



# 80 INGENIERÍA

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DEL URUGUAY

*ELADIO DIESTE 1917 - 2017*

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DEL URUGUAY / Diciembre 2017

**Celebración  
Día del Ingeniero**

**Asociación de Ingenieros  
del Uruguay**

**Premio Nacional de  
Eficiencia Energética**

**MIEM**

**La enseñanza de  
grado en Facultad de  
Ingeniería**

**Ing. Martín Amorena**

## DISERTACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LO LARGO DE LA HISTORIA



Ing. Hugo Moreno

Si tuviésemos que responder a la pregunta: ¿Hemos alcanzado alguna mejora significativa en lo referente a calidad y resistencia del concreto durante el último siglo?, la respuesta parecería obvia... En más de 2000 años de historia, seguramente, hemos debido incorporar algún avance tal que nos permita sobrepasar con creces cualquier avance de nuestros predecesores.

### ¿Pero hasta qué punto tal afirmación es correcta?

Si nos remontamos a tiempos históricos, no existe evidencia de que los griegos usaron concreto. Sin embargo, los minoicos de Creta utilizaron un material de construcción artificial para pisos, cimientos y alcantarillas, según el libro de Robert Courland *Planeta de Concreto: La extraña y fascinante historia del material artificial más común del mundo*. Este material minoico puede no haber sido el concreto

que conocemos hoy, pero fue una mezcla similar. La arcilla era un componente importante, y también se usaba una ceniza volcánica, hoy llamada pozzolana.

Pozzolana se deriva de Pozzuoli, Italia, que es el sitio del Monte Vesubio, cuya erupción destruyó la ciudad romana de Pompeya en el año 79. La misma ceniza volcánica que cubrió esa ciudad antigua y congeló a sus ciudadanos a tiempo también ayudó a los romanos a crear el primer concreto conocido en el mundo y el concreto más fuerte que jamás haya visto la humanidad.

La conexión entre Roma y el concreto es tan fuerte que incluso tomamos el nombre “concreto” de ellos. Se deriva del término latino *concretus*, que significa “crecer juntos”, tal como se mezclan los componentes del concreto para formar un bloque sólido. Pero los romanos no se referían a su concreto como “concretus”. De hecho, llamaron erróneamente a su concreto *Caementis*, que significa “cosas rocosas” y que es como hoy día llamamos al “cemento”.

Los antiguos romanos elaboraban el concreto de forma muy parecida a como lo hacemos hoy. Elaboraba cemento mezclando caliza con agua. Para espesar la mezcla, agregaron puzolana volcánica, rocas molidas y arena. En un estado semi-licuado, la mezcla se vertió en moldes de madera tallada para crear piezas de concreto lisas y resistentes.

Los romanos usaron concreto para construir rampas, terrazas y caminos. Verter la mezcla en moldes les permitió construir bóvedas, cúpulas y los arcos de los grandes acueductos del imperio. En el siglo II AC, los romanos comenzaron a hacer muros de concreto y los recubrieron con mampostería de ladrillo, lo que hicieron por dos razones. Primero, los antiguos romanos prefirieron la estética del ladrillo a la losa gris del concreto sin adornos. Segundo,

después del Gran incendio de Roma en 64 DC que destruyó 10 de los 14 distritos de la ciudad, se reveló que el hormigón era resistente al fuego, aunque no a prueba de fuego. El ladrillo exterior ayudó en ese sentido.

Lo que hace que el concreto romano sea tan impresionante es su capacidad para resistir la intemperie, sobrevivir a los terremotos y resistir las olas en el mar. Considera uno de los primeros grandes proyectos romanos.

El ascenso de Concrete a la prominencia dentro del Imperio comenzó con la audaz hazaña de ingeniería del puerto de Sebastos, en Cesárea, Israel. El año fue el año 23 a. C., una época en que el concreto seguía siendo un material en gran parte no probado. El rey Herodes de Judea, cuya tierra era un territo-

Más de 2,000 años después, el puerto de concreto aún está intacto. Simplemente no puedes verlo desde la tierra. El puerto de Sebastos fue construido directamente encima de una falla. Los terremotos lo golpearon a lo largo de los siglos, haciendo que los muelles y las paredes de mar se sumergieran lentamente bajo el mediterráneo, pero el puerto de Sebastos fue solo el comienzo. Los romanos continuarían erigiendo algunas de las estructuras de hormigón más famosas del mundo.

Hoy día, son muchas las consideraciones que debemos tomar a fin de las proveer condiciones adecuadas de durabilidad y satisfacer así la vida útil esperada de la estructura inmersa en un ambiente tan agresivo como lo es el entorno marino. En estos ambientes, los elementos de concreto estructural,



Diagrama del Puerto de Sebastos, Israel

rio del Imperio Romano, quería mejorar la economía de su reino. ¿Qué mejor manera que construir un puerto en las orillas del mar Mediterráneo? Fue la prueba perfecta de la resistencia del concreto.

La construcción del puerto tomó ocho años. El resultado fue uno de los puertos más grandes del mundo, segundo solo al de Alejandría en Egipto. Los muelles y las paredes de mar eran de concreto puro, probablemente bajados al agua con una grúa. Los buzos, conteniendo la respiración, fueron al Mediterráneo para hacer ajustes en el posicionamiento de las estructuras. Una vez alineados correctamente, se aplastó cada pieza pesada de concreto. La ciudad de Cesárea terminó la construcción cinco años después de que se completó el puerto, y el pujante puerto le ganó al rey Herodes el título de "Herodes el Grande".

se encuentran expuestos de diferentes maneras a la acción del agua salada. Los efectos de tal exposición varían con el tipo de contacto entre la estructura y el agua, bien sea continuo o cíclico, debido a la presencia de corrientes, oleaje y régimen de mareas, entre otros factores. El deterioro de estos elementos durante la vida operativa de la estructura y su reparación para restaurar sus condiciones iniciales o para repotenciar la estructura se ha convertido hoy en un desafío exigente tanto para el diseñador como para los propietarios y operadores de las instalaciones portuarias. En construcciones modernas, los problemas de durabilidad suelen ocurrir cuando se aplican materiales de baja calidad o cuando se especifican mezclas de concreto inadecuadas que no previenen los problemas de durabilidad.

Vale la pena en recordar algunas medidas prácticas que pueden utilizarse para mejorar la durabilidad



Perforación de una muestra de una antigua estructura de concreto romana en Portus Cosanus, Toscana, en 2003.

del concreto marino hoy día, que, si bien puede variar dependiendo el proyecto, tienen que ver principalmente con la Selección correcta de los agregados, el diseño de la mezcla final y los pasos de colocación del mismo.

- **Primeramente, en cuanto a los agregados:** todos los agregados deberían cumplir con las normas ASTM C33 y adicionalmente se debe tener la precaución de protegerlos, previo a su uso, de altas temperaturas y asegurar que su composición este libre principalmente de cloruros. Muy especialmente se recomienda evitar el uso de arena marina y en caso de no poder hacer a menos, asegurarse usar agua pura para lavarla, comprobando igualmente la ausencia de cloruros, lo cual puede lograrse con un ensayo ASTM C1524

- **Segundo, en lo referente a la mezcla final:** Uno de los objetivos específicos para lograr una mezcla final compuesta sin cloruros y/o sulfatos, de buena calidad, con componentes no reactivos, y compatibles entre sí, tiene que ver con obtener una baja permeabilidad. Dependiendo del tipo de elemento, (tabla-estacas de concreto, pilotes, prelosas, vigas, etc.) es frecuente que se recomiende lograr una resistencia a la compresión como mínimo en el orden de 40-42 MPa a los 28 días, y para concreto vaciado en sitio el rango va de 33 a 35 MPa a los 28 días. Para determinar adecuadamente la permeabilidad de la mezcla, se recurre al ensayo ASTM C1202

- **Finalmente, en cuanto a la colocación:** Sería desafortunado, por no decir absurdo, lograr una

mezcla excelente de concreto si posteriormente en alguno de los pasos posteriores (bien sea el vaciado, la compactación o el curado) no satisfacen los protocolos orientados a mejorar las condiciones de durabilidad. Lo recomendable es vaciar el concreto lo antes posible luego de mezclarlo. Durante la instalación de las formaletas, debe evitarse dejar en ellas elementos auxiliares metálicos (clavos, amarres, etc.) que de aflorar en el concreto endurecido, puedan posteriormente convertirse en foco de corrosión. Así mismo una buena norma consiste en evitar vibrar en exceso el concreto para evitar la segregación del agregado, o que el refuerzo pueda desplazarse. Para el acabado de la superficie del concreto el factor a tomar en cuenta, será principalmente si se continuara o no con el vaciado de más concreto sobre el elemento.

Si bien lo anterior plantea de por sí no pocos retos, afortunadamente hoy día disponemos de los medios para asegurar un control de calidad satisfactorio, al menos desde el punto de vista de normativa a seguir, en comparación con el uso del concreto en la era romana.

No obstante, debemos hacer la salvedad que, en términos de longevidad, el concreto armado no es rival para lo que usaron los romanos. El refuerzo se oxida cuando cura el concreto circundante. Durante décadas, se oxida. La barra de refuerzo se expandirá lo suficiente como para poner grietas en el concreto. En general, el concreto moderno puede durar alrededor de un siglo sin reparaciones impor-

tantes o reemplazo, de acuerdo con el libro *Planes de Concreto*. La impresionante resistencia a la tracción de muchas de nuestras estructuras es solo temporal, y su mantenimiento es costoso.

El agua de mar es particularmente dañina para las barras de refuerzo, ya que la sal corroerá el acero en solo cinco décadas. El agua puede filtrarse naturalmente como pequeños agujeros y, eventualmente, se forman pequeñas grietas en una estructura de concreto. Los ciclos de congelación y descongelamiento también dejan grietas en los caminos de concreto, y mientras se disemina la sal, esto detendrá la formación de hielo y dañará las barras de refuerzo del mismo modo que el agua de mar. Si solo pudiéramos replicar el concreto romano del puerto de Sebastos entonces, a mi modo de ver, podríamos afirmar, sin lugar a duda, que hemos alcanzado una mejora sustancial en la tecnología del concreto con respecto a nuestros predecesores.

Un informe reciente sugiere que es posible. Sabemos que la ceniza volcánica pozzolana era fundamental para la fortaleza del antiguo concreto romano, aunque todavía no hemos reconstruido la receta completa. En julio, los investigadores anunciaron que usarían ceniza volcánica similar en

la costa de California en un intento por resolver el antiguo misterio. El objetivo es hacer ingeniería inversa del proceso que creó el hormigón más duradero en la historia.

El concreto romano no es solo impermeable, sino que se fortalece cuando está en contacto con el agua de mar. Se cree que los cristales microscópicos crecen en el antiguo concreto cuando se sumergen en el agua, por lo que es perfecto para estructuras como el puerto de Sebastos del antiguo Israel.

El concreto romano tiene una resistencia a la tracción más débil que el concreto armado, como se podría imaginar, pero su capacidad para soportar la erosión y la intemperie es incomparable. Una combinación de la receta secreta del concreto de Roma y las técnicas modernas de ingeniería de concreto armado podría permitir que el concreto revolucione la infraestructura y la arquitectura una vez más.

**100 AÑOS DE GESTIÓN PÚBLICA DEL SANEAMIENTO EN MONTEVIDEO 1913 - 2013**

Un derecho para la salud de la población y la calidad ambiental del departamento.

**100 AÑOS**  
GESTIÓN PÚBLICA DE SANEAMIENTO

**Red meteorológica de Montevideo**

Intendencia de Montevideo