

Advancing Structural Engineering at the Built Environment and Structural System Center of The Hashemite University

by Ahmad Tarawneh and Ahmad Mhanna

Structural engineering stands at the forefront of innovation, shaping the built environment we inhabit. It involves developing innovative structural systems and materials that can withstand various loads while ensuring the safety of buildings, bridges, and other structures. At The Hashemite University in Zarqa, the Hashemite Kingdom of Jordan, the Built Environment and Structural System Center (BESSC) is a beacon of progress in this field in the Middle East. Established with a vision to elevate structural engineering, concrete innovation, and educational processes, BESSC serves as a hub for structural and material testing and expert consultations (Fig. 1).

About the Center

With a built area of 3600 m² (38,750 ft²), BESSC is more than just a research facility—it is a catalyst for change in the

structural engineering landscape in Jordan and the Middle East. The primary goal is to enhance structural engineering practices through rigorous experimentation, developing adaptable structural systems, and collaboration with the concrete industry. The center is actively seeking academic and research partnerships with scientific institutions and industrial companies, fostering a culture of collaboration and knowledge exchange. Moreover, BESSC is deeply committed to fulfilling the university's broader objectives in higher education, scientific research, and community service. More than 40 graduate-level students are currently engaged in research at the center.

Testing Equipment

Central to BESSC's success is its state-of-the-art equipment, meticulously curated to support cutting-edge



Fig. 1: The Built Environment and Structural System Center (BESSC)



research and experimentation. The testing area, covering 300 m² (2330 ft²), is equipped with an L-shaped reaction wall 20 m (66 ft) long and 8 m (26 ft) high, served by two 20 ton (18 tonne) overhead cranes (Fig. 2). This robust facility houses an array of tools, including two portable moment frames, MTS[®] actuators of varying capacities, hydraulic pumps, and customizable supports. These resources empower researchers to conduct different setups of experiments for testing of beams, slabs, columns, and walls under monotonic and cyclic loading.

The material testing area showcases BESSC's commitment to understanding the performance of structures in various environments. The Center boasts freezing-and-thawing chambers, large-scale environmental chambers, MTS Criterion testing machines, convection ovens, and concrete compression testing machines. These facilities enable researchers to simulate diverse weather conditions, which is crucial for understanding structural performance in different environments. Additionally, BESSC's extensive collection of measurement equipment, including linear variable differential transformers, strain gauges, crack width sensors, accelerometers, load cells, data acquisition systems, and others, ensures comprehensive data capture and analysis. Of particular note is the facility's advanced digital image correlation (DIC) system for strain measurement, a cutting-edge tool that enables nondestructive, high-resolution strain monitoring in structural components (Fig. 3). The DIC system:

- Captures minute deformations in materials under load and converts them into quantifiable strain data;
- Requires no mechanical connection to the test object surface, imposes no mechanical limitations (such as fixed gauge lengths) or constraints on test speed, and collects data over its entire field of view; and
- Can be used to monitor the propagation of cracks in structural components, such as slabs, beams, columns, and shear walls.

At BESSC, the DIC system is being leveraged in numerous research projects to advance the understanding of concrete behavior under different loading conditions.

With its MTS bidirectional shake table, BESSC provides invaluable resources for engineers and researchers working to improve the seismic performance of structures, a critical component of achieving seismic resilience.

Finally, BESSC's workshop area provides students with hands-on experience, allowing them to craft wood and steel parts for experimental testing.

Current Activities/Research Projects

With BESSC, research isn't confined to the theoretical realm; it's a hands-on endeavor driven by passionate students and faculty. Currently, graduate and undergraduate structural engineering students are engaged in many research projects spanning various disciplines (Fig. 4).

One such project has focused on introducing hooked-end steel fibers to enhance shear resistance in lightweight concrete beams without stirrups (LC-BWS). Key objectives included evaluating the effectiveness of steel

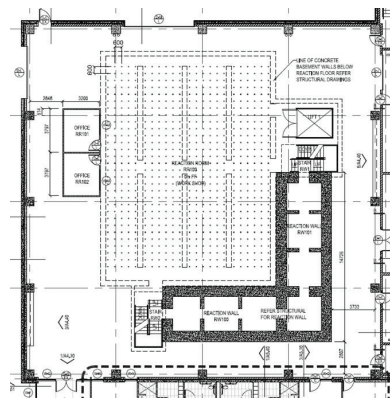


Fig. 2: Testing area in BESSC

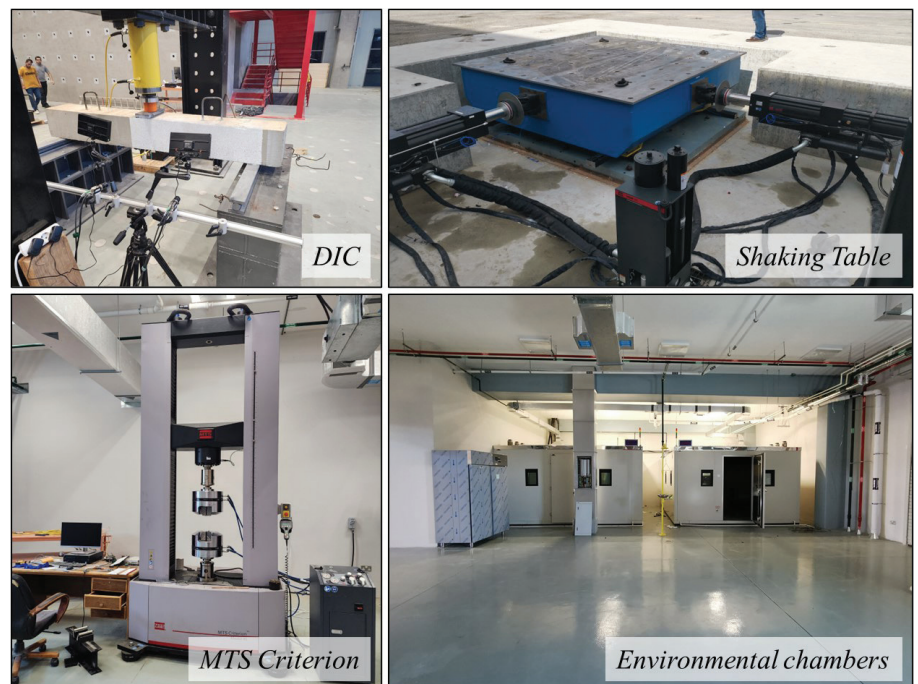


Fig. 3: Testing equipment in BESSC



Fig. 4: Research conducted at BESSC

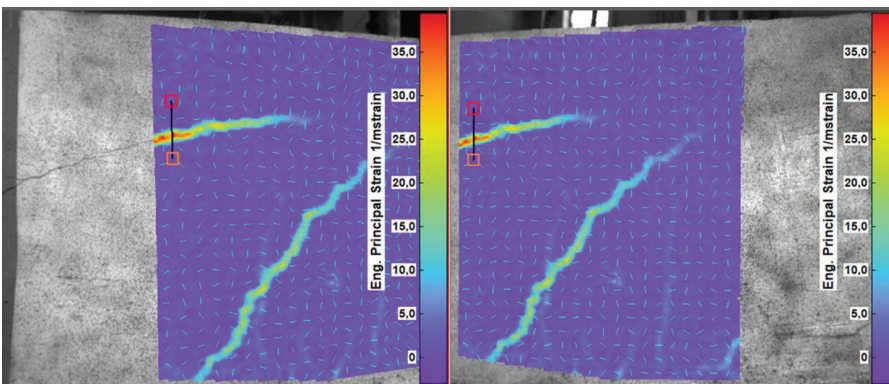


Fig. 5: Crack propagation in a tested specimen

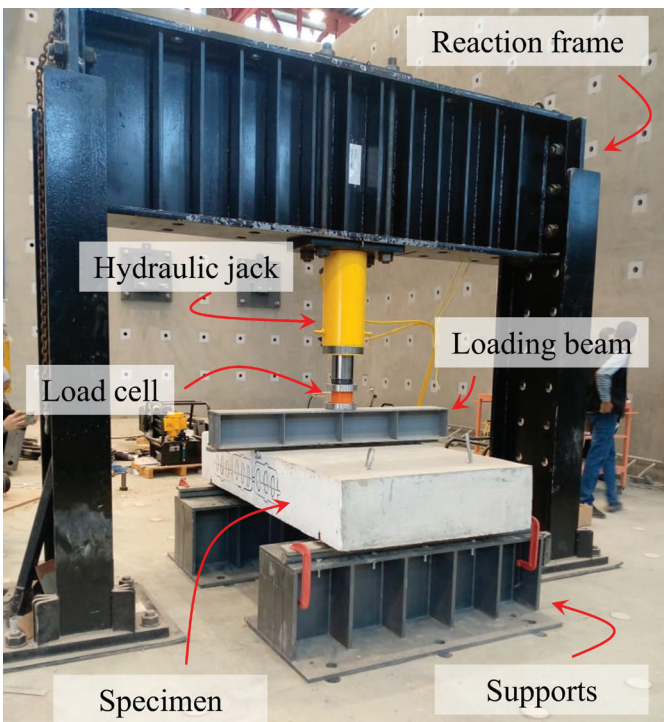


Fig. 6: Testing voided slabs

fibers as the minimum shear reinforcement in LC-BWS and assessing the influence of the beam depth on the shear capacity of such beams. Specimens were fabricated using mixtures with 0.5% fiber content by volume. Specimen depths ranged from 300 to 900 mm (12 to 36 in.), and the longitudinal reinforcement ratio was either 1 or 1.5%. The shear span-to-effective depth ratio was 3.5 for every specimen.

The DIC system was used to evaluate crack propagation (Fig. 5). The test results indicated the normalized shear stress at failure decreased with increasing specimen total depth, suggesting a size effect for LC-BWS specimens. However, adding steel fibers into the concrete matrix significantly augmented shear capacity compared to ACI CODE-318-19 predictions for RC members without steel fibers.

Another cutting-edge research initiative at BESSC is an investigation of the shear behavior of voided slab systems (Fig. 6). Current design standards do not include provisions accounting for the reduced shear capacity of voided flat plates. Using data from tests of one-way voided slabs, a

capacity reduction factor λ_{void} has been proposed as a function of the ratio of void height to the slab thickness. The proposed factor has been calibrated to the ACI CODE-318-19 shear model, using a strength reduction factor (ϕ) of 0.75. The factor allows for section optimization by selecting the height of the void former based on the required shear strength.

Ongoing research delves into punching shear in flat slabs with drop panels, addressing critical challenges in modern construction practices (Fig. 4). Moreover, BESSC is at the forefront of material testing, particularly in the realm of composite materials with natural fibers. One project, for example, is focused on evaluating concrete's mechanical properties and durability with chemically treated grape bark fibers (Fig. 7), aiming to unlock new possibilities for sustainable construction practices. The evaluation has included testing the effect of fiber content and length on the density, compressive strength, tensile strength, and flexural strength of concrete specimens. Additional specimens have been tested to evaluate such mixtures for resistance to cyclic freezing and thawing.

Potential International Collaborations

While BESSC's achievements are rooted in local expertise, the center recognizes the value of global collaboration in



Fig. 7: Grape bark

advancing structural engineering. The center therefore actively seeks and supports international partnerships with scientific and academic institutions, envisioning a future of shared knowledge and mutual growth. Through international collaboration, BESSC aims to broaden its horizons, leveraging diverse perspectives and resources to tackle large projects. BESSC welcomes opportunities for cross-border collaboration.

Conclusions

The Built Environment and Structural System Center at The Hashemite University is a symbol of the power of innovation, collaboration, and the pursuit of knowledge in advancing the field of structural engineering. With cutting-edge equipment, groundbreaking research projects, and a commitment to international collaboration, BESSC is poised to shape the future of the built environment in Jordan, the Middle East, and around the world.

As we continue our journey of discovery and innovation, we invite fellow researchers, institutions, and industry partners to join us in this pursuit. Together, we can push the boundaries of structural engineering, building a safer, more resilient world for generations to come.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Ahmad Tarawneh** is an Associate Professor of Structural Engineering at The Hashemite University, Zarqa, Jordan. He received his PhD from Clemson University, Clemson, SC, USA. He is a member of ACI Committees 355, Anchorage to Concrete, and 440, Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. His research

interests include anchorage to concrete, structural behavior of fiber-reinforced polymer (FRP) reinforced concrete members, and machine learning applications in structural engineering. He is a licensed professional engineer.



ACI member **Ahmad Mhanna** is ACI's Regional Director of the Middle East and North Africa (MENA), Dubai, United Arab Emirates. He is a member of ACI Committee SC-A, Award Promotion and Student Engagement.

Anyone. Anytime. Anywhere.

Instantly verify an individual's ACI Certification. Download the ACI Certification Verify App now!



To learn more or download the Verify App, visit concrete.org/verify.



Avances de la Ingeniería Estructural en el Centro de Sistemas Estructurales y Entorno Construido de la Universidad Hashemite

Por Ahmad Tarawneh y Ahmad Mhanna

La ingeniería estructural está a la vanguardia de la innovación y moldea el entorno construido en el que habitamos. Incluye el desarrollo de sistemas y materiales estructurales innovadores que pueden soportar diversas cargas, a la vez que garantizan la seguridad de edificios, puentes y otras estructuras. En la Universidad Hashemite en Zarqa, el Reino Hashemite de Jordania, el Centro del Sistema del Entorno Construido y Estructural (BESSC, por sus siglas en inglés) es un símbolo del avance en este campo en el Medio Oriente. Establecido con la perspectiva de elevar la ingeniería estructural, la innovación en el concreto y los procesos educativos, BESSC constituye un centro para las pruebas estructurales y de material y para consultorías especializadas (Fig. 1).



Fig. 1: El Centro del Sistema del Entorno Construido y Estructural (BESSC)

Acerca del Centro

Con un área construida de 3,600 m² (38,750 ft²), BESSC es más que una instalación de investigación, es un catalizador para el cambio en el panorama de la ingeniería estructural en Jordania y en el Medio Oriente. El objetivo principal es mejorar las prácticas de ingeniería estructural a través de la experimentación rigurosa, el desarrollo de sistemas estructurales adaptables y la colaboración con la industria del concreto. El centro busca de manera activa sociedades académicas y de investigación con instituciones científicas y compañías industriales, fomentando así una cultura de colaboración e intercambio de conocimiento. Más aún, BESSC está profundamente comprometido para cumplir con los objetivos más amplios de la universidad en educación superior, investigación científica y servicio a la comunidad. Actualmente más de 40 estudiantes a nivel de posgrado participan en el centro de investigación.

Equipo de Pruebas

De suma importancia para el éxito de BESSC es el equipo de última generación, meticulosamente seleccionado para apoyar la investigación y experimentación de vanguardia. El área de pruebas cubre 300 m² (2,330 ft²), está equipado con un muro de reacción en forma de L de 20 m (66 ft) de largo y 8 m (26 ft) de alto, cuenta con dos grúas puente de 20 toneladas (18 toneladas cortas) (Fig. 2). Esta sólida instalación aloja una gama de herramientas, incluyendo dos estructuras portátiles resistentes al momento, actuadores MTS® de diferentes capacidades, bombas hidráulicas y soportes a la medida. Estos recursos facultan a los investigadores para que lleven a cabo distintas configuraciones de experimentos con el propósito de probar vigas, losas, columnas y muros bajo cargas monotónicas y cíclicas.

El área de ensayo de materiales expone el compromiso de BESSC para entender el desempeño de las estructuras en diversos ambientes. El Centro se enorgullece de sus cámaras de congelación y descongelación, cámaras ambientales a gran escala, máquinas de pruebas MTS Criterion, hornos de convección y máquinas para ensayos de resistencia a la compresión del concreto. Estas instalaciones le permiten a los investigadores simular diversas condiciones climatológicas, lo cual es de suma importancia para entender el comportamiento estructural en diferentes entornos. Además, la extensa colección de equipo de medición de BESSC, incluyendo transformadores diferenciales variables lineales, medidores de tensión, sensores de ancho

de fisuras, acelerómetros, celdas de carga, sistemas de adquisición de datos y otros, garantizan la captura y análisis exhaustivos de datos. De especial interés es el sistema de correlación de imágenes digitales avanzado de la instalación (DIC, por sus iniciales en inglés) para medición de deformaciones, una herramienta vanguardista que habilita un monitoreo no destructivo de deformaciones de alta resolución en componentes estructurales (Fig. 3). El sistema DIC:

- Capta deformaciones diminutas en materiales que se encuentran bajo carga y las convierte en datos de deformaciones cuantificables;
- No requiere conexión mecánica a la superficie del objeto de prueba, no impone ninguna limitación mecánica (tal como longitudes de medición fijas), ni restricciones sobre la velocidad de la prueba y recolección de datos sobre su campo de visión completo; y
- Puede utilizarse para monitorear la propagación de fisuras en componentes estructurales, tales como losas, vigas, columnas y muros de cortante.

En BESSC, el sistema DIC se está aprovechando en numerosos proyectos de investigación para avanzar en la comprensión del comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones de carga.

Con su mesa vibratoria bidireccional MTS, BESSC proporciona recursos invaluable a los ingenieros e investigadores que trabajan para mejorar el desempeño sísmico de las estructuras, un componente esencial para lograr resiliencia sísmica.

Finalmente, el área de taller de BESSC les brinda a los estudiantes experiencia práctica, permitiéndoles trabajar con partes de madera y acero para realizar pruebas experimentales.

Actividades Actuales / Proyectos de Investigación

Con BESSC, la investigación no está limitada al ámbito de lo teórico; es una tarea práctica impulsada por estudiantes y profesorado apasionados. Actualmente, los estudiantes de pregrado y posgrado de ingeniería están participando en muchos proyectos de investigación que abarcan diversas disciplinas. (Fig. 4).

Uno de esos proyectos se ha centrado en introducir fibras de acero con extremos en forma de gancho para mejorar la resistencia al cortante en vigas de concreto ligero sin estribos (LC-BWS, por sus iniciales en inglés). Los objetivos fundamentales



Fig. 2: Área de pruebas en BESSC

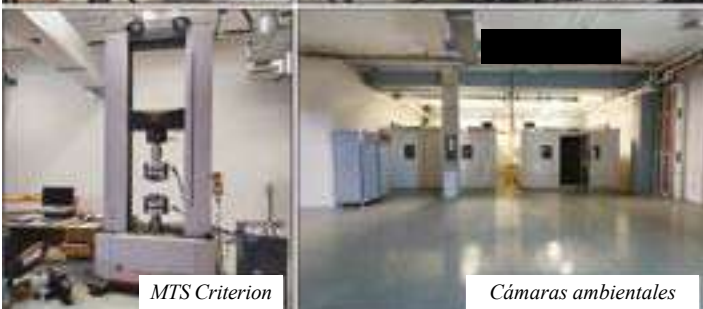


Fig. 3: Equipo de pruebas en BESSC



Fig. 4: Investigación realizada en BESSC

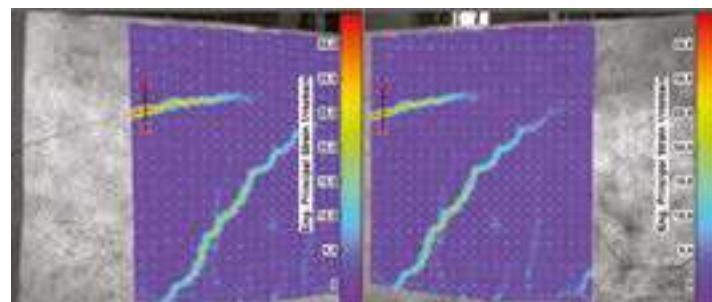


Fig. 5: Propagación de fisuras en un testigo probado

incluyen evaluar la eficacia de las fibras de acero como el refuerzo de cortante mínimo en LC-BWS y evaluar la influencia del peralte de la viga en la capacidad de cortante de dichas vigas. Se fabricaron especímenes utilizando mezclas con 0.5% de contenido de fibra por volumen. Los peraltes de los especímenes variaron de 300 a 900 mm (12 a 36 pulg.) y la relación del refuerzo longitudinal fue de 1 ó 1.5%. La relación claro de cortante contra peralte efectivo fue de 3.5 por cada espécimen.

El sistema DIC se utilizó para evaluar la propagación de fisuras (Fig. 5). Los resultados de la prueba indicaron que el esfuerzo de cortante normalizado en la falla disminuyó al incrementar el peralte del espécimen, lo que sugiere un efecto de tamaño para los especímenes LC-BWS. No obstante, agregar fibras de acero a la matriz de concreto aumentó significativamente la capacidad de cortante comparada con las predicciones de ACI CODE-318-19 para miembros de concreto reforzado sin fibras de acero.

Otra iniciativa de investigación de vanguardia en BESSC es un estudio del comportamiento de cortante de sistemas de losa aligerada (Fig. 6). Las normas actuales de diseño no incluyen disposiciones asociadas a la capacidad de cortante reducida de placas planas aligeradas. Mediante el uso de datos de pruebas de losas aligeradas unidireccionales, se propuso un factor λ_{void} de reducción de capacidad como una función de la relación de la altura del aligeramiento contra peralte de la losa. El factor propuesto se calibró para el modelo de cortante de ACI CODE-318-19, utilizando un factor de reducción de resistencia (ϕ) de 0.75. El factor permite la optimización de la sección seleccionando la altura del aligeramiento basado en la resistencia a cortante requerida.

La investigación actual profundiza en el punzonamiento de losas planas con capiteles peraltados de refuerzo, abordando los desafíos más importantes de las prácticas de construcción modernas (Fig. 4). Más aún, BESSC se encuentra a la cabeza en pruebas de materiales, en especial en el ámbito de los materiales compuestos con fibras naturales. Por ejemplo, un proyecto se centra en evaluar las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto con fibras de corteza de parra químicamente tratadas (Fig. 7), cuyo propósito es abrir nuevas posibilidades para prácticas de construcción sostenibles. La evaluación incluyó probar el efecto del contenido y longitud de la fibra en la densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y resistencia a la flexión de testigos de concreto.

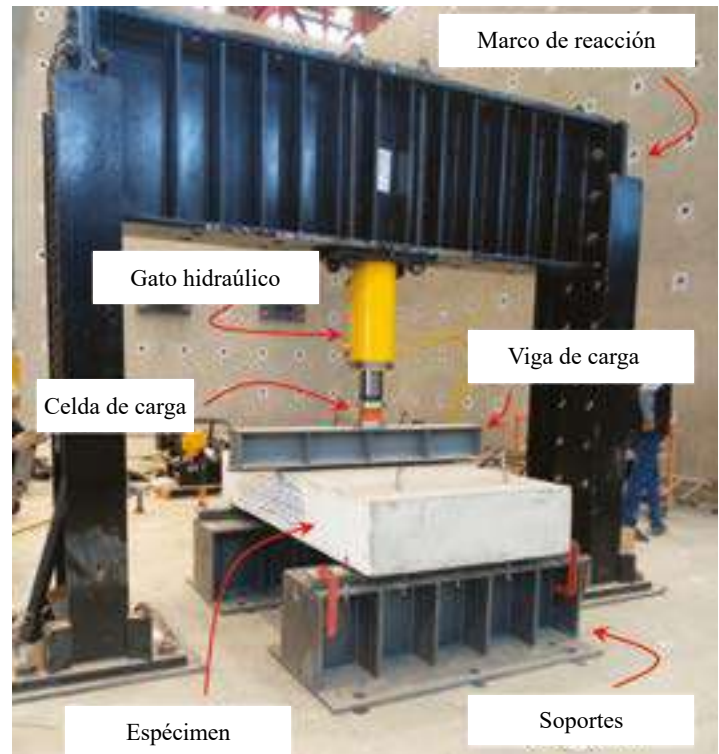


Fig. 6: Prueba de losas aligeradas



Fig. 7: Corteza de Parra

Se probaron testigos adicionales para evaluar esas mezclas y comprobar su resistencia a ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Potenciales Colaboraciones Internacionales

Si bien los logros de BESSC están fundamentados en la experiencia y conocimientos locales, el centro reconoce el valor de la colaboración global para el avance de la ingeniería estructural. Por tanto, el centro busca activamente y apoya la creación de convenios de cooperación internacional con instituciones científicas y académicas, vislumbrando así un futuro de conocimiento compartido y crecimiento mutuo. Por medio de la colaboración internacional, BESSC aspira a ampliar sus horizontes, apalancando diversas perspectivas y recursos para abordar grandes proyectos. BESSC da la bienvenida a oportunidades de colaboración transfronteriza.

Conclusiones

El Centro de Sistemas Estructurales y Entorno Construido de la Universidad Hachemita es un símbolo del poder de la innovación, la colaboración y la búsqueda del conocimiento para avanzar en el campo de la ingeniería estructural. Con equipo de última generación, proyectos de investigación sin precedentes y un compromiso con la colaboración internacional, BESSC está preparado para moldear el futuro del escenario de la construcción en Jordania, en el Medio Oriente y en todo el mundo.

A medida que continuamos con nuestra trayectoria de descubrimiento e innovación, invitamos a colegas investigadores, instituciones y socios industriales para que se unan a nosotros en esa búsqueda. Juntos, podemos superar los límites de la ingeniería estructural, construyendo un mundo más seguro, más resiliente para las generaciones por venir.

Ahmad Tarawneh miembro de ACI, es Catedrático Adjunto de Ingeniería Estructural en la Universidad Hashemite, Zarqa, Jordania. Recibió su doctorado por la Universidad de Clemson, Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos. Es miembro de los Comités ACI 355, Anclaje a Concreto y 440, Refuerzo de Polímero Reforzado con Fibra. Sus intereses de investigación incluyen anclaje en el concreto, comportamiento estructural de miembros de concreto reforzados con polímero reforzado con fibra (FRP, por sus iniciales en inglés) y aplicaciones de machine learning en ingeniería estructural. Es ingeniero profesional autorizado.



Ahmad Mhanna es miembro de ACI, Director Regional de ACI de Medio Oriente y el Norte de África (MENA, por sus iniciales en inglés), Dubai, Emiratos Árabes Unidos. Es miembro del Comité de ACI SC-A, Promoción de Reconocimientos y Participación de Estudiantes.



Título original en inglés:
Advancing Structural Engineering
at the Built Environment and
Structural System Center of
The Hashemite University

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



Traductora:
**Lic. Ana Patricia
García Medina**



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