



Metodología para reparación de tuberías de hormigón mediante solución reparadora

Repair method for concrete pipes using a repair solution

Ignacio Rodríguez¹, alumno de 6to año.
Zachary Grasley², profesor asociado.

¹Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción,
Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

²Departamento de Ingeniería Civil, Texas A&M University.

*Autor para correspondencia: itrodriguez@uc.cl.

Ignacio Rodríguez¹, 6th year student.
Zachary Grasley², associate professor.

¹Departament of Construction Engineering Management, School
of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile.

²Department of Civil Engineering, Texas A&M University.

*Correspondence author: itrodriguez@uc.cl.

RESUMEN

En Estados Unidos, un gran número de tuberías de hormigón necesitan ser remplazadas debido al nivel de deterioro que han alcanzado. Esta mantención está asociada a un altísimo costo, cercano a 1 trillón de dólares, para toda la red de agua potable de aquel país. Es por lo anterior, que se están buscando técnicas y metodologías para conservar y reparar estas tuberías. En la presente investigación se elaboraron probetas de mortero a las cuales se les indujeron grietas para simular el deterioro por uso. Se midió la permeabilidad antes y después de ser bañado por la solución reparadora compuesta principalmente por cloruro de calcio, bicarbonato de sodio y cloruro de sodio. Los resultados muestran que existe una mejora en este parámetro, es decir, las grietas logran ser selladas gracias a esta solución. Sin embargo, se sugiere realizar ensayos para distintos escenarios y condiciones para reafirmar la eficacia de este método y así poder comenzar a realizar testeos a una escala mayor.

Palabras clave: durabilidad, permeabilidad, reparación de concreto.

ABSTRACT

In the United States, a large number of concrete pipes require replacement due to deterioration. This maintenance is highly costly, estimated as close to US\$1 trillion for the entire network, which is why there is a search for methods that will conserve and repair existing tubes. In the presented research, mortar specimens were cracked to simulate deterioration by use. Permeability was measured before and after bathing in a repair solution composed of calcium chloride, sodium bicarbonate, and sodium chloride. The results show that cracks were sealed due to the repair solution, lowering permeability. Further tests should be conducted under different scenarios and conditions to confirm the effectiveness of this repair method, which will help transition it to larger scale use.

Key words: durability, permeability, concrete healing.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática consiste en el alto costo que implica reemplazar completamente tuberías de hormigón, las cuales abastecen de agua potable a distintas ciudades en los Estados Unidos. La American Society of Civil Engineers (ASCE, 2017) estima que se necesitarán 1 trillón de dólares durante los próximos 25 años para mantener y expandir los servicios de agua potable. Por lo tanto, se necesita estudiar distintas alternativas para mantener y restaurar la infraestructura mencionada. La propuesta consiste en agregar componentes químicos en pequeñas cantidades en el agua potable, y luego se irán depositando en las grietas para así reparar las tuberías.

El objetivo de este trabajo es demostrar a pequeña escala que al hacer fluir una solución química compuesta por CaCl_2 , NaHCO_3 y NaCl a través de probetas de MORTERO, ésta será capaz de reparar las grietas mediante la formación de calcita en las grietas. La forma en que se medirá esto es mediante el cálculo de PERMEABILIDAD antes y después de hacer pasar la solución por las probetas.

Si bien, existe investigación que demuestra que estos componentes químicos mejoran la durabilidad del hormigón, el ensayo Radial Flow-Through (RFT) permite realizar una mayor cantidad de ensayos en comparación

1. INTRODUCTION

The prohibitively high costs of complete replacement of concrete drinking water supply pipes in many cities in the United States presents an engineering problem. The American Society of Civil Engineers estimates that it will cost US\$1 trillion over 25 years to maintain and expand water services throughout the United States (ASCE, 2017). Therefore, it is necessary to study different maintenance and restoration alternatives for this supply network. The present proposal is to add chemical components in small quantities into the drinking water, which will distribute and deposit the chemicals into cracks, thus repairing the pipes.

The objective of this work is to present a small-scale case of how cracks are repaired when a chemical solution of CaCl_2 , NaHCO_3 , and NaCl are flowed through MORTAR samples, forming calcite in the cracks. The way this is measured is by calculating PERMEABILITY before and after passing the solution through the test pieces.

Although there is research that demonstrates the improvement of concrete durability due to these chemical components, the Radial Flow-Through (RFT) assay permits a greater number of tests, compared to traditional

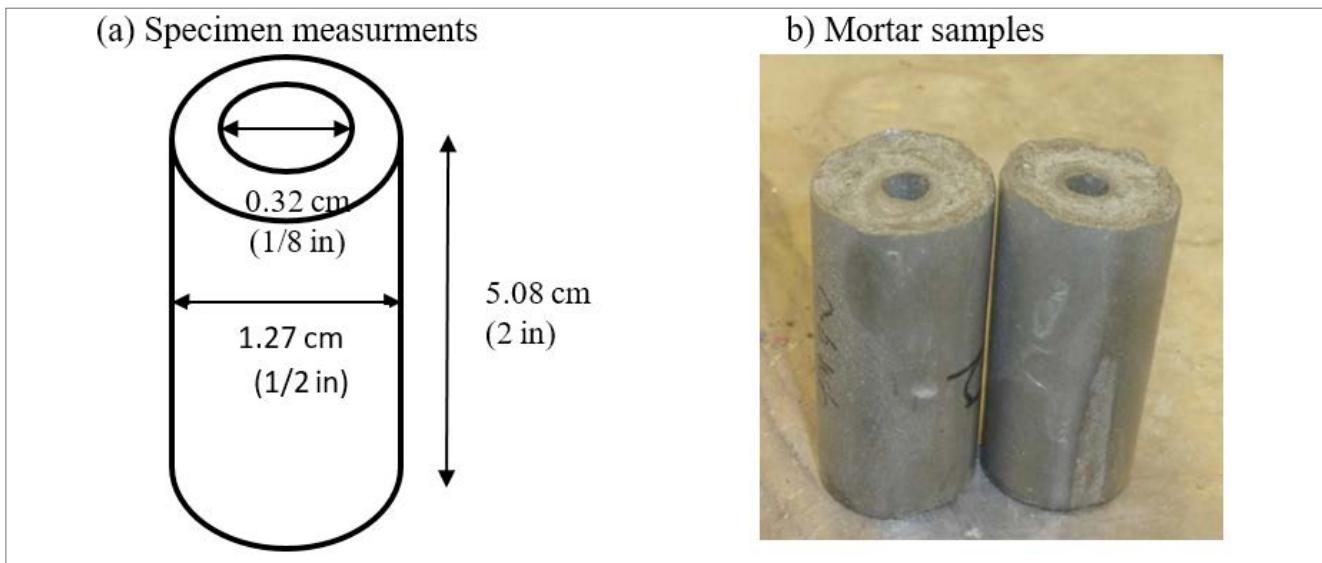


Figura 1. Probetas cilíndricas de mortero.

Figure 1. Tubular mortar samples.

a los ensayos tradicionales de permeabilidad. El RFT dura minutos mientras que los ensayos tradicionales de permeabilidad duran horas e incluso días.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se fabricaron pequeñas probetas tubulares de mortero que simulan una tubería a escala. Las medidas de esta probeta se muestran en la **Figura 1**. La dosificación del mortero se realizó según la norma ASTM C305-99 (ASTM, 2011). El detalle de la dosificación se muestra en la **Tabla 1**.

La permeabilidad es un parámetro muy utilizado para la medición de durabilidad del hormigón (Hearn, 1999). Para medir la permeabilidad se realizó el ensayo Radial Flow-Through. Este ensayo consiste en colocar la probeta tubular dentro de una cámara a presión (**Figura 2**) y medir a qué tasa fluye un determinado líquido por la matriz de poros. La parte inferior de la probeta está adherida a un plato metálico y sellada con resina epólica y la parte superior está conectada a una salida que permitirá el agua fluir hacia el exterior de la cámara.

permeability tests. Furthermore, RFT requires minutes, while traditional tests are run over hours or even days.

2. MATERIALS AND METHODS

Small, tubular mortar specimens were built to simulate a pipe at scale. The measurements of the specimen are shown in **Figure 1**. Mortar dosage was done according to ASTM C305-99 (ASTM, 2011); details are shown in **Table 1**.

Permeability is a widely used parameter for measuring concrete durability (Hearn, 1999). In a RFT test, the tubular specimen is placed inside a pressure chamber (**Figure 2**) and the flow rate of a certain liquid through the pore matrix is measured. The bottom of the specimen is attached to a metal plate and sealed with epoxy resin, while the top is connected to an outlet that permits the water to flow out of the chamber.

The RFT assay is relatively fast compared to traditional permeability measurement methods. The method has been

Tabla 1. Mortar dosage.

Element	Mass (g)
Cement	152
Sand	254
Water	76
Fibers	1.6
Super Plasticizer	1

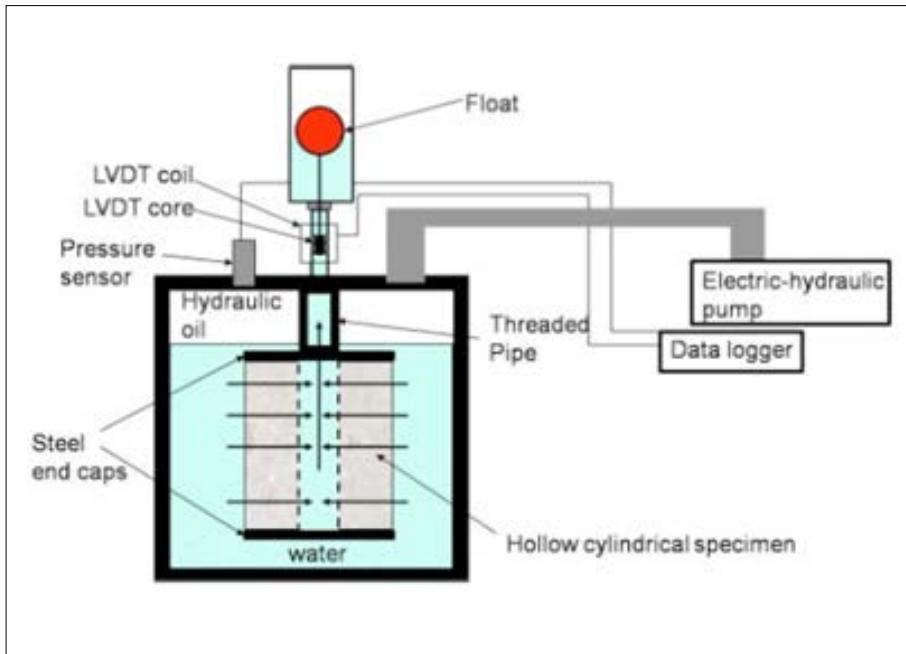


Figura 2. Esquema de Ensayo RFT, adaptado de (Jones & Grasley, 2009b).

Figure 2. RFT assay setup, adapted from (Jones & Grasley, 2009b).

El ensayo RFT tiene la ventaja de ser relativamente rápido en comparación a los métodos tradicionales para medir permeabilidad, además ha demostrado que el ensayo tiene una baja variabilidad y una alta repetitividad (Jones & Grasley, 2009a; Jones & Grasley, 2009b; Rose & Grasley, 2017).

La cámara es llenada con agua y se aplica una presión externa mediante una bomba neumática. La presión utilizada fue de 344,7 kPa (50 psi). Luego, se mide el caudal promedio del agua que fluyó desde el exterior hacia el interior de la probeta, por medio del uso de un transformador diferencial de variación lineal (llamado **LVDT** por su sigla en inglés) durante dos minutos. Con esta medida se puede calcular la permeabilidad del elemento utilizando la Ley de Darcy. La permeabilidad de cada muestra será el promedio de cinco mediciones.

Para inducir las grietas en las probetas, lo que se hizo fue llenar con agua el hueco de éstas y colocarlas en una cámara a -25°C durante 13 minutos. El agua al expandirse genera tensiones en las paredes de la cavidad y con esto el agrietamiento. Este procedimiento se realizó al cuarto día desde la elaboración de la probeta de mortero. Una vez medida la permeabilidad después de agrietarse lo que se hizo fue hacer circular la solución por dentro de las probetas con la ayuda de un motor, tal como ocurriría en una tubería (**Figura 3**). La solución de **AUTOCURADO** está compuesta principalmente por CaCl_2 , NaHCO_3 y NaCl . Estos compuestos en conjunto con la pasta de cemento permiten la formación de Calcita (CaCO_3). Las proporciones y preparación de la solución están reservadas para futuras publicaciones del co-autor.

shown to have low variability and high repeatability (Jones & Grasley, 2009a; Jones & Grasley, 2009b; Rose & Grasley, 2017).

The chamber is filled with water and a pneumatic pump applies an external pressure. The pressure used here was 344.7 kPa (50 psi). The average flow rate of water flowing from the outside to the inside of the specimen is then measured using a linear variation differential transformer (LVDT) for two minutes. The permeability of each sample is then calculated using Darcy's Law and averaged from five separate measurements.

To induce cracks, the holes were filled with water and stored at -25 °C for 13 minutes. Expansion generates stresses in the interior walls of the tubes, which leads to cracking. This procedure was performed on the fourth day following mortar specimen preparation. After measuring permeability on the cracked sample, the repair solution was circulated inside the specimens with the aid of a motor, as it would be in a typical water pipe (**Figure 3**) to initiate a process of **AUTOGENOUS HEALING**. Permeability measurements were taken again at 4 days and 10 days of treatment. The chemical compounds, CaCl_2 , NaHCO_3 , and NaCl , together with the cement form calcite (CaCO_3). The proportions and preparation of the solution remain proprietary.



Figura 3. Autocurado de probetas de mortero.

Figure 3. Initiating autogenous healing the mortar specimens with the repair solution.

3. RESULTADOS

Se midió la permeabilidad en tres instantes: inmediatamente después del agrietamiento, con cuatro días de autocurado y diez días de autocurado. En la **Tabla 2** y **Figura 4** se pueden ver los resultados obtenidos al ensayar 3 probetas con la misma dosificación de mortero.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe una mejora en el parámetro permeabilidad, es decir, las grietas son en parte selladas. Sin embargo, se necesitan más ensayos de permeabilidad a distintas presiones y edades del hormigón para concluir si efectivamente el sellado de grietas es adecuado para una aplicación real.

No se observan mejoras desde el cuarto al décimo día, es probable que el autocurado se realizó en los primeros días o incluso horas. Sin embargo, en las probetas 2 y 3 hubo un aumento en la permeabilidad. Esto puede deberse a que la presión aplicada fue muy alta y la calcita no fue capaz de soportar esta presión y se separó del mortero. Esto puede traer consecuencias al momento de llevar el procedimiento a tuberías de agua potable.

3. RESULTS

Table 2 and **Figure 4** show the results of changes in permeability following treatment of three specimens with the same mortar dosage with the repair solution.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

There is a decrease in permeability, meaning that cracks were partly sealed. However, more permeability tests are required at different pressures and ages of concrete to conclude whether crack-sealing is suitable for actual application.

No improvement is seen between the fourth and tenth day, and it is likely that autogenous healing was accomplished in the first days or even hours. However, Samples 2 and 3 show an increase in permeability. This may be due to the calcite being unable to withstand the applied pressure of the RFT assay and separating from the mortar. This can have consequences when applying the procedure to potable-water pipes.

Table 2. Permeability before and after autogenous healing.

Specimen	$K_{\text{Following cracking}}$ (nm ²)	$K_{4 \text{ days of auto-curing}}$ (nm ²)	$k_{10 \text{ days of auto-curing}}$ (nm ²)
1	53.493	21.881	16.753
2	65.802	5.751	6.554
3	90.339	2.910	5.843

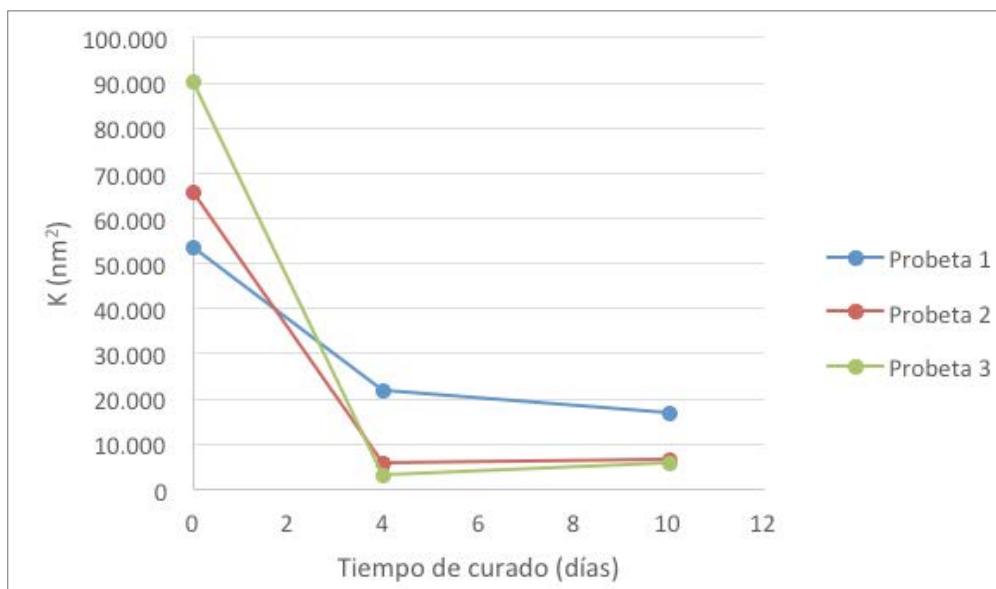


Figura 4. Permeabilidad antes y después de autocurado. Azul: especimen 1. Rojo: especimen 2. Verde: especimen 3.

Figure 4. Permeability of three specimens before and after auto-curing. Blue: specimen 1. Red: specimen 2. Green: specimen 3.

Adicionalmente, cabe destacar que el ensayo de permeabilidad se realizó desde fuera hacia dentro de la probeta, en la realidad el fluido se moverá dentro de la tubería, es decir, las fugas producidas por las grietas son en sentido inverso. Para futuras investigaciones se propone estudiar el fenómeno en este escenario y observar si los resultados son similares.

In addition, note that the permeability test was performed from the outside to the inside of the specimen. In reality, any movement would be from inside of the pipe outward (i.e., leakage from cracks is in the opposite direction). Future research should study the phenomenon in this configuration and observe whether results are similar.

GLOSARIO

AUTOCURADO: capacidad del hormigón de reducir el tamaño de sus grietas cuando esta es bañada con agua (pura o no) a medida que transcurre el tiempo (Edvardsen, 1999).

LVDT: el sistema utiliza la magnitud y la polaridad de la F.E.M producida cuando el núcleo de este es desplazado con respecto a su posición inicial. El sistema entrega desplazamientos. La principal ventaja del LVDT es que las mediciones no son alteradas por el roce.

MORTERO: mezcla compuesta principalmente de cemento, agua y agregado fino (arena).

PERMEABILIDAD: se puede definir como la resistencia que opone un material al paso de un fluido sometido a un determinado gradiente de presión. Es un buen indicador de la durabilidad del hormigón, mientras menor sea este valor, mayor durabilidad tendrá el material.

GLOSSARY

AUTOGENOUS HEALING: the capacity of concrete to reduce the size of cracks over time when it is bathed with pure or impure water (Edvardsen, 1999).

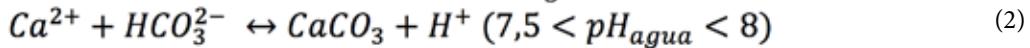
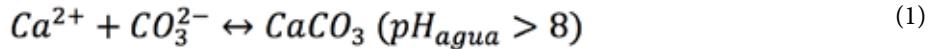
LVDT: the system uses the magnitude and polarity of the FEM produced when the core is displaced from its initial position. The main advantage of LVDT is that the measurements are unaltered by friction.

MORTAR: a mixture composed mainly of cement, water and fine aggregate (sand).

PERMEABILITY: the resistance in a material that opposes the passage of a fluid, subject to a certain pressure gradient. It is a good indicator of the durability of concrete; the lower this value, the longer the material will last.

PRINCIPIO CIENTÍFICO

La solución química permite la formación de Calcita (CaCO_3) en la matriz del mortero mediante la siguiente ecuación química:



La Ley de Darcy describe el movimiento del agua a través de un medio poroso, que en este caso es la probeta tubular de mortero. La expresión matemática de permeabilidad es la siguiente:

$$k = \frac{q \eta_L \ln \left(\frac{R_o}{R_i} \right)}{2 P_A \pi h} \quad (3)$$

Donde:

q : caudal medido

η_L : viscosidad del agua

R_o : radio externo de la probeta

R_i : radio interno de la probeta

P_A : presión aplicada la cámara

h : altura de la probeta

La Ley de Darcy asume un medio saturado, continuo, homogéneo e isotropo y cuando las fuerzas iniciales son despreciables.

SCIENTIFIC PRINCIPLE

The following chemical solution shows the formation of calcite (CaCO_3) in the mortar matrix:

Darcy's Law describes the movement of water through a porous medium; the tubular mortar specimen in this case. The mathematical expression of permeability is:

Where:

q : measured flow

η_L : viscosity of the water

R_o : external radius of the specimen

R_i : internal radius of the specimen

P_A : pressure applied to the chamber

h : height of the specimen

Darcy's Law assumes a saturated, continuous, homogenous, and isotropic medium, in which inertial forces are negligible.

REFERENCES

- American Society of Civil Engineers (2017). *Drinking Water Infrastructure Report Card*. 2017.
- ASTM C305. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. 2011.
- Edvardsen, C. (1999). Water Permeability and Autogenous Healing of Cracks in Concrete. *ACI Materials Journal*, 96(4), 448–454.
- Hearn, N. (1999). Effect of shrinkage and load-induced cracking on water permeability of concrete. *ACI Materials Journal*, 96(2), 234–241.
- Jones, C.A & Grasley, Z.C. (2009). Correlation of hollow and solid cylinder dynamic pressurization tests for measuring permeability. *Cement and Concrete Research*, 39(4), 45352.
- Jones, C.A & Grasley, Z.C. (2009). Correlation of radial flow-through and hollow cylinder dynamic pressurization test for measuring permeability. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(10), 594–600.
- Rose, J.L. & Grasley, Z.C. (2017). Comparison of Permeability of Cementitious Materials Obtained via Poromechanical and Conventional Experiments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9), p. 04017083.

EQUIPO DE INVESTIGADORES / RESEARCH TEAM



Ignacio
Rodríguez



Zachary
Grasley