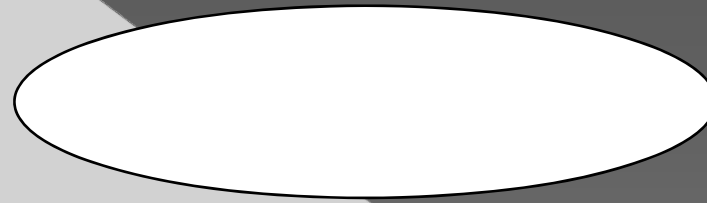
- Cuando un material sólido entra en contacto con un líquido, algunos de sus constituyentes pueden disolverse en mayor o menor extensión. El grado de disolución condiciona la composición del extracto (líquido tras pasar por el sólido).
- La lixiviación es la extracción de los componentes solubilizados en el agua u otro disolvente.
- Los ensayos de lixiviación tratan de reproducir en el laboratorio los procesos que tienen lugar bajo las condiciones de exposición del campo u obra.

# LIXIVIACIÓN

LIQUIDO

MATRIZ

LIXIVIADO



La emisión del material o residuo se mide en el laboratorio con un ensayo de lixiviación normalizado.

- ⦿ La validez en condiciones de laboratorio comparados con la emisión real en el campo es cuestionable.
- ⦿ Hay que incluir una serie de factores específicos del lugar:
- ⦿ La extensión del contacto del material con el agua.  
La temperatura.  
La acidez.

# Factores físicos

- Tamaño de la partícula expuesto
- Homogeneidad o heterogeneidad de la matriz sólida en términos de fases minerales
- El tiempo
- Las condiciones de flujo lixiviante
- La temperatura
- La porosidad de la matriz
- La forma geométrica y el tamaño de los materiales en los que el proceso de lixiviación viene esencialmente determinado por difusión
- Permeabilidad de la matriz en el ensayo o en el campo
- Condiciones hidrogeológicas

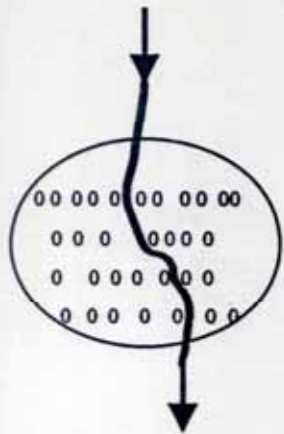
# Factores químicos

- Influencia del pH del material
- Potencial lixivialidad de los componentes
- Equilibrio o control cinético de la liberación
- Formación de complejos inorgánicos u orgánicos
- Condiciones redox del material
- Procesos de absorción
- Factores biológicos capaces de afectar el pH, redox y formación de complejos con la materia orgánica

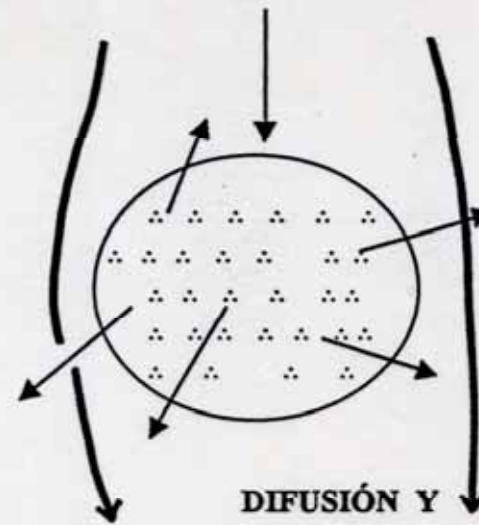
# Decisiones simplificadoras.

- La exacta evaluación de las emisiones reales es muy difícil y cara, y las mediciones de laboratorio si no se adaptan mínimamente a la realidad, corren el riesgo de **exagerar o menos valorar el riesgo ambiental**
- Los procesos implicados en la lixiviación de nuestros materiales granulares y monolíticos respectivamente son:
  - Lavado
  - Percolación
  - Difusión

# Procesos



**PERCOLACIÓN**



**DIFUSIÓN Y**

**EFFECTOS SUPERFICIALES**

# Lavado:

- En una partícula se va disolviendo el material de la superficie en contacto con el agua. El material disuelto es lavado y se diluye en el agua en circulación. No hay límite para la saturación de dicha disolución. El lavado es rápido.
- Si la superficie carece de poros, como por ejemplo un vidrio, el lavado es el único mecanismo de lixiviación a considerar

# Difusión

- Si la partícula tiene poros accesibles, el material interior también puede ser disuelto por el agua que penetra en ellos.
- Como el agua no fluye libremente en este caso, pueden presentarse altas concentraciones de lo disuelto y reducirse fuertemente la velocidad de disolución.
- El material disuelto será transportado a través de los poros comunicados hacia la superficie.
- La fuerza motriz será la diferencia de concentraciones entre el agua de los poros y la que fluye libremente. El mecanismo es la difusión.

# Disolución-Erosión

- Si el material considerado consta mayoritariamente de compuestos solubles, la matriz del material no frenará la entrada, ni la salida del líquido lixivante, y el proceso será muy rápido y continuará hasta el total desmoronamiento.
- La erosión superficial favorecerá la constante renovación de la superficie de ataque. **No hay pues difusión**

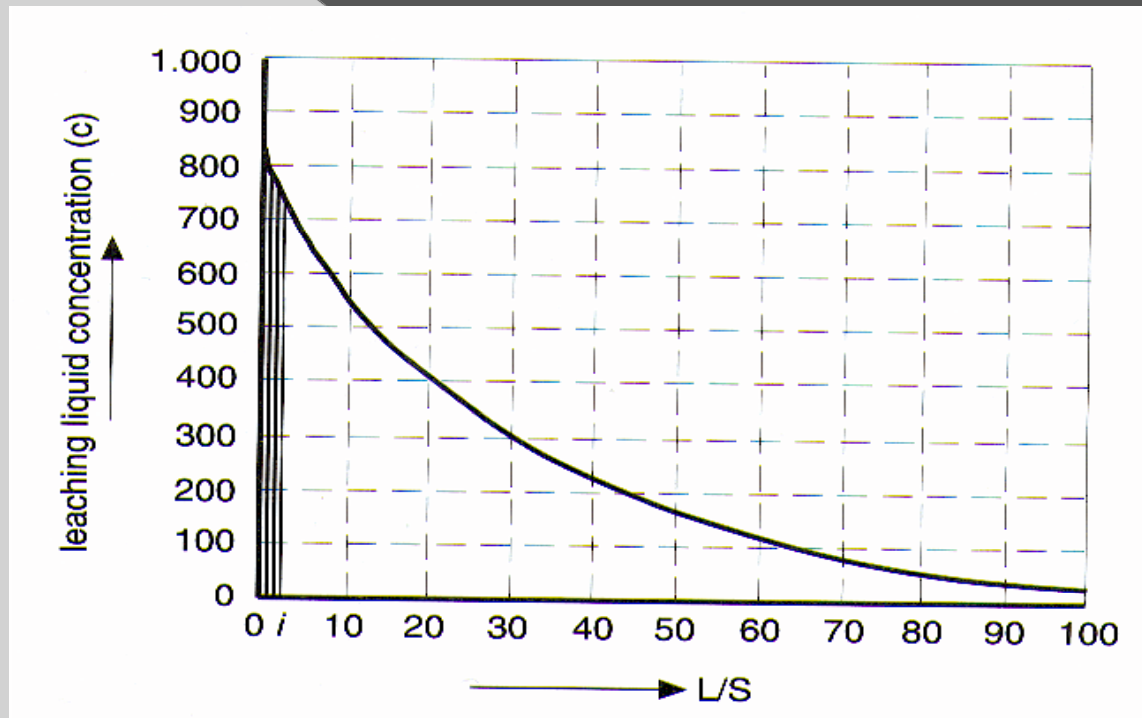
# Tipos de Materiales

- Un **material no consolidado** es aquel que está formado por granos sueltos y no tiene una forma fija permanente o durable.
- . El Building Decree de los Países Bajos define como **consolidado** a aquel cuya menor unidad volumétrica tiene como mínimo 50 cm<sup>3</sup> y tiene una forma fija y durable en condiciones normales.

# Materiales de Construcción Granulares

- A simple vista se considera material granular aquel que tiene la mayoría de partículas  $<40$  mm.
- En los materiales de construcción no consolidados la superficie considerada es muy grande en relación al volumen. La longitud de los poros es pequeña, por lo que la importancia de la difusión también lo es.

- La concentración del líquido lixiviante ( $c$ ) es función de la concentración inicial ( $c_0$ ) y de la relación entre la cantidad de líquido que fluye ( $L$ ) y la cantidad del material problema ( $S$ ).
- La emisión del material puede determinarse calculándola para el área encerrada debajo de la curva  $c$  frente a  $L/S$ .



# Ensayos de Columna

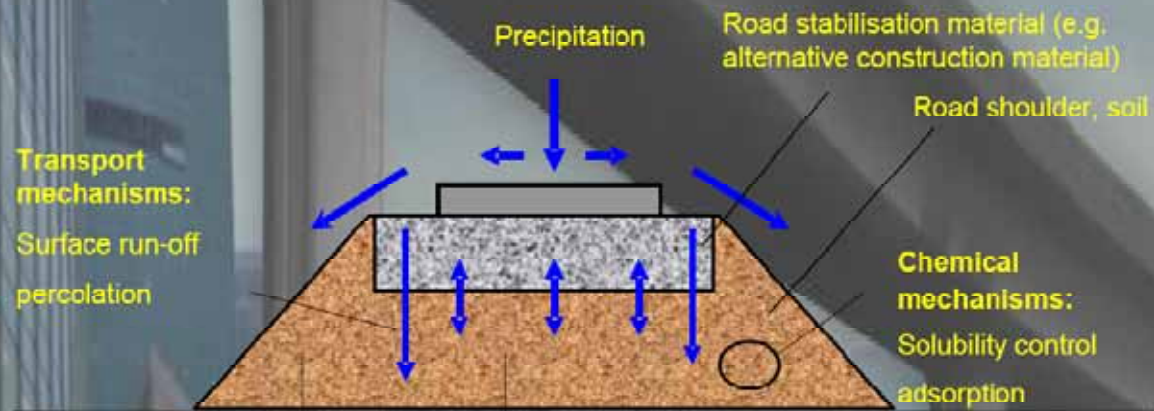
- En nuestro caso la zahorra de un tamaño máximo de 40 o 20 mm, usada en una subbase no ligada, debería someterse a un ensayo como el NEN 7343 (columna).
- Material < 4 mm, lo que implica la molienda para obtener un 0/4 mm.
- Las columnas tienen un diámetro mínimo de 5cm y una altura de 20cm.
- Se obtienen 7 fracciones de eluato, correspondientes a L/S entre 0,1 y 10 l/kg.
- El ensayo dura 21 días y se utiliza agua desmineralizada con un pH inicial de 4, obtenido con HNO<sub>3</sub>. La evolución del pH no se controla.
- El periodo simulado es <50 años.

# Ensayos de Columna



# Escenario

## PROCESSES AND CONTROLLING FACTORS IN A ROAD CONSTRUCTION SCENARIO



ECOserve

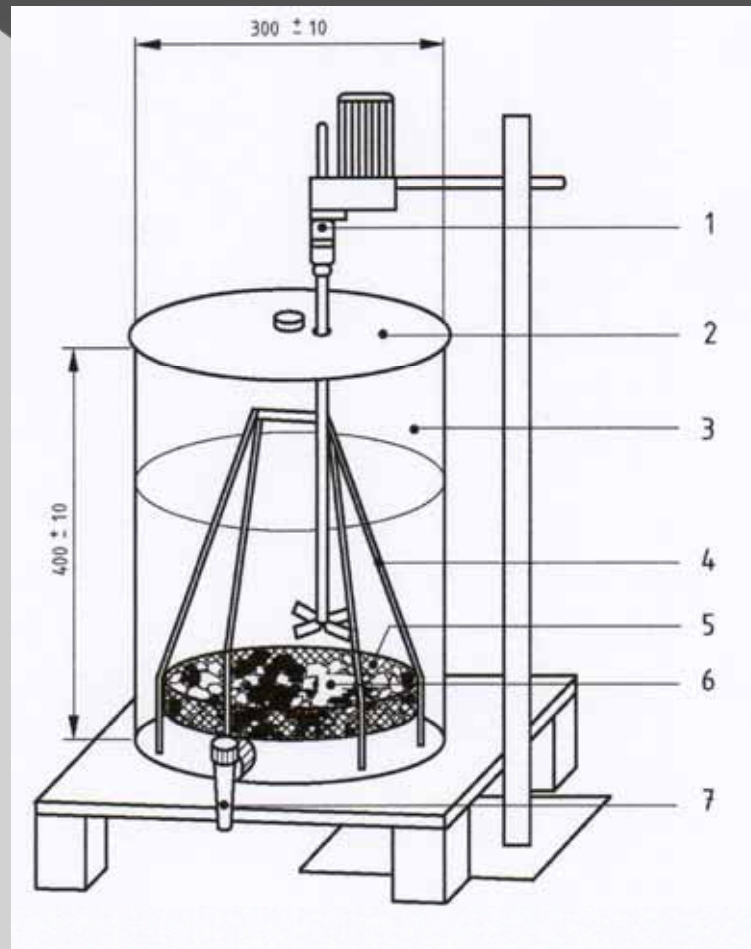
# Los ensayos CEN

- El CEN tiene una organización vertical. Para cada material existe un comité técnico completamente independiente.(TC 154)
- Los ensayos desarrollados por el CEN/TC 292, abarcan a todos los tipos de materiales, residuos y suelos. Pero aun no está del todo clara la relación entre los ensayos llamados “de conformidad” y los “de caracterización”.

# El ensayo EN 1744-3

- Traducido e incorporado como UNE
- Obtención de eluatos por lixiviación de áridos, para el estudio posterior con ensayos de conformidad.
- Áridos no ligados <32mm
- L/S=10, t=24 horas
- Muestra sobre rejilla en un depósito y agitación con motor.

# El ensayo EN 1744-3



# Ensayos Nacionales

- NEN 7431 de Disponibilidad → Holanda  
NEN 7343 de Columna – alternativo

- DIN EN 1744-3 / DIN 38414-S4 →  
en Alemania y Austria

En Suiza el pH se ajusta a 4-4,5

El DIN 38414-S4 utiliza material hasta 32 mm, L/S=10 y no ajusta el pH

# LIMITES

Parameter	Eluatklasse		
	Ib	IIa	IIIb
pH-Wert	5,5 – 11	5,5 – 12	5,5 – 13
Elektrische Leitfähigkeit	150 mS/m	300 mS/m	-
$\Sigma$ KW	200 µg/l	1000 µg/l	100000 µg/l
PAK	2 µg/l	3 µg/l	5 µg/l
Chlorid	1)	1)	2)
Sulfat	1)	1)	2)
Pb	100 µg/l	500 µg/l	10000 µg/l
Cr gesamt	100 µg/l	1000 µg/l	10000 µg/l
Cu	1000 µg/l	1000 µg/l	10000 µg/l

1) Begrenzt durch die Leitfähigkeit  
2) Begrenzt durch den löslichen Anteil

# LIMITES

Parameter	Gesamtgehalte, alle Angaben in mg/kg			
	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert	7 – 12,5			
Elektr. Leitf.	500 µg/cm	1.500 µg/cm	2.500 µg/cm	3.000 µg/cm
Chlorid	10.000	20.000	40.000	150.000
Sulfat	50.000	150.000	300.000	600.000
As	10	10	40	50
Pb	20	40	100	100
Cd	2	2	5	5
Cr gesamt	15	30	75	100
Cu	50	50	150	200
Ni	40	50	100	100
Hg	0,2	0,2	1	2
Zn	100	100	300	400
Phenolindex	< 10	10	50	100

# Nuevos ensayos CEN-TC 292

**pH DEPENDENCE TEST TO ASSESS  
SENSITIVITY TO CHANGES IN pH,  $E_H$   
AND TEMPERATURE**

**(PrEn14429 Batch mode test)**

CEN/TC 292  
- ENV 12920

Scenario  
Description

**Material  
characterization**

Controlling  
factors

Modelling  
leaching

Validation  
verification

Evaluation

Conclusions



EC  
CEN

# Como principales ventajas del pr EN14429 se cita

- Sensibilidad a los pequeños cambios de pH.
- Buena base de comparación con otros ensayos parecidos.
- Tiene en cuenta las condiciones de pH impuestas por el medio.
- Proporciona una buena fase para la modelización geoquímica.

# CEN-TC 292

## PERCOLATION TEST TO ASSESS LONG TERM RELEASE FOR GRANULAR MATERIALS PrEn14405

CEN/TC 292  
ENV 12920

Liquid to solid ratio (L/S) related to a time scale by infiltration rate, density and height of application.

### TEST CONDITIONS:

Pre-equilibration after saturation for more than 48 hrs

Up-flow

L/S range 0.1 - 10 (100 - 1000 yrs)

Test data in mg/l or mg/kg cumulative



Scenario  
Description

Material  
characterization

Controlling  
factors

Modelling  
leaching

Validation  
verification

Evaluation

Conclusions

# Principales ventajas del ensayo de percolación pr EN14405

- Identificación de solubilidad frente a lavado.
- El equilibrio local se establece rápidamente.
- Proporciona buena base para la modelización geoquímica.
- Permite una buena comparación con los resultados de campo (teniendo en cuenta L/S).
- Probabilidad de extenderlo hacia el control de emisiones por solubilidad y lavado a largo plazo.

# Estudios y críticas

- Estudio RESIBA sobre los áridos reciclados noruegos con el EN 1744-3 Cumplen con los límites Alemanes, Austriacos y Suizos.
- Los áridos reciclados emiten Ca y aumentan el pH del suelo (no es negativo)
- Los ensayos holandeses fueron para caracterización y se correlacionan con los del TC 292, y son aplicables para todos los materiales

# Estudios y críticas

- El EN-1744-3 según E. Mulder no responde bien a necesidades más generales y precisas.
- El CEDEX informa de que tiene una buena repetibilidad en áridos naturales.

# Ensayo de difusión

## TANK LEACH TEST OR COMPACTED GRANULAR LEACH TEST (CGLT) FOR MONOLITHIC MATERIALS (modified)

CEN/TC 292  
- ENV 12920

### TEST CONDITIONS:

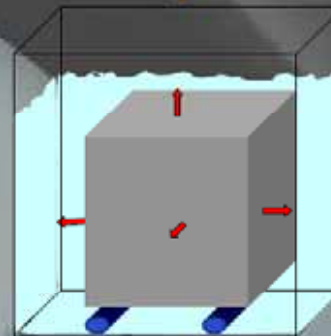
First step: pre-equilibration  
for 48 hrs at liquid to  
volume ratio: 5

Second step: leaching  
at low L/V ratio (1) for 24 hrs

Then contact times: 2, 4, 8, 16, 32 and 64  
days

Leachant: demineralised water (own pH)

Expression of results in  $\text{mg}/\text{m}^2$  (cumulative)  
against time



Scenario  
Description

Material  
characterization

Controlling  
factors

Modelling  
leaching

Validation  
verification

Evaluation

Conclusions

# Proyecto GEAR

- Se estudiarán los áridos reciclados españoles, fracción 0/32 mm con los ensayos EN-1744-3 y DIN- 38414-S4
- Se efectuará ensayos de columna NEN 7343.
- Se estudiarán correlaciones y posibilidades considerando la situación española y los suelos.