



“UNA MIRADA A LA DURABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES EN CONCRETO ARMADO DEL SIGLO XXI”

Autor: Cristian Sotomayor C.

INTRODUCCIÓN

Desde fines del siglo XX a la actualidad, existe una mayor tendencia mundial para diseñar y construir edificaciones durables y sostenibles a partir del conocimiento científico acumulado en los últimos 30 años sobre el comportamiento de los materiales de construcción, la innovación de materiales compuestos, y nuevas técnicas constructivas que faciliten la puesta en marcha y el incremento de la vida útil de edificaciones, afín de evitar la depredación de recursos importantes para la vida (como el agua) y para el sector construcción (como los agregados, la madera, entre otros). Asimismo, a partir de las lecciones aprendidas sobre las causas, orígenes, y mecanismos de la deterioración de estructuras como la corrosión, ataque de sulfatos, desgaste por abrasión, despostillamiento, reactividad álcali agregados, entre otros, que han tenido que afrontar las edificaciones durante el siglo XX.

El concreto es el material de construcción más usado en el mundo por las siguientes razones:

- La disponibilidad de sus componentes para fabricarlo en casi todas las regiones (inclusive en la Antártida),
- Su adaptabilidad a cualquier tipo de encofrado en obra,
- Su costo relativamente bajo en relación con otros materiales (USD 60 a 100/m³),
- Su vida útil frente a otros materiales cuando lo diseñamos y construimos bien, respetando las leyes físicas y químicas asociadas con su comportamiento.

Actualmente, se estima un consumo promedio de hasta 1.5m³ de concreto por habitante en el planeta a partir del consumo mundial de cemento destinado para el sector construcción [CEMBUREAU, 2016].

UNA MIRADA AL DESEMPEÑO DE LAS CONSTRUCCIONES DEL SIGLO XX

El concreto ha venido utilizándose en los últimos cien años para la construcción de edificios, infraestructuras de puentes, puertos, carreteras, viaductos, y aeropuertos. Cuando estas edificaciones fueron bien diseñadas y construidas, su vida útil ha fluctuado entre 50 a 75 años frente a las condiciones de clima más severas (por ej., en la región de Québec, Canadá entre 37°C en verano y hasta -50°C en invierno) y a la exposición de agentes nocivos a pesar de las limitaciones de la época como la carencia de aditivos químicos para dispersar las partículas de cemento, de adiciones minerales, o del propio cemento Portland de calidad uniforme para mejorar la microestructura de la pasta hidratada y hacer edificaciones más durables. Sin embargo, una cantidad importante de infraestructuras llegando a la mitad de su vida útil estimada se encuentran en estado avanzado de deterioración en varios países de la región de América, trayendo como consecuencia gastos de reparación de miles de millones de dólares, impactos en la actividad económica y en la calidad de vida de los usuarios por interrupción de la circulación, reducción de la capacidad de servicio, congestionamientos de tráfico, entre otros.

En Estados Unidos, aproximadamente de un millón de infraestructuras cuantificadas a fines del siglo XX, casi la cuarta parte necesitaba mantenimiento. Sobre esta incidencia, 80 mil millones de dólares eran requeridos para reparar el 31.4% de puentes, y más de 50 mil millones de dólares para reparar un tercio de caminos de tierra, y 2100 presas inestables [American Society of Civil Engineers ASCE, 1998]. Se estima un costo global para reparación de estructuras dañadas por ciclos de hielo-deshielo y corrosión del acero de refuerzo de 16 mil a 24 mil millones de dólares, y cada año cerca de 400 millones de dólares suplementarios se incluyen a estos costos de reparación [Gagné, 2012]. Estas cifras no han cambiado mucho si revisamos los últimos reportes del ASCE.

En Canadá, cerca de 5 mil millones de dólares canadienses hasta inicios del siglo XXI fueron estimados para la reparación de estacionamientos de edificaciones atacados por corrosión. En la región de Quebec, el 50% de infraestructuras de un total de 8500 se encontraban en la mitad de su vida útil estimada, ya presentando problemas de deterioración, y en ciertos casos, riesgos de colapso debido a su estado avanzado de deterioración [Rhazi, 2012].

En México, a fines del siglo XX, el 90% de las industrias presentaban algún grado de corrosión en su infraestructura, y en ciudades como Yucatán se habría destinado el 8% del PBI en reparaciones de edificios atacados por corrosión [Castro, 1998].

En otras regiones importantes del mundo como Gran Bretaña, se estima que un tercio de los puentes necesitaban mantenimiento a fines del siglo XX, gran parte de ellos por problemas de corrosión, obteniéndose una pérdida de 600 millones de libras esterlinas (USD 942 millones) en 1996. En Japón, se gasta cerca de 40 mil millones de yen (USD 320 millones) por año en mantenimiento de estructuras con problemas de deterioro.

En Perú, no se cuenta aún con estadísticas consolidadas a nivel nacional sobre el estado actual de las infraestructuras en buen estado, con riesgos de colapso, y aquellas que deben ser intervenidas en su totalidad, sea por su longevidad o por su grado de deterioro frente a los recientes desastres naturales como el fenómeno del niño costero del 2017 (figura 01). No obstante, se conoce que un grupo importante de infraestructuras de puentes y puertos construidas cerca del litoral peruano requieren ser intervenidas en calidad de urgencia para salvaguardar la seguridad de sus ocupantes. Se estima un monto mayor a 5,000 millones de dólares para cubrir necesidades de mantenimiento y reparación de infraestructuras de puentes, puertos y carreteras, en el norte y sur del país. Por otro lado, el gobierno peruano ha estimado un monto aproximado de 7,500 millones de dólares requeridos para la reconstrucción de infraestructuras dañadas por el fenómeno del niño costero [Díaz & al, 2018].



Figura 01: Colapso del Puente Viru – Trujillo por el fenómeno del Niño Costero 2017 (Cortesía: RPP)

LA DURABILIDAD

Para el caso del concreto de cemento Portland, el comité ACI 201.2R-2008 *Guide to Durable Concrete* define a la durabilidad como “su habilidad para resistir a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioración”. El concreto durable deberá mantener su forma original, calidad y propiedades de servicio cuando esté expuesto a las condiciones de medio ambiente donde se encuentra el proyecto de construcción”.

Para el caso de una edificación, la norma ISO 15686-1 define a la durabilidad como “la capacidad de los edificios o alguna de sus partes para desenvolver el papel para el cual fueron diseñados durante un período específico bajo la influencia de determinados agentes”. Mientras que la norma canadiense la describe como la “habilidad que un edificio o componente de este tiene para alcanzar el rendimiento óptimo de sus funciones en un determinado ambiente o sitio, bajo un determinado tiempo sin realizar trabajos de mantenimiento correctivo ni reparaciones”. Siendo la durabilidad un concepto cualitativo que refleja la habilidad de la edificación para resistir las condiciones que estará sometida y perdurar en el tiempo, la vida útil representa la cuantificación de ese tiempo a perdurar.

La norma ISO 15686-1 define a la vida útil como *“el período de tiempo después de la instalación o construcción durante el cual un edificio o sus partes cumplen o exceden los requisitos mínimos de rendimiento para lo cual fueron diseñados y construidos”*.

No resulta fácil predecir la vida útil de las edificaciones, a pesar de las iniciativas de algunos reglamentos de construcción como el Eurocódigo [Norma UNE-EN 1990] que establecen periodos de utilización prescritos entre 10 y 100 años para diferentes categorías de vida útil de cálculo indicativa. Asimismo, si revisamos la historia de la construcción en concreto, tenemos que nuestros antecesores del Imperio Romano nos dejaron un gran legado de estructuras durables como el Panteón de Roma, el Coliseo Romano y algunas construcciones existentes debajo del Mar Mediterráneo, las mismas que traspasan la frontera de casi dos mil años de antigüedad perdurando hasta nuestros días

Algunos autores han introducido definiciones de vida útil o vida de servicio considerando los efectos actuales del cambio climático. Mendoza y Castro (2009), describen la vida de servicio como el *“período de tiempo durante el cual el desempeño de un material, elemento*

o estructura de concreto conserva los requerimientos de un proyecto en términos de seguridad (resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, seguridad en uso), funcionalidad (higiene, salud y medio ambiente, protección contra el ruido y ahorro energético y confort térmico) y estética (agrietamientos, deformaciones, desconchamientos), con un mínimo de mantenimiento para controlar los efectos del cambio climático global en su entorno”.

LA SOSTENIBILIDAD

El concepto de sostenibilidad aparece justamente en 1987 en el informe Brundtland titulado “Nuestro Futuro Común” elaborado por varios países para la Organización de Naciones Unidas – ONU, ante la gran preocupación del impacto que viene ocasionando las actividades humanas al medio ambiente (Un ejemplo actual es el desbalance entre lo que produce el planeta y lo que consume el ser humano para atender sus necesidades). En este informe se usa por primera vez el término Desarrollo Sostenible definido como “aquel que satisface las necesidades presentes sin comprometer la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas” [The Brundtland Commission Report, 1987].

A partir de los grandes desafíos de la humanidad, el desarrollo sostenible se articula en tres grandes dimensiones: la ecológica o ambiental, la económica, y la social (figura 02), las mismas que fueron consagradas en el informe de Brundtland como pautas claves para las estrategias del desarrollo local, nacional y global; y afianzadas como “el paradigma del desarrollo sostenible” en la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992. Algunas opiniones de investigadores e instituciones como la UNESCO y la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible piden que la cultura sea incluida como una cuarta dimensión, aseverando que la misma es importante para moldear lo que entendemos por desarrollo y

determinar la forma de actuar de las personas en el planeta.

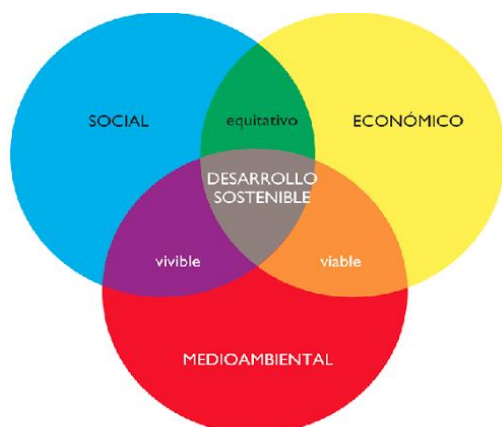


Figura 02: Dimensiones del desarrollo sostenible

CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES

Representan un sistema que promueve el desarrollo de la construcción civil con alteraciones controladas en el entorno, para satisfacer las necesidades de hábitat y empleo de espacios por el hombre, preservando los recursos naturales, el medio ambiente, y la calidad de vida de las actuales y futuras generaciones. Se trata de uno de los desafíos más importantes en el siglo XXI, donde las etapas de diseño de edificación, movimientos de tierra, explotación de recursos para fabricación de materiales, construcción del casco y acabados, así como la gestión de avance de obra y de sus residuos; **deben contemplar el equilibrio entre el uso eficiente de recursos y el crecimiento económico** demandando una reorientación en la producción y consumo.

Respecto al uso eficiente de recursos, es importante conocer datos precisos sobre su disponibilidad y los impactos asociados a su utilización en obra. En la Unión Europea, por ejemplo, la construcción de edificios consume 30% de materias primas y 20% del consumo de agua, genera 40% de emisiones de CO₂, y consume 40% de la energía primaria, por lo que sin la toma de medidas drásticas de desarrollo sostenible se tiene un sector con grandes impactos económico, ecológico y

social. Por ello, **resulta indispensable considerarse en las etapas de pre-factibilidad, factibilidad, y ejecución del proyecto de construcción, el rol finito de los recursos naturales para evitar su depredación y trabajarse más en la recuperación, reciclaje, y re-uso de estos recursos.** Se debe considerar también el empleo de nuevas técnicas constructivas y consumo de energía basados en recursos y energías renovables.

Respecto al crecimiento económico, el sector construcción ha sido considerado en muchos países como uno de los pilares para fomentar el crecimiento de la economía a través del Producto Interno bruto PIB, sobre todo en los países en desarrollo (como es el caso de Perú). Su impulso debe contemplar la estrecha relación con el uso eficiente de recursos disponibles. Para este fin, la Huella Ecológica aparece como un indicador de sostenibilidad frente a los niveles de crecimiento del PIB que puedan plantearse los países para seguir políticas equilibradas acordes a las dimensiones ambiental y social del desarrollo sostenible.

La huella ecológica se define como la superficie total ecológicamente productiva que se necesita para producir los recursos de un ciudadano medio de una comunidad, así como la necesaria para absorber los residuos que genera. Representa un indicador biofísico de la sostenibilidad, dado que integra un conjunto de impactos ocasionados por los seres humanos en su entorno, considerando tanto los recursos necesarios y los residuos generados para el mantenimiento del modelo de consumo de los seres humanos. **La huella ecológica permite comprender cómo nuestro estilo de vida y todas aquellas cosas que adquirimos, consumimos, y desecharnos, tienen repercusión en la vida de los que habitamos el planeta.**

MATERIALES PARA LAS CONSTRUCCIONES DURABLES Y SOSTENIBLES

A partir de las necesidades identificadas en cuanto a la durabilidad y sostenibilidad de las edificaciones, describiremos a continuación algunas propuestas por implementarse en las construcciones del siglo XXI:

- Empleo de rocas puzolánicas, agregados reciclados de residuos de construcción, agregados marginales o no bien graduados; desechos de la industria (polvo de vidrio chancado, polvo de acería) para fabricación de concreto.
- Utilización de aditivos superplastificantes para reducir hasta un 40% el empleo del agua en el concreto y preservar este recurso importante para la vida humana.
- Utilización de fibras para controlar el agrietamiento del concreto y conferir mayor ductilidad a las estructuras.
- Empleo del titanio como material de revestimiento, para aprovechar su peso ligero ($1.35 - 1.8 \text{ kg/m}^2$), y su gran resistencia e inmunidad a la corrosión.
- Empleo de pinturas solares a base del mineral perovskita en las superficies de las edificaciones para transformarlo en paneles solares y se pueda captar energía.
- Empleo de papel mural resistente como revestimiento de edificios para prevenir hasta un 60% o 70% el daño ocasionado por terremotos, permitiendo mayor tiempo de evacuación a sus ocupantes.
- Empleo de cepas de la bacteria *Bacillus Pseudofirmus* y del lactato de calcio para fabricar el Bio Concreto y propiciar el autosellado de grietas en edificaciones.
- Empleo de concretos fluidos de alto desempeño a reología adaptada, para agilizar el proceso constructivo y el desencofrado de las estructuras.
- Empleo de concretos autocurables para facilitar la ganancia de resistencia y durabilidad, dado la preocupación de que no se curan adecuadamente las estructuras en obra.

- Utilización del concreto de alto desempeño (CAD) para reducir la permeabilidad de la pasta hidratada, el área de una estructura, el volumen de concreto y encofrados [Aïtcin, P.-C. and Mindess, S. 2011] sin la merma en la calidad final de la estructura.

CONCLUSIONES

Para las construcciones del siglo XXI se debe considerar la gran importancia que han adquirido los conceptos de durabilidad y sostenibilidad en los proyectos de ingeniería civil, al punto que hoy en día no existe posibilidad de diseñar edificaciones durables sin que este concepto no esté conectado con el desarrollo sostenible del planeta.

Para este caso, un concreto moderno más resistente y duradero, puede ser el legado de una comprensión más profunda de cómo los romanos hicieron sus edificaciones en concreto hace 2000 años.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.1 Aïtcin, P.-C. and Mindess, S. (2011) The Sustainability of Concrete, E and FN SPON, London, U.K. 301p.
- 1.2 ACI 201.2R (2008) Guide To Durable Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A.
- 1.3 ACI Committee 318S, (2014), Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-02, and Commentary, ACI 318R-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A.
- 1.4 ACI Committee 365, (2000), Service life prediction: state-of-the art report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, U.S.A.
- 1.5 American Society of Civil Engineers, (1998) Report Card for America's Infrastructure.
- 1.6 Baron, J. y Ollivier, J.-P. (1992) La durabilité des bétons, [La durabilidad de

los concretos] Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 453 p.

- 1.7 Castro, Pedro (1998) Corrosión en estructuras de concreto armado: Teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones. 1a edición IMCYC, México.
- 1.8 CEMBUREAU (2016) Activity Report. The European Cement Association, 34p.
- 1.9 Díaz Isabel, Gonzales Eduardo y Sotomayor Cristian (2018). Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado Atacadas por Corrosión. Capítulo Peruano del American Concrete Institute.
- 1.10 Gagné, R. (2012) Dégradation et Vieillessement des Ouvrages d'art: Défis et Perspectives, 79e Congrès l'ACFAS, Sherbrooke, 9-13 Mai 2012
- 1.11 Mendoza, J. M., Castro, P. (2009). Credibility of concepts and models about service life of concrete structures in the face of the effects of the global climatic change. A critical review. *Materiales de construcción*, 59(276), 117-124
- 1.12 Norma UNE-EN 1990 del Eurocódigo (2003) Bases de cálculo de estructuras en concreto armado. 82p.
- 1.13 Rhazi, J. (2012) Notas del curso Técnicas de Control no destructivas e Instrumentación de Infraestructuras, Universidad de Sherbrooke, Quebec, Canadá.
- 1.14 The Brundtland Commission Report, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.

EL AUTOR

CRISTIAN SOTOMAYOR CRUZ, Ingeniero Civil egresado de la Universidad San Luis Gonzaga



de Ica. Profesor del pregrado en los cursos de Tecnología del Concreto y Construcción en la Universidad Peruana de Ciencias (UPC),

Universidad San Ignacio de Loyola (USIL), y del Post grado en los cursos de Innovación en la Construcción y Construcciones Especiales en la Universidad Tecnológica del Perú (UTP). Gerente General de ConsulCreto S.A.C, Vice-Presidente del ACI Perú. Miembro de los comités 309R y 237R del ACI -USA, Miembro votante del ASTM C09. Miembro del Comité de Norma E.060 de Concreto Armado y de las Normas Técnicas Peruana de Cemento y Concreto. Ha recibido su maestría en Ingeniería Civil en la Universidad de Sherbrooke, Québec, Canadá. Master en Dirección de Operaciones en Centrum Católica del Perú y EADA de España