

HECHOS EN **concreto**

Organizan:

CEMENTO
ALION
© 2015 corona



CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUEÑA

Entonces, ¿permeabilidad o conductividad hidráulica del concreto?

Por

Juan Fernando Arango-L, PhD

Jefe de Soporte Técnico

Empresa Colombiana de Cementos

Organizan:



CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUIA

Contenido

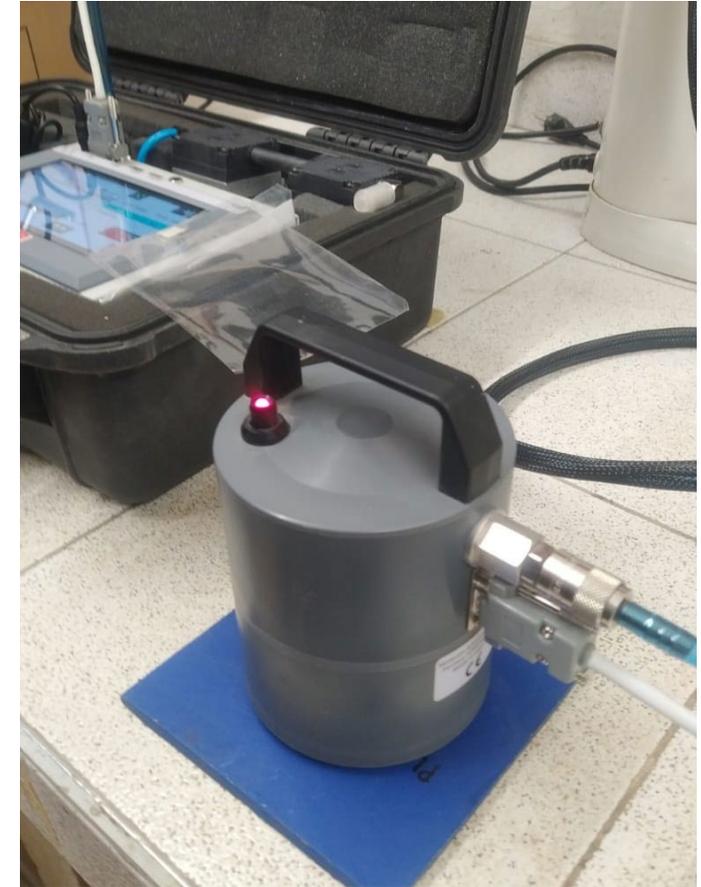
- Introducción
- La sorcibilidad
- La permeabilidad
- Diseños prescriptivos y por desempeño verificado
- Conclusiones

Permeabilidad

- La **permeabilidad** es un término genérico. Formalmente, la permeabilidad es la característica o habilidad que tiene material para **permitir el paso de otra sustancia**, sin que se modifique su estructura, y bajo unas condiciones dadas.
- “Impermeable”, es su antónimo, y bajo iguales condiciones.

No es una propiedad intrínseca de un material:

- Depende, de la conectividad y del tamaño de los poros y capilares **del material**, y el contenido de sustancia que pasa en un momento dado.
- Pero también depende de otros factores como: las **características del fluido** (la densidad y viscosidad), la presión, la temperatura y sus combinaciones.
- Para describir la permeabilidad se deberían **enunciar el material, la sustancia que lo atraviesa y las condiciones.**



Equipo para medir permeabilidad al aire
Cortesía: Universidad Nacional de
Colombia- Bogotá

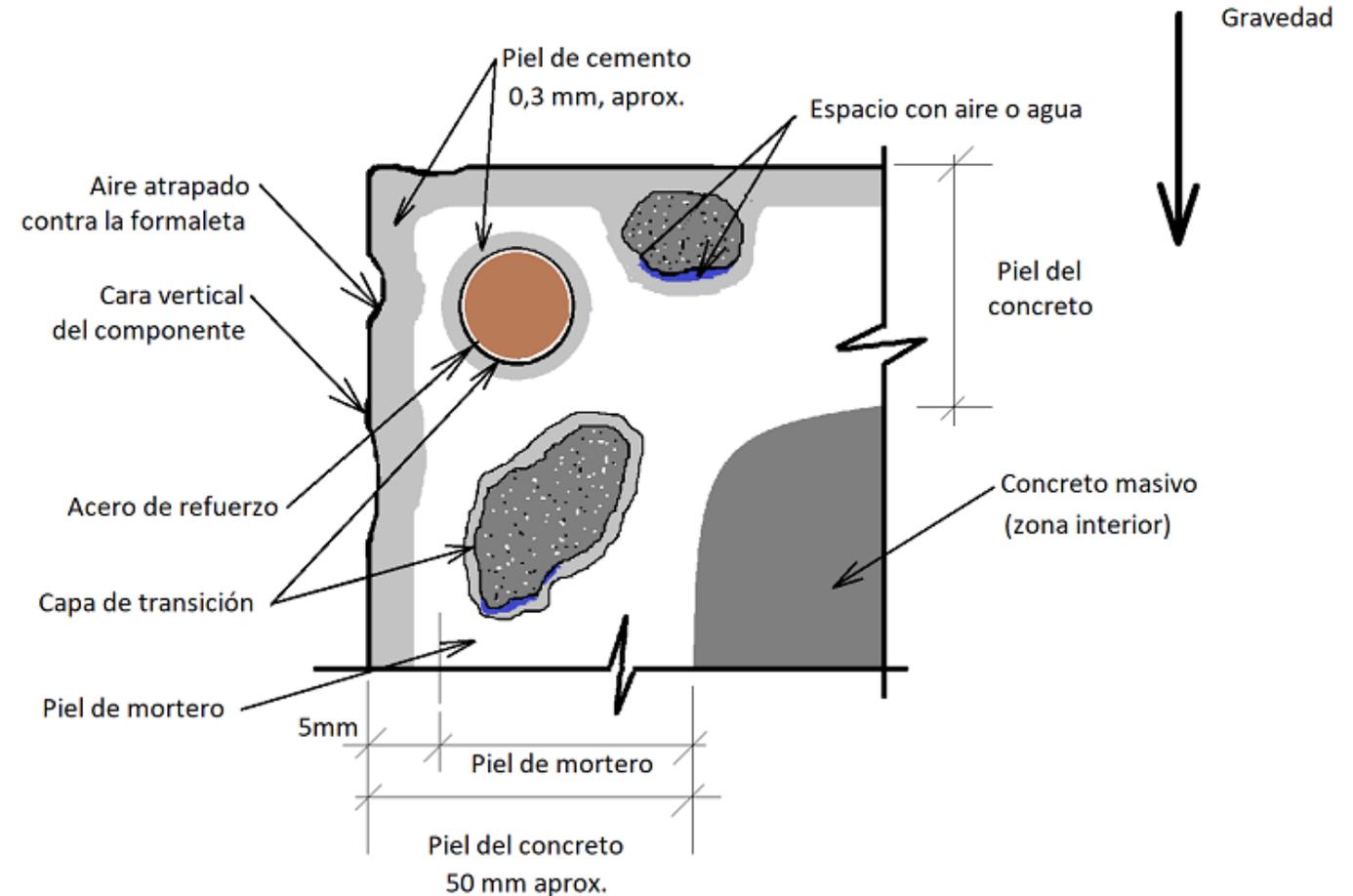
Permeabilidad



- Así, la **permeabilidad al agua** es la habilidad que tiene un componente de obra o un material, poroso, o con grietas, para permitir el paso de **agua líquida o vapor**.
- En general, una alta permeabilidad se refiere a que el material permite el paso de una mayor cantidad de agua.
- La permeabilidad al agua en el concreto suele ser el resultado de la **superposición de los varios mecanismos de transporte**, como pueden ser el flujo a superficie libre y a presión, la sorción, capilaridad, condensación, y difusión.
- Hay varias formas de evaluar la permeabilidad al agua:
 - **Sorcibilidad**, orientada a evaluarla en la superficie y primeros centímetros de espesor.
 - **Conductividad hidráulica**, todo el espesor del componente, o al menos una parte que sea representativa.

La sorción

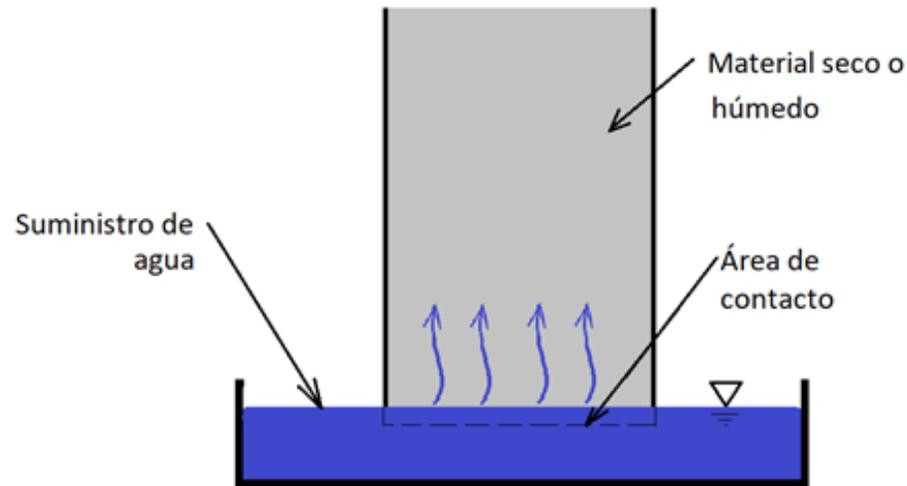
- El concreto colocado en la obra no es isotrópico en relación con la permeabilidad.
- A nivel **macro y meso**, el concreto tiene “pieles” y “zonas”, especialmente cerca de la superficie del componente.
- Las diferencias de permeabilidad son la consecuencia de una segregación localizada que se extiende, incluso, en el nivel **micro**.
- En **concreto reforzado**, las pieles externas coinciden con el recubrimiento sobre el acero de refuerzo.
- La sorción de agua es de interés para la **durabilidad**, especialmente en la corrosión del acero de refuerzo, la carbonatación, entre otros.



Modificado a partir de (Kreijger, 1990)

La sorción

Es un proceso mediante el cual una sustancia, el **sorbato**, es **absorbido y adsorbido** por un material, al que se le denomina **absorbente**. Su antónimo es la desorción.



La sorción se produce por la combinación de varios fenómenos físicos y químicos en el material:

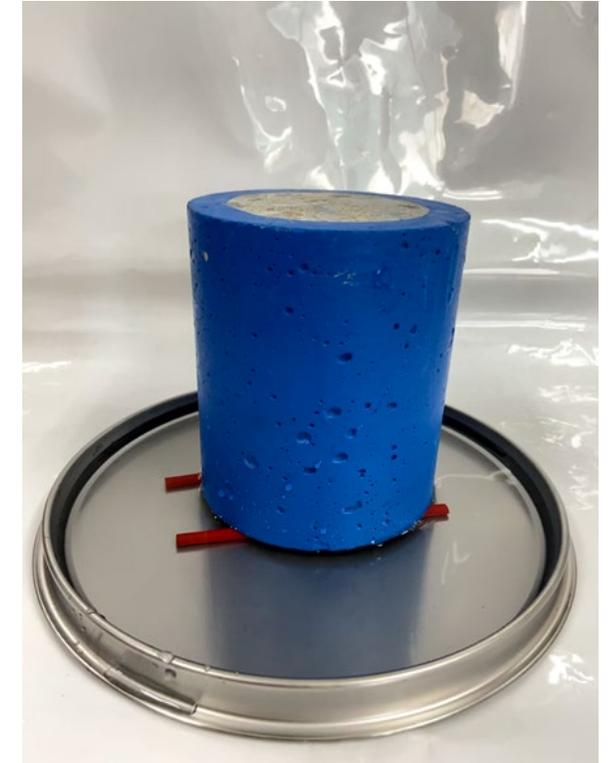
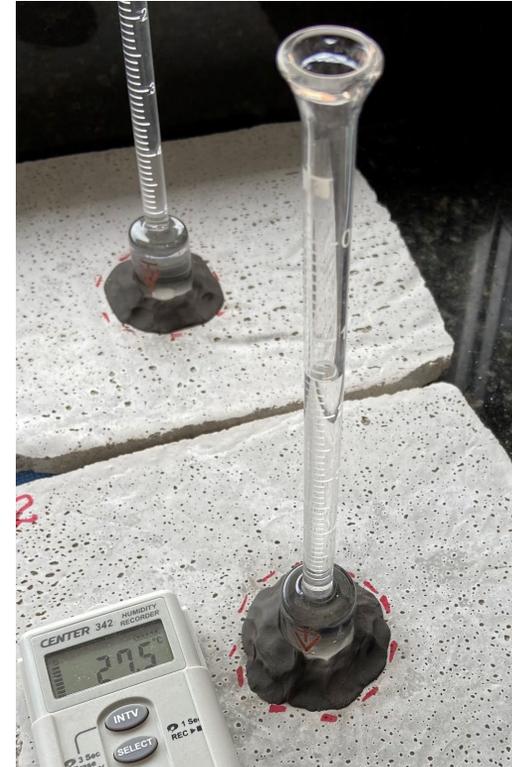
- La absorción –capacidad de incorporar agua
- La adsorción de agua – adherida por fuerzas de Van de Waals
- La capilaridad – fuerzas que no están en equilibrio
- El intercambio de iones - fenómenos de cargas
- La viscosidad y densidad del líquido –fenómenos de flujo
- La estructura interna del absorbente y cómo se conecta con la superficie: porosidad, la presencia de fisuras y la compacidad, entre otros.
- Las características de la zona de transición de fases (ITZ).

Debido a que intervienen **tantos fenómenos**, en la actualidad las características de **la sorción y desorción de un material se hacen de manera experimental**.

Figura tomada de: Arango-L, J.F. Patología de la Construcción: lesiones generales. En edición

La sorcibilidad

- Hay muchos tipos de ensayos, que sirven en campo y laboratorio.
- Ventaja: todos suelen ser de baja complejidad y costo.
- La humedad inicial del material influye mucho en el resultado. Por eso se debe asegurar que se inicie desde una condición conocida y controlada.
- **Recomendación:** iniciarla en estado seco y que la humedad esté distribuida de manera uniforme en todo el material.
- Hay **varios métodos:** el ISAT, el tubo Karsten y el método de la **ASTM C1585 para la sorcibilidad.**
- En todos los casos, la sorción depende del tiempo de exposición al agua: en la medida que los poros se van llenando, disminuye la velocidad de ingreso.



Sorcibilidad por la norma ASTM C1585

- Método para medir la sorción, que denotan como “I”, en unidades de (mm³/mm²). Es el volumen sorbido por área expuesta y a veces se expresa simplemente como (mm).
- Los datos obtenidos se grafican usando eje X en unidades de tiempo^{0,5}, y el eje Y en mm para el valor de I.
- Se buscan las dos rectas que mejor se ajustan a los puntos. Su pendiente es la velocidad de sorción (sorcibilidad), Ks. Inicial y tardía.
 - Para humectación y secado rápido, sorción inicial
 - Para contacto prolongado con el agua, sorción inicial más la tardía.

La sorcibilidad varía en función del contenido de cemento (pasta), el uso de *fillers*; la cantidad de arena y agregados y su gradación.

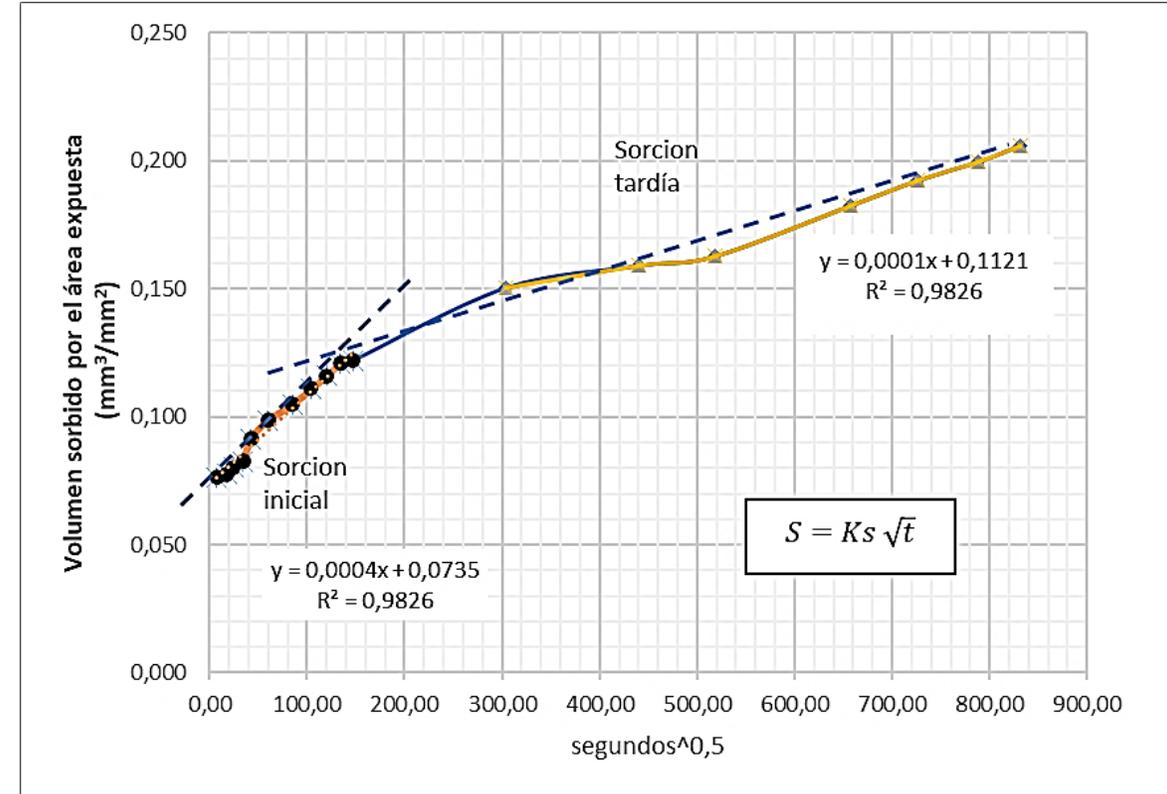


Figura tomada de: Arango-L, J.F. Patología de la Construcción: lesiones generales. En edición

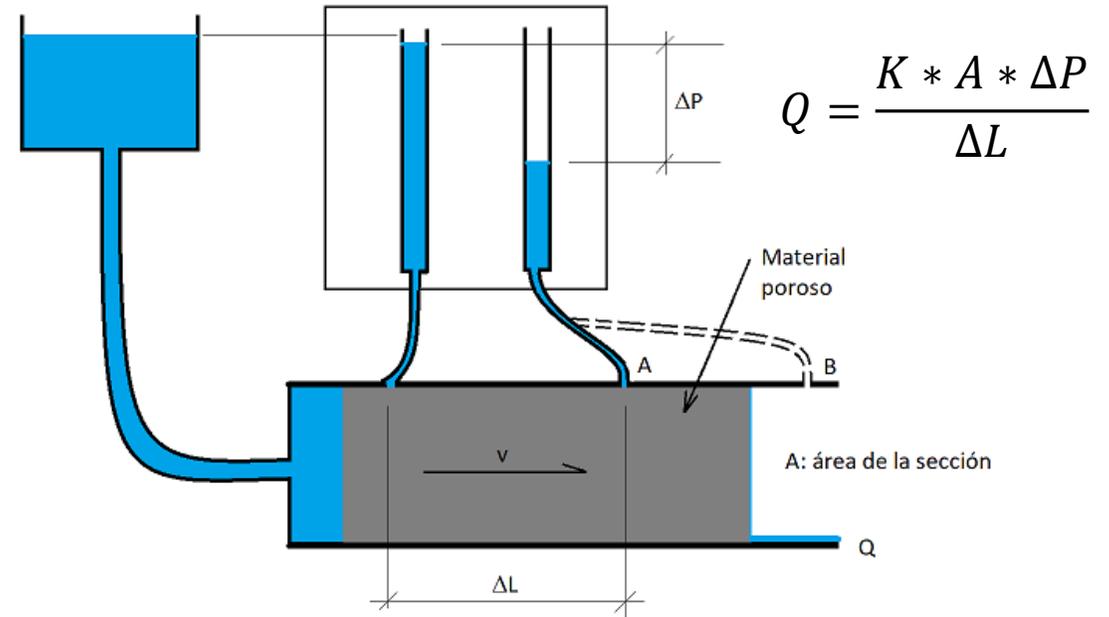
Aplicación de la sorcibilidad

- Se han realizado muchos estudios para conocer la relación entre la sorcibilidad y la durabilidad, y tratar de determinar sus valores apropiados.
- Se ha encontrado que los factores críticos para disminuirla son bajar la **relación A/mc**, el **tiempo de curado**, el **tipo de cemento**, y la **temperatura** (Hanumanthu, K; y Sarkar, K, 2022)
- La sorcibilidad se ha propuesto como una medida de la calidad de la colocación del concreto en la obra y del proceso de curado.
- Pero la sorcibilidad también guarda relación con el ensuciamiento, presencia de humedades, proliferación de organismos, entre otros. **Condiciones de utilización.**
- El estudio de las relaciones entre la sorcibilidad y la durabilidad es un **campo interesante para la investigación en el concreto y el mortero.**



La conductividad hidráulica

- Un fenómeno a nivel **macro**
- Permeámetro de Darcy
- K se denomina constante de permeabilidad (m/s)
- $\Delta P/\Delta l$ se le denomina el gradiente hidráulico.
- Así, el caudal por unidad de área es proporcional a K veces el gradiente hidráulico.
- K es característico para el tipo de material ensayado y un fluido.
- No confundir K con k (minúscula). k tiene unidades de m^2 , y es llamada la **permeabilidad intrínseca**. Es dependiente de la viscosidad dinámica y cinemática del fluido. Pero no la usaremos en esta ocasión!



Q: caudal [m^3/s].

K: “constante o coeficiente de permeabilidad” (m/s)

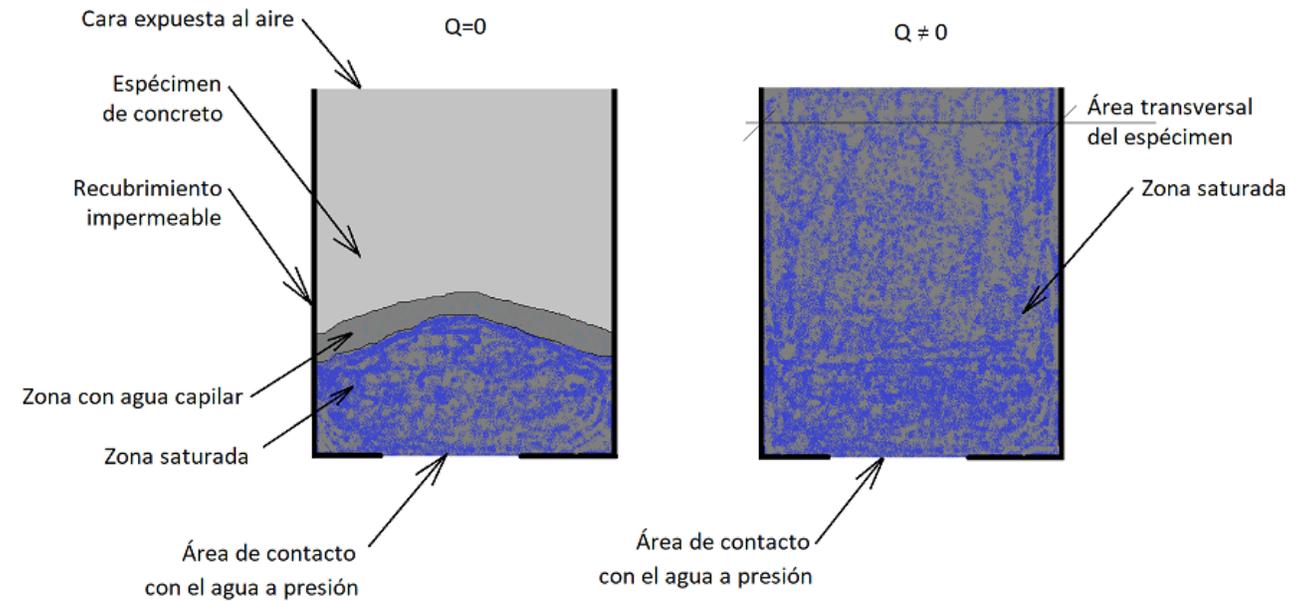
A: área de la sección [m^2].

ΔL : espesor del componente [m].

ΔP : diferencia de la presión de agua entre los dos puntos [m].

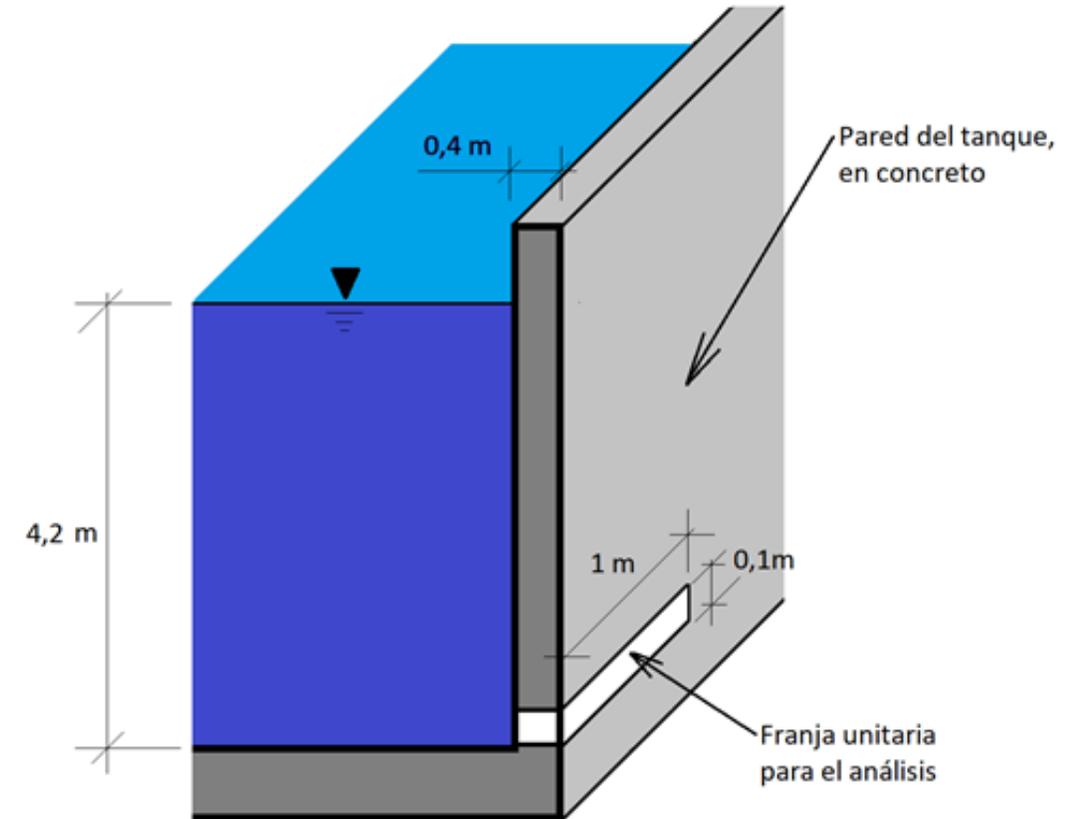
Figura tomada de: Arango-L, J.F. Patología de la Construcción: lesiones generales. En edición

Ensayo de permeabilidad del concreto NTC 4483



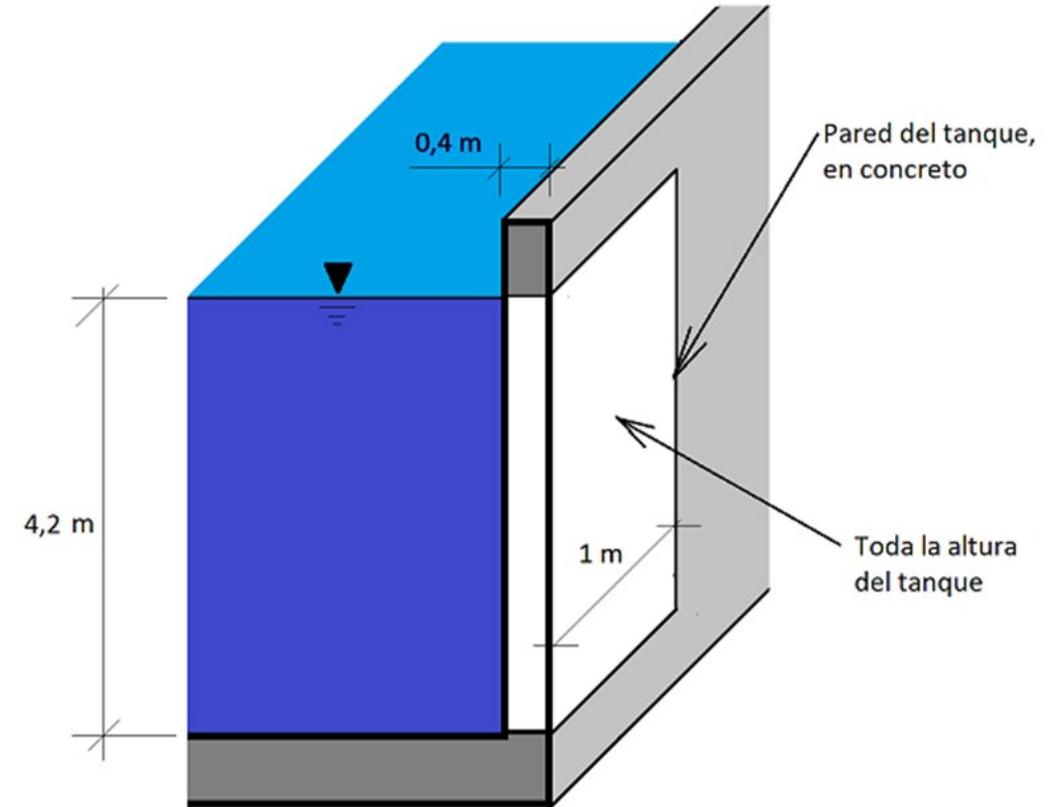
Conductividad hidráulica: un ejemplo

- K para el concreto colocado: de $1,2 \cdot 10^{-12}$ m/s.
- Se asume que no hay flujo por fisuras estructurales ni juntas de vaciado.
- Altura de la columna de agua: 4,2 m.
- Espesor del muro 0,4 m.
- Franja unitaria de análisis 1 m x 0,1 m.
- Q calculado **por la franja** = $1,26 \times 10^{-12}$ m³/s, o bien, 0,11 cm³/día.



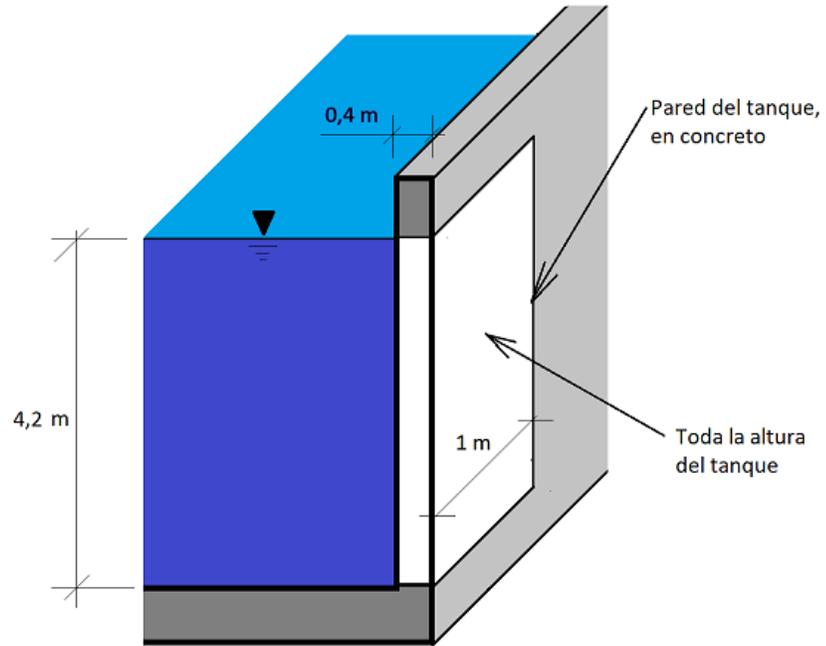
Conductividad hidráulica: un ejemplo

- Si se calcula para todas las franjas que conforman la altura del muro se obtiene el caudal total de agua que circula por la pared.
- Para el ejemplo, el caudal total, en toda la altura del muro, por cada 1 m de longitud, es de **95 cm³/día**.



¡Juguemos un poco!

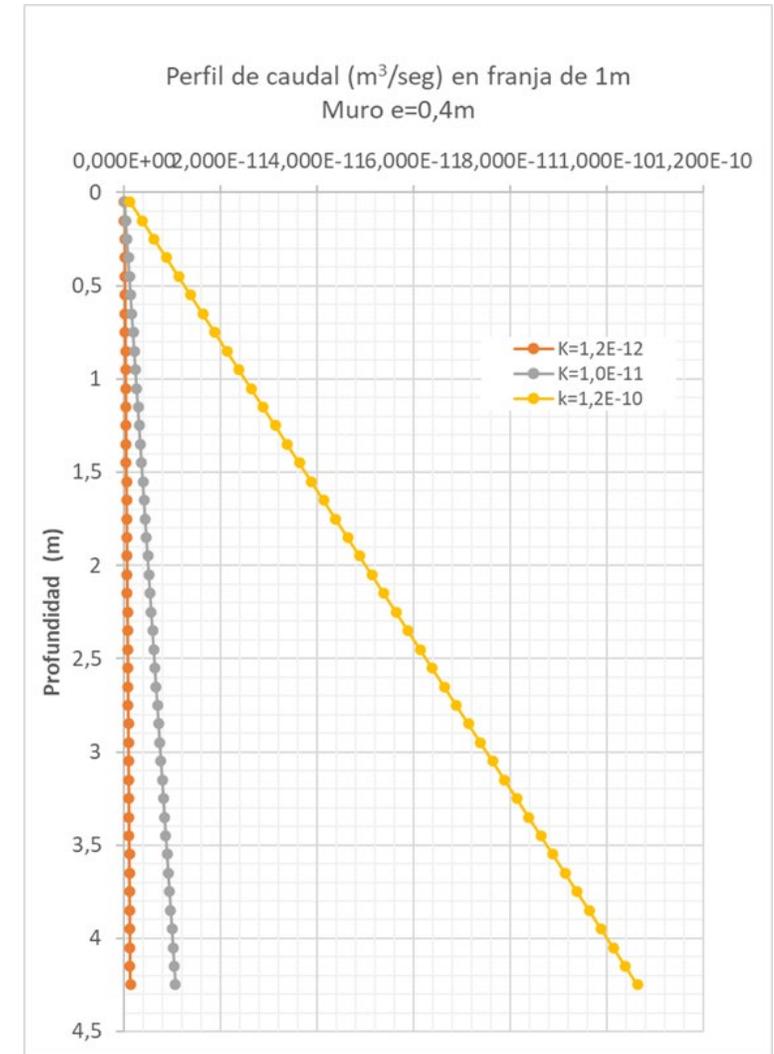
¿Y qué pasa si cambia la calidad del concreto?



El caudal total, en toda la altura del muro, para 1m de longitud del tanque, en $\text{cm}^3/\text{día}$, para muro $e=0,4$ m.

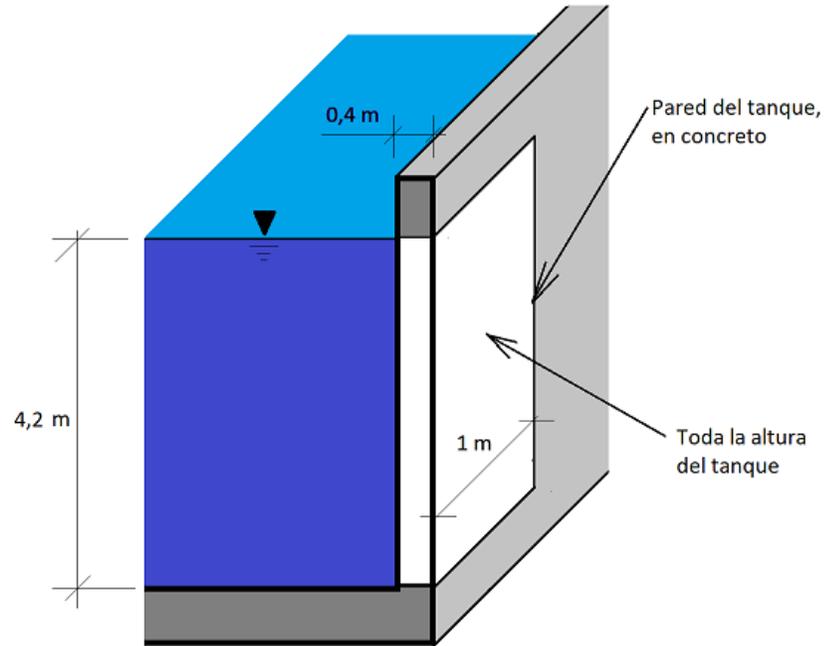
$K = 1,2 \text{ E-}12$	$K = 1,0 \text{ E-}11$	$K = 1,0 \text{ E-}10$
95	794	7 938
Permeabilidad baja	Permeabilidad media	Permeabilidad alta

El caudal es proporcional al gradiente y proporcional a K



¡Sigamos jugando!

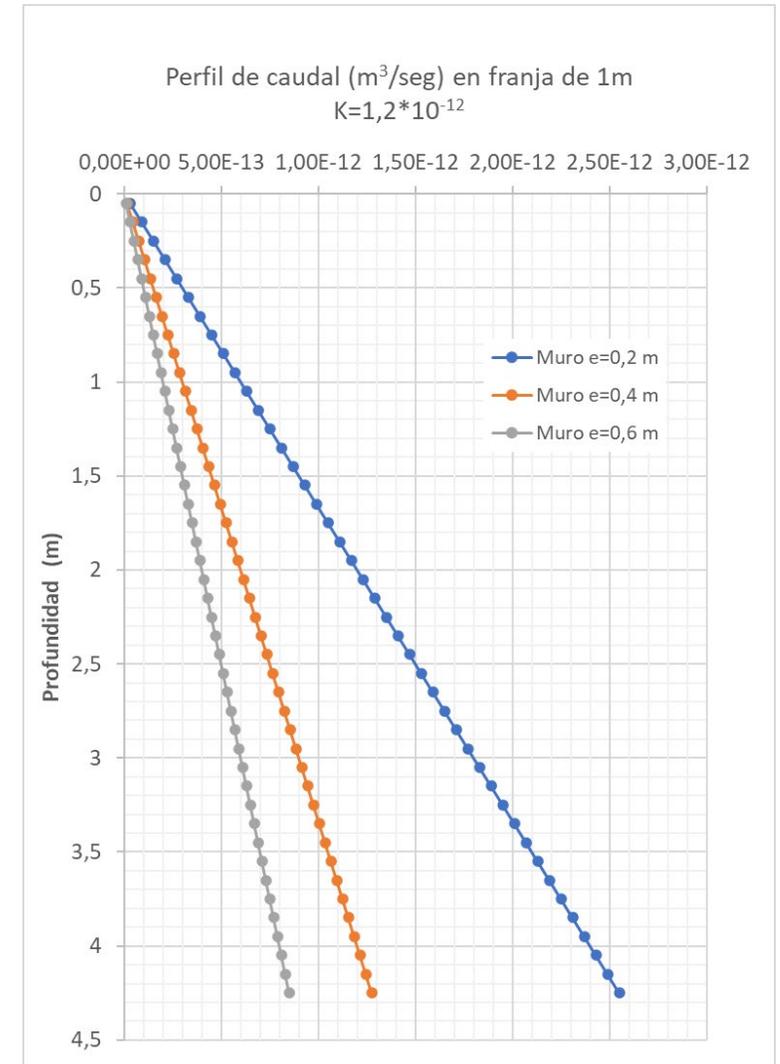
¿Y qué pasa si cambiamos el espesor del muro, con igual calidad del concreto?



El caudal total, en toda la altura del muro, para 1 m de longitud, en $\text{cm}^3/\text{día}$, para un muro $e=0,4$ m y concreto de baja permeabilidad.

$e = 20$ cm	$e = 40$ cm	$e = 60$ cm
191	95	64

El caudal es proporcional al gradiente



Algunas consecuencias para el diseño

- Durante el diseño estructural, se debería elegir el espesor del muro en función de las **condiciones de resistencia** estructural requerida y las deformaciones admisibles.
- Pero la cantidad de agua que pasa por el concreto tiene relación con las **condiciones de utilización** de la obra. Hay una cantidad de agua “tolerable”.
- En las condiciones de utilización se incluye la cantidad y apertura de las fisuras: elección de **posición, diámetro y espaciamiento del acero** de refuerzo principal, y el de retracción y temperatura.
- La cantidad de agua “tolerable” también se relaciona con la **durabilidad**: la erosión; la presencia de agentes agresivos en el agua por (fuentes externas); la movilización de agentes agresivos que están dentro del concreto (fuentes internas); lesiones y defectos por humedades y eflorescencias, entre muchos otros.
- Especificación correcta de juntas de colocación del concreto.
- Dicho de otra forma, se debería diseñar **como un sistema**.
- Entre otras.

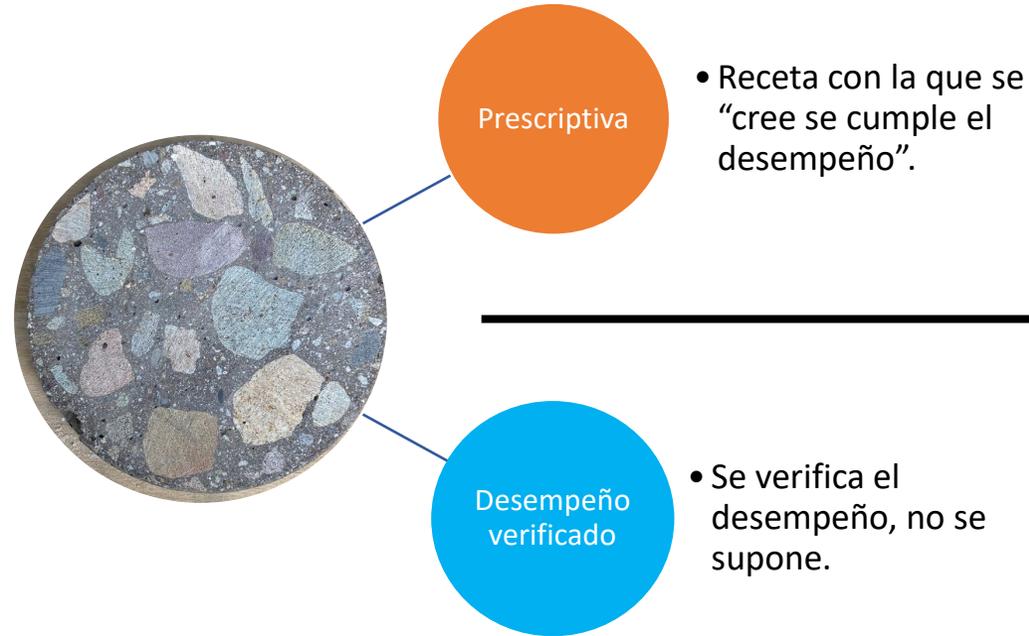


Algunas consecuencias para la construcción



- Localización y tratamiento de las juntas de colocación del concreto.
- Posición y recubrimiento del acero de refuerzo.
- Se debería preferir usar mezclas de baja retracción.
- Diseño de la mezcla por propiedad verificada, o prescriptiva: sus resultados se espera que den muy diferentes.
- Producción, transporte y colocación de la mezcla.
- La importancia del curado.
- Entre otras.

Métodos de diseño de la mezcla y tiempo de servicio



Ventajas

- Más conocido.
- Facilidad: siga la receta.
- Económico para proyectos pequeños.

Desventajas

- No se sabe si se cumplirá o no con el tiempo de servicio.
- Solo se pueden usar materiales “aptos” para la receta: no es sostenible.
- Responsabilidad es de los especificadores.

- Se pide lo que realmente se necesita para la obra y sus condiciones de exposición: sostenibilidad y economía.
- Se conoce la confiabilidad del diseño de la mezcla.
- El dueño de la obra sabe qué obtiene.
- Se precalifica la mezcla de concreto y se verifica la calidad alcanzada en la obra.
- Responsabilidad en el constructor y productor del concreto.
- Promueven la industrialización de la producción de concreto.

- Método menos conocido, aunque cada vez se conoce más.
- Puede tener un costo alto en obras pequeñas que hacen el concreto: más ensayos y tiempo.

Ejemplo de método prescriptivo

Requisitos prescriptivos para estructuras de concreto en contacto con el agua, según ACI 318-19

Categoría y Clase	Descripción	Condición ambiental	Máxima relación A/mC	f'c, min, MPa	Limites en los cementantes
W0	No aplica	Concreto que está seco durante su servicio	No aplica	17	Ninguna
W1	Moderada	Concreto en contacto con el agua, en que no se requieren requisitos de permeabilidad	No aplica	17	No usar agregados que presenten reacción álcalis-agregado, o tomar medidas para mitigar la reacción.
W2	Severa	Concreto en contacto con el agua dende se requiere baja permeabilidad	0,5	28	No usar agregados que tengan reacción álcali-carbonato

- Se supone que los requisitos de la mezcla proveen una baja conductividad y sorción, con lo que se cumple con el tiempo de servicio de la obra.
- ¿Cuál es el valor característico de K para una mezcla? Respuesta, no se conoce

Ejemplo de método prescriptivo

Requisitos prescriptivos para estructuras de concreto para corrosión, según ACI 318-19

Categoría y clases	Descripción	Condición ambiental	Contenido máximo de (Cl ⁻) soluble /mC		Máxima relación A/mC	f'c, min, MPa	Condiciones adicionales
			Concreto reforzado	Concreto pre es forzado ⁽²⁾			
C0	No aplicable	Concreto seco o protegido contra la humedad	1,0	0,06	No aplica	17	No aplican
C1	Moderada	<p>Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros</p> <p>Concreto colocado sobre lámina colaborante de acero (si no está en condición C2)</p>	0,3	0,06	No aplica	17	No aplican
C2	Severa	<p>Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos des congelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen</p>	0,15	0,06	0,4	35	<p>Aumentar el espesor de recubrimiento del acero de refuerzo.</p> <p>Aplican requisitos adicionales para tendones tensados no adheridos y pernos de cortante</p>

¿Cuál es el valor característico de K para una mezcla por método prescriptivo? Respuesta, no se conoce

Conclusiones

1. Entonces, ¿es permeabilidad o conductividad hidráulica del concreto? Permeabilidad es un término genérico. De manera más precisa es conductividad hidráulica del concreto, medida según un procedimiento dado.

2. La permeabilidad es un parámetro decisivo para la durabilidad del concreto. La **sorcibilidad** permite conocer el comportamiento de la piel exterior del concreto. Mientras que la **conductividad hidráulica** entrega información general del componente. Estas propiedades son un campo de investigación interesante en relación con la **durabilidad**.

3. La conductividad hidráulica **depende** del diseño estructural, de la mezcla, y los procesos de colocación y curado en la obra.

4. Los métodos prescriptivos, por sí solos, no garantizan que haya una baja permeabilidad en la obra. En contraste, métodos por desempeño verificado permiten pre calificar la mezcla, y verificar la calidad alcanzada en la obra.

¡Gracias!

Organizan:



CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUEÑA