



Diseño de las barreras GBR-C en función de la permeabilidad frente a lixiviados

III Congreso internacional

de MTD en vertederos y suelos contaminados



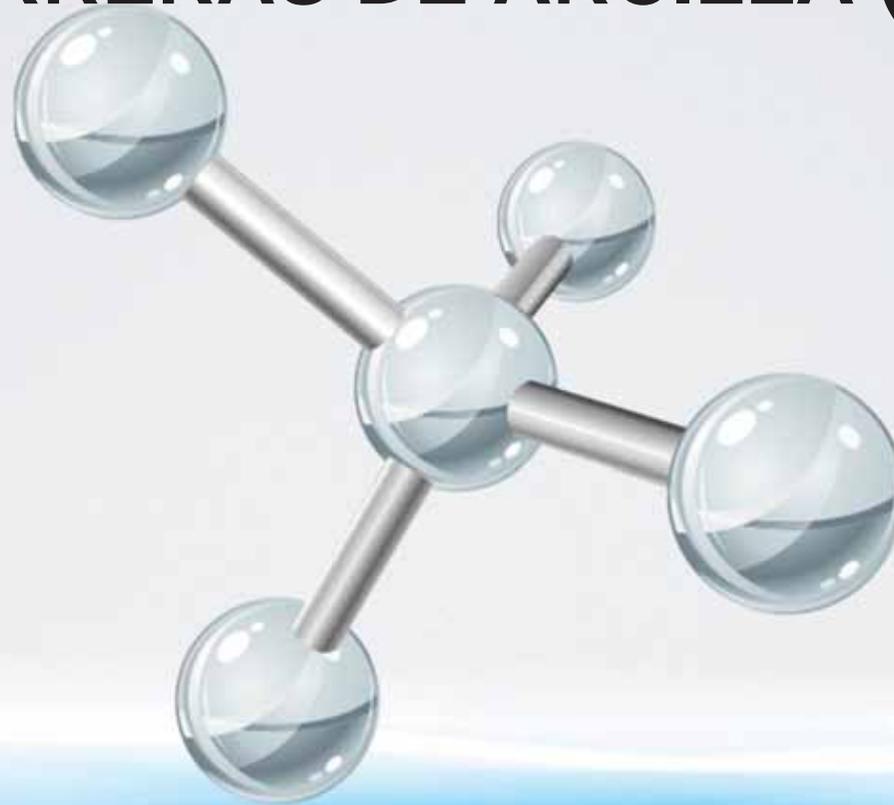
Indice

- ❑ GBR-C Rendimiento Hidráulico/Equivalencia con barreras de arcilla (CCLs)
- ❑ Intercambio Catiónico
- ❑ Rendimiento GBR-C en distintos medios químicos
- ❑ Nuevas Tecnologías arcillosas. I+D Compatibilidad química del GBR-C con lixiviados de residuos procedentes de centrales térmicas. Investigación realizada por CETCO y la Universidad de Wisconsin



CETCO

▶ **GBR-C RENDIMIENTO
HIDRÁULICO/EQUIVALENCIA CON
BARRERAS DE ARCILLA (CCLS)**



INTRODUCCION BARRERAS GEOSINTETICAS ARCILLOSAS (GCLs or GBR-C)

- Una barrera hidráulica sintética arcillosa (bentonita sódica) ligada a una capa geosintética (ASTM D4439)
- Normalmente de 3.5 to 5.0 kg/m² de bentonita sódica
- Muy baja permeabilidad ($<5 \times 10^{-11}$ m/sec)
- Capacidad autosellante en caso de punzonamiento
- **Capaz de sustituir una capa de arcilla compactada**
- Equivalente hidráulicamente a 0.6 metros de arcilla compactada para diferentes aplicaciones



RENDIMIENTO HIDRÁULICO: IMPERMEABILIZACIÓN SIMPLE

Notas:

Asumimos 0.3 m
de carga hidráulica

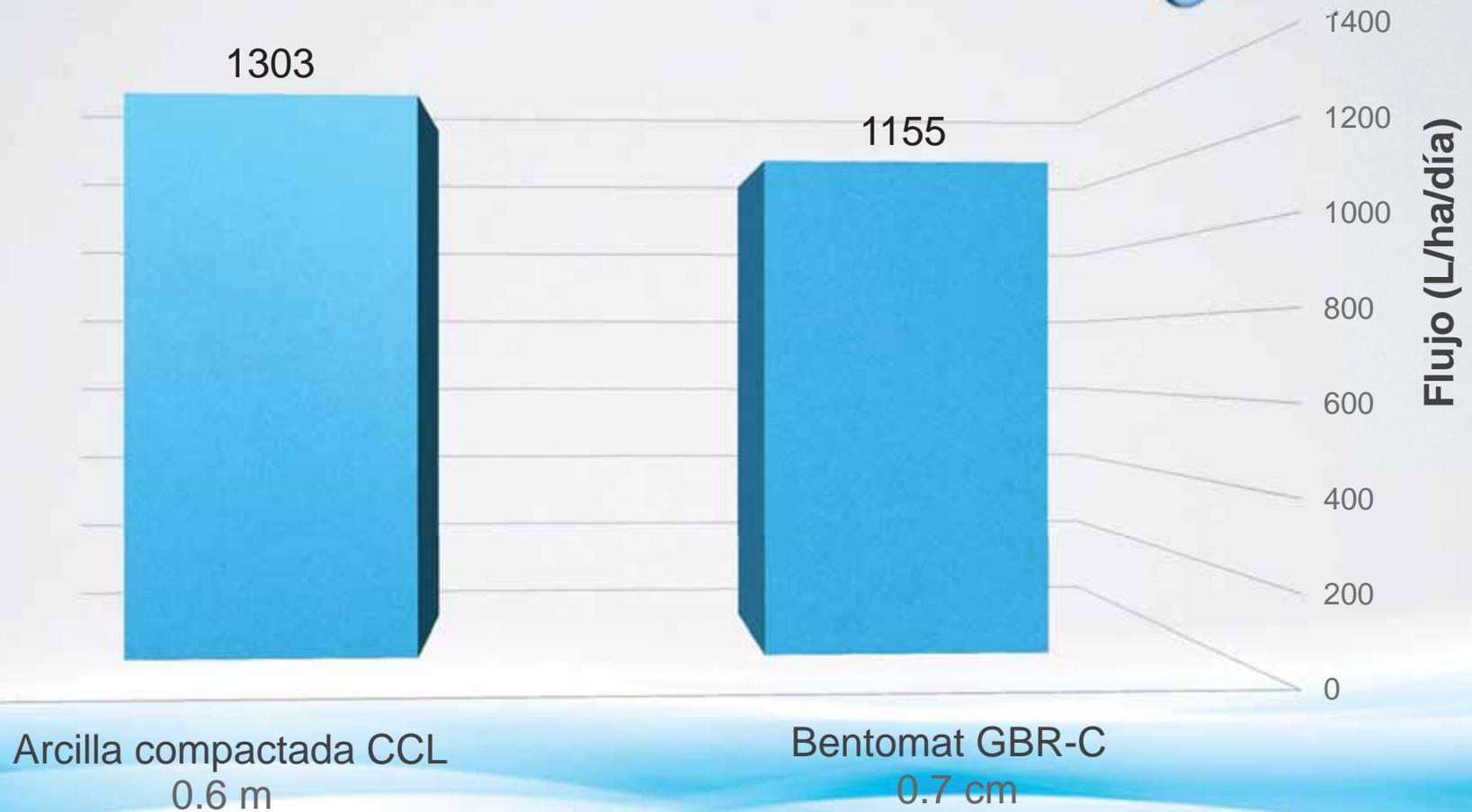
$K_{\text{GBR-C}} = 3 \times 10^{-11}$ m/s

$k_{\text{CCL}} = 1 \times 10^{-9}$ m/s

$$q = k \times i$$



■ Cantidad de Flujo (L/ha/día)



RENDIMIENTO HIDRÁULICO: IMPERMEABILIZACION DOBLE

Notas:

Asumimos 0.3 m
de carga hidráulica

$K_{\text{GBR-C}} = 3 \times 10^{-11}$ m/s

$k_{\text{CCL}} = 1 \times 10^{-9}$ m/s

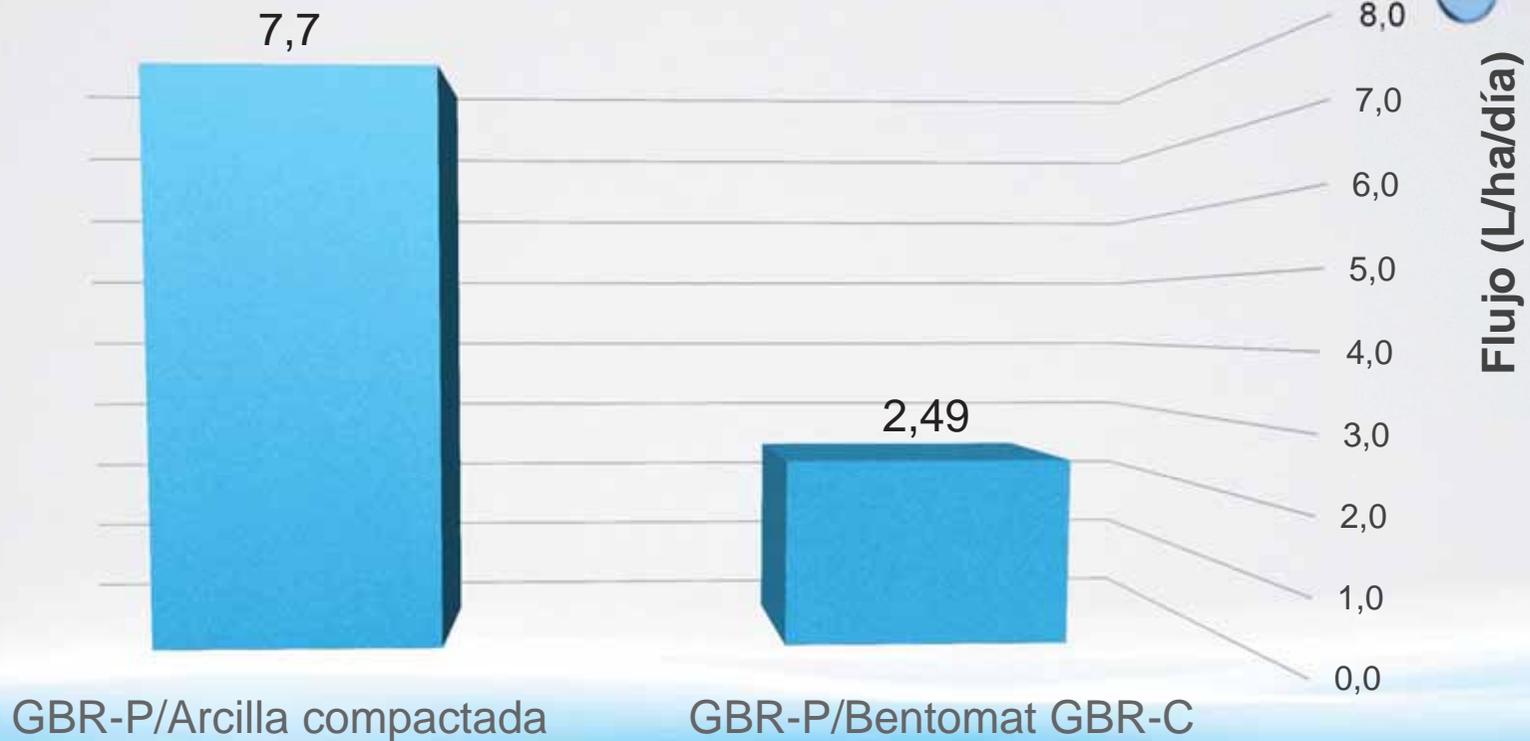
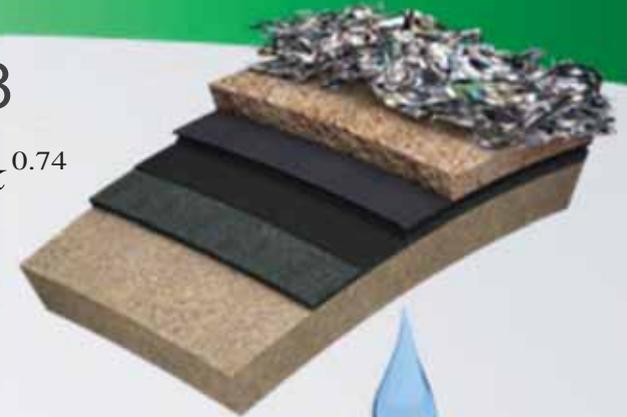
$C_{qo} = 1.15$

2.5 defectos por ha (1 cm²)

Giroud Ecuación, TR-258

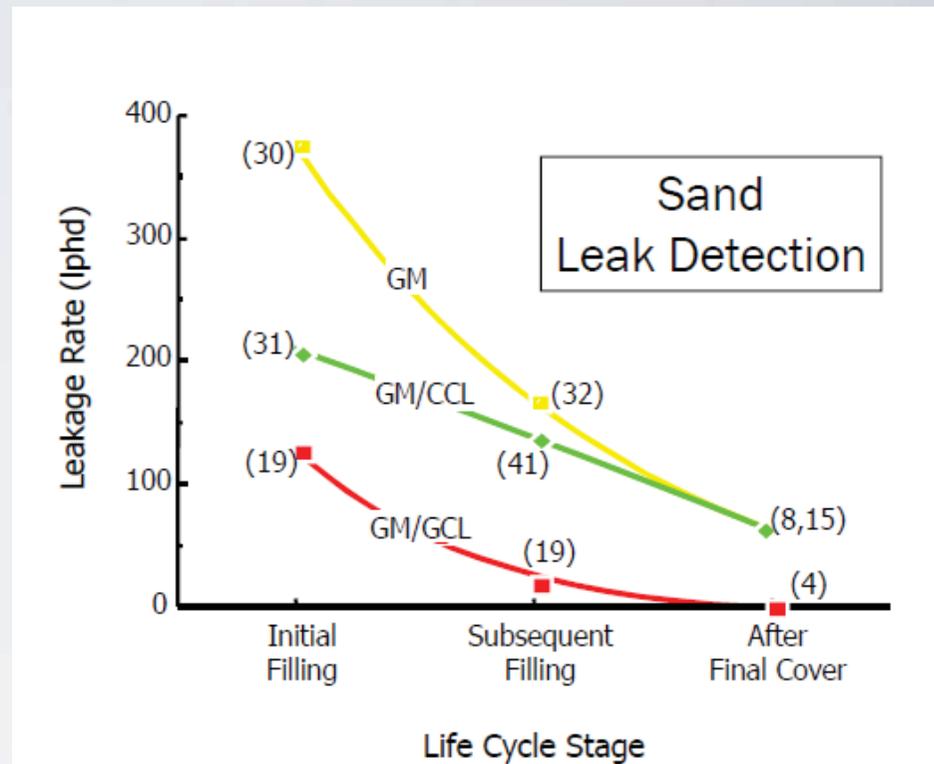
$$Q = C_{qo} \left(1 + 0.1 \cdot (h/t_s)^{0.95} \right) a^{0.1} \cdot h^{0.9} \cdot k^{0.74}$$

■ Cantidad de Flujo (Litros/ha/día)



COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO EN CAMPO

- Estudio encargado por la US EPA
- Dirigido por Bonaparte, Koerner, y Daniel in 1990's
- 287 celdas con doble impermeabilización monitorizadas durante 10 años



Fuente: Bonaparte, Daniel, and Koerner. (2002) Assessment and Recommendations for Optimal Performance of Waste Containment Systems, EPA/600/R-02/099. U. S. EPA, ORD, Cincinnati, OH, <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r02099/600R02099.pdf>, TR-316

CETCO



**QUE ES EL INTERCAMBIO
CATIÓNICO**

CONTAMINANTES A CONSIDERAR

Principales contaminantes a considerar:

- Cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+})
- Mezcla (agua-soluble) Solventes Organicos a altas (> 50%) concentraciones
- El impacto del contaminante en el GBR-C depende de diferentes consideraciones específicas del proyecto (i.e., impermeabilización vaso nuevo frente sellado de vertedero, GBR-C solo frente GBR-C con geomembrana GBR-P, etc).

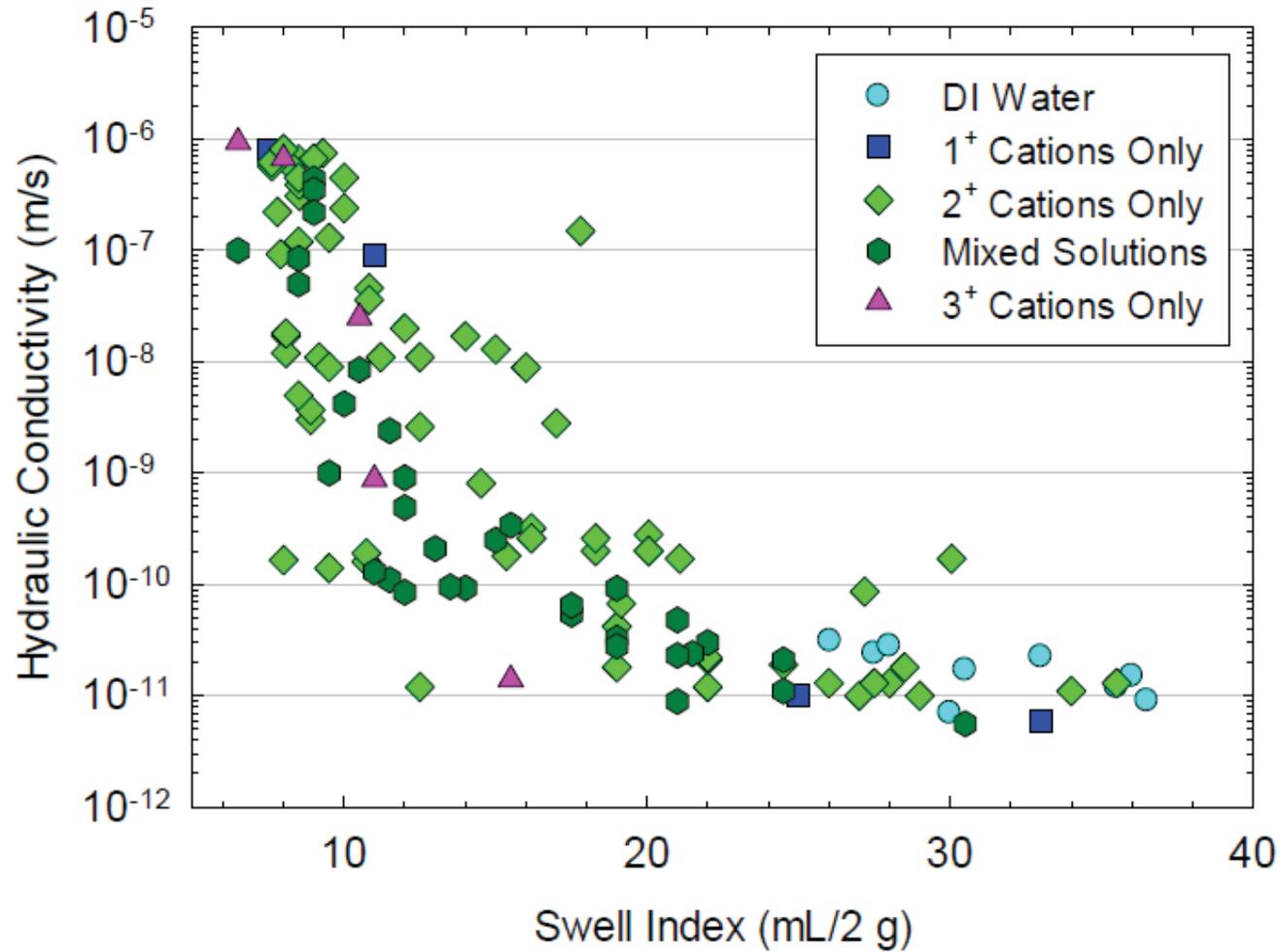
EVALUACION DE COMPATIBILIDAD QUÍMICA DEL GBR-C

- ASTM D6141

- Ensayo rápido y fácil para determinar la pérdida de fluido y el índice de hinchamiento
- Sirve como primera comprobación



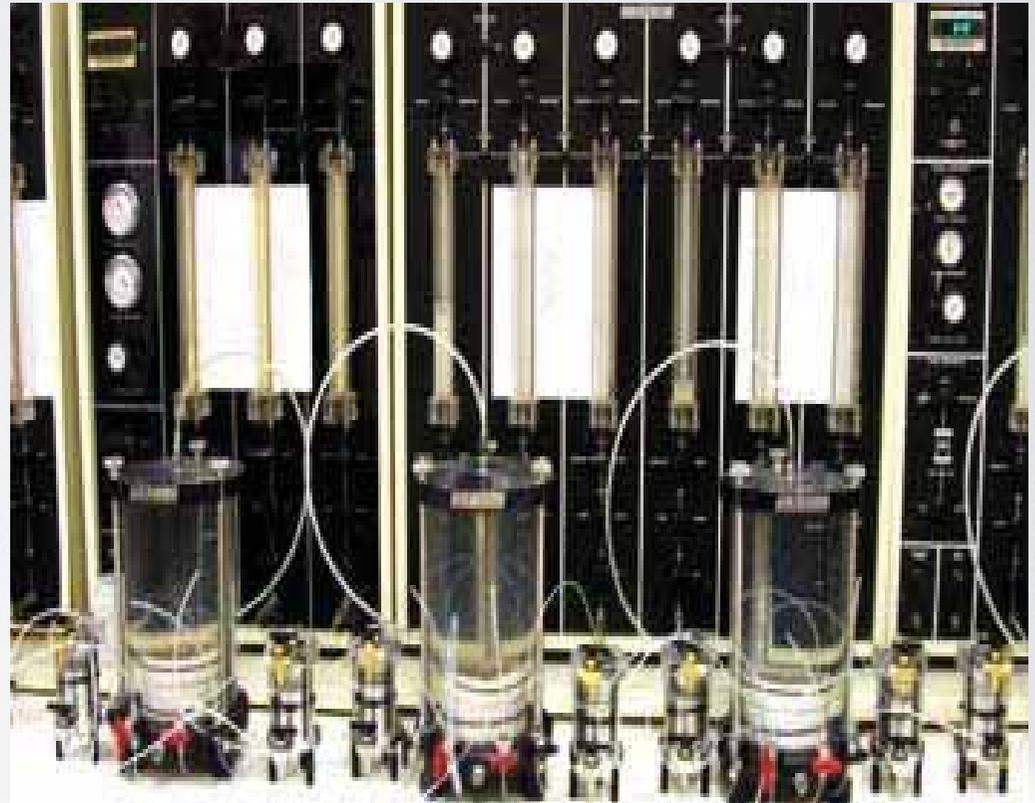
INDICE DE HINCHAMIENTO y K



Source: Scalia (2012), University of Wisconsin-Madison

EVALUACION DE COMPATIBILIDAD QUÍMICA DEL GBR-C

- ASTM D6766
 - Ensayo de larga duración con el GBR-C en contacto con el lixiviado procedente de obra.
 - Se debe ensayar hasta conseguir el equilibrio químico ($EC_{in} \sim EC_{out}$)
 - Duración mínima de 6 meses.



CETCO



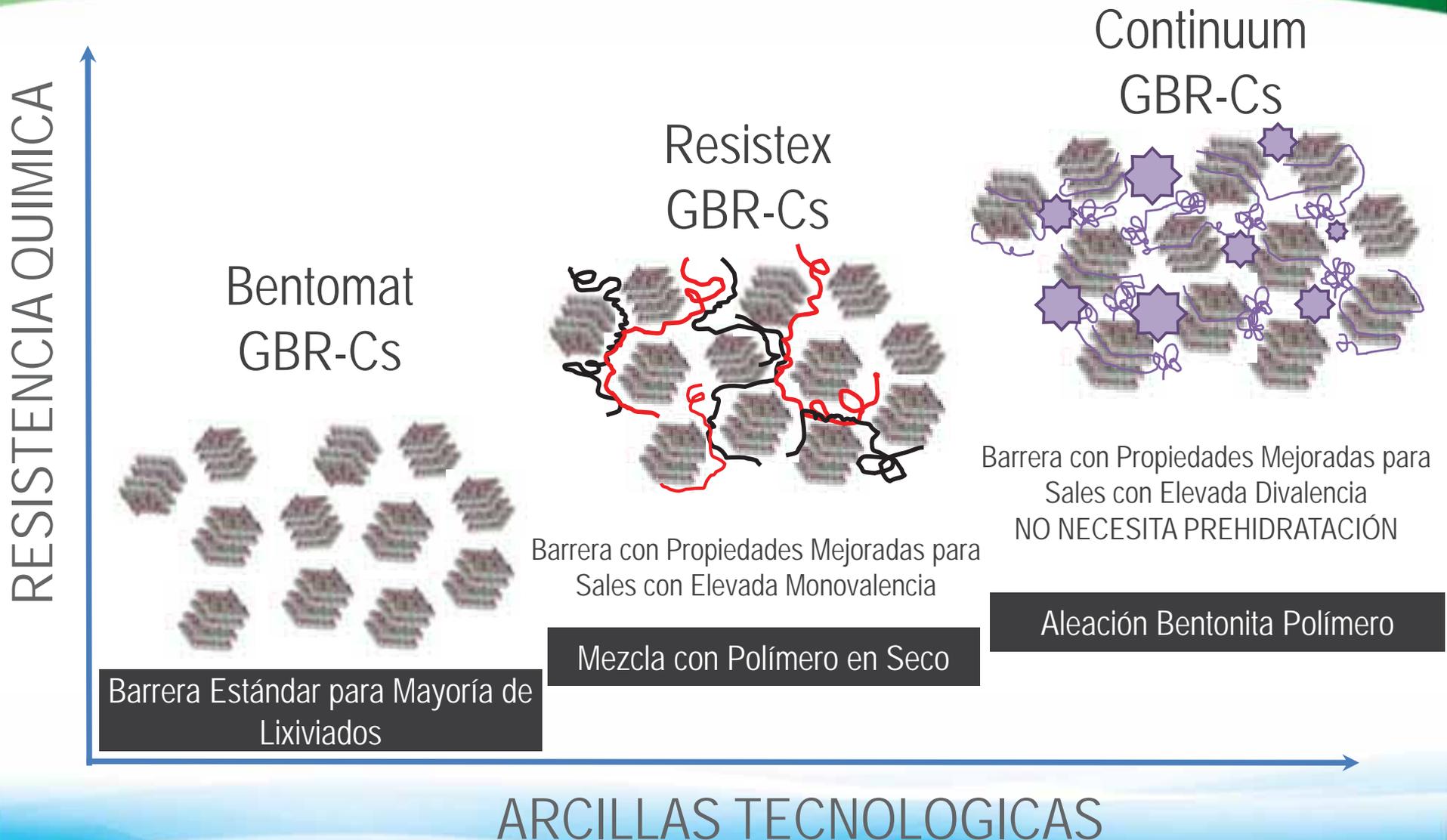
**INGENIERA TECNOLÓGICA APLICADA
EN ARCILLAS**

ALEACION BENTONITA POLIMERO (BPA)

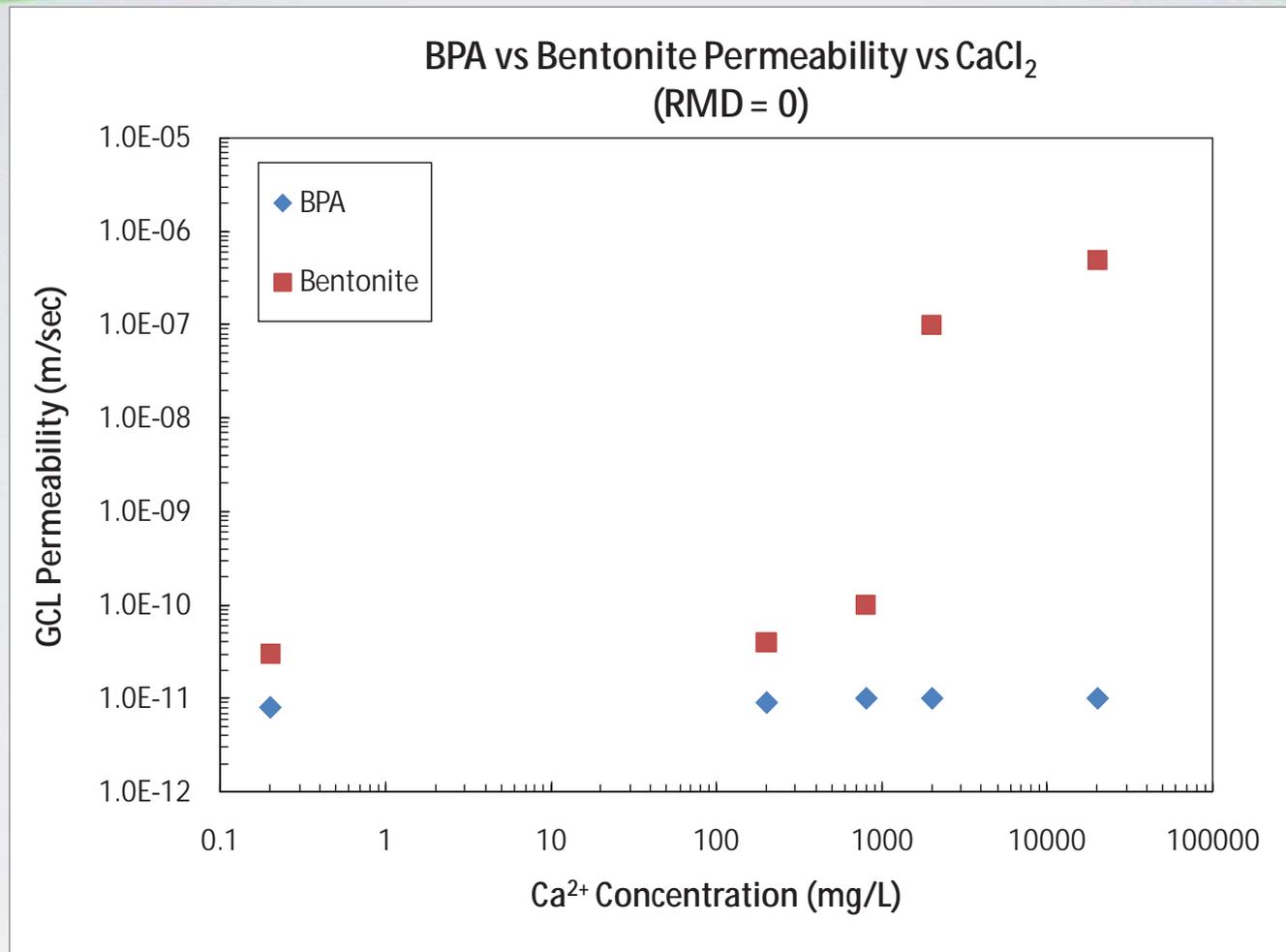
- Tecnología única CETCO
- En producción desde 2002



INGENIERA TECNOLOGICA APLICADA EN ARCILLAS



K FRENTE AL CLORURO DE CALCIO (CaCl₂)

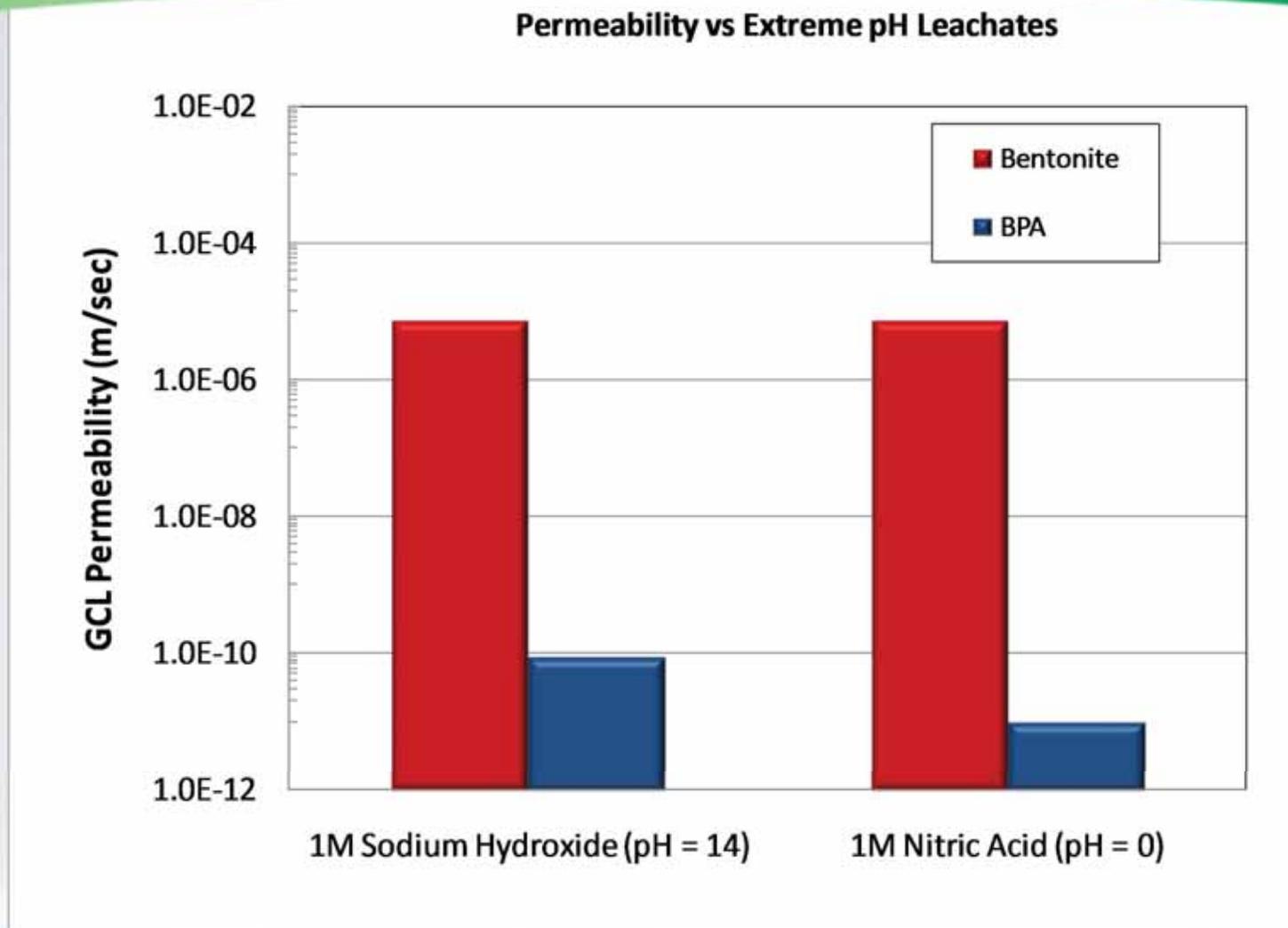


No requiere prehidratación

2 años de ensayo según ASTM D6766

Fuente: Scalia et al (2011), University of Wisconsin-Madison

PERMEABILIDAD K CON LIXIVIADOS EXTREMOS



Universidad de Wisconsin-Madison

2 años de resistencia química en condiciones extremas

CETCO



InterLoK™ GCL
Ultra-Low Permeability

RENDIMIENTO HIDRÁULICO: IMPERMEABILIZACIÓN SIMPLE

Notas:

Asumimos 0.3 m
de carga hidráulica

$K_{\text{GBR-C}} = 3 \times 10^{-11}$ m/s

$k_{\text{CCL}} = 1 \times 10^{-9}$ m/s

$k_{\text{InterLoK}} = 1 \times 10^{-11}$ m/s

$$q = k \times i$$



■ Cantidad de Flujo (L/ha/día)



RENDIMIENTO HIDRÁULICO: IMPERMEABILIZACIÓN DOBLE

Notas:

Asumimos 0.3 m
de carga hidráulica
 $K_{\text{GBR-C}} = 3 \times 10^{-11}$ m/s
 $k_{\text{CCL}} = 1 \times 10^{-9}$ m/s
 $k_{\text{InterLoK}} = 1 \times 10^{-11}$ m/s
 $C_{qo} = 1.15$
 2.5 defectos por ha (1 cm²)

Ecuación de Giroud, TR-258

$$Q = C_{qo} \left(1 + 0.1 \cdot (h/t_s)^{0.95} \right) a^{0.1} \cdot h^{0.9} \cdot k^{0.74}$$



■ Capacidad de Flujo (Litros/ha/día)



CETCO

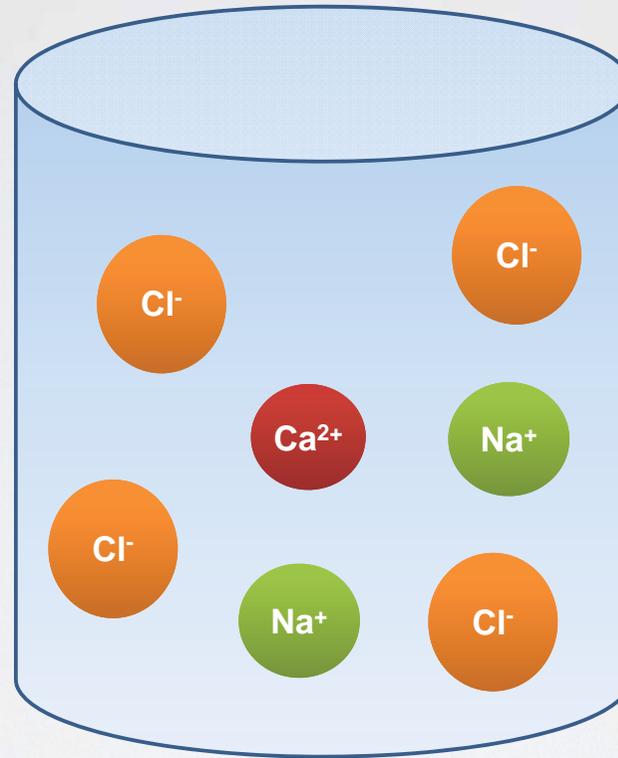


**PERMEABILIDAD A LARGO PLAZO
DEL GBR-C**

ESTIMACION DE LA PERMEABILIDAD A LARGO PLAZO (k)

- ...Si la composición química del lixiviado (Fuerza Iónica y RMD) es conocida
- Podemos determinar dicha composición mediante un simple análisis químico de los iones principales
- CETCO puede realizar estos análisis con una muestra de lixiviado

FUERZA IONICA = I



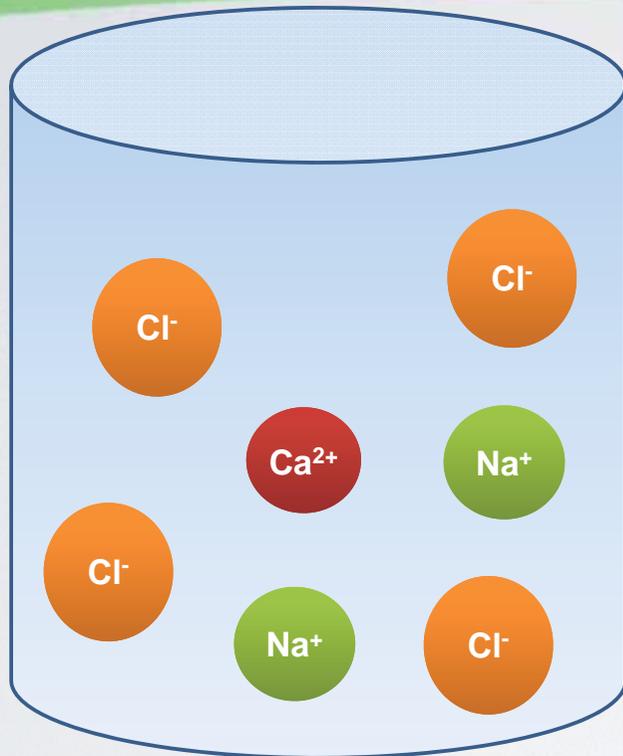
Donde:

c = concentración de ion

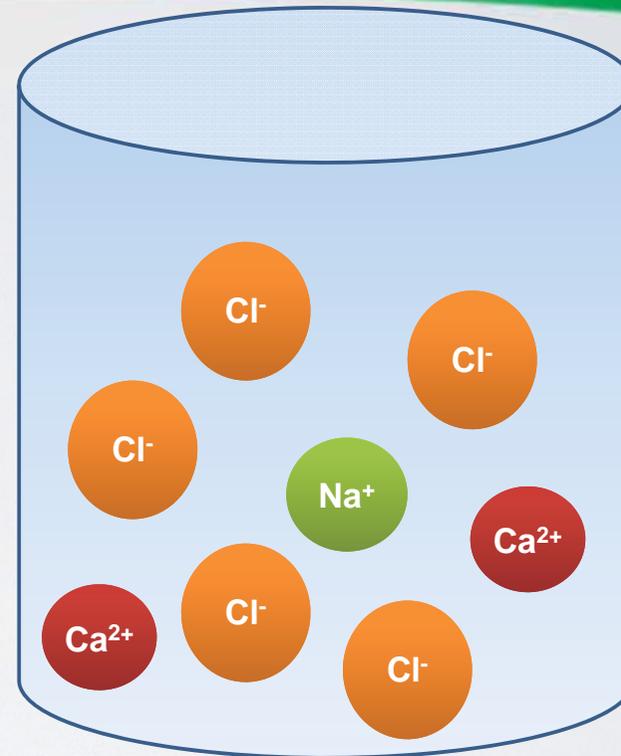
z = carga de ion

$$I = \frac{1}{2} \sum_i c_i \times z_i^2$$

RMD, RATIO ENTRE CATIONES MONOVALENTES Y DIVALENTES



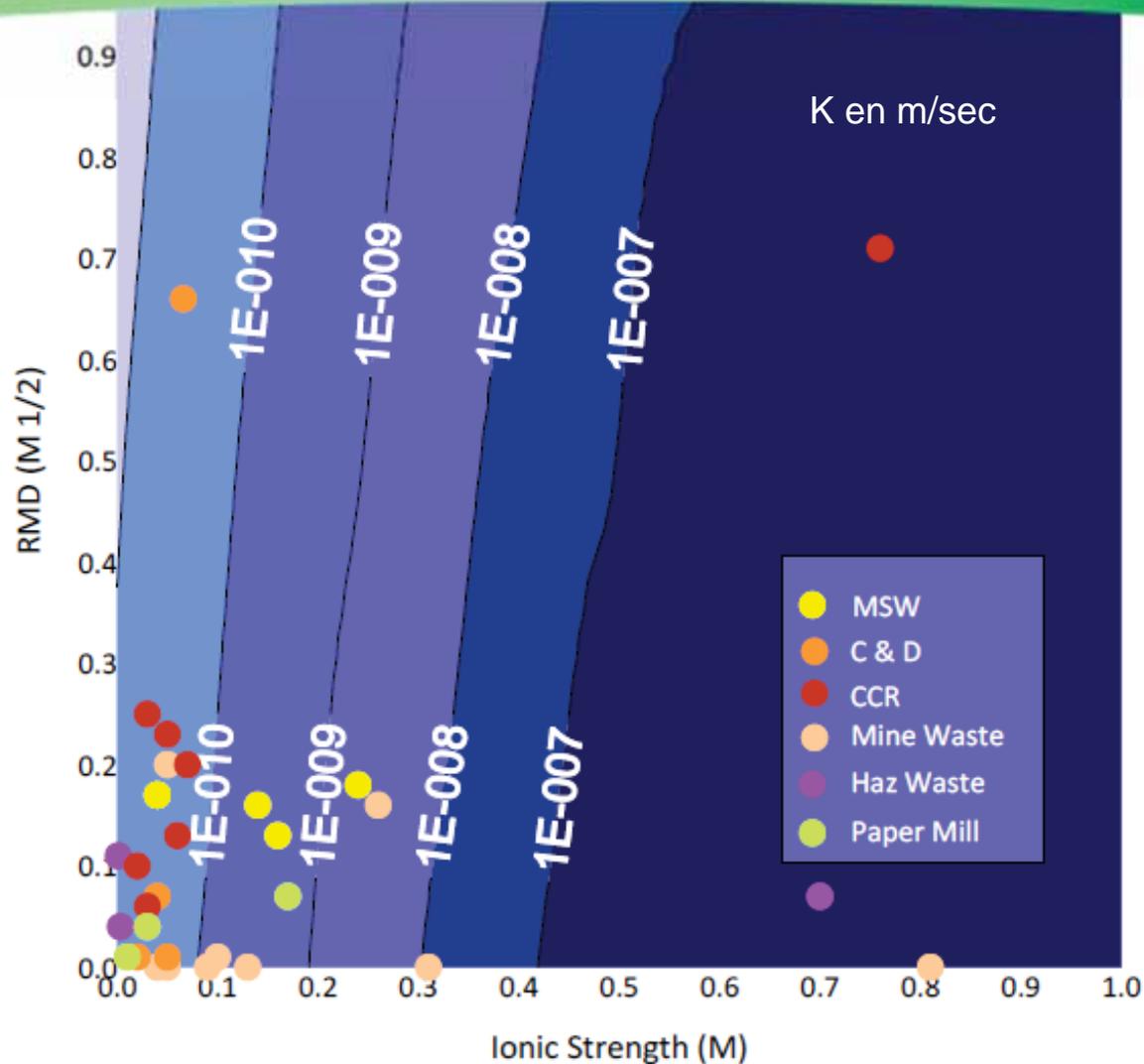
Alto RMD



Bajo RMD

$$RMD = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}]}}$$

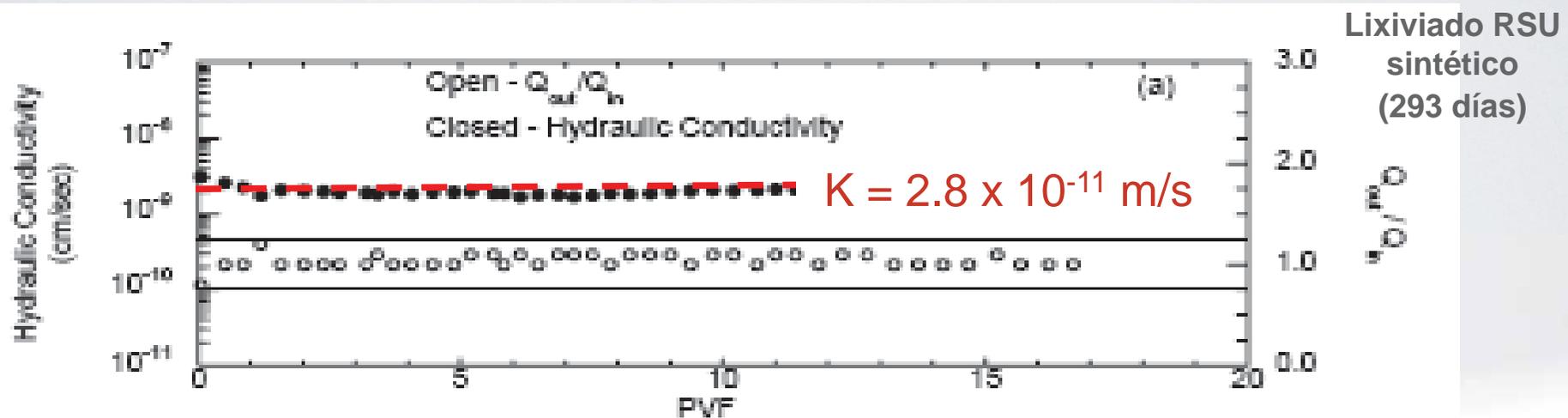
LIXIVIADOS FRENTE A PERMEABILIDAD (K)



Fuente: Kolstad, Benson, and Edil. (2004). Hydraulic conductivity and swell of non-prehydrated geosynthetic clay liners permeated with multispecies inorganic solutions. *J. Geotech. and Geoenvironmental Eng.* vol. 130, No. 12. TR-254.

COMPATIBILIDAD A LARGO PLAZO CON LIXIVIADO DE R.S.U.

- Permeabilidad ensayada por la Universidad de Wisconsin, muestra los valores de equilibrio a largo plazo (>2-3 years):
 - 2×10^{-11} to 1×10^{-10} m/s con lixiviados “típicos”
 - 2×10^{-11} to 7×10^{-11} m/s con lixiviados “fuertes”



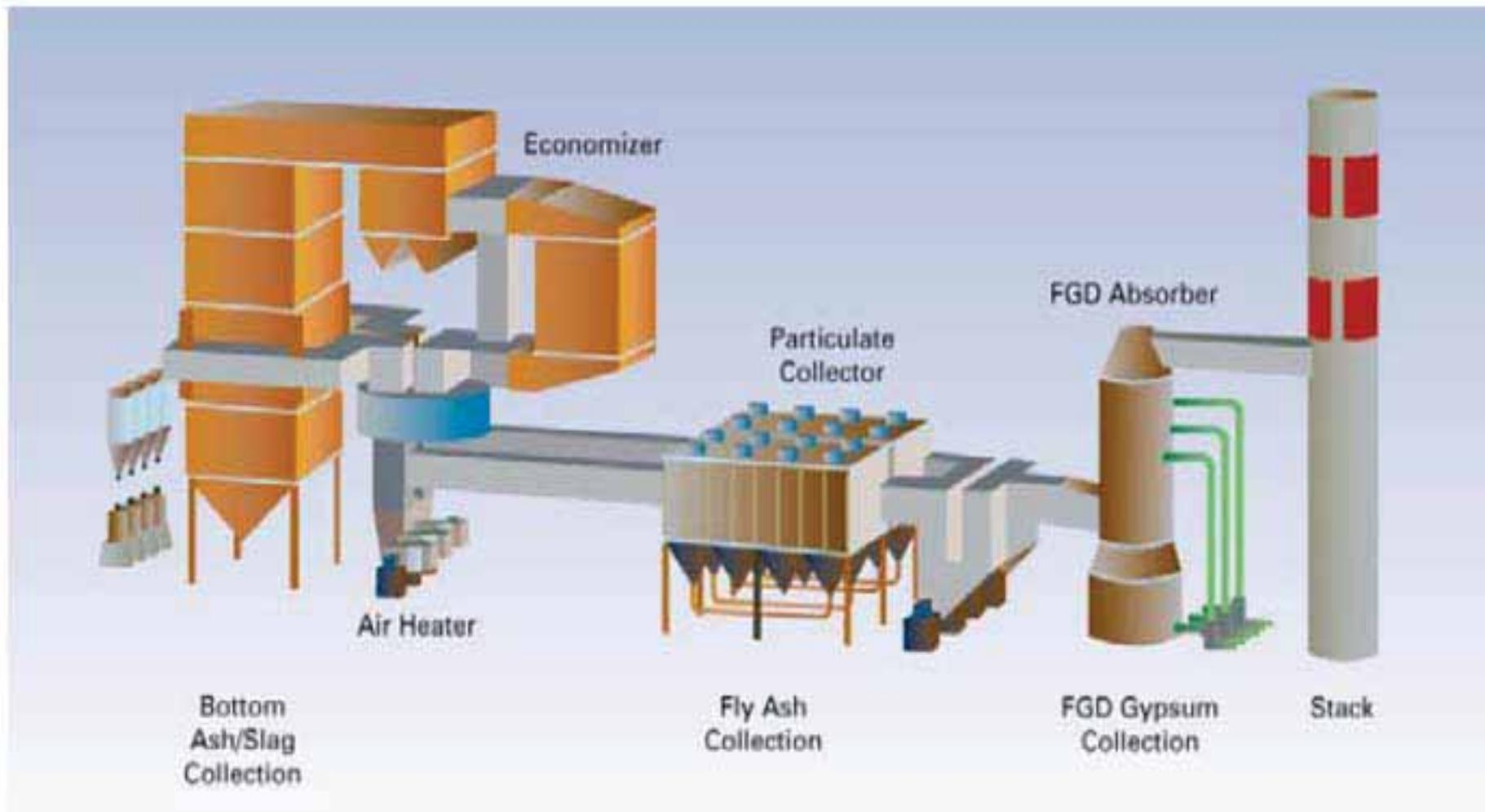
Fuente: Bradshaw (2008). Effect of Cation Exchange During Subgrade Hydration and Leachate Permeation on the Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners. Master's Thesis. University of Wisconsin-Madison.

CETCO



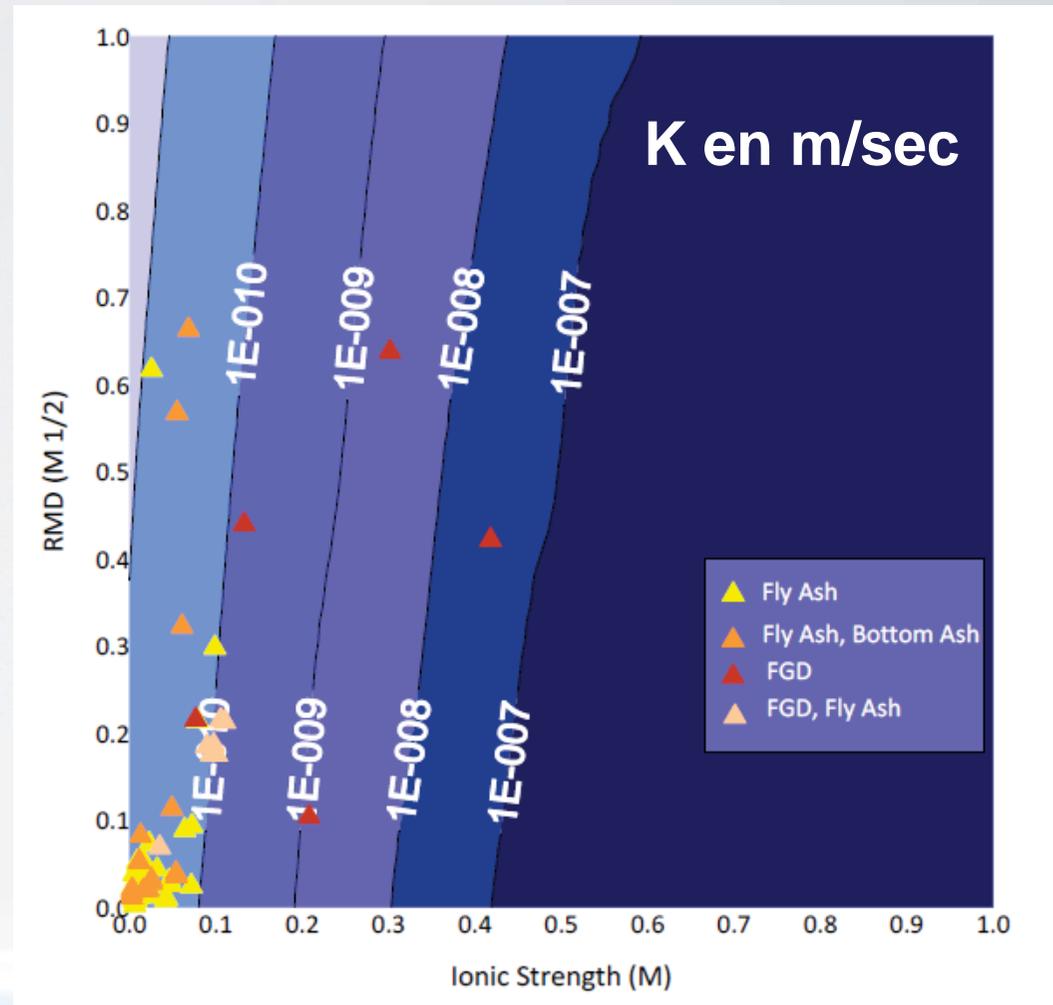
**APLICACIONES EN VERTEDEROS DE
CENIZAS DE CENTRALES TERMICAS**

GRANDES VOLUMENES DE RESIDUO PROCEDENTES DE CENTRALES TERMICAS



DATOS DEL LIXIVIADO SEGUN EL INSTITUTO DE INVESTIGACION DE ENERGÍA ELECTRICA (EPRI)

- Cenizas ligeras (Fly Ash), Cenizas pesadas (Bottom Ash), Caldera de escoria (y mezcla combinada con el equipo de desulfuración FGD) predice una K entre 1×10^{-11} and 1×10^{-9} m/s
- Lixiviado seleccionado de solo depósitos en FGD predice una $K > 1 \times 10^{-9}$ m/s



CETCO

RENDIMIENTO ARCILLAS TECNOLOGICAS

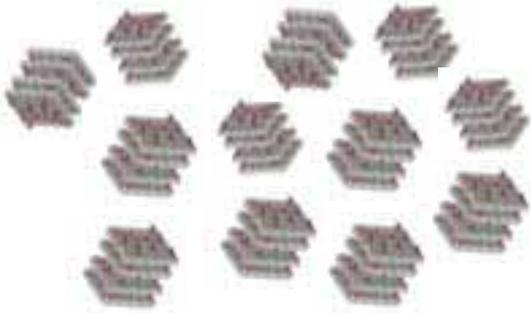


INGENIERA TECNOLÓGICA APLICADA EN ARCILLAS

RESISTENCIA QUÍMICA

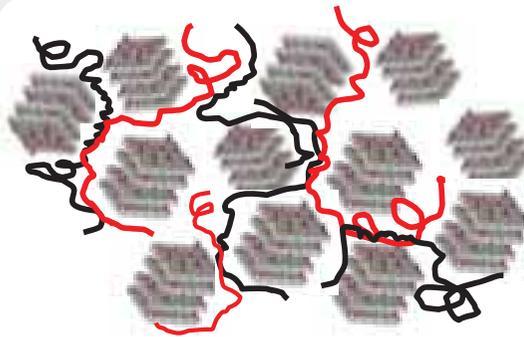


Bentomat
GBR-Cs



Barrera Estándar para Mayoría de Lixiviados

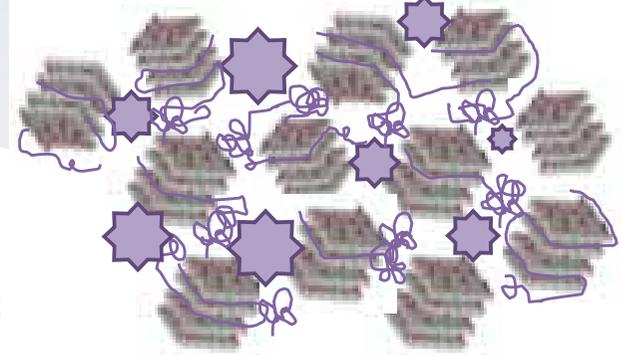
Resistex
GBR-Cs



Barrera con Propiedades Mejoradas para Sales con Elevada Monovalencia

Mezcla con Polímero en Seco

Continuum
GBR-Cs



Barrera con Propiedades Mejoradas para Sales con Elevada Divalencia
NO NECESITA PREHIDRATACIÓN

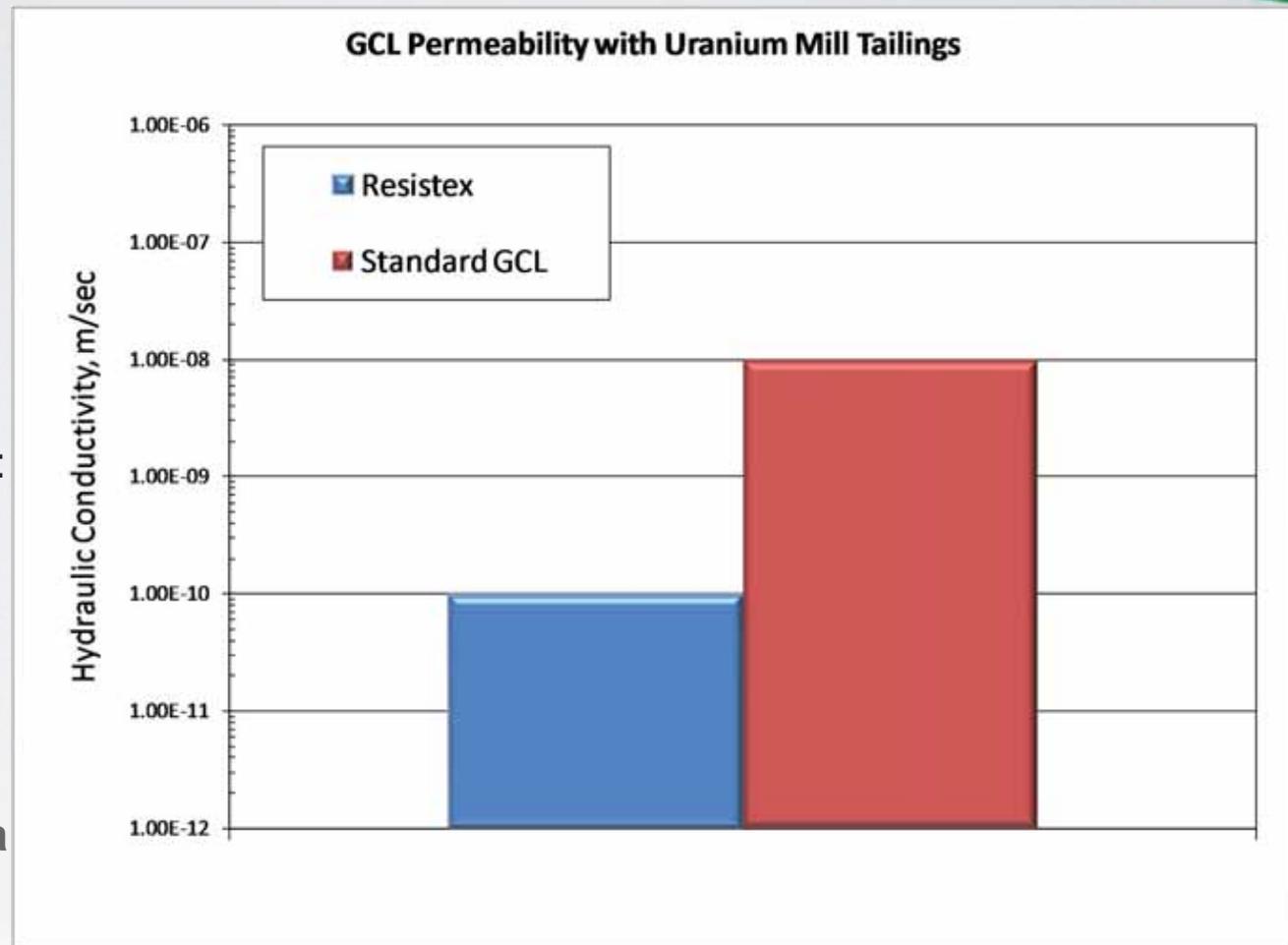
Aleación Bentonita Polímero

ARCILLAS TECNOLÓGICAS



RESISTEX: RESULTADOS DE COMPATIBILIDAD

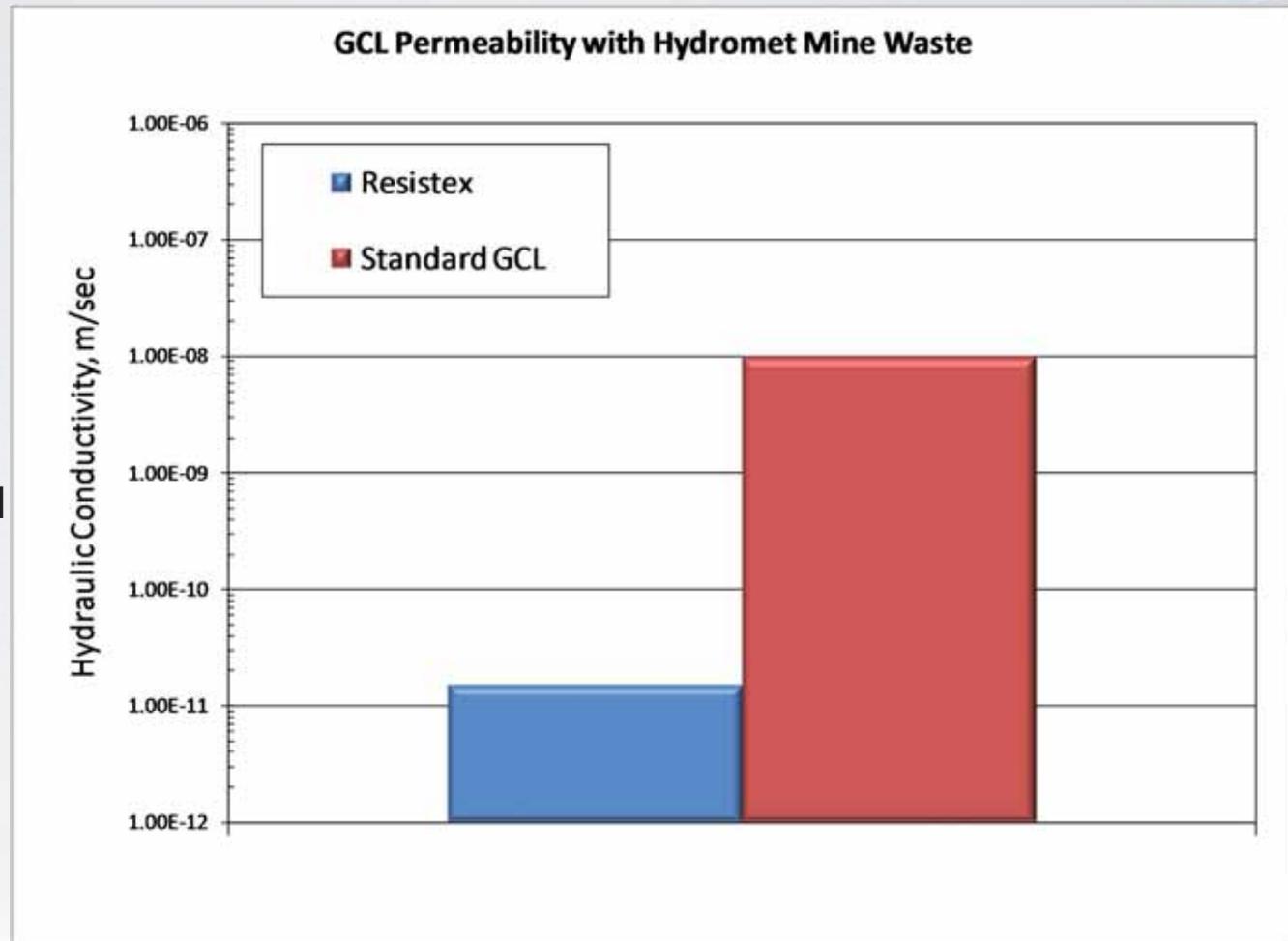
- Sodio: 850 mg/L
- Hierro: 3800 mg/L
- Sulfato: 26000 mg/L
- Amonio: 5000 mg/L
- pH: 1.9
- Conductividad Eléctrica: 30.4 mS/cm
- Fuerza Iónica = 1.0 M
- RMD = 1.2 M^{1/2}
- $K = 1 \times 10^{-10}$ m/s
- Prehidratada con agua
- Duración Test: 1 año



RESISTEX: RESULTADOS DE COMPATIBILIDAD

- Calcio: 2300 mg/L
- Magnesio: 2000 mg/L
- Sodio: 300 mg/L
- Cloro: 4000 mg/L
- Sulfato: 9000 mg/L

- Fuerza Iónica = 0.55 M
- RMD = 0.05 M^{1/2}
- $K = 1.5 \times 10^{-11}$ m/s
- Duración Test: 1 año



DESAFIANDO LIXIVIADOS PROCEDENTES DE CENTRALES TERMICAS

EXCEDIENDO LOS LIMITES DE BENTOMAT GBR-C & RESISTEX GBR-C

Alta Fuerza Iónica, Alto RMD

Análisis Químico

$\text{Ca}^{2+} = 1,580 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 1,760 \text{ mg/L}$

$\text{Na}^+ = 12,500 \text{ mg/L}$

$\text{Cl}^- = 22,000 \text{ mg/L}$

$\text{SO}_4^{2-} = 16,000 \text{ mg/L}$

$\text{TDS} = 68,000 \text{ mg/L}$

$I = 1.04 \text{ M}$

$\text{RMD} = 1.7 \text{ M}^{1/2}$

Fuente de lixiviado:
Vertedero Central Térmica en
Southeast, US

Alta Mg/Ca, Baja RMD

Análisis Químico

$\text{Ca}^{2+} = 700 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 1,300 \text{ mg/L}$

$\text{Na}^+ = 1,780 \text{ mg/L}$

$\text{Cl}^- = 500 \text{ mg/L}$

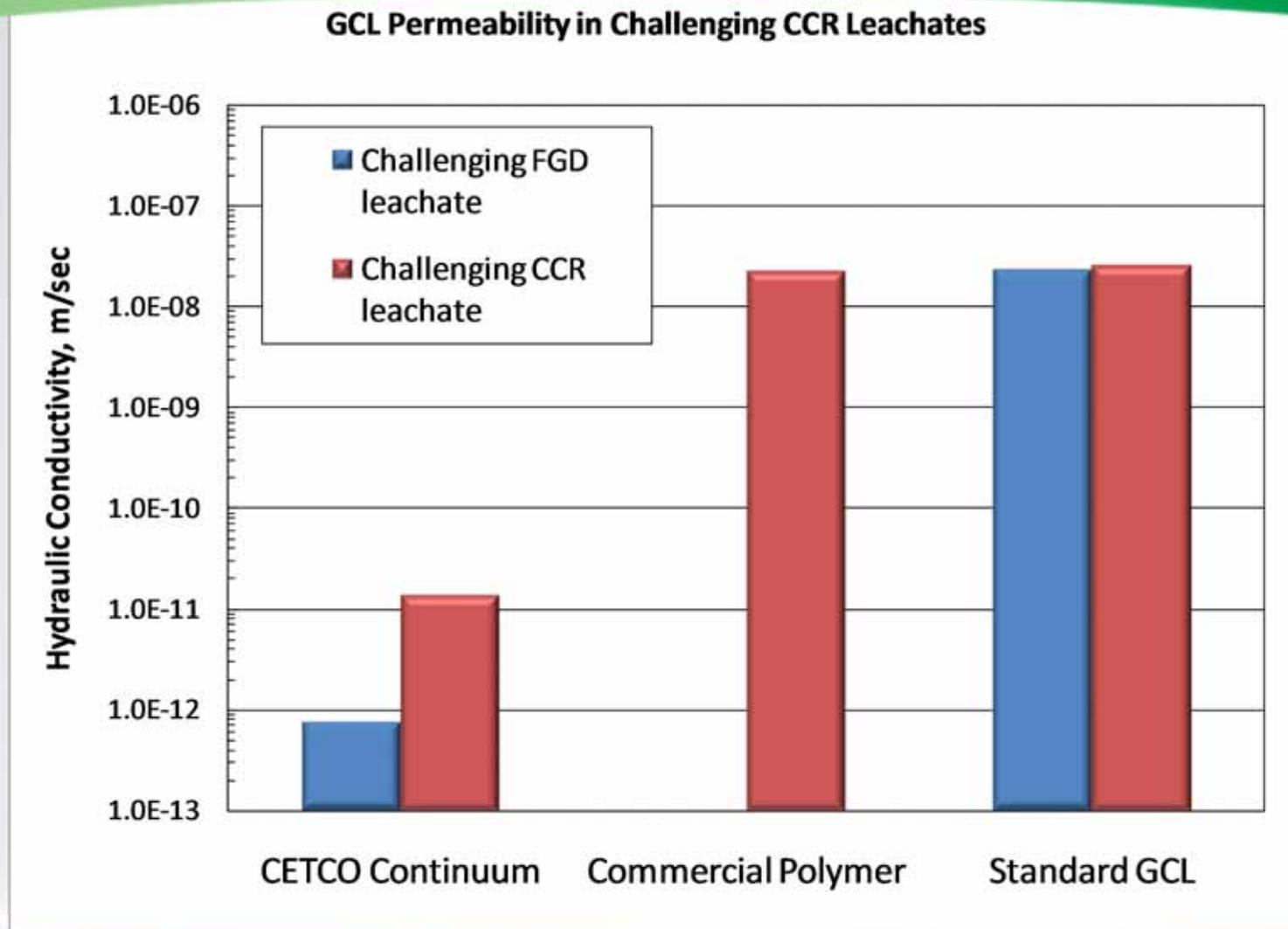
$\text{SO}_4^{2-} = 10,000 \text{ mg/L}$

$I = 0.39 \text{ M}$

$\text{RMD} = 0.31 \text{ M}^{1/2}$

Fuente de lixiviado:
Lixiviado del Equipo de
Desulfuración FGD, EPRI (2006)
base de datos

COMPARATIVA PERMEABILIDAD LIXIVIADO CENTRAL TERMICA



*Test en proceso – Sin prehidratación

RESULTADOS PERMEABILIDAD LIXIVIADO CENTRAL TERMICA

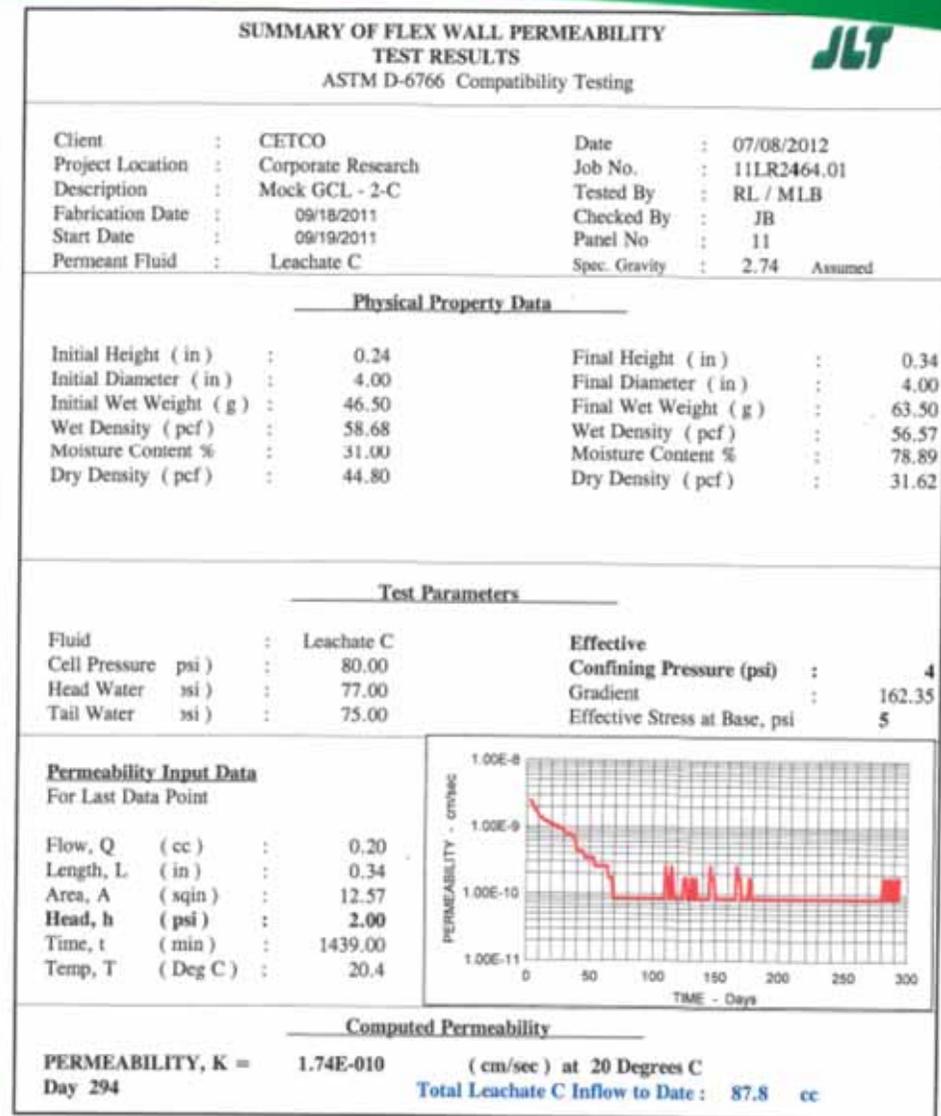
Test Continuum GBR-C

$$k = 2 \times 10^{-12} \text{ m/s}$$

(9 meses)

Alta Fuerza Iónica, Alto RMD lixiviado C.Térmica

Sin Prehidratación



CONCLUSIONES

- Determinar el producto correcto en función del lixiviado
- >1600 Obras ensayadas según el lixiviado desde hace 10 años
- Conocimiento de la composición química del lixiviado nos permite elegir el producto idóneo



CETCO

Gracias por su atención

