

Designing Reinforced Concrete Structures for Fire Performance

Research recommends the development of a standardized natural fire model for burnout-resistance design

by Tricia G. Ladely and Veronica Nehasil

Concrete's excellent performance against fire is one reason it is widely used for building design. The noncombustible nature of concrete helps to contain the fire and limit the extent of the damage. Building codes that use standard time-temperature exposure data prescribe minimum requirements to ensure structural integrity for a suitable time for occupants to evacuate. Although reinforced concrete structures typically survive fires, there is potential for collapse during the cooling phase or later. The current design, using fire resistance to standard time-temperature exposure, does not cover the integrity of a structure during or after the fire. One example of an unexpected failure is the collapse of the 13-story Delft University of Technology Faculty of Architecture Building in the Netherlands in 2008, approximately 7 hours after the start of the fire.¹

There is a growing interest from the fire community for additional knowledge on the stability of structures exposed to natural fires. Beyond standardized fire ratings, the objective is to design a fire-resilient built environment. There is an expectation for structures to be designed for evacuation and entry by firefighters and other first responders, as well as to improve current models used to determine if a structure can be repaired or if it should be demolished.

Proposed Study

A proposal to study the behavior and design of reinforced concrete structures under natural fires was submitted to the ACI Foundation's Concrete Research Council (CRC) by Thomas Gernay, Principal Investigator (PI), and Patrick Bamonte, Co-PI, during the 2019 Annual Request for Proposals. The objective was to develop a design method for reinforced concrete structural members subjected to fire that would achieve resistance to "full burnout" under real fires.

Changing or replacing current fire-resistance requirements was not a research goal. However, the data and work were intended to complement the existing fire-resistance rating. "We know quite a lot about concrete behavior under the standard fire exposure that we use to qualify fire-resistance ratings for structural concrete—but we don't know too much about what's happening when there is a real fire, for example, in an office or apartment, where the structure has been heated for a while and then the fire starts to die off," said Gernay. Achieving the goal of using fire-resistance ratings along with burnout-resistance ratings would unlock the ability to model the potential for delayed structural failure as well as provide new tools for performance-based fire design.

Definitions

Fire resistance (R): the property of a material or assembly to withstand fire or provide protection from it. As applied to elements of buildings, it is characterized by the ability to confine a fire or, when exposed to fire, to continue to perform a given structural function, or both.

Fire-resistance rating: a legal term defined in building codes, usually based on fire endurance; fire-resistance ratings are assigned by building codes for various types of construction and occupancies and are usually given in half-hour or hourly increments.

Burnout resistance: the longest fire that a structural member can survive until full burnout.

Full burnout: the end of a fire event, defined as the time at which the structure has cooled down back to ambient; this can occur hours after the gas temperature inside the building has cooled down.

Endorsement and Industry Support

Joint ACI-TMS Committee 216, Fire Resistance and Fire Protection of Structures, chaired by Kevin Mueller, endorsed the proposal for the following reasons: developing a burnout-resistance rating method for reinforced concrete members

Project Summary

Title: Behavior and Design of Concrete Structures under Natural Fire

Principal Investigator: Thomas Gernay, PhD, Assistant Professor, Johns Hopkins University

Co-Principal Investigator: Patrick Bamonte, PhD, Associate Professor, Politecnico di Milano

Endorsed by: Joint ACI-TMS Committee 216, Fire Resistance and Fire Protection of Structures; CERIB Fire Testing Centre; and Kerakoll Group

Funded by: ACI Foundation

About the Research: The current design strategy for fire resistance of concrete structures is based on standard time-temperature exposure (such as ASTM E119), which evenly increases the heat in a concrete member until failure. The objective of this research was to quantify the ability of concrete members to survive until full burnout under real fire exposures, generating a new “burnout resistance” rating. A design method was provided to evaluate this rating.

The research was divided into four main tasks:

1) experimental testing of material specimens to characterize well-identified thermal-mechanical properties under cooling; 2) selection of realistic yet simple design fire scenarios that include the decay phases; 3) numerical parametric analyses to quantify the thermomechanical response of typical concrete members under the design fire scenarios; and 4) derivation of simple design methods to assess the burnout-resistance ratings of concrete members.

The key conclusions and results are as follows:

- The thermal and mechanical properties of concrete are not reversible during cooling;
- A standardized natural fire model is necessary to support the development of a simple method for burnout-resistance design;
- Evaluating the burnout resistance of a concrete member requires performing a thermal-mechanical analysis of the member throughout the fire history. Thermal analysis alone is not enough; and
- The creation of three design methods for determining burnout resistance.

Stakeholders: Thomas Gernay (PI), Johns Hopkins University; Patrick Bamonte (Co-PI), Politecnico di Milano; Fabienne Robert, Deputy Head of CERIB Fire Testing Centre and Industry Champion for the project; Kevin Mueller, Joint ACI-TMS Committee 216, Fire Resistance and Fire Protection of Structures; Kerakoll Group; and the ACI Foundation.

would improve the current code provisions, and it would allow better comparison between concrete and other structural building materials regarding fire safety and the resilience of the built environment. The proposal had strong industry support from the CERIB Fire Testing Centre in France, including an offer to perform full-scale fire tests to help validate theoretical calculations. Kerakoll Group in Italy also endorsed the research and confirmed that the current concern in structural fire engineering was the gap in knowledge on the behavior of concrete structures exposed to natural fires. Acquiring such knowledge would help engineers evaluate if structures can be reoccupied after a fire and whether they can be repaired.

Supporting Innovation

In North America, fire resistance is determined by the ASTM E119-20² test method, which is incorporated into various building code provisions, such as ACI/TMS-216.1-14(19), “Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies,”³ and ASCE/SEI/SFPE 29-05, “Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection.”⁴ Gathering data and developing a design method for burnout-resistance ratings would offer structures increased life safety and improved resilience to fire.

“At the material level, what we wanted to do was to measure the concrete strengths during the cooling. So, we heated the samples, cooled them down, and during cooling, we measured the strengths. We also measured the strengths on some of the samples when the concrete was back to ambient temperature,” Gernay stated. This new experimental data can now be used to assess the response of concrete throughout the fire history and in the residual state. For structural members, the project confirmed the accuracy of the current design for fire resistance. Testing to determine burnout resistance is new. “There isn’t really any established standard or protocol, so we looked at the literature; but to my knowledge, it was the first time [testing like this] was done,” said Gernay.

Full-scale fire testing is expensive and time-consuming. Using computer-based modeling for fire performance would greatly benefit the industry. The CRC quickly noticed this benefit when the proposal and experimental plan were judged. Supporting work to develop and validate computer-based modeling techniques for heat transfer and structural behavior of reinforced concrete benefits concrete design and provides a more accurate method of comparing building systems and material-to-material comparisons.

Benefits of Collaboration

With multiple contributors, the project provided work to two academic institutions, a master’s and a doctoral candidate, and also provided an opportunity for technical collaboration between North America and Europe. The ACI Foundation’s requirement to have at least one ACI technical committee endorse the project along with an advisory team comprising numerous stakeholders was helpful. “We find that [projects]

have much better impact and go better when there's a team discussing things. Not when researchers do [work] in a vacuum," said Gernay. "We were fortunate to have a team with deep expertise and to work in a great collaborative environment. The help and support from the Industry Champions, the ACI Foundation, and Kevin Mueller and ACI Committee 216 were instrumental in the success of this project. Also, the opportunity to conduct full-scale experiments was a great validation for our numerical work."

The researchers hope this new knowledge of a concrete structure's behavior during cooling phases will lead to future collaborations, such as incorporation into the ACI 562 code on the "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures." This knowledge will benefit concrete structures and could be extended to other materials. "We are talking about concrete here; however, protected steel and timber can also fail during cooling. So, in terms of research, we've been applying similar methodologies to other materials. We are working on this research axis of understanding material and structural behavior during cooling, risk of delayed collapse, and providing design tools for burnout," Gernay said.

Gernay was well-equipped for this project as his award-winning doctoral thesis was on modeling concrete behavior at elevated temperatures.⁵ By developing the finite element code used for the material model, he laid a strong foundation for current-day structural fire models. The data gathered in this study were added to the SAFIR computer program that models the behavior of building structures subjected to fire, thus contributing to ongoing research around the world.

Conclusions

This research generated new knowledge on the effects of cooling phases on the load-bearing capacity of concrete members in a fire. "The main takeaway, maybe we knew, but we quantified it, and we studied it, is that a structure can still collapse during the cooling phase or even in the hours thereafter," Gernay stated. Creating a standardized natural fire model to develop a "simple method" for burnout resistance will be necessary. Thermal analysis alone is not enough to determine resistance to full burnout; this requires thermal-mechanical analysis of concrete members throughout the fire history. The work contributed to the creation of a new design method for determining burnout resistance. Future work will

Supporting Valuable Research

The ACI Foundation was pleased to support the work of Gernay and Bamonte as well as the research needs of Joint ACI-TMS Committee 216. "We are extremely grateful to the ACI Foundation for this support," Gernay said. "This type of research, in close collaboration with the industry and standard technical committees, is not always easy to fund, but, we think, it can be really impactful to advance fire safety and resilience." The project aligned with CRC's objective to seek concrete research projects that further the knowledge and sustainability of concrete materials, construction, and structures in coordination with ACI technical committees. Support of the ACI Foundation by our

volunteers with their time and expertise, along with our generous donors, helps us achieve our mission to invest in ideas, research, and people to create the future of the concrete industry.



PI Thomas Gernay (left) discussing a numerical model with a student



Co-PI Patrick Bamonte working at the Politecnico di Milano laboratory

study additional concrete mixtures and structural systems to further improve the accuracy of predicted behavior in natural fires as well as provide a straightforward method to evaluate the burnout resistance of concrete members. These research results will not only have a positive impact on safety for first responders but will also benefit structural engineers who design reinforced concrete structures for fire performance. In the future, designers and building owners can discuss the performance objective of a concrete structure regarding fire and design the structure to meet those performance objectives. Additional project details are available in “Behavior and Design of Concrete Structures under Natural Fire” and “Numerical Analysis of the Effects of Fire with Cooling Phase on Reinforced Concrete Members,” at www.acifoundation.org/research/research.

References

1. Engelhardt, M.D.; Meacham, B.; Kodur, V.; Kirk, A.; Park, H.; van Straalen, I.; Maljaars, J.; van Weeren, K.; de Feijter, R.; and Both, K., “Observations from the Fire and Collapse of the Faculty of Architecture Building, Delft University of Technology,” *Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession*, B. J. Leshko and J. McHugh, eds., Pittsburgh, PA, May 2-4, 2013, pp. 1138-1149.
2. ASTM E119-20, “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 36 pp.
3. Joint ACI-TMS Committee 216, “Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (ACI/TMS-216.1-14) (Reapproved 2019),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 28 pp.

4. ASCE/SEI/SFPE 29-05, “Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection,” American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2007, 80 pp.

5. Gernay, T., “A Multiaxial Constitutive Model for Concrete in the Fire Situation Including Transient Creep and Cooling Down Phases,” doctoral thesis, University of Liège, Liège, Belgium, 2012, 248 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Tricia G. Ladely is Assistant Director of the ACI Foundation and a certified Project Management Professional®. She has worked as a scientist for nearly 30 years and currently manages the research and innovation councils for the ACI Foundation. Ladely received her BS in chemistry from Grove City College, Grove City, PA, USA.



Veronica Nehasil is a Junior Program Coordinator and Database Developer with the ACI Foundation. She frequently writes or contributes to the Foundation's *Concrete International* articles. Nehasil received the 2021 College of the Atlantic Bill Carpenter Award for Writing. She received her BA in human ecology from the College of the Atlantic, Bar Harbor, ME, USA.

The ACI Detailing Manual

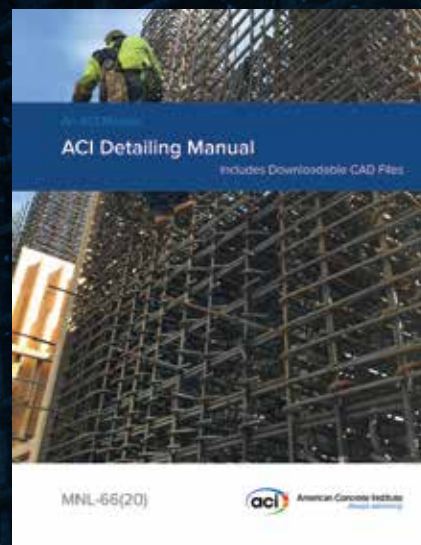
Includes FREE Downloadable CAD Files

The 2020 edition of the *ACI Detailing Manual* includes many new updates and revisions, plus the addition of valuable downloadable CAD files.

Visit concrete.org/store for more information.



American Concrete Institute
Always advancing



Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado para Resistencia al Fuego

La investigación recomienda el desarrollo de un modelo estandarizado para resistir el daño provocado por incendios naturales

por by Tricia G. Ladely and Veronica Nehasil

La excelente resistencia del concreto al fuego es una de las razones por las que se utiliza ampliamente para diseño de construcción. La naturaleza no combustible del concreto ayuda a contener el fuego y limitar la extensión del daño. Los códigos de construcción que utilizan datos de exposición estándar a tiempo-temperatura prescriben requerimientos mínimos para garantizar la integridad estructural, de manera que los ocupantes tengan un tiempo razonable para evacuar. Aunque por lo general, las estructuras de concreto reforzado sobreviven a los incendios, existe el potencial de colapso durante la fase de enfriamiento o posterior. El diseño actual que utiliza resistencia al fuego para exposición estándar a tiempo-temperatura, no cubre la integridad de una estructura durante o después del incendio. Un ejemplo de una falla inesperada es el colapso del Edificio de 13 pisos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Tecnología Delft en los Países Bajos en 2008, aproximadamente 7 horas después de haberse iniciado el incendio¹.

Existe un creciente interés de la comunidad para lucha contra incendios en favor de obtener conocimientos adicionales sobre la estabilidad de las estructuras expuestas a incendios naturales. Más allá de las resistencias al fuego estandarizadas, el objetivo es diseñar un [SAFR-BE sustainable fire-resilient built environment] entorno construido resiliente al fuego. Existe una expectativa de que las estructuras se diseñen para evacuación e ingreso de los bomberos y otros socorristas, así como de mejorar los modelos actuales utilizados para determinar si es posible reparar una estructura o si debe demolerse.

Estudio Propuesto

Thomas Gernay, Investigador Principal (PI [por sus iniciales en inglés]) y Patrick Bamonte, Co-PI presentaron ante el Consejo de Investigación de Concreto (CRC) de la Fundación ACI, durante la Solicitud Anual de 2019 de Propuestas, una propuesta para estudiar el comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado, en casos de incendios naturales. El objetivo fue desarrollar un método de diseño para miembros estructurales de concreto reforzado sujetos a fuego que lograran resistencia hasta el “quemado completo” durante incendios reales.

Cambiar o reemplazar los requerimientos actuales de resistencia al fuego no era uno de los objetivos de la investigación. No obstante, los datos y el trabajo tenían la intención de complementar la clasificación existente de resistencia al fuego. “Sabemos mucho del comportamiento del concreto bajo exposición al fuego estándar que utilizamos para calificar las clasificaciones de resistencia al fuego para concreto estructural – pero no sabemos mucho acerca de qué pasa cuando hay un incendio real, por ejemplo, en un edificio de oficinas o departamentos, en el que la estructura se calienta durante un rato y después el fuego empieza a extinguirse”, dijo Gernay. Lograr el objetivo de utilizar clasificaciones de resistencia al fuego junto con clasificaciones de resistencia a quemado liberaría la capacidad para modelar el potencial de falla estructural retardada, así como para proporcionar nuevas herramientas para un diseño contra incendios basado en el desempeño.

Definiciones

Resistencia al fuego (R): la propiedad de un material o ensamble para soportar el fuego o proporcionar protección contra éste. Aplicado a elementos de edificios, se caracteriza por la capacidad de confinar un incendio o, cuando está expuesto al fuego, continuar desempeñando una función estructural determinada, o ambos.

Clasificación de resistencia al fuego: un término legal definido en los códigos de construcción, por lo general basado en resistencia al fuego. Los códigos de construcción asignan clasificaciones de resistencia al fuego para diversos tipos de construcción y ocupación, asimismo, por lo general se proporcionan en incrementos de media hora o de una hora.

Resistencia al quemado: el tiempo más prolongado bajo el fuego al que un miembro estructural puede sobrevivir hasta llegar al quemado total.

Quemado total: El final de un incendio, definido como el momento en el que la estructura se enfría hasta llegar a la temperatura ambiente. Esto puede ocurrir horas después de que la temperatura de los gases dentro del edificio ya bajó.

Aval y Apoyo de la Industria

El Comité 216 Conjunto ACI-TMS, Resistencia al Fuego y Protección de Estructuras contra el Fuego, presidido por Kevin Mueller, avaló la propuesta por las siguientes razones: el desarrollo de un método de clasificación de resistencia al quemado para miembros de concreto reforzado mejoraría las disposiciones del código actual y permitiría realizar una mejor comparación entre el concreto y otros materiales de construcción estructural respecto a la seguridad contra incendios y la resiliencia del entorno construido. La propuesta tenía un fuerte apoyo industrial del Centro de Pruebas Contra Incendios CERIB en Francia, incluyendo una oferta para realizar pruebas contra incendio a escala completa con el propósito de validar los cálculos teóricos. Kerakoll Group en Italia también avaló la investigación y confirmó que la preocupación actual sobre la ingeniería estructural contra incendios era la brecha en el conocimiento sobre el comportamiento de las estructuras de concreto expuestas a fuegos naturales.

Adquirir dicho conocimiento les ayudaría a los ingenieros a evaluar si las estructuras pueden ocuparse nuevamente después de un incendio y si pueden repararse.

Resumen del Proyecto

Título: Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto bajo Fuego Natural.

Investigador Principal: Thomas Gernay, PhD, Profesor Asistente, Johns Hopkins University.

Co-Investigador Principal: Patrick Bamonte, PhD, Profesor Adjunto, Politecnico di Milano.

Avalado por: Comité 216 Conjunto ACI-TMS, Resistencia al Fuego y Protección de Estructuras Contra el Fuego, Centro de Pruebas contra Fuego CERIB y Kerakoll Group.

Financiado por: Fundación ACI

Acerca de la Investigación: La estrategia de diseño actual para resistencia al fuego de estructuras de concreto se basa en la exposición estándar tiempo-temperatura (tal como en ASTM E119) que incrementa uniformemente el calor en un miembro de concreto hasta la falla. El objetivo de esta investigación fue cuantificar la capacidad de los miembros de concreto para sobrevivir hasta el quemado completo, bajo exposiciones de incendios reales, generando una nueva clasificación de “resistencia al quemado”. Se proporcionó un método de diseño para evaluar esta clasificación.

La investigación se dividió en cuatro tareas principales: 1) Pruebas experimentales de muestras de material para caracterizar propiedades termo-mecánicas bien identificadas, bajo enfriamiento; 2) elección de un diseño realista pero simple de escenarios de incendio que incluyen las fases de desintegración; 3) análisis paramétricos numéricos para cuantificar la respuesta termo-mecánica de miembros de concreto comunes bajo diseño de escenarios de incendio; y 4) derivación de métodos de diseño sencillos para evaluar las clasificaciones de resistencia a quemado de los miembros de concreto.

Las conclusiones y los resultados esenciales son los siguientes:

- Las propiedades térmicas y mecánicas del concreto no son reversibles durante el enfriamiento;
- Es necesario un modelo estandarizado de fuego natural para apoyar el desarrollo de un método sencillo para diseño de resistencia a quemado;
- Para evaluar la resistencia a quemado de un miembro de concreto se requiere llevar a cabo un análisis termo-mecánico del miembro durante el historial del incendio. El análisis térmico por sí solo no es suficiente; y
- La creación de tres métodos de diseño para determinar la resistencia al quemado.

Participantes: Thomas Gernay (PI); Johns Hopkins University; Patrick Bamonte (Co-PI), Politecnico di Milano; Fabienne Robert, Sub-Jefe de Centro de Pruebas contra Incendios CERIB y Campeón Industrial para el proyecto; Kevin Mueller, Comité 216 Conjunto ACI-TMS Resistencia al Fuego y Protección de Estructuras contra el Fuego; Kerakoll Group y la Fundación ACI.

Apoyar la Innovación

En América del Norte, la resistencia al fuego la determina el método de prueba ASTM E119-20², que se integra en diversas disposiciones del código de construcción, tales como ACI/TMS-216.1-14(19), “Requerimientos del Código para Determinar la Resistencia al Fuego de Montajes de Construcción de Concreto y Mampostería,”³ y ASCE/SEI/SFPE 29-05, “Métodos de Cálculo Estándar para Protección Estructural Contra Incendios.”⁴ Recolectar datos y desarrollar un método de diseño para clasificaciones de resistencia al quemado podría ofrecerles a las estructuras mayor seguridad para vidas humanas y mejor resiliencia ante el fuego.

“A nivel del material, lo que deseábamos hacer era medir las resistencias del concreto durante el enfriamiento. De tal manera que calentamos las muestras, las enfriamos y durante el enfriamiento, medimos las resistencias. También medimos las resistencias de algunas de las muestras cuando el concreto regresaba a la temperatura ambiente,” afirmó Gernay. Estos nuevos datos experimentales ahora pueden utilizarse para evaluar la respuesta del concreto durante el historial del incendio y en el estado residual. Para miembros estructurales, el proyecto confirmó la exactitud del diseño actual para resistencia al fuego. Las pruebas para determinar la resistencia al quemado son nuevas. “En realidad no existe ninguna norma ni protocolo establecido, buscamos en la literatura, pero según mi conocimiento, fue la primera vez que se hizo [una prueba como esta],” dijo Gernay.

Las pruebas de fuego a escala completa son costosas y consumen mucho tiempo. El uso de un modelo basado en computadora para comportamiento del fuego beneficiaría mucho a la industria. Cuando se evaluó la propuesta y el plan experimental el CRC observó rápidamente este beneficio. Apoyar el trabajo para desarrollar y validar técnicas de modelado basadas en computadora para transferencia de calor y comportamiento estructural del concreto reforzado beneficia el diseño del concreto y proporciona un método más exacto para comparar los sistemas de construcción, así como para realizar comparaciones de material a material.

Beneficios de la Colaboración

Con múltiples colaboradores, el proyecto les ofreció trabajo a dos instituciones académicas, a un candidato de maestría y a otro de doctorado, asimismo brindó una oportunidad para colaboración técnica entre América del Norte y Europa. El requerimiento de la Fundación ACI de tener por lo menos un comité técnico de ACI que avalara el proyecto junto con un equipo consultor integrado por incontables participantes fue muy útil. “Encontramos que [los proyectos] tienen mucho mejor impacto y van mejor cuando hay un equipo que habla de las cosas. No cuando los investigadores lo hacen [trabajan] de manera aislada,” aseveró Gernay. “Somos afortunados de contar con un equipo de amplia experiencia y de trabajar en un entorno de colaboración. La ayuda y apoyo de los Campeones de la Industria, de la

Fundación ACI, de Kevin Mueller y del Comité 216 ACI fueron decisivos para el éxito de este proyecto. Asimismo, la oportunidad de realizar experimentos a escala completa fue una gran validación para nuestro trabajo numérico.”

Los investigadores esperan que este nuevo conocimiento del comportamiento de una estructura de concreto durante fases de enfriamiento conduzca a colaboraciones futuras, tales como la integración en el código ACI 562 sobre la “Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto Existentes.” Este conocimiento beneficiará las estructuras de concreto y podría extenderse a otros materiales. “Aquí estamos hablando de concreto, no obstante, el acero protegido y la madera también podrían fallar durante el enfriamiento. Así es que en términos de investigación, hemos estado aplicando metodologías similares a otros materiales. Estamos en esta fase de la investigación de entender el comportamiento del material y de la estructura durante el enfriamiento, el riesgo de colapso demorado y de proporcionar herramientas de diseño para el quemado,” afirmó Gernay.

Gernay estaba muy bien preparado para este proyecto, ya que su tesis doctoral ganadora de un reconocimiento, fue sobre modelado del comportamiento del concreto a temperaturas elevadas⁵. Al desarrollar el código de elemento finito utilizado para el modelo del material, sentó sólidas bases para los modelos de fuego estructural de hoy en día. Los datos reunidos en este estudio se agregaron al programa de cómputo SAFIR que modela el comportamiento de las estructuras de edificios sujetas a fuego, contribuyendo así a una investigación continua en todo el mundo.

Conclusiones

Esta investigación generó nuevos conocimientos sobre los efectos de las fases de enfriamiento en la capacidad de los miembros de concreto para soportar carga durante un incendio. “La principal conclusión, quizá ya lo sabíamos, pero la cuantificamos y la estudiamos, es que una estructura todavía puede colapsar durante la fase de enfriamiento o incluso en las horas posteriores,” indicó Gernay. Será necesario crear un modelo estandarizado de fuego natural con el propósito de desarrollar un “método sencillo” para resistencia al quemado. El análisis térmico por sí solo no es suficiente para determinar la resistencia al quemado total; esto requiere análisis termo-mecánico de los miembros del concreto durante el historial del incendio. El trabajo contribuyó a la creación de un nuevo método de diseño para determinar la resistencia al quemado. El trabajo futuro estudiará mezclas de concreto adicionales y sistemas estructurales para mejorar aún más la exactitud del comportamiento pronosticado en fuegos naturales; asimismo, proporcionará un método directo para evaluar la resistencia al quemado de los miembros de concreto. Estos resultados de la investigación no sólo tendrán un impacto positivo en la seguridad para los socorristas, sino que también beneficiará a los ingenieros estructurales que diseñen estructuras de concreto reforzado para comportamiento en caso de incendio. En el futuro, los diseñadores y propietarios de edificios podrán hablar sobre el objetivo del desempeño de una estructura de concreto respecto al fuego y también podrán diseñar la estructura para que cumpla con esos objetivos de desempeño. Los detalles adicionales del proyecto están disponibles en “Behavior and Design of Concrete Structures under Natural Fire” [Comportamiento y diseño de estructuras de concreto bajo fuego natural] y “Numerical Analysis of the Effects of Fire with Cooling Phase on Reinforced Concrete Members” [Análisis numérico de los efectos del fuego con la fase de enfriamiento en miembros de concreto reforzado] en www.acifoundation.org/research/research.

Apoyo a la Investigación Valiosa

La Fundación ACI tuvo el placer de apoyar el trabajo de Gernay y Bamonte, así como las necesidades de investigación del Comité 216 Conjunto ACI-TMS. “Estamos extremadamente agradecidos con la Fundación ACI por este apoyo,” dijo Gernay. “Este tipo de investigación en colaboración estrecha con la industria y con los comités técnicos estándar no siempre es fácil de financiar, pero consideramos que realmente puede tener un gran impacto avanzar en la seguridad y resiliencia al fuego.” El proyecto se adecuó al objetivo de CRC de buscar proyectos de investigación de concreto que amplíen el conocimiento y sustentabilidad de los materiales de concreto, construcción y estructuras en coordinación con los comités técnicos de ACI. El apoyo de la Fundación ACI a nuestros voluntarios que donaron su tiempo, experiencia y conocimientos, junto con nuestros generosos donadores, nos ayuda a lograr nuestra misión de invertir en ideas, investigación y gente para crear el futuro de la industria del concreto.

Referencias

1. Engelhardt, M.D.; Meacham, B.; Kodur, V.; Kirk, A.; Park, H.; van Straalen, I.; Maljaars, J.; van Weeren, K.; de Feijter, R.; y Both, K., “Observations from the Fire and Collapse of the Faculty of Architecture Building, Delft University of Technology,” Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession, B.J. Leshko and J. McHugh, eds., Pittsburgh, PA, Mayo 2-4, 2013, pp. 1138-1149.
2. ASTM E119-20, “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials,” ASTM International, West Conshohocken, PA 2020, 36 pp.
3. Joint ACI-TMS Committee 216, “Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (ACI/TMS-216.1-14) (Reapproved 2019),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 28 pp.
4. ASCE/SEI/SFPE 29-05, “Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection,” American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2007, 80 pp.
5. Gernay, T., “A Multiaxial Constitutive Model for Concrete in the Fire Situation Including Transient Creep and Cooling Down Phases,” tesis doctoral, University of Liege, Bélgica, 2012, 248 pp.

Seleccionado por los editores para interés del lector.



PI Thomas Gernay (izquierda) revisando con un estudiante el modelo numérico.



CoPI Patrick Bamonte trabajando en el laboratorio del Politécnico de Milán.



Tricia G. Ladely es Directora Asistente de la Fundación ACI y Project Management Professional® certificada. Ha trabajado como científica durante casi 30 años y actualmente administra los consejos de investigación e innovación para la Fundación ACI. Ladely recibió su título de Licenciatura en Ciencias, en química, por la Universidad de Grove City, Grove City, PA, Estados Unidos de Norteamérica.



Veronica Nehasil es Coordinadora Junior de Programa y Desarrolladora de Base de Datos en la Fundación ACI. Escribe o contribuye con frecuencia con artículos para Concrete International de la Fundación. Nehasil recibió el reconocimiento 2021 College of the Atlantic Bill Carpenter Award for Writing. Recibió su grado de licenciatura en ecología humana por la universidad del Atlantic, Bar Harbor, ME, Estados Unidos de Norteamérica.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Centro y Sur

Título: Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado para Resistencia al Fuego



*Traductora:
Lic. Ana Patricia
García Medina*



*Revisora Técnica:
Ing. Karla Elizabeth
de la Fuente Monforte*



*Revisor Técnico:
Dr. Esteban Astudillo
de la Vega*