



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Aprendizaje Basado en Proyectos y las competencias estudiantiles del
American Concrete Institute”

T E S I S

que para obtener el TÍTULO de INGENIERO CIVIL presenta:

GABRIEL NAVARRO GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ MANUEL GUTIÉRREZ MORENO

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. JULIO ALBERTO CALDERÓN RAMÍREZ

Mexicali, B. C. a 10 de noviembre de 2025

Dedico esta tesis a Diego Cisneros, Susana Zapien y al resto de mis amigos que me acompañaron en el ACI-UABC Student Chapter. Fue una aventura, un desafío y un aprendizaje a su lado.



Gracias a mi familia.

Gracias al profesor José Manuel Gutierrez.

Gracias

Contenido

Resumen	5
Abstract	5
Introducción.....	6
Objetivo general.	7
Objetivos específicos.....	7
Hipótesis.....	8
Metodología descriptiva.....	8
Capítulo 1: Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)	9
1.1 Definición y Concepto del Aprendizaje Basado en Proyectos.....	9
1.2 Origen e Historia del ABP	10
1.3 Pilares Fundamentales del ABP	11
1.4 Aplicaciones e impacto del ABP en estudiantes de Ingeniería Civil.....	12
Referencias capítulo 1.	18
Capítulo 2: El American Concrete Institute (ACI)	20
2.1 El propósito, organización, y actividades del ACI	21
2.2 Capítulos Profesionales ACI.....	23
2.3 Capítulos Estudiantiles ACI	24
2.4 Programas Educativos Adicionales: ACI University y Certificaciones	27
2.5 Coordinación Técnica: El Technical Cooperation Program (TCP).....	28
Referencias capítulos 2, 3 y 4.....	29
Capítulo 3: Mortar Workability Competition.....	30
3.1 ¿Qué es el mortero fluido?	30
3.2 Descripción de la Mortar Workability Competition (MWC)	31
3.3 Reglas de la Competencia MWC.....	32
3.4 Reflexiones personales de la participación en la Competencia MWC.....	34
Capítulo 4: Pervious Concrete Cylinder Competition	39
4.1 ¿Qué es el Concreto Permeable (Pervious Concrete)?.....	39
4.2 Descripción de la Pervious Concrete Cylinder Competition (PCCC)	43
4.3 Reglas de la Competencia PCCC	44
4.4 Reflexiones personales de la participación en la Competencia PCCC.....	46
Conclusiones y recomendaciones	51
Anexos	53

Índice de tablas

Tabla 1. Competencias Desarrolladas Mediante ABP.....	14
Tabla 2. Ventajas y desventajas del ABP.....	16
Tabla 3. Estructura Jerárquica del ACI - De lo Global a lo Local.....	22
Tabla 4. Principales competencias estudiantiles del ACI.....	26
Tabla 5. Competencias técnicas desarrolladas en la MWC.....	32
Tabla 6. Sistema de Puntuación en Mortar Workability Competition.....	33
Tabla 7. Competencias técnicas y blandas desarrolladas en la PCCC.....	42
Tabla 8. Criterios de calificación y sistemas de puntuación PCCC.....	46

Índice de Figuras

Figura 1 Pilares del ABP. Elaboración propia.....	11
Figura 2. Etapas del proceso del ABP. Elaboración propia.....	12
Figura 3. Pruebas de preparación para la competencia de mezclas.....	37
Figura 4. Registro de materiales en competencia ACI.....	37
Figura 5. Diferencias entre concreto tradicional y permeable. Elaboración propia.....	41
Figura 6. Prueba de permeabilidad de cilindro en competencia ACI.....	50
Figura 7. Ceremonia de premiación en competencia ACI.....	50
Figura 8. Búsqueda y recolección de materiales para realizar las mezclas.....	53
Figura 9. Preparación de materiales para elaboración de mezcla.....	53
Figura 10. Elaboración de la mezcla de mortero.....	54
Figura 11. Resultados de pruebas de sangrado. (sedimentación).....	54
Figura 12. Traslado hacia evento ACI.....	55
Figura 13. Stands de convención ACI.....	55
Figura 14. Eventos sociales de comunidad ACI.....	56
Figura 15. Evento de evaluación de mezclas.....	57
Figura 16. Evaluación de mezcla del capítulo estudiantil UABC1.....	57
Figura 17. Granulometría de material.....	58
Figura 18. Elaboración de especímenes para selección de la mezcla.....	58
Figura 19. Especímenes para aplicación de pruebas de permeabilidad y resistencia.....	59
Figura 20. Aplicación de pruebas de resistencia en cilindros.....	59
Figura 21. Preparación de espécimen.....	60
Figura 22. Aplicación de pruebas a especímenes elaborados en laboratorio.....	60
Figura 23. Evaluación de cilindro el día de la competencia ACI.....	61
Figura 24. Aplicación de prueba de resistencia en competencia ACI.....	61
Figura 25. Revisión de cilindros evaluados.....	62
Figura 26. Ceremonia de premiación de la competencia PCCC.....	62

Resumen

Esta tesis analiza la integración del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con las competencias estudiantiles del American Concrete Institute (ACI) en la formación de ingenieros civiles. Se abordan los fundamentos pedagógicos, el impacto y la aplicación del ABP, así como la estructura y propósito del ACI y sus competencias principales. Los capítulos centrales examinan dos competencias clave: Mortar Workability Competition y Pervious Concrete Cylinder Competition, mostrando cómo estas constituyen escenarios ideales para aplicar ABP. A través del análisis comparativo y la descripción detallada de las competencias, se demuestra que el ABP promueve el desarrollo efectivo de competencias técnicas y habilidades blandas en estudiantes de ingeniería civil, preparando profesionales capaces de enfrentar desafíos reales, mejorar la sostenibilidad y contribuir al desarrollo responsable de la infraestructura.

Abstract

This thesis analyzes the integration of Project-Based Learning (PBL) with the student competitions of the American Concrete Institute (ACI) in the education of civil engineers. It addresses the pedagogical foundations, the impact and application of PBL, and the structure and purpose of ACI and its core competitions. The main chapters examine two key student competitions: Mortar Workability Competition and Pervious Concrete Cylinder Competition, highlighting how these are ideal scenarios for implementing PBL. Through comparative analysis and a detailed description of the competitions, it is demonstrated that PBL fosters the effective development of technical competencies and soft skills among civil engineering students, preparing professionals capable of facing real-world challenges, improving sustainability, and contributing responsibly to the development of infrastructure.

Introducción

La formación de ingenieros civiles en el siglo XXI exige mucho más que la transmisión de conocimientos técnicos tradicionales; requiere cultivar competencias profesionales integrales que permitan enfrentar los desafíos complejos de una industria en constante transformación. La integración del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y las competencias estudiantiles del American Concrete Institute (ACI) responde a esta necesidad, proponiendo escenarios de aprendizaje donde la teoría se encuentra con la práctica, y donde el estudiante asume un rol activo en su propio proceso formativo.

Este documento es resultado de la inquietud por explorar cómo el ABP, al ser aplicado en competencias técnicas avaladas por organismos internacionales como el ACI, fortalece tanto la formación técnica como el desarrollo de habilidades blandas esenciales. Así, la tesis se estructura para guiar al lector a través de los fundamentos teóricos y pedagógicos del ABP, la naturaleza y relevancia del ACI, y el análisis detallado de competencias estudiantiles, funcionando como un puente entre la educación y la práctica profesional. Invito al lector a recorrer estas páginas como una oportunidad para comprender cómo la colaboración, la innovación y el trabajo en contextos reales pueden transformar la experiencia educativa en ingeniería civil, preparando a los futuros ingenieros para desempeñarse con excelencia, ética y responsabilidad social en la construcción del mundo que habitamos

Objetivo general.

Evaluar la efectividad del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como estrategia pedagógica para el desarrollo de las competencias estudiantiles definidas por el American Concrete Institute (ACI) en estudiantes de ingeniería civil.

Objetivos específicos.

- Identificar cómo la metodología del ABP facilita la adquisición y consolidación de competencias técnicas en ingeniería de materiales, específicamente en el concreto sustentable y en aplicaciones innovadoras.
- Analizar la alineación entre las competencias del ACI (Mortar Workability y Pervious Concrete) y los principios fundamentales del ABP (problemas auténticos, investigación activa, colaboración, productos públicos, autonomía estudiantil).
- Evaluar cómo el ABP promueve el desarrollo de habilidades blandas esenciales (comunicación efectiva, pensamiento crítico, liderazgo de proyectos, responsabilidad social) junto con las competencias técnicas.
- Identificar los beneficios y desafíos de integrar competencias del ACI como contexto práctico para aplicar la metodología del ABP en programas de ingeniería civil.

Hipótesis

La aplicación de la metodología del *Aprendizaje Basado en Proyectos*, mediante las competencias estudiantiles del *American Concrete Institute*, resulta en un desarrollo más efectivo de competencias técnicas y habilidades blandas en estudiantes de ingeniería civil, en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza, y prepara significativamente mejor para la práctica profesional.

Metodología descriptiva

Este documento (tesis) diferente, es un estudio, pero también una recopilación de reflexiones personales de las experiencias de formación en la carrera y su impacto.

De manera general, consiste en la investigación sobre el *Aprendizaje Basado en Proyectos* (ABP), para verificar si las competencias del *American Concrete Institute* (ACI) representan una aplicación práctica de este enfoque pedagógico. Posteriormente, se procede a un proceso de reflexión sobre la aportación y valor de dichas competencias internacionales desde la preparación hasta la participación frente a universidades de todo el mundo, sobre la formación integral de ingeniería civil, para concluir si considero que lo anterior prepara de mejor manera a los estudiantes para el desempeño en los contextos reales del ejercicio profesional, y si considero que el ABP debe implementarse con más frecuencia como parte de los métodos de enseñanza de manera transversal en el plan de estudios de ingeniería civil.

Capítulo 1: Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

1.1 Definición y Concepto del Aprendizaje Basado en Proyectos

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una metodología educativa centrada en el estudiante que promueve el aprendizaje mediante la ejecución de proyectos auténticos orientados a la solución de problemas reales. A diferencia del aprendizaje pasivo, el ABP sumerge a los alumnos en un problema o desafío del mundo real, fomentando la investigación activa, el pensamiento crítico y la aplicación práctica de los conocimientos teóricos (Oller et al., 2024), se ha reportado eficaz para desarrollar habilidades y competencias prácticas en los estudiantes, con buenos resultados en disciplinas como la ingeniería (Salazar y Ponton, 2024a).

La implementación de este enfoque facilita que los estudiantes integren el conocimiento teórico con aplicaciones prácticas, fomentando una comprensión más profunda de los principios complejos de la ingeniería y de los estándares de la industria (Kofoed et al., 2018). A través de esta inmersión en proyectos de construcción reales, los estudiantes desarrollan habilidades cognitivas esenciales, como el pensamiento crítico y la resolución de problemas (Dahl et al., 2018).

Basado en el modelo constructivista, el ABP también cultiva atributos interpersonales, como el trabajo en equipo y la comunicación efectiva, lo que mejora la retención del conocimiento y la autoeficacia en comparación con la instrucción tradicional (Bernhard et al., 2020; Lavado-Anguera et al., 2024).

1.2 Origen e Historia del ABP

El ABP tiene sus raíces en el pensamiento pedagógico de John Dewey (1897), quien propuso el concepto de "learning by doing" (aprender haciendo). Sin embargo, la formalización de la metodología se atribuye a William Heard Kilpatrick (1918), quien desarrolló el "método de proyectos" como una estrategia de enseñanza estructurada.

En las décadas posteriores, el ABP evolucionó:

- 1930s-1960s: Desarrollo de enfoques constructivistas en educación
- 1990s: Adaptación al Problem-Based Learning (PBL) en programas de medicina
- 2000s-presente: Implementación generalizada en ingeniería, ciencias y disciplinas STEM

Según Dewey, el aprendizaje más significativo ocurre cuando los estudiantes "aprenden haciendo" y esta filosofía permanece como fundamento del ABP contemporáneo. La metodología se caracteriza por lo siguiente:

- Centrada en el estudiante como protagonista del aprendizaje
- Basada en la solución de una problemática real y relevante
- Fomento del trabajo colaborativo e interdisciplinario
- Integración de competencias técnicas y blandas
- Producción de un resultado tangible o demostrable

Actualmente, el ABP es reconocido como una metodología efectiva para desarrollar habilidades del siglo XXI y es promovido por organismos internacionales de acreditación educativa y agencias de calidad¹.

1.3 Pilares Fundamentales del ABP

El ABP se sustenta en cinco pilares clave que definen su estructura y su efectividad, como se muestra en la **Figura 1**.



Figura 1 Pilares del ABP. *Elaboración propia.*

Esto indica que el problema auténtico es un desafío relevante; no se trata de problemas artificiales de los libros de texto, sino de situaciones que los profesionales de la ingeniería civil enfrentan actualmente. En tanto que la investigación activa promueve el pensamiento crítico y la capacidad de análisis profundo. Mediante la colaboración, los estudiantes aprenden a comunicarse, negociar, resolver conflictos y valorar perspectivas diferentes, competencias esenciales para el ejercicio profesional. Al generar un producto o resultado tangible (como un diseño estructural, un proyecto de

¹ <https://www.pblworks.org/>

infraestructura, un prototipo o una presentación técnica), los estudiantes lo presentan ante una audiencia. Por último, la autonomía permite a los estudiantes asumir responsabilidad al tomar decisiones sobre cómo abordar el proyecto, qué recursos utilizar y cómo distribuir el trabajo. Todo lo anterior se puede ver reflejado en un *proceso* de aprendizajes significativos, como se muestra en la **Figura 2**.

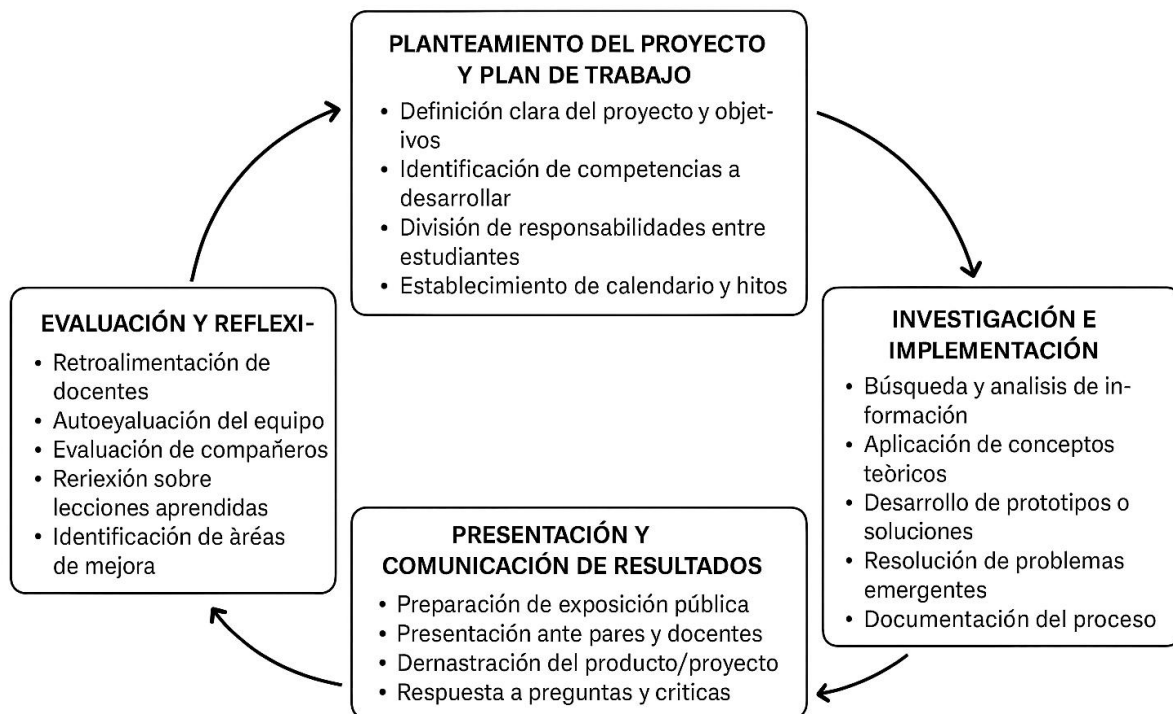


Figura 2. Etapas del proceso del ABP. *Elaboración propia.*

1.4 Aplicaciones e impacto del ABP en estudiantes de Ingeniería Civil

El desarrollo de competencias holísticas se describe en marcos internacionales, como el Acuerdo de Washington, que enfatizan atributos profesionales más amplios, más allá del conocimiento puramente técnico (Du et al., 2018). Estos atributos incluyen el análisis de problemas, el diseño, la investigación y la gestión de proyectos, ideales para el desarrollo mediante

metodologías de aprendizaje basadas en proyectos (Sørensen y Pedersen, 2018). La educación en ingeniería debe evolucionar de un modelo centrado en el currículo y el profesor a uno más centrado en el estudiante, que adopte el aprendizaje basado en problemas y proyectos (Marjoram et al., 2018).

El ABP funciona muy bien en las áreas prácticas de la ingeniería civil, permitiendo el desarrollo de competencias técnicas, por ejemplo:

- Asignaturas de Diseño Estructural en las que los estudiantes crean estructuras reales, como puentes y edificios, siguiendo normas, códigos y principios de resistencia de los materiales. Incluso es común realizar competencias de diseño de puentes de palitos de madera, para las cuales hay que elaborar el diseño y la memoria de cálculo correspondiente.
- Materias de concreto armado y materiales sustentables, donde los alumnos elaboran y prueban elementos estructurales reales, experimentando todo el ciclo desde el diseño hasta la producción y la evaluación. Al producir concretos o materiales, evalúan su impacto ambiental y su viabilidad económica.
- Proyectos de infraestructura en los que se desarrollan propuestas para resolver problemas urbanos relacionados con la vialidad, los servicios y el drenaje, combinando ingeniería, sostenibilidad y consideraciones topográficas y del entorno construido.
- En Proyectos de Topografía hay que realizar levantamientos de terrenos reales; la implementación de tecnologías como drones, GPS y láser implica una logística que debe prepararse y, posteriormente, una vez realizados, revisarse y procesarse con software especializado.

Además de habilidades técnicas propias de la ingeniería civil, la implementación del ABP también permite el desarrollo de habilidades digitales y blandas, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *Competencias Desarrolladas Mediante ABP. Elaboración propia.*

Tipo de Competencia	Descripción
Competencias Técnicas	Análisis de estructuras, diseño de proyectos, manejo de normativas y códigos de construcción
Pensamiento Crítico	Capacidad de analizar problemas complejos y desarrollar soluciones innovadoras
Trabajo en Equipo	Colaboración interdisciplinaria, división de responsabilidades y comunicación
Habilidades Digitales	Uso de software CAD, BIM, Sistemas de Información Geográfica, herramientas de simulación y modelado
Liderazgo	Gestión de equipos, toma de decisiones y motivación
Comunicación	Presentación de ideas, redacción de reportes técnicos, exposiciones públicas
Gestión de Proyectos	Planificación de tiempos, presupuestos, riesgos y recursos

La ingeniería es vital para el desarrollo sostenible y tiene el potencial de liderar equipos multidisciplinarios ([Bertel y Kristensen, 2018](#)), por lo que la implementación del ABP en ingeniería es clave para preparar a los estudiantes y promover la colaboración en la solución de problemas sociales ([Marjoram et al., 2018](#)).

La implementación del ABP en programas de ingeniería civil genera múltiples beneficios reportados ([Salazar y Ponton, 2024b](#); [Marjoram et al., 2018](#); [Kofoed et al., 2018](#); [Guerra et al., 2018](#)):

- Aprendizaje profundo y duradero: El conocimiento adquirido mediante experiencias prácticas y autodirigidas se retiene más tiempo que el adquirido en clases expositivas. Los estudiantes establecen conexiones sólidas entre la teoría y la práctica.
- Desarrollo de competencias profesionales: El ABP cultiva habilidades valoradas por los empleadores, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la toma de decisiones, el liderazgo, la comunicación escrita y oral y el trabajo en equipos multidisciplinarios.
- Habilidades digitales: El ABP promueve el uso de herramientas como BIM, CAD, simulación, sistemas de información geográfica en contextos de uso real, mejorando la competencia digital.
- Conexión con el contexto local: proyectos orientados a problemas reales generan un impacto social y refuerzan el compromiso de la ingeniería al servicio de la sociedad.

En internet se reportan algunos casos de distintas universidades en los que la aplicación del ABP impactó tanto en la adquisición de habilidades como en la aprobación de los cursos; Brigham Young University (Hidráulica, comprensión de conocimientos avanzados), Universidad de Chile (Diseño Urbano, integración de SIG y CAD mejora en pensamiento crítico), Universidad de Los Andes (Topografía, mejora en precisión de mediciones), ITESO México (Concreto armado y Obras viales, 90% de estudiantes aprobó; desarrollo de elementos estructurales reales).

De igual forma, y a pesar de los múltiples beneficios que ofrece el ABP, también se han señalado los retos para su implementación; la **Tabla 2** presenta un contraste de algunos aspectos clave.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del ABP. *Elaboración propia.*

Aspecto	Ventajas	Desventajas
Motivación Estudiantil	✓ Aumento de 70–85% en participación; aprendizaje contextualizado	✗ Algunos estudiantes pueden preferir métodos tradicionales
Retención de Conocimiento	✓ Aprendizaje profundo y duradero; aplicación práctica inmediata	✗ Requiere seguimiento continuo
Competencias Blandas	✓ Desarrollo de liderazgo, comunicación y trabajo en equipo	✗ Evaluación más compleja y subjetiva
Carga de Trabajo	✓ Distribuido entre actividades variadas; más significativo	✗ Potencialmente mayor al inicio; requiere más tiempo de instructor
Recursos Necesarios	✓ Flexibilidad; puede adaptarse a disponibilidad	✗ Requiere acceso a tecnología, espacios colaborativos, expertos
Evaluación del Aprendizaje	✓ Más integral; rúbrica clara; autoevaluación	✗ Difícil estandarizar criterios entre grupos/semestres
Adaptabilidad	✓ Funciona en diversos contextos educativos y disciplinas	✗ Requiere capacitación docente especializada

Es importante destacar que el ABP se aleja de los modelos centrados en el docente y se orienta a entornos centrados en el estudiante. Desde las propuestas de Dewey y Kilpatrick, el ABP ha evolucionado en una

metodología robusta y científicamente validada, que no solo promueve competencias técnicas, sino también habilidades blandas esenciales para el siglo XXI.

En el contexto de la ingeniería civil, el ABP resulta especialmente pertinente porque permite a los estudiantes enfrentarse a problemas reales de infraestructura, sostenibilidad y desarrollo urbano, lo que constituye una preparación efectiva para la práctica profesional.

Los siguientes capítulos de esta tesis ejemplificarán la implementación del ABP mediante distintas competencias estudiantiles organizadas por el American Concrete Institute (ACI), demostrando así la capacidad del ABP para generar aprendizaje significativo en ingeniería y en el desarrollo profesional.

Referencias capítulo 1.

- Oller, E., Peña, M., & Torre, N. O. (2024). Effectiveness of project-based learning in a reinforced concrete course of civil engineering. *Journal of Technology and Science Education*, 14(2), 324. <https://doi.org/10.3926/jotse.2067>
- Salazar, P. H. V., & Ponton, A. F. H. (2024a). Integrating Theory and Practice Through Innovation in Civil Engineering Education: A Course Based on Project Learning and the CDIO Approach. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(4). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-168>
- Salazar, M., & Ponton, M. (2024b). Problem-based and project-based learning in civil engineering: A systematic review. *Engineering Education Review*, 15(3), 234-251.
- Kofoed, L. B., Kristensen, N. S., Andreasen, L. B., Bruun-Pedersen, J. R., & Høeg, E. R. (2018). Integrating Courses and Project Work to support PBL : a conceptual design for changing curriculum structure. *Research Portal Denmark*, 260. <https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=aau&id=aau-d9f7586a-73e4-4198-8b35->
- Dahl, B., Sunyu, W., Kolmos, A., Guerra, A., & Qiao, W. (2018). The context of linear algebra problems in university mathematics projects. *Research Portal Denmark*, 168. <https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=aau&id=aau-cb633ee8-19de-4977-b628-3958c20996cc&ti=The%20context%20of%20linear%20algebra%20problems%20in%20u>
[niversity%20mathematics%20projects](https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=aau&id=aau-cb633ee8-19de-4977-b628-3958c20996cc&ti=The%20context%20of%20linear%20algebra%20problems%20in%20university%20mathematics%20projects)
- Bernhard, J., Davidsen, J., & Ryberg, T. (2020). By hand and by computer – a video-ethnographic study of engineering students' representational practices in a design project. *Research Portal Denmark*, 565. <https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=aau&id=aau-5de526a8-d7db-4180-8072-a4be260c467f&ti=By%20hand%20and%20by%20computer%20%2013%20a%20video-ethnographic%20study%20of%20engineering%20students%2019%20representational%20practices%20in%20a%20design%20project>
- Lavado-Anguera, S., Quintana, P. J. V., & López, M. J. T. (2024). Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature [Review of Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature]. *Education Sciences*, 14(6), 617. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>

- Du, X., Ebead, U., Sabah, S., Stojcevski, A., Wang, S., Kolmos, A., & Qiao, W. (2018). Implementing PBL in Qatar – Civil Engineering students' views on their first experiences from a perspective of constructive alignment. Research Portal Denmark, 250. On 7th International Research Symposium on PBL : Innovation, PBL and Competences in Engineering Education.
- Sørensen, M. T., & Pedersen, J. M. (2018). Students' experience with Dassault Systemes' ILICE platform for PBL. Research Portal Denmark, 75. <https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=aau&id=aau-728c8d45-14c1-4cfe-8fa6-b191822c2731&ti=Students%2019%20experience%20with%20Dassault%20Systemes%2019%20ILICE%20platform%20for%20PBL>
- Marjoram, T., Wang, S., Kolmos, A., Guerra, A., & Qiao, W. (2018). PBL for the graduate attributes and professional competencies of international development and the engineers of tomorrow. Research Portal Denmark, 136. On 7th International Research Symposium on PBL : Innovation, PBL and Competences in Engineering Education.
- Bertel, L. B., & Kristensen, N. S. (2018). Student Engagement and Study Intensity in Flipped PBL Curriculum and Blended Learning Activities. Research Portal Denmark, 116. On 7th International Research Symposium on PBL : Innovation, PBL and Competences in Engineering Education.
- Guerra, A., Ulseth, R., & Kolmos, A. (2018). Project-based learning in engineering education. En Advances and new trends in engineering education for sustainable development (pp. 13-26). Springer.

Capítulo 2: El American Concrete Institute (ACI)

A menudo existe una desconexión entre la formación académica tradicional y las competencias que exige la industria. Un plan de estudios de ABP bien implementado es esencial para cerrar esta brecha, especialmente cuando se alinea con marcos reconocidos por la industria ([Henriksen, 2015](#)). Este estudio se centra específicamente en la alineación del ABP con las competencias estudiantiles definidas por el American Concrete Institute (ACI), como caso de estudio para validar la eficacia de la aplicación del ABP en la formación de estudiantes de ingeniería civil.

La participación de estudiantes en las competencias del American Concrete Institute, representa una oportunidad para trabajar con ABP, invitando a la acción, a la resolución de problemas y a llevar a cabo un proceso bien estructurado ([Mokoka et al., 2023](#)), que desafía la formación de los estudiantes de ingeniería civil, y eventualmente conduce a los académicos mejorar sus planes de estudio, asegurando que los graduados estén bien preparados para satisfacer las rigurosas demandas de la industria del concreto y de la infraestructura, al unir el conocimiento teórico con la práctica profesional ([García-Segura et al., 2022](#)). Estas competencias abarcan un amplio espectro, desde la ciencia fundamental de los materiales y los principios de diseño estructural hasta la aplicación práctica y las consideraciones éticas, enfatizan la comprensión de las propiedades del concreto, el diseño de la mezcla, los métodos de construcción y las prácticas de sostenibilidad, lo que refleja la naturaleza multidisciplinaria de la ingeniería civil ([Guerra et al., 2023](#)).

2.1 El propósito, organización, y actividades del ACI

El American Concrete Institute (ACI), fundado en 1904, es la autoridad técnica mundial más relevante en tecnología del concreto, materiales, diseño y construcción. Según el *ACI 2024 Global Impact Report*, el Instituto opera bajo un mandato claro: desarrollar y diseminar estándares de consenso, recursos técnicos y programas educativos que avancen en el conocimiento y la práctica del concreto ([American Concrete Institute, 2024](#)).

El ACI opera a nivel internacional y, aunque tiene una sede central en Michigan, Estados Unidos, su fuerza radica en su red global. Esto se realiza a través de capítulos regionales y por países (Chapters) que agrupan a profesionales relacionados con la industria de la construcción.

Por otro lado, existen los Capítulos Estudiantiles (Student Chapters), que constituyen el núcleo de la actividad estudiantil. Funcionan como extensiones del ACI en las universidades. Son el vehículo principal para que los estudiantes se involucren, organicen eventos y formen equipos. También representa una estrategia de diseminación o difusión del conocimiento a mediano y largo plazo, compartiendo con ellos el conocimiento generado a lo largo de décadas para prepararlos mejor para su ejercicio profesional. La **Tabla 3** presenta la estructura y funciones que realiza cada grupo o entidad que integra el ACI.

El ACI celebra dos convenciones principales al año: primavera y otoño. Estas convenciones no son solo para profesionales; constituyen el escenario central de las competencias estudiantiles, ya que, en el marco de ellas, el ACI organiza competencias diseñadas específicamente para que los estudiantes apliquen la teoría vista en clase a un desafío práctico y estandarizado.

Tabla 3. Estructura Jerárquica del ACI - De lo Global a lo Local. *Elaboración propia.*

Nivel Organizacional	Entidad	Función Principal	Ejemplos de Ubicación
1. Internacional	ACI Headquarters & Board of Direction	Gobierno estratégico, estándares globales	Farmington Hills, Michigan, EE.UU.
2. Técnico Global	125+ Comités Técnicos	Desarrollo de Códigos y especificaciones	Múltiples secciones del ACI
3. Regional	Secciones del ACI (7 en el mundo)	Representación regional, coordinación	Norteamérica, Latinoamérica, Asia, etc.
4. Local	94 Capítulos Profesionales (53 EE.UU., 41 Internacionales)	Actividades educativas, eventos técnicos	Ciudades específicas, países
5. Estudiantil	349 Capítulos Estudiantiles (77 EE.UU., 272 Internacionales)	Formación, competencias, reclutamiento	Universidades

Nota: Datos correspondientes a 2024 (ACI 2024 Global Impact Report) Elaboración propia.

El ACI cuenta actualmente con 125 comités técnicos especializados y con más de 400 subcomités y grupos de trabajo ([Technical Committee Manual, 2024](#); [ACI, 2024](#)). Estos comités constituyen el corazón de la actividad del ACI, siendo responsables de:

- Desarrollar códigos, especificaciones y guías de consenso
- Generar información técnica confiable para la industria del concreto

- Facilitar la colaboración internacional entre profesionales
- Establecer estándares que aseguran seguridad, durabilidad y sostenibilidad

Cada comité técnico está liderado por expertos voluntarios de la industria, la academia y los organismos reguladores. La estructura de comités se basa en áreas temáticas específicas, como el diseño estructural, los materiales, la durabilidad, la sostenibilidad y las prácticas de construcción.

El ACI estructura su presencia internacional mediante siete secciones regionales que coordinan la actividad en diferentes zonas geográficas:

1. Norteamérica (Estados Unidos, Canadá, México)
2. Centro y Sudamérica
3. Europa
4. Medio Oriente y África
5. Asia-Pacífico
6. Australia y Nueva Zelanda
7. India y subcontinente asiático

2.2 Capítulos Profesionales ACI

Dentro de cada sección regional, el ACI establece capítulos (chapters) profesionales que actúan como puntos de contacto locales para profesionales del concreto. Estos capítulos organizan seminarios, actividades de capacitación, eventos de certificación y eventos de networking profesional. En México, por ejemplo, existen actualmente cuatro capítulos profesionales activos (ACI Noreste, ACI Noroeste, Centro-Sur y Capítulo Sureste de México).

Los capítulos profesionales del ACI funcionan como entidades jurídicamente independientes pero integradas a la red global del Instituto. Según la *Guide to Chapter Organization and Operation del ACI*, para formar un capítulo profesional internacionalmente se requieren al menos 15 miembros del ACI y el respaldo institucional de ACI Headquarters ([ACI, 2024](#)).

Las funciones principales de los capítulos profesionales incluyen:

- Organización de seminarios y conferencias técnicas
- Administración de programas de certificación ACI
- Facilitación de redes profesionales y transferencia de conocimiento
- Difusión de estándares y buenas prácticas
- Apoyo en la formación de capítulos estudiantiles

2.3 Capítulos Estudiantiles ACI

El ACI mantiene una red de 349 capítulos estudiantiles a nivel mundial, según el *ACI Global Impact Report 2024*. Estos capítulos constituyen el principal vehículo mediante el cual el ACI invierte en la formación de la siguiente generación de ingenieros civiles y profesionales del concreto.

Para formar un capítulo estudiantil del ACI en una universidad, se requiere:

1. Una petición firmada por al menos 15 estudiantes miembros ACI (membresía gratuita para estudiantes)
2. Apoyo oficial de la universidad
3. Designación de un asesor académico miembro del ACI
4. Cumplimiento de estatutos específicos de la sección

Cada capítulo estudiantil, aunque autónomo en su gestión local, responde a un marco estructural que establece:

- Gobernanza local: Presidencia, tesorería, secretaría y miembros vocales.
- Programas educativos: Seminarios, talleres, conferencias magistrales
- Actividades de competencia: Participación en competencias ACI (Mortar Workability, Pervious Concrete, FRC Bowling Ball, otros.)
- Outreach académico: Promoción de carreras en ingeniería del concreto
- Networking profesional: Conectar estudiantes con profesionales de la industria

La participación de los capítulos estudiantiles en las convenciones anuales ACI es muy importante, porque se reúnen a profesionales, académicos y estudiantes en torno al concreto. Estas convenciones no son eventos informativos, sino escenarios de integración que permiten:

- Presentación y debate de investigación técnica
- Reuniones de comités técnicos especializados
- Actividades de educación continua
- **Competencias Estudiantiles Internacionales**

Las competencias estudiantiles ACI, desarrolladas durante las convenciones, representan la materialización del compromiso del ACI con la educación basada en competencias prácticas. En estas convenciones, estudiantes de universidades de múltiples países presentan sus soluciones concretas a desafíos estandarizados, integrando así la teoría académica con la aplicación práctica de estándares internacionales. Las principales competencias internacionales realizadas se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Principales competencias estudiantiles del ACI. *Elaboración propia.*

Competencia	Año de Inicio	Descripción	Competencias ACI Desarrolladas
Mortar Workability Competition	2008	Evaluación de la trabajabilidad del mortero y control de calidad mediante el diseño, mezcla y pruebas de mortero; enfoque en consistencia, fluidez y desempeño bajo normas técnicas	Técnicas de laboratorio, análisis de datos, control de calidad, especificaciones ASTM, trabajo en equipo.
Pervious Concrete Cylinder Competition	2009	Diseño y construcción de cilindros de concreto permeable, optimizando porosidad y resistencia; aplicación experimental de criterios de sostenibilidad y gestión de aguas pluviales.	Sostenibilidad, drenaje urbano, permeabilidad, diseño de mezclas innovadoras, normas ACI/ASTM, reporte técnico.
FRC Bowling Ball Competition	2015	Evaluación del desempeño de bolas de concreto reforzado con fibras bajo condiciones de impacto y carga, enfocándose en durabilidad y respuesta a esfuerzos extremos.	Innovación en materiales, resistencia al impacto, modelado estructural, técnicas avanzadas de mezcla y reforzamiento, aplicación de normas.
Eco Concrete Competition	2018	Diseño de mezclas innovadoras de concreto con mínima huella ambiental, integrando materiales	Análisis ambiental, durabilidad de materiales, desarrollo sostenible, ciclo de vida (LCA),

		cementantes suplementarios; reporte sobre ciclo de vida y desempeño de durabilidad.	comunicación técnica, trabajo interdisciplinario.
Egg Protection Device Competition	2016	Diseño y construcción de dispositivos de protección que salvaguarden un huevo utilizando concreto, probando resistencia, absorción de energía y creatividad estructural.	Creatividad estructural, absorción de impacto, diseño innovador, técnicas de prueba, presentación oral y escrita.
FRP Composites Competition	2021	Desarrollo y prueba de estructuras de concreto reforzadas con polímeros de fibra (FRP) enfocándose en eficiencia estructural y económica; optimización del costo sobre carga.	Materiales compuestos, eficiencia costo-estructura, análisis de cargas, técnicas de refuerzo avanzado, diseño sostenible.

Cada competencia incorpora estándares ACI específicos (como ACI 211 para diseño de mezclas o ACI 522 para concreto permeable), requiriendo que los estudiantes no solo comprendan los principios técnicos sino que ejecuten pruebas según procedimientos normalizados internacionalmente para verificar la eficiencia de los diseños de concreto propuestos.

2.4 Programas Educativos Adicionales: ACI University y Certificaciones

ACI University: Una plataforma de aprendizaje en línea que proporciona acceso a cursos sobre tecnología del concreto, materiales, diseño

estructural, sustentabilidad, disponibles para estudiantes y profesionales en forma de educación continua.

Programas de Certificación: El ACI administra certificaciones internacionales que validan competencias profesionales, tales como:

- Técnico en Pruebas de Campo (Grado I y II)
- Supervisor de Obras de Concreto
- Técnico en Laboratorio
- Inspector de Concreto
- Acabador de Pisos Industriales

2.5 Coordinación Técnica: El Technical Cooperation Program (TCP)

El ACI a través del TCP coordina la armonización de conocimiento técnico a nivel global y fortalece relaciones con otras organizaciones técnicas internacionales asociadas. Este programa es fundamental para garantizar que los estándares desarrollados por el ACI mantengan su relevancia global mientras permiten adaptaciones locales apropiadas. En este sentido, el ACI es un referencia que orienta por sus altos estándares de calidad la redacción de documentos como los reglamentos de edificación y normas técnicas complementarias en los países y estados de todo el mundo.

Referencias capítulos 2, 3 y 4.

- American Concrete Institute. (2024). 2024 ACI Global Impact Report. <https://www.concrete.org/>
- American Concrete Institute. (2024). ACI 2024 Technical Committee Manual. Farmington Hills, MI.

- American Concrete Institute. (2024). Guide to Chapter Organization and Operation. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2024). Student Chapters Introduction. Recuperado de <https://www.concrete.org/students/>
- American Concrete Institute. (2024). ACI Student Chapter Award Recognition Program. <https://www.concrete.org/>
- ACI Student Competitions (2025). Recuperado de <https://www.concrete.org/students/studentcompetitions.aspx>
- American Concrete Institute. (2023). ACI 522-23: Pervious Concrete—Report. Farmington Hills, MI: ACI International.
- American Concrete Institute. (2024). Pervious Concrete Cylinder Competition Rules and Guidelines. Recuperado de: <https://www.concrete.org/students/studentcompetitions.aspx>
- American Concrete Institute. (2024). 2024 ACI Global Impact Report. Farmington Hills, MI: ACI International.
- ASTM International. (2020). ASTM C496-20: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2019). ASTM C1701-19: Standard Test Method for Infiltration Rate of Pervious Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Kevern, J. T., Wang, K., & Haselbach, L. (2014). Evaluation of Mix Designs and Test Procedures for Pervious Concrete. Final Report, September 2014. Transportation Research Record.
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (2024). PIP 3 – Acceptance Testing of Pervious Concrete. Silver Spring, MD: NRMCA.
- Pervious Pavement Center. (2024). Hydrological Design of Pervious Concrete. Recuperado de: <https://www.perviouspavement.org/>
- Pervious Pavement Center. (2024). Guide to Specifying Pervious Concrete. Recuperado de: <https://www.perviouspavement.org/>
- Singh, A., & Jain, B. (2020). Quantification of Embodied Energy and Carbon Footprint of Pervious Concrete Pavement. Science Direct.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Stormwater Best Management Practices. Washington, D.C.: EPA.

Capítulo 3: Mortar Workability Competition

3.1 ¿Qué es el mortero fluido?

Primeramente, el mortero es la combinación de Cemento, agregado fino, agua, sin agregado grueso. La fluidez se consigue con el empleo de aditivos químicos (líquidos) y una dosificación granulométrica conveniente.

Un mortero "*fluido*" (*flowable*) o autocompactante tiene una alta trabajabilidad (*workability*) y es capaz de llenar moldes complejos o áreas de difícil acceso sin necesidad de vibración, todo esto sin segregarse o separación de agregados de la pasta.

Las aplicaciones del mortero fluido en la construcción se enlistan a continuación a título enlistativo, más no limitativo:

- Relleno de zanjados para tuberías, cables y servicios subterráneos, donde su fluidez garantiza un llenado uniforme y sin vacíos, evitando asentamientos futuros y facilitando posteriores excavaciones.
- Nivelación de terrenos y bases antes de la colocación de pavimentos o losas, asegurando una base sólida y estable.
- Relleno y estabilización de cimentaciones, muros de contención y estructuras deterioradas, aportando soporte adicional y mejorando la durabilidad.
- Colocación y fijación de anclajes y pernos en estructuras, donde se necesitan morteros autocompactantes y de alta trabajabilidad que logren envolver completamente las piezas.
- Reparaciones estructurales, incluyendo espacios horizontales y verticales, gracias a la alta fluidez y capacidad de penetrar en cavidades reducidas y complejas.
- Acabados superficiales en pisos industriales o superficies horizontales, donde se requiere un material que ofrezca nivelación automática y reduce tiempos de trabajo.

El ACI a través de la Mortar Workability Competition promueve pruebas de laboratorio, diseño de mezclas y evaluación de trabajabilidad, prepara a los estudiantes para implementar soluciones innovadoras y eficientes en estos contextos reales. Además, el dominio del mortero fluido permite a futuros ingenieros reducir tiempos de obra, optimizar recursos y garantizar la calidad y durabilidad de los proyectos, competencias cada vez más valoradas en la industria moderna de la construcción.

3.2 Descripción de la Mortar Workability Competition (MWC)

La Mortar Workability Competition constituye la competencia estudiantil más antigua del American Concrete Institute, enfocada en desarrollar competencias técnicas fundamentales en el diseño de mezclas de mortero, la evaluación de la trabajabilidad y el control de calidad. Esta competencia desafía a los equipos de estudiantes a crear una mezcla de mortero que logre un equilibrio óptimo entre fluidez, estabilidad, costo y sostenibilidad (ACI Student Competitions, 2024). La **Tabla 5** presenta las competencias técnicas desarrolladas al participar en este desafío, y aunque no se enlistan las habilidades blandas, estas incluyen trabajo en equipo, desarrollo autodidacta, pensamiento crítico, innovación y creatividad.

Objetivo: El desafío es diseñar un mortero que presente fluidez específica.

Metodología: Generalmente, los equipos deben diseñar una mezcla que, al ser vertida desde un contenedor estándar alcance un diámetro de esparcimiento objetivo en el menor tiempo posible o que llene un molde con obstáculos.

Materiales permitidos: Cementantes: Portland, puzolana, escoria, ceniza volante; Agregado fino: arena específica proporcionada; Agua de mezcla controlada; Aditivos químicos (hasta 3.0% del peso del cementante).

Evaluación: Se juzga la precisión de la fluidez, el tiempo, la consistencia y la capacidad de la mezcla para mantener su cohesión.

Tabla 5. Competencias técnicas desarrolladas en la MWC. *Elaboración propia.*

Competencia	Descripción	Aplicación Profesional
Diseño de Mezclas	Cálculo de proporciones óptimas de cementantes, agregados y aditivos	Diseño en campo, control de producción
Trabajabilidad	Evaluación de fluidez mediante pruebas estandarizadas (flow time, filling)	Construcción eficiente, reducción de mano de obra
Estabilidad	Análisis de segregación y sangrado del mortero	Durabilidad, calidad estructural
Sostenibilidad	Cálculo de Potencial de Calentamiento Global (GWP)	Desarrollo sustentable, reducción de carbono
Análisis de Costo	Evaluación económica de mezclas	Viabilidad de proyectos
Documentación Técnica	Redacción de reportes de ingeniería	Comunicación profesional

3.3 Reglas de la Competencia MWC

La competencia sigue procedimientos estandarizados según las Rules and Guidelines publicadas por el ACI Committee S-801 ([ACI Student](#)

Competitions, 2024), en la **Tabla 6** se presentan los criterios y valor en porcentaje de cada categoría. Algo a destacar y que se ha incorporado recientemente a esta competencia es la inclusión del potencial de calentamiento global (GWP) en los criterios de calificación refleja la demanda de la industria moderna por profesionales que integren sostenibilidad en soluciones de ingeniería. Los estudiantes aprenden que la efectividad técnica debe equilibrarse con la responsabilidad ambiental—un atributo crítico para los ingenieros del siglo XXI ([ACI 2024 Global Impact Report](#)).

Tabla 6. Sistema de Puntuación en Mortar Workability Competition
Elaboración propia.

Categoría	%	Criterios
Prueba de Fluidéz Mold filling score = $0.6 \times (\text{Filling percentage, en \%}) + 40 \times (30 - \text{Filling time, en segundos})/30$	40%	Tiempo de llenado del molde (menor tiempo es mejor)
	60%	Porcentaje de llenado del molde
Prueba de Estabilidad	25%	Análisis de sangrado y segregación
Costo	20%	Economía de la mezcla por unidad basado en materiales
Sostenibilidad (GWP)	15%	Potencial de calentamiento global de los ingredientes constituyentes
Reporte Técnico	Dese mpate	Calidad de documentación

El cálculo de las puntuaciones está basado en las siguientes formulas y consideraciones por categoría.

1. Prueba de fluidez y llenado del molde. Ejemplo, si el equipo llena el molde en 8 segundos y el molde se llena al 100%:

- $\text{Score} = 0.6 \times 100 + 40 \times (30 - 8)/30$
- $\text{Score} = 60 + 29.33 = 89.33$

2. Prueba de estabilidad (segregación/sangrado). Se mide mediante la lectura de sedimentación:

- R_s = Porcentaje de estabilidad al final de cierto tiempo.
- $\text{Score} = 4 \times (R_s - 75)$ (No puede ser negativo, solo aplica si $R_s > 75$)

3. Cálculo de Sostenibilidad (GWP, potencial de calentamiento global).

Se mide mediante la lectura de sedimentación:

- $\text{GWP score} = 100 - (\text{CO}_2/\text{m}^3 - 200)/3$
- Solo aplica si se cumplen ciertos criterios de estabilidad y llenado.

3.4 Reflexiones personales de la participación en la Competencia MWC

Esta competencia ejemplifica perfectamente los principios del ABP al requerir que los estudiantes:

1. Identifiquen un desafío (mortero fluido y estable)
2. Investiguen principios teóricos (reología, diseño de mezclas)
3. Diseñen soluciones (mezcla específica)
4. Ejecuten prototipos (fabricación de mortero)
5. Evalúen resultados (pruebas de laboratorio)
6. Comuniquen hallazgos (reporte técnico)

En esta competencia, ACI-UABC student chapter quedamos en el ranking en el lugar 13 de 21 universidades. Cabe señalar que fluidez obtuvimos el 5to. lugar².

Retos en la Competencia de Mortero Fluido

La preparación para la Competencia de Mortero Fluido presentó varios desafíos que debíamos superar antes de iniciar las prácticas. A continuación, se presentan algunos de los retos más significativos que enfrentamos:

- **Diseño y realización del molde:** Tuvimos que diseñar y construir un molde que cumpliera con las dimensiones especificadas por el instituto, lo que requirió la colaboración de nuevos compañeros de campus.
- **Obtención de materiales:** Debíamos conseguir los materiales necesarios (arena, aditivos, cemento, etc.) para realizar las mezclas y alcanzar la mejor combinación posible.
- **Preparación de materiales:** No contábamos con una máquina especializada para tamizar el agregado fino, lo que nos obligó a buscar soluciones alternativas para controlar la granulometría y cumplir con los rangos especificados.
- **Control de materiales y resultados:** Debíamos llevar un registro detallado de los materiales utilizados, las cantidades y los resultados de cada prueba para tomar decisiones informadas.

² <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/MortarOverallResults2024.pdf>

- **Elección de criterios:** Tuvimos que priorizar los criterios de evaluación, ya que no podíamos satisfacer todos los requisitos con los materiales disponibles en el laboratorio.

Desafíos adicionales

- **Transporte de materiales:** Enfrentamos problemas con el transporte de materiales en el aeropuerto, lo que requirió la presentación de documentación y pruebas para demostrar la naturaleza de los materiales.
- **Equipo y recursos:** No contábamos con equipo especializado para realizar la mezcla del mortero, lo que nos obligó a improvisar con electrodomésticos y equipo de laboratorio de pavimentos.
- **Competencia con universidades mejor preparadas:** Nos dimos cuenta de que otras universidades participantes contaban con apoyo financiero, asesoría y recursos superiores, lo que nos puso en desventaja.

A pesar de estos desafíos, nos esforzamos por hacer lo mejor posible y aprender de la experiencia.



Figura 3. Pruebas de preparación para la competencia de mezclas.



Figura 4. Registro de materiales en competencia ACI.

Aprendizajes y Reflexiones Mortero Fluido

La participación en la Competencia de Mortero Fluido nos permitió obtener valiosos aprendizajes y reflexiones en diferentes áreas.

Quiero agregar un enlace que resume en vídeo la preparación para esta competencia: https://www.instagram.com/reel/C33uHwyPz_n/?igsh=NmdkbXpyeWR4aXQ5

Académicamente

- Comprendimos la importancia y las aplicaciones del mortero fluido en la construcción, como autonivelante, relleno de huecos o grietas, nivelaciones, entre otras.
- Aprendimos sobre el comportamiento del mortero al ser sometido a cambios puntuales y cómo encontrar un balance entre los criterios establecidos.
- Descubrimos el impacto de los aditivos en la funcionalidad del mortero y cómo pueden mejorar o afectar su comportamiento.
- Nos dimos cuenta de la importancia de reducir las emisiones de CO₂ y cumplir con las especificaciones para la entrega de la mezcla.
- Aprendimos sobre materiales alternativos que pueden sustituir al cemento y reducir emisiones, costos y mejorar la velocidad de fluido del mortero.

Experiencia en la Convención y Competencia

- Nos involucramos y socializamos con profesionales del área del concreto, quienes nos compartieron sus conocimientos y experiencias.
- Aprendimos sobre productos, trabajos e investigaciones innovadoras y nos dieron consejos para seguir mejorando y estar actualizados en la industria.

- Nos dimos cuenta de la importancia de la colaboración y el intercambio de conocimientos para avanzar en la industria de la construcción.

En general, la experiencia nos permitió crecer académicamente y profesionalmente, y nos motivó a seguir aprendiendo y mejorando en el área del concreto y la construcción.

Capítulo 4: Pervious Concrete Cylinder Competition

4.1 ¿Qué es el Concreto Permeable (Pervious Concrete)?

Según el estándar ACI 522-23 "Pervious Concrete—Report" ([American Concrete Institute, 2023](#)), el concreto permeable se define como:

"Concreto hidráulico proporcionado con suficientes vacíos macroscópicos (típicamente 15-25 % de vacíos) distribuidos e interconectados que permiten que el agua fluya a través del material bajo la acción de la gravedad exclusivamente."

A diferencia del concreto convencional, el concreto permeable es una mezcla cerca de cero-asentamiento (*near-zero-slump*) que se compone típicamente de:

- Cemento Portland (o materiales cementíceos alternativos como puzolana, escoria de alto horno, ceniza volante)
- Agregado grueso de granulometría abierta (open-graded; 2 a 8 milímetros de diámetro para permitir el paso rápido de agua)
- Poco o nada de agregado fino (arena)
- Aditivos químicos (en pequeñas proporciones)
- Agua potable

La función principal de este tipo de concretos es permitir que el agua (especialmente de lluvia) pase a través de él, infiltrándose en el subsuelo, y representa una herramienta clave para el desarrollo sostenible y la gestión de aguas pluviales.

Las aplicaciones del concreto permeable en lo general se consideran infraestructura verde, pero se enlistan a continuación a título enlistativo, más no limitativo:

- Pavimentos sostenibles para estacionamientos, banquetas y calles de bajo tráfico, donde permite un drenaje eficiente y evita inundaciones. Lo que permite cumplir regulaciones ambientales y contribuyendo a la certificación LEED/BREEAM.
- Componentes en sistemas de manejo de aguas pluviales, como superficies en parques, plazas y patios, facilitando la infiltración en el subsuelo y recarga de acuíferos.
- Bases para instalaciones deportivas, senderos peatonales y ciclovías, proporcionando superficies seguras y sin charcos.
- Revestimientos en zonas de paisaje urbano o áreas verdes para facilitar la absorción de agua y proteger la vegetación.
- Soluciones en vialidad de bajo impacto y calles secundarias que buscan mejorar la calidad ambiental y la gestión de recursos hídricos.

Las propiedades clave que diferencian al concreto permeable del concreto tradicional se contrastan en la **Figura 5**.

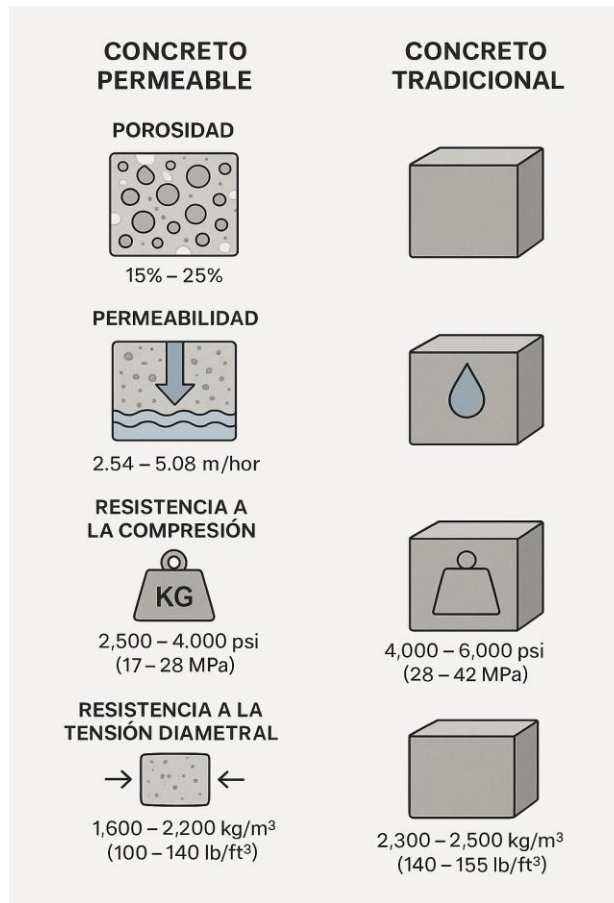


Figura 5. Diferencias entre concreto tradicional y permeable. *Elaboración propia.*

Otros beneficios ambientales del concreto permeable que es conveniente destacar son:

- **Reducción de Calor Urbano:** La investigación de la Universidad de Washington State ha documentado que la estructura porosa del concreto permeable actúa como aislante, previniendo que la superficie absorba y almacene calor de la misma manera que lo hace el concreto convencional. Esto reduce el efecto "isla de calor urbano".
- **Mejora de Calidad del Agua:** Proporciona filtración natural de las aguas pluviales, reduciendo la concentración de contaminantes

(sedimentos, metales pesados, hidrocarburos) que de otro modo escurrirían hacia cuerpos de agua superficiales.

- **Longevidad y Durabilidad:** Cuando está adecuadamente diseñado y construido el concreto permeable, tiene una vida útil de 40 años o más, comparada con 15 a 20 años para asfalto.
- **Potencial de Calentamiento Global (GWP):** Se puede utilizar menos cemento Portland (que genera emisiones de carbono), y su diseño puede incorporar materiales cementíceos alternativos de bajo impacto (ceniza volante, escoria de alto horno, puzolanas) que reducen el potencial de calentamiento global.
- **Sostenibilidad Económica:** El costo inicial del concreto permeable cuesta aproximadamente 10 a 15% más que el concreto convencional, considerando la instalación puede llegar a 20 a 25% más, pero debido a su durabilidad a largo plazo llega a ser conveniente.

Tabla 7. Competencias técnicas y blandas desarrolladas en la PCCC.

Elaboración propia.

Competencia	Descripción	Aplicación Profesional
Técnicas		
Diseño de Mezclas Avanzado	Cálculo de proporciones óptimas considerando materiales cementíceos, agregados, aditivos	Práctica en diseño de proyectos, especificación de mezclas
Propiedades de Materiales	Comprensión de relaciones entre composición, estructura porosa, permeabilidad, resistencia	Selección de materiales en base a requisitos de desempeño

Estándares Internacionales	Aplicación de ACI 522R, ASTM C496, especificaciones de laboratorio	Cumplimiento normativo en proyectos profesionales
Análisis Experimental	Diseño de pruebas, recopilación de datos, análisis estadístico	Investigación y desarrollo, control de calidad
Sostenibilidad Ambiental	Evaluación de impacto ambiental, alternativas de bajo carbono	Práctica sostenible en construcción
Blandas		
Trabajo en Equipo	Colaboración interdisciplinaria con ingenieros, gestores, comunicadores	Gestión de proyectos
Resolución de Problemas	Pensamiento crítico ante desafíos no estructurados	Enfrentamiento de problemas complejos en campo
Comunicación Técnica	Redacción de reportes profesionales, presentaciones orales	Presentación a stakeholders
Gestión de Proyecto	Planificación, presupuesto, cronograma, recursos	Dirección de proyectos
Pensamiento Crítico	Análisis de resultados, formulación de hipótesis, refinamiento de diseño	Toma de decisiones ingenieriles
Innovación	Desarrollo de mezclas novedosas, consideración de nuevos materiales	Investigación y desarrollo

4.2 Descripción de la Pervious Concrete Cylinder Competition (PCCC)

La Pervious Concrete Cylinder Competition presenta un desafío fundamentalmente diferente a la MWC, que consiste en crear un material que sea simultáneamente resistente y permeable. Este equilibrio de

propiedades contrapuestas refleja exactamente los tipos de problemas que los ingenieros civiles enfrentan en la práctica profesional moderna, donde las soluciones técnicas deben satisfacer múltiples y frecuentemente conflictivos criterios de desempeño.

La PCCC se llevo a cabo por primera vez en el año 2009 como respuesta a la creciente demanda de profesionales especializados en concreto permeable y gestión sostenible de aguas pluviales. Las competencias más recientes tuvieron lugar en Las Vegas (octubre 2018), Dallas (octubre 2022) y Philadelphia (noviembre 2024).

Objetivo: El desafío es diseñar una mezcla de concreto permeable que logre el equilibrio óptimo entre dos propiedades opuestas: alta permeabilidad (capacidad de drenaje) y suficiente resistencia a la compresión.

Metodología: Los equipos diseñan sus mezclas, fabrican cilindros de prueba en sus universidades y los llevan a la convención.

Evaluación: Los cilindros se someten a pruebas estandarizadas en el sitio: Prueba de Permeabilidad (se mide cuánta agua pasa a través del cilindro en un tiempo dado), y prueba de resistencia. La puntuación se basa en una fórmula que combina ambos resultados.

4.3 Reglas de la Competencia PCCC

Existen dos categorías sujetas a premiación, "*Cylinder Performance*" basado exclusivamente en pruebas de laboratorio (permeabilidad y resistencia), gana el mejor desempeño físico medible (objetiva). La otra categoría es "*Best in Show*", la votación esta a cargo de los profesionales de la construcción asistentes, y premian al diseño con menor costo y aplicabilidad en proyectos reales, además del desempeño técnico.

En relación a las especificaciones generales, los cilindros debe cumplir con las dimensiones 102 mm \pm 3 mm de diámetro, 152 mm \pm 5 mm de altura, provenir del mismo lote de la mezcla documenta en el reporte de diseño de mezclas y fichas técnicas. Los criterios específicos y su peso en porcentaje se presentan en la **Tabla 8**.

Pruebas de Evaluación

- Permeabilidad:
 - Dispositivo: Permeámetro estándar ACI.
 - Procedimiento: Agua sobre el cilindro, medición en 5–10 min.
 - Fórmula:

$$\text{Permeabilidad (in/hr)} = \frac{\text{Volumen infiltrado} \cdot 60}{\text{Área} \cdot \text{Tiempo (min)}}$$

- Mínimo recomendado: 0.5 in/hr (13 mm/hr)
 - Ranking: Gana quien tenga mayor tasa, pero resistencia también cuenta.
- Resistencia a la Tensión Diametral:

Norma: ASTM C496. Cilindro horizontal, carga hasta falla por tensión.
Cálculo: La resistencia a la tensión diametral³ (splitting tensile strength) se calcula usando:

$$S_t = (2 \times P) / (\pi \times d \times L)$$

Donde:

- S_t = resistencia a la tensión diametral (psi)
- P = carga máxima aplicada (libras)
- d = diámetro del cilindro (pulgadas)

³ Resultados típicos oscilan entre 250 y 600 psi (1.7 a 4.1 MPa), aunque resultados excepcionales pueden exceder 700 psi.

- L = longitud del cilindro (pulgadas)

Tabla 8. Criterios de calificación y sistemas de puntuación PCCC.⁴
Elaboración propia.

Categoría	%	Criterios y cálculos
Desempeño del Cilindro	60%	Combinación ponderada de: Permeabilidad (40%): Tasa de infiltración (in/hr); ranking por valor absoluto (mayor tasa = mayor puntuación)
		Resistencia a Tensión Diametral (20%): Splitting tensile strength (psi); ranking por valor absoluto (mayor resistencia = mayor puntuación)
Diseño de Mezcla	20%	Documentación técnica: proporciones, metodología de diseño, justificación de materiales seleccionados
Sostenibilidad / Eficiencia Económica	15%	Análisis de costo, viabilidad práctica, facilidad de colocación en campo
Profesionalismo y Presentación	5%	Calidad del reporte, presentación visual, cumplimiento de requisitos formales

4.4 Reflexiones personales de la participación en la Competencia PCCC

Esta competencia fue valiosa, porque mostró que los proyectos de ingeniería se evalúan según múltiples métricas, no solo una. Considero que se aplica el ABP se experimentó activamente tras las complejidades de ⁵diseñar un material real que satisface múltiples objetivos en conflicto, que cumple

⁴ Nota: El 60% de "Desempeño del Cilindro" se compone de 40% permeabilidad + 20% resistencia a tensión diametral.

⁵ <https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/PerviousConcreteCompetitionFall2024ScoreSheet.pdf>

estándares internacionales, y que tiene aplicación práctica inmediata en contextos urbanos.

En esta competencia, *ACI-UABC student* chapter quedamos en el ranking en el lugar 17 de 30 universidades. Cabe destacar que la resistencia a la tracción (cilindro acostado o prueba brasileña) obtuvimos el 2to. lugar internacional.

Retos en la Competencia de Concreto permeable

La preparación para la Competencia de Concreto Permeable presentó varios desafíos que debíamos superar, tales como:

- Adquisición de moldes especiales: Tuvimos que adquirir moldes específicos para la competencia, ya que no contábamos con ellos en el laboratorio.
- Fabricación de dispositivo de medición de permeabilidad: Debimos fabricar un dispositivo para medir la permeabilidad de los cilindros utilizando materiales de plomería.
- Evaluación de resultados: La evaluación de los resultados de cada mezcla requería un lapso de al menos 7 días para calcular la resistencia del cilindro y la permeabilidad.

Desafíos en la Mezcla y Pruebas

- Control de granulometría: No contábamos con una máquina especializada para tamizar el agregado fino y grueso, por lo que debíamos separar los agregados manualmente.
- Revoltura del concreto: La revoltura del concreto era un desafío debido a la baja cantidad de agua utilizada, lo que requería ayuda manual con

palas y picos para despegar el concreto de los costados de la revoladora.

- Bitácora y seguimiento: Debíamos llevar un registro detallado de cada mezcla y prueba, lo que requería un seguimiento semanal para comprender el comportamiento de la mezcla y realizar ajustes.

Desafíos Adicionales

- Tiempo y dedicación: La preparación para la competencia requería un gran compromiso de tiempo y dedicación, ya que debíamos dedicar horas a la separación de agregados y la revoltura del concreto.
- Limitaciones de equipo: No contábamos con equipo especializado para la preparación del concreto permeable, lo que nos obligó a improvisar y buscar soluciones alternativas.

Aprendizajes y Reflexiones Concreto Permeable

La participación en la Competencia de Concreto Permeable nos permitió obtener valiosos aprendizajes y reflexiones.

Quiero agregar un enlace que resume en vídeo la preparación para esta competencia: https://www.instagram.com/reel/C_miy3xLIH/

Aprendizajes Académicos

- Comprendimos la funcionalidad y aplicaciones del concreto permeable, especialmente en zonas con alta pluviosidad, donde puede ser beneficioso para reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua.

- Aprendimos que la mezcla de concreto permeable tiene una menor trabajabilidad, pero ofrece muchos beneficios si se aplica de manera correcta.

Importancia de la Documentación

- Es fundamental leer y comprender las especificaciones proporcionadas en el documento de la competencia para evitar errores y problemas.
- La atención al detalle y la comprensión de las especificaciones son clave para realizar los especímenes y pruebas de manera satisfactoria.

Experiencia en la Competencia

- La competencia nos permitió aplicar nuestros conocimientos y habilidades en un entorno práctico y desafiante.
- Aprendimos a trabajar bajo presión y a gestionar nuestro tiempo de manera efectiva para cumplir con los requisitos de la competencia.

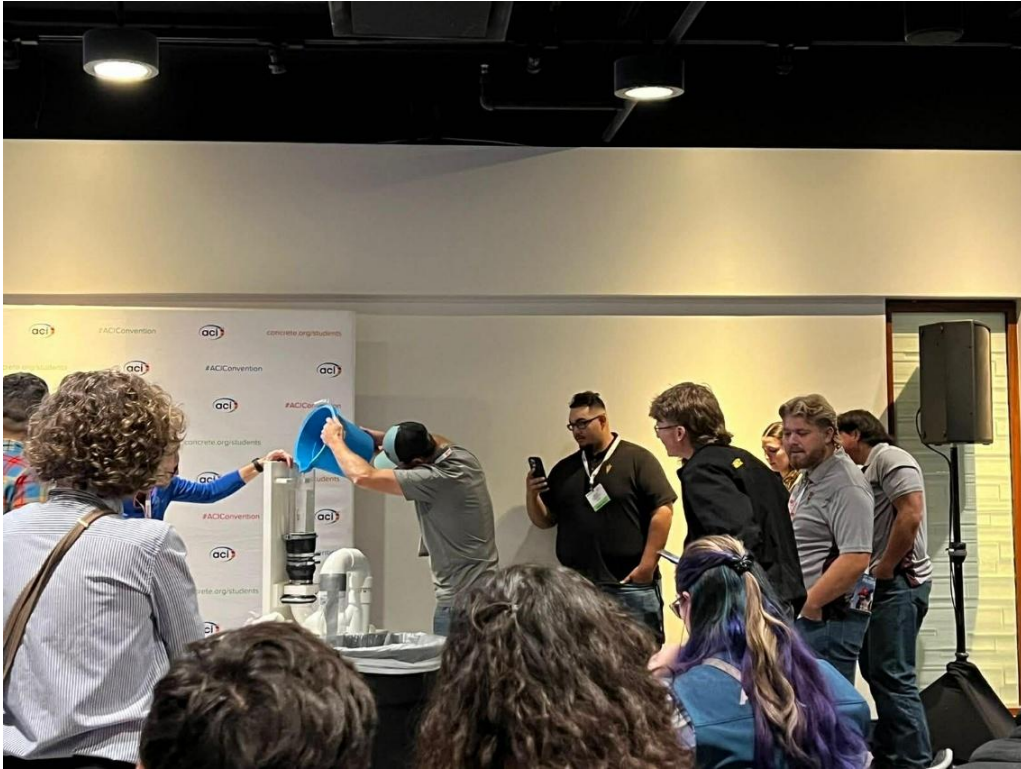


Figura 6. Prueba de permeabilidad de cilindro en competencia ACI.



Figura 7. Ceremonia de premiación en competencia ACI.

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio permitió conocer el vínculo entre ABP y las competencias ACI, las que no son solo "*actividades extracurriculares*", sino ejemplos perfectos de Aprendizaje Basado en Proyectos aplicado a la ingeniería de materiales. A continuación, enlisto las competencias desarrolladas, los beneficios adquiridos de participar en competencias del ACI y el impacto que esto representó:

Desarrollo de Habilidades y Conocimientos

- Aprendimos a trabajar en equipo, colaborar y tomar decisiones para encontrar soluciones innovadoras y efectivas.
- Desarrollamos habilidades para diseñar y aplicar mezclas de concreto que cumplan con los requisitos específicos de la competencia.
- Mejoramos nuestra capacidad para analizar problemas y encontrar soluciones creativas.

Oportunidades de Aprendizaje y Crecimiento

- La convención nos brindó la oportunidad de involucrarnos con profesionales de la industria y aprender de sus experiencias y conocimientos.
- Asistimos a conferencias y presentaciones sobre investigaciones y avances en el ámbito del concreto, lo que nos permitió ampliar nuestros conocimientos y estar al día con las últimas tendencias y tecnologías.
- - La interacción con profesionales de la industria nos permitió establecer contactos y explorar oportunidades de orientación, aprendizaje y trabajo.

Impacto en la Formación Profesional

- La experiencia nos permitió aplicar nuestros conocimientos y habilidades en un entorno práctico y desafiante, lo que nos preparó para enfrentar desafíos en el ámbito laboral.
- La competencia nos enseñó la importancia de la innovación, la creatividad y la colaboración para encontrar soluciones efectivas en el ámbito del concreto.

Anexos

Memoria fotográfica de la competencia de mortero fluido.



Figura 8. Búsqueda y recolección de materiales para realizar las mezclas



Figura 9. Preparación de materiales para elaboración de mezcla.



Figura 10. Elaboración de la mezcla de mortero.



Figura 11. Resultados de pruebas de sangrado. (sedimentación)



Figura 12. Traslado hacia evento ACI.



Figura 13. Stands de convención ACI.



Figura 14. Eventos sociales de comunidad ACI.



Figura 15. Evento de evaluación de mezclas.



Figura 16. Evaluación de mezcla del capítulo estudiantil UABC1

Memoria fotográfica de la competencia de concreto permeable.



Figura 17. Granulometría de material.



Figura 18. Elaboración de especímenes para selección de la mezcla.



Figura 19. Especímenes para aplicación de pruebas de permeabilidad y resistencia.



Figura 20. Aplicación de pruebas de resistencia en cilindros.



Figura 21. Preparación de espécimen.



Figura 22. Aplicación de pruebas a especímenes elaborados en laboratorio.



Figura 23. Evaluación de cilindro el día de la competencia ACI.

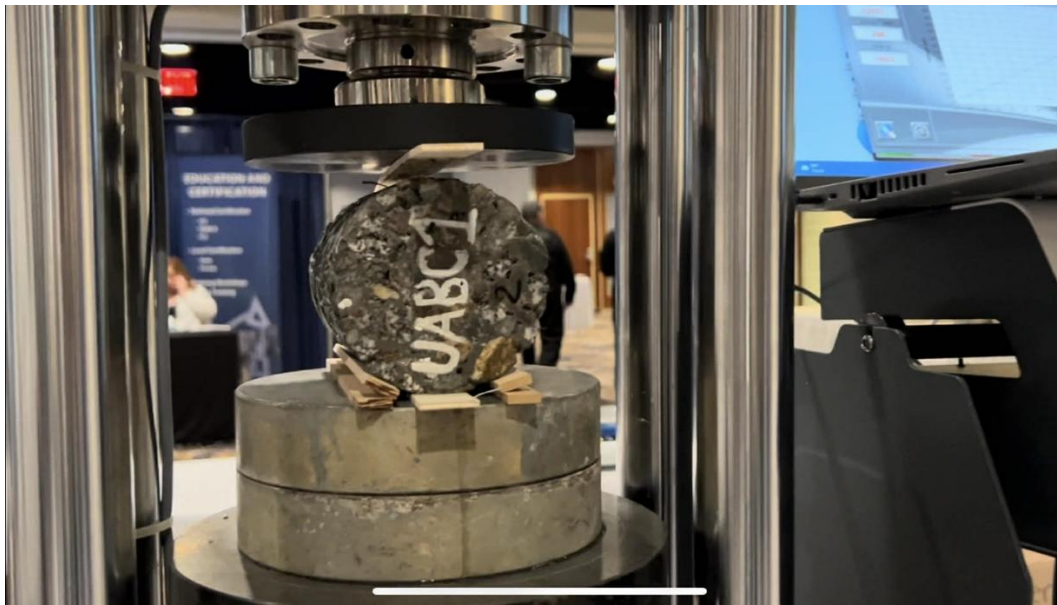


Figura 24. Aplicación de prueba de resistencia en competencia ACI.



Figura 25. Revisión de cilindros evaluados.



Figura 26. Ceremonia de premiación de la competencia PCCC.