

# Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la

## Thermal and Structural Behaviour of Concrete Exposed To High Temperatures: A Review of the Literature

Arlinton Edwin Cuyán Barboza <sup>1</sup>, Jairo Leoncio Mio Monja <sup>2</sup>, Sócrates Pedro Muñoz Pérez <sup>3</sup>

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Fecha de recepción: noviembre 12, 2020.  
Fecha de aceptación: enero 21, 2021.

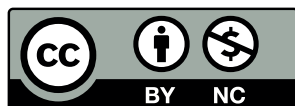
<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Perú.  
E-mail: cbarbozarli@crece.uss.edu.pe  
Código ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-8313-2329>

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Perú.  
E-mail: mmonjajairoleon@crece.uss.edu.pe  
Código ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-9901-2818>

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Perú.  
E-mail: msocrates@crece.uss.edu.pe  
Código ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

CITACIÓN: Cuyán, A.E., Mio, J.L. & Muñoz, S.P. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *Investigatio*, 16, 78–93.  
doi:10.31095/investigatio.2021.16.7

ENLACE DOI:  
<http://dx.doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>



### Resumen

Las altas temperaturas originadas por un incendio, ambientes de trabajo o uso, son conocidos por degradar gravemente a los materiales de construcción, siendo el concreto uno de los más utilizados, afectando así las propiedades mecánicas, físicas y químicas. Debido a la importancia del comportamiento del concreto a altas temperaturas, se han incrementado el estudio. Bajo este punto se revisaron 56 artículos indexados entre los años 2015 al 2020 los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 21 artículos son de *Scopus*, 18 de *Scielo* y 17 de *ScienceDirect* sobre la influencia de la temperatura en parámetros como resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, el desprendimiento del mismo, así como la influencia de tipos de agregados, aditivos y fibras. Concluyendo que la adición de ciertos componentes externo al concreto en la exposición a altas temperaturas puede ayudar a mejorar la resistencia a la compresión, como las fibras de acero, sin embargo, éstas no mitigan totalmente el daño en condiciones extremas.

### Palabras Clave:

*Altas temperaturas; Concreto; propiedades fisico-químicas; propiedades mecánicas; comportamiento térmico; comportamiento estructural.*

**Clasificación JEL:** L74.

### Abstract

High temperatures originated by a fire, work environment or use, are known to seriously degrade construction materials; concrete is one of the most often use materials, thus affecting its mechanical, physical and chemical properties. Study has increased due to the importance of concrete behavior at high temperatures. A total of 56 articles indexed between the years 2015 to 2020 were reviewed; these articles were distributed as follows: 21 articles are from *Scopus*, 18 are from *Scielo* and 17 are from *ScienceDirect*; these articles analyze the influence of temperature on parameters such as compressive strength, flexural strength, module elasticity, detachment thereof, as well as the influence of aggregates types, additives and fibers. The conclusion is that the addition of certain external components, such as steel fibers, to concrete exposed to high temperatures, may help improve compressive strength; these, however, do not fully mitigate damage under extreme conditions.

### Keywords:

*High temperatures; Concrete; Physico-chemical properties; mechanical properties; thermal behavior; structural behavior.*

**JEL Classification:** L74.

## Introducción

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido a su resistencia, durabilidad y gran disponibilidad de componentes (Talal & Arsalan, 2020), por lo tanto este es indispensable para la creación de un sinnúmero de estructuras, lo cual conlleva al desarrollo de los países (Buch & Sharma, 2019), elementos estructurales como los muros de concreto armado, vigas, columnas son muy utilizados en los edificios en general (Bolina et al., 2020), por lo que resulta de gran prioridad analizar este material frente a eventos que además de los sismos y las cargas de gravedad puedan afectarlo, como es la exposición a temperaturas elevadas teniendo en cuenta que la crecida de números de incendios en todo el planeta han aumentado considerablemente (Buch & Sharma, 2019), debido a esto las investigaciones para poder evaluar y predecir el comportamiento de este material se han visto incrementadas notoriamente (Dvorkin et al., 2018).

El fuego es uno de los peligros más perjudiciales para los edificios e infraestructuras subterráneas. Aparte de la degradación de las propiedades mecánicas del concreto, las altas temperaturas pueden causar desconchado explosivo de este, lo que da como resultado la remoción repentina del recubrimiento, la exposición del refuerzo de acero a altas temperaturas y la aceleración del aumento de temperatura de los miembros comprometiendo la capacidad de carga de los componentes

estructurales afectados de manera abrupta (Li & Zhang, 2020).

Según las demandas de la construcción, la mezcla de concreto del día a día está diseñada con una resistencia a la compresión bastante alta. Sin embargo, a medida que aumenta la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión del concreto no mejoran, a altas temperaturas, el agua interna se evapora y se produce la contracción, lo que resulta en una alta tensión de tracción dentro de la matriz de hormigón. Esto da como resultado microgrietas, pérdidas de adherencia y desconchado progresivo (Alaskar, et al., 2020).

Cuando una estructura de concreto armado se expone a altas temperaturas, el refuerzo longitudinal pierde en gran medida su capacidad para soportar cargas y la disminución resultante en la sección de diseño provoca que la resistencia estructural disminuya drásticamente (Choe et al., 2020), en ese sentido el concreto armado experimenta procesos físicos y químicos (Ryu et al., 2020), por lo cual estos tienen como consecuencia la reducción de la resistencia, la pérdida de humedad y la degradación de los agregados (Al-Rousan, 2020).

En definitiva la temperatura es un factor muy importante para ganar o perder resistencia en el concreto, puesto que al momento del curado se debe tomar en cuenta el tiempo y la metodología para hacer que el concreto obtenga su resistencia óptima (Dvorkin et al., 2018), por otro lado la acción del fuego como

punto importante para el diseño en la ingeniería es algo que no se toma muy en cuenta hoy en día, para así comprender cuál es el comportamiento de las estructuras y el nivel de seguridad que se le puede brindar a los usuarios bajo acciones del fuego o altas temperaturas (Ruvalcaba & Covarrubias, 2017).

### *Comportamiento Mecánico del Concreto a Altas Temperaturas*

#### *Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad*

Exponer el concreto en un rango de 20°C a 200°C la resistencia a la compresión en concreto simple es mucho mayor que en un concreto con fibras de polipropileno (Müller et al., 2019).

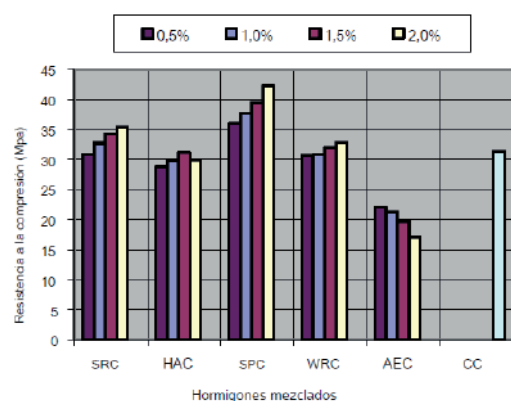


Figura 1. Evolución de las resistencias a la compresión de los distintos hormigones a T = 300 C.  
Fuente: Maanser et al., 2018.

Así mismo, la resistencia a la compresión de un concreto sin aire incorporado (NAEC) aumentó en un rango de 20°C-200°C, mientras que para un concreto sin incorporación de aire (AEC) generalmente disminuyó con el aumento de la temperatura, así mismo a temperaturas de 800°C la resistencia a compresión de NAEC y AEC

son casi la misma, lo que significa que la incorporación de aire no afecta la resistencia a la compresión (Holan et al., 2020).

Por otro lado en concreto de alto rendimiento para temperaturas de 400°C -800°C, la resistencia a la compresión del concreto disminuye drásticamente debido al deterioro físico y químico, lo que provoca desintegración del silicato de calcio hidratado (CSH) gel, desde 400°C hasta 600°C, se produce la descomposición del hidróxido de calcio, mientras que de 600°C a 800°C se produce la decarbonización del carbonato de calcio; de 800°C y posteriormente, la resistencia a la compresión del concreto es casi nula (Abed & De Brito, 2020).

La incorporación de nanotubos de carbono en el concreto normal y de peso ligero mejora las propiedades físicas y química de este, por lo que después de la exposición a temperaturas que bordean los 800°C, mejora la resistencia a la compresión al igual que la resistencia a la tracción; la microestructura del concreto nano-modificado exhibe capacidad de puenteo de grieta, la capacidad de absorción de energía del concreto nano-modificado mejora la mitigación del desconchado (Latif et al., 2018).

La pérdida de resistencia a la compresión de muestras de concreto hasta 200°C es casi insignificante, pero será del 40% y 64% cuando la temperatura aumenta en 400°C y 600°C, respectivamente (Sadrmomtazi et al., 2020).

Para un concreto de resistencia normal la reducción de sus propiedades

mecánicas ocurre de forma gradual con el aumento de la temperatura, mientras que para un concreto de alta resistencia a los 400°C pierde una gran resistencia (Degliuomini et al., 2020)

Los hormigones con  $f'c$  de 25, 35 y 40MPa mostraron pérdida de resistencia tras el enfriamiento brusco. El hormigón con  $f'c$  25 MPa tuvo una reducción de la resistencia proporcional al aumento de temperatura, mientras que los otros hormigones mostraron una reducción de la resistencia más gradual y logarítmica (Coelho et al., 2020).

En mezclas de concreto que contienen residuos de cerámica, expuestos a temperaturas de 100 °C, 350 °C, 600 °C y 850 C, muestran que la resistencia a la compresión del concreto que contiene agregados gruesos de porcelana disminuye en un 53.8% cuando se expone a una temperatura de 600 °C, mientras que en las muestras que contenían agregados convencionales es de aproximadamente un 70%, en temperaturas de 850°C las muestras de concreto que contienen desechos de porcelana mostraron un incremento del 41% en la resistencia a la compresión en relación con las muestras de concretos convencionales (Keshavarz & Mostofinejad, 2020).

A temperaturas mayores de 150°C, el módulo de elasticidad en concretos con cenizas volantes como agregado fino es más altos en comparación con el CC (concreto común) (Dongsheng et al., 2019).

Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la reducción tanto de la

resistencia a la compresión como del módulo de elasticidad, para la misma velocidad de deformación, el enfriamiento por agua parece ser más perjudicial para la resistencia a la compresión que el enfriamiento por aire o temperatura ambiente (Bi et al., 2020).

En cuanto a la influencia de la temperatura en la variación de la resistencia a la compresión en concreto de fibra de alta resistencia, se verifica que a 300 °C la resistencia a la compresión tiende a ser la misma que se presenta a temperatura ambiente con una variación de  $\pm 10\%$ , Sin embargo, a 500°C y 700 °C, se observa una reducción en el valor de la resistencia a la compresión cuando se compara con los valores obtenidos a temperatura ambiente entre 39 y 44% y 68 y 76%, respectivamente (Caetano et al., 2019).

El desempeño del concreto geopolímero de cenizas volantes con bajo contenido de calcio curado al ambiente y curado con calor después de la exposición a temperaturas elevadas a una velocidad de calentamiento de 5°C/min, mostraron que todas las probetas de hormigón se pudieron calentar a 600°C durante 2 h sin pérdida de resistencia, sin embargo las muestras de concreto de geopolímero curado con calor mostraron mayores resistencias a la compresión residual que las muestras curadas al ambiente para todas las temperaturas de exposición (100, 200, 400, 600, 800 y 1000°C) (Zhang, y otros, 2020).

Las losas alveolares de concreto armado, en capas de 20 y 10 mm hubo

una reducción de la resistencia a compresión de 25% y 70% a temperaturas de 700°C (Ehrenbring et al., 2017). Cuando se expone el concreto a altas temperaturas, los valores del módulo elástico muestran que, la degradación en el agregado comienza gradualmente para la exposición a una temperatura de 425°C, y hay un fuerte aumento en la disminución de los valores del módulo elástico para temperatura de exposición a 715°C a 850°C (Guruprasad & Ramaswamy, 2018).

Por otra parte en concretos de áridos reciclados (RAC) de resistencia normal y alta, se demuestra que la exposición de estos a altas temperaturas causa impactos negativos en el módulo de elasticidad incluso mayor a los generados en la resistencia a la compresión, donde la presencia de los áridos reciclados aumenta la reducción del módulo de elasticidad, siendo así que a temperaturas de 450°C-600°C la presencia de estos agregados no afectan significativamente la respuesta del concreto con prácticamente las mismas tasas de reducción para todas las mezclas, es decir la reducción del módulo de elasticidad es casi la misma tanto para los concretos de resistencia normal y alta (Da Silva et al., 2020).

En concretos de alta resistencia (HSC) modificado con diferentes porcentajes de nano/micro plaquetas de grafito (GNMP) después de la exposición a temperaturas elevadas, se puede ver que el módulo de elasticidad continua disminuyendo al aumentar la temperatura que acompaña al déficit de solo el 12% a 100°C para 0.3GNMPs y casi 23% a 200°C, la

pérdida de módulo de elasticidad a 400 °C para HSC, 0.1GNMPs, 0.3GNMPs y 0.5GNMPs se registró como 61%, 49%, 45% y 53%, respectivamente, mientras que a 600°C para HSC, 0.1GNMPs, 0.3GNMPs y 0.5GNMPs la pérdida del módulo de elasticidad fue del 91%, 77%, 66% y 79%, respectivamente, lo que mostró un rendimiento relativamente mejor de las muestras modificadas (Waheed et al., 2020).

#### *Resistencia a la flexión*

La resistencia a la flexión disminuye considerablemente con el aumento de la temperatura, eso ocurre tanto en pruebas con o sin carga en las muestras, el decaimiento está entre un 11.7% y 22.5% a 300°C y 11.6% y 26.6% a 500°C, así mismo las muestras no alcanzaron a soportar cargas con temperaturas cercanas a 700°C (Caetano et al., 2019).

La norma Eurocódigo 2, no considera una resistencia a flexión del concreto al estar expuesto a más de 600°C, sin embargo, en una investigación se pudo observar una resistencia residual de un 15% a más de 800°C (Varona et al., 2018).

La resistencia a flexión del concreto reforzado con fibra de ultra alto rendimiento (UHPFRC) es casi el doble que el concreto convencional, además de ello un UHPFRC al 2% ofrece un 17% más que un UHPFRC al 1% (Ashkezari & Mehrdad, 2020).

A mayor resistencia de diseño del concreto aumenta la conductividad térmica y densidad, lo que permite una



transferencia de calor más fácil, lo cual afecta el comportamiento estructural y por ende la resistencia residual se reduce considerablemente (Ryu et al., 2020)

La resistencia a flexión más alta para concretos de fibra infiltrado con lechada a base de cemento blanco con metacaolín y aditivo de cenizas volantes a 300°C fue de 55.51MPa, mientras que para los 400°C y 600°C fueron de 49.48MPa y 36.21MPa respectivamente (Aygörmez et al., 2019).

Después de la exposición a altas temperaturas determinaron que la integridad del concreto unido a polímeros reforzados se deteriora, las altas temperaturas, hasta 300°C, pueden provocar más del 55% de pérdida de la resistencia a la fractura de la interfaz de desconchado y cizallamiento para el concreto, además de la pérdida de capacidad a flexión y compresión, lo cual conlleva a una desunión de las partículas de los compuestos poliméricos (Zhou et al., 2020).

#### *Resistencia a la Tracción*

Utilizar las cenizas volantes como agregado fino en un rango de 450°-600°C la estructura interna del concreto se vuelve más uniforme y compacta, lo que ayuda una mejor distribución de la tracción del concreto (Zhang et al., 2020).

Las tracciones por fluencia del concreto de muestras almacenadas a humedades relativas bajas (<20%) y altas temperaturas (~40°C), demuestran que al pasar del tiempo para dichas condiciones

el concreto disminuye su resistencia, lo cual aumenta su deformación por fluencia y contracción (Nastic et al., 2019).

La resistencia a la tracción en un concreto común (CC) comparado con un concreto reforzado con fibras de polipropileno (CRFPP) es mucho menor en un rango de temperatura entre 20°C y los 450°C, a temperaturas mayores a estas el CC conserva más fuerza de tracción que el CRFPP (Du & Zhang, 2020).

Las altas temperaturas redujeron significativamente el módulo de elasticidad, con reducciones superiores al 80% a 800 °C. La edad no tuvo una influencia significativa en la tracción de adherencia del hormigón (Jeronimo et al., 2020).

Los concretos de alta resistencia (HAR) y concretos de resistencia convencional (HC), muestran que la exposición de estos a temperaturas de 20°C, 450°C, 650°C y 825°C, disminuyen su resistencia a la tracción de manera muy similar aproximadamente en un 83%, a pesar de tener propiedades mecánicas diferentes (Varona et al., 2017).

Los concretos de agregados ligeros (LWAC) en comparación al concreto de peso normal (NWC), mostraron una pérdida de resistencia a la rotura y módulo de elasticidad más moderada, sin embargo la característica más resaltante es que a diferencia del concreto de peso normal cuya resistencia a la tracción disminuye casi linealmente con la temperatura, el concreto de agregado

liviano y el mortero muestran solo, a 450 °C, una ligera pérdida de resistencia a la tracción de aproximadamente el 20%, mientras que el concreto de peso normal ha perdido más del 60% de su valor de fuerza inicial (Roufael et al., 2020).

### *Cambios Físicos y Químicos*

#### *Humedad en el Concreto*

Entre 20°C-150°C la resistencia a la compresión del concreto disminuye moderadamente debido a la pérdida de agua libre que cambia las condiciones hidrotermales, entre 150°C-300°C, la resistencia a la compresión del concreto es casi constante o aumenta ligeramente como consecuencia de CSH cuando el agua migra y se condensa en las zonas más frías de la muestra, entre 300°C-400°C, la resistencia a la compresión del concreto permanece aproximadamente constante o incluso disminuye ligeramente debido a la rotura del agua ligada al producto químico (Abed & De Brito, 2020).

El contenido de humedad tiene un gran efecto sobre la evolución de la temperatura, la adición de fibras afecta muy poco a la evolución de la temperatura en el material, en general todos los compuestos cementosos sufren variaciones en cuanto a su comportamiento térmico y estructural (Štefan et al., 2020).

#### *Porosidad*

La pérdida de masa en el concreto ayuda a cuantificar la porosidad, con el aumento de temperatura, la relación de pérdida de masa proporciona una

evaluación del deterioro progresivo y el daño de la microestructura aumentando la pérdida de humedad, las tasas diferenciales dependen de la densidad de la microestructura (Porosidad), los procesos hidrotermales y las condiciones de unión (Talal & Arsalan, 2020).

Los concretos modificados con nanotubos de carbono refinan la microestructura de la matriz huésped y a diferencia de los concretos ordinarios, estos compuestos tienen porosidades reducidas, por lo que tienen una mayor resistencia en la acumulación de presión de poro, la acumulación de presión de poro tiene efectos dañinos, ya que socava el rendimiento del concreto provocando el desconchado y la consiguiente falla de los miembros estructurales (Latif et al., 2018), de igual manera el concreto de agregado ligero (LWA) debido a su alta porosidad y permeabilidad presenta una resistencia de exposición al fuego bastante alta, ya que no presentan desconchado, ni agrietamiento (Štefan et al., 2020).

Cuando se sometieron las muestras del concreto a 600°C, la porosidad y permeabilidad de un concreto sin aire incorporado (NAEC) y del concreto con aire incorporado (AEC) fueron suficientemente altas para transportar y dispersar el vapor (Holan et al., 2020).

#### *Fisuración*

En un rango de 20°C-150°C las fisuras que pueden provocar al concreto no afectan las propiedades de aislamiento térmico entre ambientes (Takeshi et al., 2017).

Las fibras de polipropileno son muy buenas al momento de controlar el agrietamiento explosivo durante el proceso de calentamiento del concreto (Varona et al., 2018) así como el uso de cenizas volantes (Zhang et al., 2020).

Las fibras de acero evitan la expansión de las grietas y contribuyen al desconchado y la resistencia mecánica residual, sin embargo, a medida que aumenta la temperatura las curvas de deflexión de carga y la energía de fractura disminuyen (Sadrnontazi et al., 2020).

Las muestras de concreto calentadas mostraron grietas superficiales debido a la incompatibilidad térmica de la pasta de cemento y los agregados, las grietas superficiales fueron más prominentes en las muestras expuestas a 750°C (Ahmad et al., 2020).

En concretos de alta resistencia, en un rango de 400°C-600°C, debido a cambios químicos y físicos en su microestructura junto con el proceso de desconchado es afectado por el nivel de saturación (Degliuomini et al., 2020).

### Desintegración

La presión de poro en rango de 75°C-100°C aumenta linealmente, luego de ello, decae de la misma forma, esto se da incluso con la incorporación de fibras de polipropileno (Du & Zhang, 2020).

La desintegración del concreto en la muestra fue de 6.5cm en esquinas, 5cm en zona central (Du & Zhang, 2020). En

cuanto a la tendencia al desconchado, se puede verificar que los hormigones producidos con residuos de cerámica roja se mantuvieron estables, ya que no se produjo desconchado incluso a temperaturas superiores a 800°C (Passos et al., 2020).

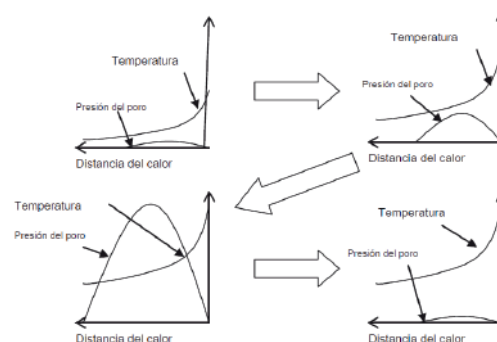


Figura 2. Descascarado del hormigón inducido por la presión de vapor de los poros.  
Fuente: Consolazio et al., 1998.

En NAEC muestra un desprendimiento explosivo, mientras para AEC, el concreto no muestra tal desprendimiento (Holan et al., 2020). Las tasas de aumento de deflexión para las vigas de concreto de resistencia normal y de alta resistencia son muy similar antes de la desintegración del desconchado, pero se vuelve notablemente alta para las vigas de concreto de alta resistencia después del desconchado (Choi & Shin, 2011).

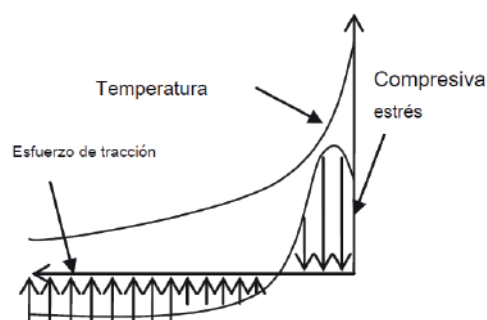


Figura 3. Descascarado del hormigón inducido por tensiones térmicas.  
Fuente: Ma et al., 2015.



### *Componentes que Influyen en el Comportamiento del Concreto Sometidos a Altas Temperaturas*

#### *Tipo de Agregado*

En algunos diseños se utiliza las cenizas volantes como agregado fino (Dongsheng et al., 2019). Utilizar el vidrio como agregado puede ser recomendado para elementos estructurales de paredes delgadas llegando a tener un buen comportamiento con temperaturas máximas de 400°C, mientras que concretos con granulado de poliestireno como agregado solo es recomendable con temperaturas no mayores a 200°C debido a la emisión de humos nocivos (Domagała, 2019).

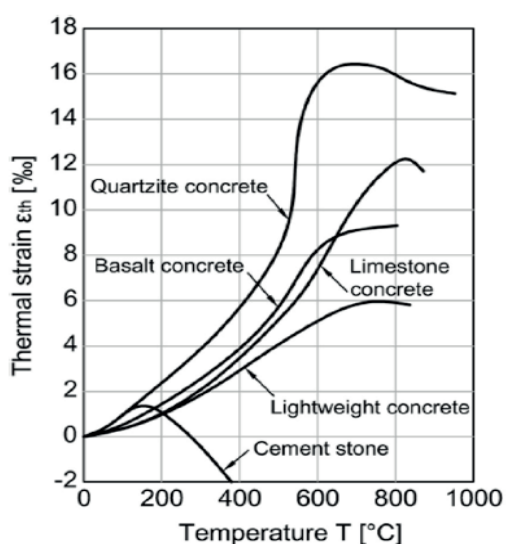


Figura 4. Deformaciones térmicas de diferentes tipos de agregados.

Fuente: Müller et al., 2019.

El mortero y los agregados gruesos presentes en el concreto se ablandan cuando se exponen a temperaturas más altas y un tiempo de exposición más prolongado (que van desde 715°C-

850°C), posiblemente debido al inicio de la fusión de los minerales presentes en el agregado grueso (Guruprasad & Ramaswamy, 2018).

Los elementos estructurales de concreto armado generalmente exhiben una resistencia al fuego bastante buena debido a su baja conductividad térmica y alta capacidad térmica, sin embargo, bajo una duración prolongada de exposición, estos experimentan pérdida de fuerza y rigidez, reducción en el límite elástico entre el 40% y el 69% para las duraciones de 60 y 240 min, respectivamente y se observa pérdida de adherencia entre el acero y los agregados del concreto más allá de la duración de exposición de 60 min (Thanaraj et al., 2020).

#### *Aditivos*

La incorporación de un 2% de aditivo superplastificante aumenta en un 34% su resistencia del concreto en un rango de 105°C y 300°C, por otro lado, el aditivo incorporador de aire ha provocado una disminución de resistencia hasta un 42% con la dosis de 2% (Maanser et al., 2018).

El aditivo de cenizas volantes aumenta la resistencia a flexión para concretos con fibra infiltrada con lechada a base de cemento blanco con metacaolín a 300°C y esta fue de 55.51MPa, mientras que para los 400°C y 600°C fueron de 49.48MPa y 36.21MPa respectivamente (Aygörmez et al., 2019).

La incorporación de aditivos minerales en un concreto con agregado reciclado (RAC) aumentó la compresión

residual fuerza de RAC calentado. Por lo tanto, los aditivos minerales contribuyeron para mejorar la resistencia de RAC a la alta temperatura (Ngoc, et al., 2018).

El aditivo autopolimerizable PEG 400, aumentó la trabajabilidad del concreto fresco junto con la compresión, resistencias a la tracción y a la flexión en condiciones de temperaturas elevadas, dando como resultado que las muestras con PEG 400 fueron menos afectado por el aumento de la temperatura de los materiales secos en comparación con un concreto común (Rizzut et al., 2020).

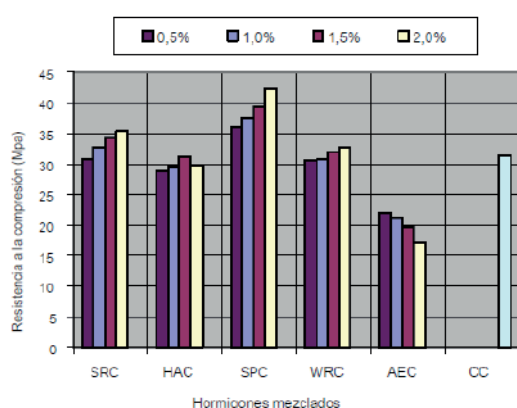


Figura 5. Evolución de las resistencias a la compresión de los distintos hormigones a  $T = 105^{\circ}C$ . Retardadores de fraguado (SRC), aceleradores de endurecimiento (HAC), superplastificantes (SPC), repelentes de agua (WRC) e incorporadores de aire (AEC). Fuente: Maanser et al., 2018.

### Fibras

La resistencia a la tracción en un concreto reforzado con fibras de polipropileno (CRFPP) es mayor que un CC en un rango de temperatura entre  $20^{\circ}C$  y los  $450^{\circ}C$ , a temperaturas mayores a estas el CRFPP disminuye fuerza de tracción comparado con un CC (Du & Zhang, 2020).

Las fibras de polipropileno en el concreto afectan la resistencia a la compresión cuando es expuesto a temperaturas altas, debido al ablandamiento de la microestructura (Müller et al., 2019).

La resistencia a flexión con fibras de polipropileno disminuyó aproximadamente entre 21-36% para enfriamiento con aires y de 45-62% por enfriamiento por agua a una temperatura de  $400^{\circ}C$  así mismo Fue alrededor del 70-78% para enfriamiento por aire, 72-87% para enfriamiento por agua a  $600^{\circ}C$  (Karahan et al., 2019).

La adición de fibras de acero conduce a un aumento de la resistencia a la flexión en comparación con un concreto común (Caetano et al., 2019).

La inclusión de fibras de polipropileno evita el desconchado hasta una temperatura de  $600^{\circ}C$ , el cual se refiere a la ruptura de capas de concreto de la superficie cuando se expone a temperaturas altas y va en rápido aumento, pasado ese rango la adición de este solo actúa en la minimización de este fenómeno, el cual puede conducir a una pérdida temprana de la estabilidad e integridad de las estructuras (Alves et al., 2018).

Las altas temperaturas provocan la descomposición de la matriz en los polímeros reforzados con fibra (FRP) (es decir, la resina que rodea las fibras), lo que impide la transferencia de cizallamiento entre las barras de FRP y el concreto, sin embargo en una temperatura que varía entre los  $100^{\circ}C$ - $500^{\circ}C$ , las

losas reforzadas con fibras pueden ser más resistentes al fuego debido a la sobre resistencia en la condición última inducida por las comprobaciones en la condición de servicio (Bilotta et al., 2020).

La incorporación de fibras de coco nucifera (CNF) mejoró particularmente la calidad de compresión a cada temperatura predeterminada para todas las densidades investigadas. Esto demuestra que el CNF tiene una fuerte unión y una buena calidad de propiedades químicas que le son exclusivas (Othuman Mydin et al., 2020).

La aplicación de fibras de acero mejora la resistencia a la compresión, tracción y cizallamiento en un rango de 9-27%, 8-198% y 1-22% a altas temperaturas respectivamente, para las muestras que contienen fibra de vidrio, el nivel de mejora de la resistencia a la compresión y a la tracción está en el rango de 1-18% y 19-213%, respectivamente, sin embargo, las pruebas de durabilidad muestran que las altas temperaturas pueden dañar las propiedades de durabilidad del concreto, la adición de fibras ha compensado este daño, mientras tanto, se observa que las pruebas de sorptividad y profundidad de penetración del agua debido a las propiedades capilares tienen un resultado similar (Moghadam & Izadifard, 2020).

La resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento de endurecimiento por deformación (SHUHPC) no se vio afectada por porciones de fibras de polipropileno (PP) y fibras de polietileno (PE), La resistencia a la compresión de SHUHPC

aumentó por debajo de 200 C y disminuyó significativamente después de la exposición a 400 C. Cuando se sometió a SHUHPC a 600 C y 800 C, su resistencia a la compresión se redujo ligeramente (Zhang et al., 2020).

Por otro parte el concreto reforzado con fibras de carbono (CFRC) expuesto a temperatura de 400°C a 800 °C la resistencia a la compresión del CFRC se deteriora drásticamente, pudiendo comprobar que la adición de poca o mucha fibra de carbono mejora limitadamente la resistencia a la compresión de CFRC (Guo et al., 2020).

## Conclusiones

La pérdida de resistencia a la compresión en muestras de un concreto común por debajo de los 200°C es mínima, pero una vez superada esta temperatura la resistencia disminuye de forma lineal desde unos 40% a 60% con temperaturas superiores a 400°C y menores a 600°C. Sin embargo, para concreto de 25MPa-40MPa, la reducción de la resistencia es de forma logarítmica.

El módulo de elasticidad, así como la resistencia a la compresión disminuyen sus valores con el aumento de la temperatura, no obstante agregar cenizas volantes con agregado fino en un concreto común aumenta el módulo de elasticidad a temperaturas mayores de 150°C, en valores mayores de 450°C el módulo de elasticidad disminuye gradualmente y para temperaturas de entre 715°C y 850°C la disminución de los valores es fuerte.

La pérdida de resistencia a la flexión del concreto ocurre con o sin carga de las muestras entre un rango de 11.7% y 26.6% para temperaturas que van desde 300°C y 500°C, pero las muestras no soportaron cargas con temperaturas mayores a 700°C, por otra parte, agregar fibras de ultra rendimiento aumenta en casi el doble a un concreto común.

Los concretos de alta resistencia y los concretos convencionales muestran una disminución en su resistencia a la tracción de manera muy similar aproximadamente en 83% con temperaturas hasta 825°C a pesar que los concretos tienen propiedades mecánicas diferentes.

El contenido de humedad tiene un gran efecto sobre la evolución de la temperatura cuando el agua migra y se condensa en las zonas más frías de la muestra, entre 300°C-400°C, la resistencia a la compresión del concreto permanece aproximadamente constante o incluso disminuye ligeramente debido a la rotura del agua ligada al producto químico silicato de calcio hidratado utilizado en una investigación.

En un rango de 20°C-150°C las fisuras que pueden provocar al concreto no afectan las propiedades de aislamiento térmico entre ambientes, las fisuras superficiales fueron más prominentes en las muestras expuestas a 750°C, pese a ello se pueden controlar estas fisuras con fibras de polipropileno y controla un agrietamiento explosivo.

La desintegración del concreto en la muestra fue de 6.5cm en esquinas, 5cm

en zona central, al utilizar residuos de cerámica roja se mantuvieron estables, ya que no se produjo desconchado incluso a temperaturas superiores a 800°C.

El mortero y los agregados gruesos presentes en el concreto se ablandan cuando se exponen a temperaturas más altas y un tiempo de exposición más prolongado; utilizar el vidrio como agregado puede ser recomendado para elementos estructurales de paredes delgadas llegando a tener un buen comportamiento con temperaturas máximas de 400°C.

Las fibras de polipropileno en el concreto afectan la resistencia a la compresión cuando es expuesto a temperaturas altas, debido al ablandamiento de la microestructura, no obstante, la adición de fibras de acero conduce a un aumento de la resistencia a la flexión en comparación con un concreto común. Y la incorporación de fibras de coco nucifera mejoró particularmente la calidad de compresión a cada temperatura predeterminada para todas las densidades investigadas.

### **Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, por la dedicación y apoyo que han brindado en la redacción y revisión del presente manuscrito.

### **Referencias**

Abed, M., & De Brito, J. (2020). Evaluation of

- high-performance self-compacting concrete using alternative materials and exposed to elevated temperatures by non-destructive testing. *Journal of Building Engineering*, 32(101720), 1-9. doi:10.1016/j.jobe.2020.101720
- Ahmad, S., Bhargava, P., Chourasia, A., & Usmani, A. (2020). Effect of elevated temperatures on the shear-friction behaviour of concrete: Experimental and analytical study. *Engineering Structures*, 225(111305), 1-14. doi:10.1016/j.engstruct.2020.111305
- Alaskar, A., Albidah, A., Saeed, A., Alyousef, R., & Mohammadhosseini, H. (2020). Performance evaluation of high-strength concrete reinforced with basalt fibers exposed to elevated temperatures. *Journal of Building Engineering*, 35(102108). doi:10.1016/j.jobe.2020.102108
- Al-Rousan, R. (2020). Optimum Endurance Time of Reinforced Concrete One Way Slab Subjected to Fire. *Procedia Manufacturing*, 44, 520-527. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.260
- Alves, F., De Carvalho, M., Rodrigues, A., & Bezerra, A. (2018). Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures. *Procedia Structural Integrity*, 11(2018), 91-98. doi:10.1016/j.prostr.2018.11.013
- Ashkezari, G., & Mehrdad, R. (2020). Thermal and mechanical evaluation of ultra - high performance fiber - reinforced concrete and conventional concrete subjected to high temperatures. *Journal of Building Engineering*, 32(101621), 1-11. doi:10.1016/j.jobe.2020.101621
- Aygörmez, Y., Al-mashhadani, M., & Canpolat, O. (2019). High-temperature effects on white cement-based slurry infiltrated fiber concrete with metakaolin and fly ash additive. *Revista de la construcción*, 19(2), 324-333. doi:10.7764/RDLC.19.2.324
- Bi, J., Liu, P., & Gan, F. (2020). Effects of the cooling treatment on the dynamic behavior of ordinary concrete exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248(118688), 1-12. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118688
- Bilotta, A., Compagnone, A., Esposito, L., & Nigro, E. (2020). Structural behaviour of FRP reinforced concrete slabs in fire. *Engineering Structures*, 221(111058), 1-16. doi:https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111058
- Bolina, F., Gil, A., Fernandes, B., Hennemann, G., Gonçalves, J., & Tutikian, B. (2020). Influence of design durability on concrete columns fire performance. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4968-4977. doi:10.1016/j.jmrt.2020.03.015
- Buch, S., & Sharma, U. (2019). Empirical model for determining fire resistance of Reinforced Concrete columns. *Construction and Building Materials*, 225, 838-852. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.183
- Caetano, H., Rodrigues, J., & Pimenta, P. (2019). Flexural strength at high temperatures of a high strength steel and polypropylene fibre concrete. *Construction and Building Materials*, 227(116721), 1-14. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116721
- Choe, G., Kim, G., Kim, H., Hwang, E., Lee, S., Son, M., & Nam, J. (2020). Influence of amorphous metallic fibers on spalling properties of high-strength concrete exposed to high temperature. *Construction and Building Material*, 263(120711), 1-11. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120711
- Choi, E., & Shin, Y. (2011). The structural behavior and simplified thermal analysis of normal-strength and high-strength concrete beams under fire. *Engineering Structures*, 33(4), 1123-1132. doi:10.1016/j.engstruct.2010.12.030



- Coelho, A. R., Roveda Campos, G. C., Cardoso dos Santos, C., Samy Pereira, H. R., & Furlaneto, T. (2020). Influência do choque térmico por resfriamento brusco do concreto após exposição a elevadas temperaturas em simulação de incêndio. *Revista Materia*, 25(1). doi:10.1590/s1517-707620200001.0894
- Consolazio, G., McVay, M., & Rish, J. (1998). Measurement and prediction of pore pressures in saturated cement mortar subjected to radiant heating. *ACI Materials Journal*, 95(5), 525-536.
- Da Silva, J., Marco, P., & Toledo, R. (2020). High temperatures effect on mechanical and physical performance of normal and high strength recycled aggregate concrete. *Fire Safety Journal*, 117(103222), 1-10. doi:10.1016/j.firesaf.2020.103222
- Degliuomini Kirchhof, L., Antochaves de Lima, R. C., Costa Quispe, A., Pinto da Silva Filho, L. C., & Barros da Silva Santos Neto, A. (2020). Effect of Moisture Content on the Behavior of High Strength Concrete at High Temperatures. *Revista Materia*, 25(1). doi:10.1590/s1517-707620200001.0898
- Domagała, L. (2019). Resistance of insulating-structural concretes to high temperature. *Structural Integrity Procedia*, 23, 642-647. doi:10.1016/j.prostr.2020.01.110
- Dongsheng, Z., Mingjie, M., Shangrong, Z., & Qiuning, Y. (2019). Influence of stress damage and high temperature on the freeze-thaw resistance of concrete with fly ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 229(116845), 1-13. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116845
- Du, H., & Zhang, M. (2020). Experimental investigation of thermal pore pressure in reinforced C80 high performance concrete slabs at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 260, 1-10. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120451
- Dvorkin, L., Zhitkovsky, V., Stepasyuk, Y., & Ribakov, Y. (2018). A method for design of high strength concrete composition considering curing temperature and duration. *Construction and Building Materials*, 186, 731-739. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.014
- Ehrenbring, H., Ortolan, V., Pacheco, F., Gil, A., & Tutikian, B. (2017). Avaliação da resistência residual de lajes alveolares em concreto armado em uma edificação industrial após incêndio. *Revista Materia*, 22(3). doi:10.1590/S1517-707620170003.0208
- Guo, Z., Zhuang, C., Li, Z., & Chen, Y. (2020). Mechanical properties of carbon fiber reinforced concrete (CFRC) after exposure to high temperatures. *Composite Structures*, 256(2), 1-14. doi:10.1016/j.compstruct.2020.113072
- Guruprasad, Y., & Ramaswamy, A. (2018). Micromechanical analysis of concrete and reinforcing steel exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 158, 761-773. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.10.061
- Holan, J., Novák, J., Müller, P., & Štefan, R. (2020). Experimental investigation of the compressive strength of normal-strength air-entrained concrete at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 1-10. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118662
- Jeronimo, V., Piccinini, A., Silva, B., Godinho, D., Bernardini, A., & Vargas, A. (2020). Influence of concrete admixture on the bond strength of reinforced concrete submitted to high temperature. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 13(2), 212-221. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118662
- Karahan, O., Durak, U., İlkentapar, S., Atabey, İ., & Atiş, C. (2019). Resistance of polypropylene fibered mortar to elevated temperature under different cooling



- regimes. *Revista de la construcción*, 18(2), 386-397. doi:10.7764/RDLC.18.2.386
- Keshavarz, Z., & Mostofinejad, D. (2020). Effects of high-temperature exposure on concrete containing waste porcelain coarse aggregates and steel chips. *Journal of Building Engineering*, 29, 2-15. doi:10.1016/j.jobe.2020.101211
- Latif, W., Arsalan, R., & Khaliq, W. (2018). Influence of multi-walled carbon nanotubes on the residual performance of concrete exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 185, 44-56. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.051
- Li, Y., & Zhang, D. (2021). Effect of lateral restraint and inclusion of polypropylene and steel fibers on spalling behavior, pore pressure, and thermal stress in ultra-high performance concrete (UHPC) at elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 271. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121879
- Ma, Q., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z., & He, K. (2015). Mechanical properties of concrete at high temperature. *Construction and Building Materials*, 99, 371-383. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.131
- Maanser, A., Benouis, A., & Ferhoune, N. (2018). Effect of high temperature on strength and mass loss of admixed concretes. *Construction and Building Materials*, 166, 916-921. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.181
- Moghadam, M., & Izadifard, R. (2020). Effects of steel and glass fibers on mechanical and durability properties of concrete exposed to high temperatures. *Fire Safety Journal*, 113, 1-11. doi:10.1016/j.firesaf.2020.102978
- Müller, P., Novák, J., & Holan, J. (2019). Destructive and non-destructive experimental investigation of polypropylene fibre reinforced concrete subjected to high temperature. *Journal of Building Engineering*, 26, 1-9. doi:10.1016/j.jobe.2019.100906
- Nastic, M., Bentz, E., Sung, O., Papanikolaou, V., & Tchner, J. (2019). Shrinkage and creep strains of concrete exposed to low relative humidity and high temperature environments. *Nuclear Engineering and Design*, 352, 1-7. doi:10.1016/j.nucengdes.2019.110154
- Ngoc, K. B., Tomoaki, S., & Hiroshi, T. (2018). Effect of mineral admixtures on properties of recycled aggregate concrete at high temperature. *Construction and Building Materials*, 187, 361-373. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.237
- Othuman Mydin, M., Zamzani, N., & Ghani, A. (2020). Influence of elevated temperatures on compressive and flexural strengths of *Cocos nucifera* Linn. fiber strengthened lightweight foamcrete. *Revista de la construcción*, 19, 112-126. doi:10.7764/RDLC.19.1.112-126
- Passos, L., Moreno, A., & Souza, A. (2020). Lightweight concrete with coarse aggregate from ceramic waste at high temperatures. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 13(2). doi:10.1590/s1983-41952020000200012
- Rizzuto, J., Kamal, M., Elsayad, H., Bashandy, A., Etman, Z., Aboel Roos, M., & Shaaban, I. (2020). Effect of self-curing admixture on concrete properties in hot climate Conditions. *Construction and Building Materials*, 261, 1-11. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119933
- Roufael, G., Beaucour, A., Eslami, J., Hoxha, D., & Noumowé, A. (2020). Influence of lightweight aggregates on the physical and mechanical residual properties of concrete subjected to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 268, 1-13. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121221

- Ruvalcaba, F., & Covarrubias, M. (2017). La Ingeniería Estructural de Fuego un enfoque nacional y ejemplo de aplicación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18(3), 253-264. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v18n3/1405-7743-iit-18-03-00253.pdf>
- Ryu, E., Kim, H., Chun, Y., Yeo, I., & Shin, Y. (2019). Effect of heated areas on thermal response and structural behavior of reinforced concrete walls exposed to fire. *Engineering Structures*, 207, 1-12. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110165
- Sadrmomtazi, A., Gashti, S., & Tahmouresi, B. (2020). Residual strength and microstructure of fiber reinforced self-compacting concrete exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 230, 1-15. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116969
- Štefan, R., M., F., Fládr, J., Horníková, K., & Holan, J. (2020). Thermal, spalling, and mechanical behaviour of various types of cementitious composites exposed to fire: Experimental and numerical analysis. *Construction and Building Materials*, 262, 1-22. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119676
- Takeshi, M., Masuhiro, B., & Makoto, S. (2017). An experimental study on the temperature and structural behavior of a concrete wall exposed to fire after a high-velocity impact by a hard projectile. *Fire Safety Journal*, 91, 506-516. doi:10.1016/j.firesaf.2017.03.023
- Talal, M., & Arsalan, R. (2020). Influence of carbon nano fibers (CNF) on the performance of high strength concrete exposed to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 268, 1-13. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121108
- Thanaraj, D., Anand., Arulraj, P., & Al-Jabri, K. (2020). Investigation on structural and thermal performance of reinforced concrete beams exposed to standard fire. *Journal of Building Engineering*, 32. doi:10.1016/j.jobbe.2020.101764
- Varona, F., Baeza, F., & Ivorra, S. (2017). Estudio de las propiedades mecánicas residuales de hormigones expuestos altas temperaturas. *Hormigon y Acero*, 69(286), 235-241. doi:10.1016/j.hya.2017.04.004
- Varona, F., Baeza, F., Bru, D., & Ivorra, S. (2018). Influence of high temperature on the mechanical properties of hybrid fibre reinforced normal and high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 208(30), 283-295. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.02.129
- Zhang, D., Liu, Y., & Tan, K. (2020). Spalling resistance and mechanical properties of strain-hardening ultrahigh performance concrete at elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 266, 1-9. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120961
- Zhang, D., Yang, Q., Mao, M., & Li, J. (2020). Carbonation performance of concrete with fly ash as fine aggregate after stress damage and high temperature exposure. *Construction and Building Materials*, 242, 1-13. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118125
- Zhang, H., Li, L., Yuan, C., Wang, Q., Kumar, P., & Shi, X. (2020). Deterioration of ambient-cured and heat-cured fly ash geopolymer concrete by high temperature exposure and prediction of its residual compressive strength. *Construction and Building Materials*, 262. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120924
- Zhou, A., Qiu, Q., Lun, C., & Lau, D. (2020). Interfacial performance of aramid, basalt and carbon fiber reinforced polymer bonded concrete exposed to high temperature. *Composites Part A*, 131, 1-11. doi:10.1016/j.compositesa.2020.105802