

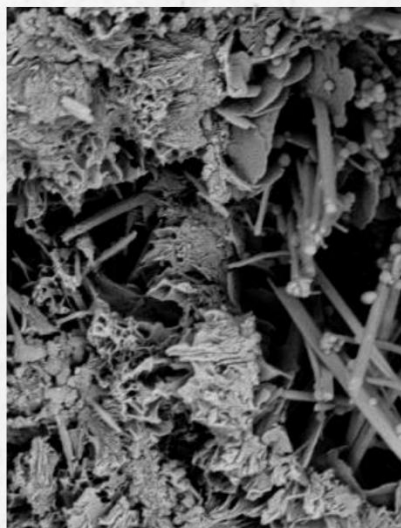
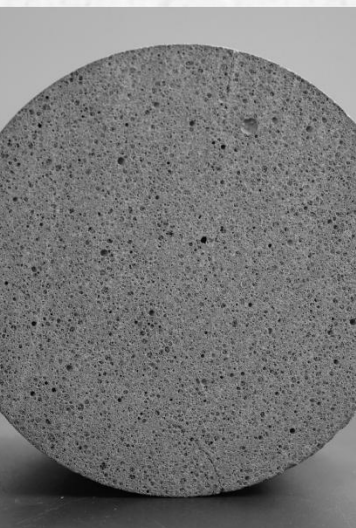


PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



1^o CONGRESO
NACIONAL^{del}
HORMIGÓN

12 NOV | 2025
SANTIAGO - CHILE



PROCEEDING

Resúmenes del Congreso



Centro UC
Innovación del Hormigón

El presente PROCEEDING es publicado en enero del año 2026 por el Centro de Innovación del Hormigón de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC), documento que contiene los resúmenes de las investigaciones que expusieron en el Primer Congreso Nacional del Hormigón.

1. Cada resumen aquí expuesto es propiedad expresa de sus autores y entidades relacionadas.
2. La creación de este PROCEEDING tiene como principal objetivo facilitar la colaboración entre academia e industria en el desarrollo de nuevas investigaciones en la industria de la construcción con hormigón.
3. Se prohíbe expresamente que el contenido de este PROCEEDING se adapte, modifique o traduzca, total o parcialmente, sin autorización previa y expresa de la UC, y sus respectivos autores y entidades relacionadas.
1. Se prohíbe la comunicación pública y su puesta a disposición por cualquier medio o procedimiento, así como la utilización de este PROCEEDING para otros fines distintos a los expresamente autorizados, sin previo consentimiento por escrito de la UC y de los autores respectivos.
2. Se prohíbe expresamente la distribución por cualquier medio del PROCEEDING, ya sea, gratuita u onerosamente.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



1° CONGRESO
NACIONAL^{del}
HORMIGÓN
12 NOV | 2025
SANTIAGO - CHILE

ORGANIZADOR



Centro UC
Innovación del Hormigón

AUSPICIADORES



PATROCINADOR



COLABORADORES



UANDES



UNIVERSIDAD
DE CHILE



Universidad
de Concepción



Universidad
de Magallanes



USACH



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
Ilumina el futuro.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



MEDIA PARTNER

Negocio & Construcción
CONSTRUIMOS OPORTUNIDADES DE NEGOCIOS

Introducción

El hormigón nos ha acompañado hace siglos en el desarrollo de nuestro entorno construido, convirtiéndose en símbolo de modernidad. Pero hoy, su desafío va más allá de la resistencia o la durabilidad. Se trata de construir con conocimiento, innovación y una mirada sostenible hacia el futuro.

Este **Primer Congreso Nacional del Hormigón** nace desde la convicción de que Chile puede y debe avanzar como referente internacional en innovación, transferencia tecnológica y desarrollo normativo.

Como **Centro de Innovación del Hormigón UC**, estamos convencidos de que solo a través del trabajo conjunto entre la academia, la industria y el sector público, podremos transformar las ideas en soluciones concretas que respondan a las necesidades reales que tenemos como sociedad.

Queremos agradecer a todos quienes colaboraron en el desarrollo de este congreso, permitiendo que se llevara a cabo un valioso encuentro para compartir experiencias, inspirar nuevos proyectos y fortalecer la colaboración entre la academia, entidades públicas y el sector productivo.

Esperamos que este PROCEEDING permita acercarlos a las presentaciones que fueron de vuestro interés en el Primer Congreso Nacional del Hormigón, y ser una herramienta para impulsar nuevas investigaciones, innovación y nuevas tecnologías en la industria de la construcción con un hormigón más eficiente, sostenible y productivo.

Iván Navarrete

Director CIH UC

Matías Hube

Director alterno CIH UC

Índice

Módulo 1: Hormigones con Fibras

OPORTUNIDADES EN CONTROL SHOTCRETE Y HORMIGÓN CON FIBRAS CASO BARCELONA Sergio García, Claudio Parada.	09
DESARROLLO DE COMPUESTOS CEMENTICIOS DÚCTILES PARA UNA INFRAESTRUCTURA CHILENA MÁS RESILIENTE Y DURABLE Álvaro Paul, José Altschwager.	10
EFFECTO DE FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL EN LA MODULACIÓN HIGROTÉRMICA DEL HORMIGÓN Michela Schiappacasse, Federico Antico.	11
FIBRAS DE CELULOSA NANOESTRUCTURADAS RECICLADAS: UN ADITIVO PARA LA MEJORA DE LA DURABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN Luis Merino, Iván Muñoz, Gonzalo Lema, Sebastián Calderón.	12

Módulo 2: Modelación y Diseño Estructural con Hormigón

COMPARACIÓN DE MODELOS CONSTITUTIVOS DE HORMIGÓN EN LA SIMULACIÓN DEL ENSAYO PUSH-OUT DE ESTRUCTURAS MIXTAS DE ACERO-HORMIGÓN Bastían Díaz, Nicolás Lillo, Sergio Yáñez, Carlos Guzmán.	14
ESTUDIO DE TRANSICIONES DE FALLAS FLEXURAL, CORTE Y DESLIZAMIENTO DE MUROS HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE METODOLOGÍAS AVANZADAS DE ENSAYO E INSTRUMENTACIÓN Diego Pizarro Pohl.	15
CORTE ESPERADO EN EDIFICIOS DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO CON ACOPLAMIENTO FLEXURAL Juan Grandón, Matías Hube, Leonardo Massone.	16
DESARROLLO DE UN NUEVO SISTEMA ESTRUCTURAL HÍBRIDO MADERA-HORMIGÓN PARA ZONAS SÍSMICAS Fernando Palacios Galarza, Pablo Guindos, Jorge Lagos, Gerardo Araya-Letelier.	17
HACIA EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO MÁS SEGUROS, SOSTENIBLES Y RESILIENTES: EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO SÍSMICO BASADA EN MÉTRICAS PROBABILÍSTICAS DE DESEMPEÑO Marco F. Gallegos, Gerardo Araya-Letelier, Diego López-García.	18
AMPLIFICACIÓN DINÁMICA DEL CORTE EN MUROS DE HORMIGÓN ARMADO INCLUYENDO EXPLÍCITAMENTE LA INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA Tommy Fernández, Claudio Sepúlveda.	19
ENERGÍA DE FRACTURA A COMPRESIÓN Y SU ROL EN LA CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO Y LA PREDICCIÓN NUMÉRICA Karla Patiño-Mora, Rosita Jünemann, Hernán Santa María.	20
RELACIÓN COMPRESIÓN-RIGIDEZ EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS: EVIDENCIA CHILENA Savdka Troncso-Vásquez, Matías Hube, Iván Navarrete, Julián Carrillo, Gerardo Araya-Letelier.	21

AVANCES EN EL CONTROL PREDICTIVO DE LA COLOCACIÓN DE FIBRAS EN UHPC
Álvaro Paul, Juan Pablo Toro, Patricio Moreno.

22

Módulo 3: Desarrollo de Hormigones Sustentables

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE ADITIVOS SOSTENIBLES A BASE DE CELULOSA Y ALGAS DE COCHAYUYO EN MEZCLAS DE HORMIGÓN

Matías Esparza, Ramón Mata, Felipe Vicencio.

24

CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, ZARPA PREFABRICADAS CON HORMIGÓN DRENANTE

Humberto Delucchi Canales, Eduardo San Martín, Cristián Geadicke.

25

HORMIGÓN AUTOCALEFACCIONABLE CON NEGRO DE HUMO: ESTUDIO PRELIMINAR EN ECONOMÍA CIRCULAR PARA ZONA FRÍA

Yasna Segura Sierpe, Constanza Segovia Gallardo, Berta Vivar Vivar, Iván Andrade Agüero, Claudio Villarreal Cárdenas, Pedro Vidal Oyarzo.

27

VALORIZACIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE DEPÓSITO A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS LIVIANOS MULTIFUNCIONALES

Antonia Gajardo Chichizola, Andrea Rubio Barbano, Iván Navarrete Leschot, Álvaro Paul Quiroz.

28

INVESTIGACIÓN DE CAMPO: EFECTIVIDAD DEL USO DE IMPREGNANTES PARA EL HORMIGÓN PARA REDUCIR EL DETERIORO POR EFECTO DE LOS CICLOS DE HIELO/DESHIELO

Luis Ebensperger M.

29

VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA DREGS Y LIGNINA COMO ADITIVOS PARA HORMIGONES SUSTENTABLES

Luis Merino, Gonzalo Lema, Iván Muñoz, Sebastián Calderón.

30

EVALUACIÓN DEL USO DE BACILLUS SUBTILIS Y BACILLUS LICHENIFORMIS EN EL HORMIGÓN

Leonardo Brescia Norambuena, Ángela Plaza-Garrido, Camila Vásquez, Jonathan Gallardo, José Luis Pizarro, Álvaro Paul, Iván Navarrete.

31

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ESCORIA DE COBRE COMO MATERIAL CEMENTICIO SUPLEMENTARIO EN PASTAS Y CONCRETOS

Claudia Burbano-García, Yimmy Fernando Silva, Gerardo Araya-Letelier, Marcelo González.

32

PUENTE CHACAO: DESAFÍO TÉCNICO LOGÍSTICO EN CONDICIONES EXTREMAS

Max Casas-Cordero.

33

T2CM: DESARROLLO DE HORMIGONES SUSTENTABLES A PARTIR DE RELAVES MINEROS - DESARROLLO & ESCALAMIENTO

Álvaro Videla, Felipe Vargas, Iván Navarrete, Claudia Eugenin, Estefanía Loyola, Victoria Romano, Luis Morales.

34

SELF-HEALING EFFICIENCY IN CEMENTITIOUS MATERIALS BY INCORPORATING VOLCANIC-BASED AGGREGATE CAPSULES

Erik Alpizar-Reyes, Carlos Guamán-Marquines, Manuel Chávez-Delgado, José L. Concha, José Norambuena-Contreras.

35

PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE CEMENTOS CON SUSTITUCIÓN DE OPC POR RELAVE DE ESCORIA DE COBRE

Juan Rodríguez, Paula Rojas, Danny Guzmán, Mario Santander, Carlos Hermosilla, Federico C. Antico.

36

HORMIGÓN GEOPOLIMÉRICO A PARTIR DE ESCORIAS DE COBRE, LITIO Y RESIDUOS DE HORMIGÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Ángela Arriagada Cuadra, Yimmy Silva, Gerardo Araya-Letelier.

37

Módulo 4: Arquitectura e Impresión 3D con Hormigón

RELAVES MINEROS COMO REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO PARA HORMIGÓN IMPRESO: EFECTOS REOLÓGICOS Y EN ESTADO ENDURECIDO

Claudia Eugenin, Iván Navarrete.

39

ESTRATEGIA DE ENCLAVAMIENTO TOPOLÓGICO MEDIANTE INTERFACES SINUSOIDALES EN IMPRESIÓN 3D DE HORMIGÓN

Nicolás Urzúa, Federico Antico, Tomás Trewhele.

40

CASA SEMILLA: INNOVACIÓN Y DESAFÍOS TECNOLÓGICOS DEL HORMIGÓN IMPRESO EN 3D PARA VIVIENDAS SISMORRESISTENTES EN CHILE

Claudia Muñoz Sanguinetti, Rodrigo García Alvarado, Alexander Opazo Vega, Paula Ulloa Aguayo, Paulina Wegertseder Martínez, Aracely Rocha Rubilar.

41

LABORATORIO PIEDRA BLANDA

Victoria Jolly Mujica.

42

HORMIGÓN Y MODERNIDAD: LA PLANTA COMO TERRITORIO DE NEGOCIACIÓN ENTRE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

Cristian Muñoz Díaz, Victoria Opazo Castro y Gabriel Cañete Guevara.

43

FACHADA SOLAR TÉRMICA MASIVA DE HORMIGÓN PREFABRICADO: RESULTADOS PRELIMINARES

Claudio Vásquez Zaldívar, Alejandro Prieto Hoces, Renato D'Alencon Castrillón, Camila Da Rocha Henzel.

44

Charlas Plenarias

ESTRATEGIA Y AVANCES HACIA LA CARBONO NEUTRALIDAD EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Ricardo Pareja (FICEM).

46

CASO PUENTE CHACAO: DURABILIDAD EN EL HORMIGÓN

Carlos Thomas Cabrera, Marcelo Márquez Marambio (Dirección de Vialidad – MOP).

47

Módulo 1

Hormigones con Fibras

OPORTUNIDADES EN CONTROL SHOTCRETE Y HORMIGÓN CON FIBRAS CASO BARCELONA

Sergio García¹, Claudio Parada².

1 Codelco VP PMCHS – 2 LATAM Barchip | e-mail: sgarc008@codelco.cl

RESUMEN

A partir de la experiencia de otros modelos de compañías mineras donde el mandante es el dueño de los aportes estratégicos y crítico; el 2019 el PMCHS establece la elaboración de un contrato centralizado tomando como base las mejores experiencias de suministros similares vistos en Suiza, Suecia, Noruega y España, desarrollando un modelo de alto desempeño en administración y productos muy exigibles, con clientes y condiciones operativas variadas en una mina en construcción y expansión, hoy también con productos para operación. Generando un piloto de negocio que reduce los costos del suministro en un 34%. Durante el desarrollo, se han presentado casos de éxito y otras oportunidades que requieren una según oportunidad por las lecciones aprendidas dejadas.

Caso Barcelona. El Shotcrete con fibra, como parte del método de fortificación del Proyecto y Mina, equivale al 77% de la producción, cuyo método de control panel cuadrado UNE son 3 moldes de 60x60x10cm con un peso aprox. de 86kg llenados con Shotcrete, equivale a una tremenda carga operativa y de seguridad. El cambio de método desde el 2021 a extracción de testigos y ensayo por método de Barcelona (UNE, redujo los tiempos de muestreo, extracción manipulación y resultado confiables, además de un ahorro cercano al 42% respecto al mismo ensayo en panel para la misma frecuencia. Un Caso de éxito que posteriormente implemento Mina Kiruna en Suecia a partir de nuestra experiencia. Hoy se está implementando en pavimentos con fibra.

DESARROLLO DE COMPUESTOS CEMENTICIOS DÚCTILES PARA UNA INFRAESTRUCTURA CHILENA MÁS RESILIENTE Y DURABLE

Álvaro Paul, José Altschwager.

Universidad de los Andes | e-mail: apaul@miuandes.cl

RESUMEN

El desarrollo de infraestructura resiliente, durable y sustentable es un desafío de gran importancia para Chile, un país expuesto simultáneamente a una alta sismicidad, ambientes agresivos y exigencias crecientes de carbono-neutralidad. En este contexto, los compuestos cementicios dúctiles (o ECC, por sus siglas en inglés) representan una alternativa innovadora al hormigón convencional, gracias a su alta ductilidad, capacidad de formación de múltiples microgrietas y notable control de permeabilidad, lo que prolonga la vida útil de las estructuras y mejora su capacidad de recuperación frente a eventos extremos.

Este trabajo explora el potencial uso en ECC de dos materiales cementicios suplementarios abundantes en Chile: la ceniza volante de depósito (RFA) y las puzolanas naturales de origen volcánico (NP). Ambos son capaces de reemplazar parcialmente el cemento, reduciendo la huella de carbono, el costo y otorgar un mejor desempeño a los ECC.

La presentación muestra el uso de reemplazos de 30% a 70% de cemento por RFA o NP, y volúmenes de adición de fibra entre 1% y 2%. Los ensayos de tracción, compresión, flexión, corte y caracterización micromecánica evidenciaron que, hasta un 50% de reemplazo, las mezclas mantienen comportamiento de endurecimiento por deformación, con resistencias a tracción superiores a 6 MPa y deformaciones de hasta 10%. La RFA produjo ECC con menores espesores de grieta y condiciones favorables para el auto sanado, mientras que el uso de NP permitió reducir hasta un 23% las emisiones de CO₂ y mejorar el desempeño estructural bajo cargas sísmicas en análisis numéricos.

Los resultados confirman que la incorporación de RFA y NP en ECCs ofrece una excelente oportunidad para el desarrollo de infraestructura chilena más resiliente y sustentable. Esta estrategia no solo permite valorizar residuos y recursos locales, sino que también fortalece la capacidad del país para enfrentar las demandantes condiciones sísmicas y ambientales.

EFFECTO DE FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL EN LA MODULACIÓN HIGROTÉRMICA DEL HORMIGÓN

Michela Schiappacasse, Federico Antico.

Universidad Adolfo Ibáñez Viña del Mar | e-mail: mischiappacasse@alumnos.uai.cl

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos animales como aditivos sostenibles en materiales de construcción ha despertado un creciente interés en la búsqueda de soluciones con menor impacto ambiental. Este trabajo evalúa el efecto del pelo de cerdo incorporado como fibra natural en mezclas de hormigón, con énfasis en su influencia sobre parámetros de durabilidad, transporte de humedad y estructura interna bajo distintas condiciones de curado.

Se prepararon dos mezclas de hormigón: una reforzada con 8 kg/m^3 de pelo de cerdo y una mezcla control sin refuerzo. Los especímenes consistieron en bloques cúbicos de 15 cm de lado, sometidos a dos regímenes de curado: saturado (100% HR) y de humedad parcial (50–60% HR). A edades de 28, 77, 110, 156 y 365 días, los cubos fueron seccionados en prismas correspondientes a capas horizontales (superficial, intermedia y central). Sobre estos prismas se realizaron ensayos no destructivos de resistividad superficial, velocidad de pulso ultrasónico (UPV) y densidad endurecida, complementados con ensayos destructivos de resistencia a flexión. Esta configuración experimental permitió estudiar gradientes en las propiedades medidas a lo largo de la altura de los especímenes, asociados a diferencias de exposición y difusión de humedad durante el curado.

Los resultados indican que, bajo curado en humedad parcial, las fibras actúan como reservorios internos de agua, atenuando gradientes y favoreciendo una hidratación más prolongada, reflejada en mayores resistividades en capas internas. En general, se observó una reducción de la resistividad de las mezclas reforzadas atribuida a una mayor interconectividad de poros inducida por las fibras, sin impacto negativo en la calidad del hormigón. En todos los casos, los valores de UPV superaron los 4500 m/s, lo que corresponde a excelente calidad estructural, y no se registraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a flexión.

En conclusión, el pelo de cerdo presenta un comportamiento dual según el régimen de curado y confirma su potencial como aditivo sostenible que mejora la durabilidad del hormigón sin afectar su desempeño mecánico, contribuyendo además a la valorización de residuos orgánicos de la industria alimentaria.

FIBRAS DE CELULOSA NANOESTRUCTURADAS RECICLADAS: UN ADITIVO PARA LA MEJORA DE LA DURABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN

Luis Merino, Iván Muñoz, Gonzalo Lema, Sebastián Calderón.

Universidad de Concepción | e-mail: luis.merino@udec.cl

RESUMEN

El hormigón enfrenta un desafío crítico de durabilidad: la corrosión de sus armaduras, acelerada por la infiltración de agentes agresivos a través de microgrietas. Este problema se agudiza en zonas costeras. Paralelamente, la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) exige a la industria cementera gestionar los residuos de sus envases, como los sacos de papel, que comúnmente terminan en vertederos.

Este trabajo muestra una solución de economía circular que aborda ambos desafíos. Se recuperaron y valorizaron las fibras lignocelulósicas de alta calidad de sacos de cemento posconsumo, transformándolas en un aditivo en solución acuosa. A partir de estos residuos, se han producido nanofibras de celulosa (NFC) que fueron caracterizadas e incorporadas en hormigón (G30) en dosis entre 0,05% y 0,1% respecto a la masa del cemento.

El objetivo fue evaluar cómo estas fibras mejoran la durabilidad de la matriz cementicia. Se estudió su doble función: como agentes de curado interno, reteniendo agua para optimizar la hidratación del cemento, y como refuerzo, limitando la propagación de microgrietas.

Las mezclas de hormigón con NFC mostraron un aumento de hasta un 16% en la resistencia a la compresión a los 28 días, en comparación con la mezcla de control sin aditivo. Además, en ensayos de durabilidad de corrosión acelerada frente a cloruros se demostró que la adición de NFC retrasa significativamente la iniciación y propagación de la corrosión en el acero de refuerzo.

Módulo 2

Modelación y Diseño Estructural con Hormigón

COMPARACIÓN DE MODELOS CONSTITUTIVOS DE HORMIGÓN EN LA SIMULACIÓN DEL ENSAYO PUSH-OUT DE ESTRUCTURAS MIXTAS DE ACERO-HORMIGÓN

Bastián Díaz, Nicolás Lillo, Sergio Yáñez, Carlos Guzmán.

Universidad de Santiago de Chile | e-mail: cf.guzman@usach.cl

RESUMEN

El uso de losas colaborantes en estructuras mixtas de acero y hormigón constituye una solución eficiente en ingeniería civil, ya que las propiedades de ambos materiales se complementan entre sí. El desempeño estructural de estas losas depende fuertemente de la interacción entre el acero y el hormigón, la cual se evalúa habitualmente mediante ensayos de tipo push-out, que permiten determinar la resistencia al corte de la unión.

La simulación numérica de dichos ensayos mediante el método de elementos finitos representa un desafío relevante, tanto por la modelación constitutiva de los materiales como por la representación del contacto entre componentes, dado su carácter altamente no lineal. En este trabajo se analizan distintas superficies de fluencia disponibles en el software ANSYS Mechanical para modelar el hormigón (Mohr-Coulomb y Drucker-Prager), considerando además su evolución mediante mecanismos de endurecimiento y ablandamiento. Se resalta la importancia de una adecuada caracterización numérico-experimental del material para reproducir de forma realista su comportamiento plástico.

Las simulaciones se comparan con resultados experimentales y con parámetros establecidos por la American Institute of Steel Construction (AISC). La buena correlación observada valida la metodología propuesta, demostrando que una adecuada caracterización del comportamiento plástico del hormigón puede constituir una aproximación confiable a los ensayos push-out. Finalmente, se plantean como trabajos futuros la evaluación de diferentes configuraciones de conectores para optimizar la respuesta mecánica de la estructura y la incorporación de modelos de daño en el hormigón orientados a predecir su comportamiento histerético.

ESTUDIO DE TRANSICIONES DE FALLAS FLEXURAL, CORTE Y DESLIZAMIENTO DE MUROS HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE METODOLOGÍAS AVANZADAS DE ENSAYO E INSTRUMENTACIÓN

Diego Pizarro Pohl.

VMB Ingeniería Estructural | e-mail: dpizarro@vmb.cl

RESUMEN

La deformación y posterior falla de muros de hormigón armado puede estar controlada por flexión, corte, deslizamiento, y vuelco. El comportamiento del muro previo a la falla puede estar dominado por un tipo de deformación en particular, pero en algunas configuraciones puede haber una contribución significativa de distintos mecanismos, o incluso presentarse una transición de un modo de comportamiento a otro.

Esta presentación expone los resultados de dos campañas experimentales realizadas en la ETH Zurich con el objetivo de estudiar las transiciones entre modos de comportamiento en muros de hormigón armado. La primera campaña se enfocó en estudiar los modos de comportamiento por flexión y de vuelco en muros esbeltos con empalmes, y la segunda en la transición entre los modos de comportamiento de corte y deslizamiento en muros chatos.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Estructuras de la ETH Zurich, utilizando la máquina MAST (Multi-axial Subassemblage Testing), un equipo de vanguardia para estudios experimentales de estructuras. Este sistema permite un control de seis grados de libertad (tres traslaciones y 3 rotaciones) mediante un modo de control mixto de fuerzas y desplazamientos, y permite realizar tanto ensayos cíclicos como híbridos.

Los muros fueron instrumentados con marcadores infrarrojos para medir desplazamientos, correlación digital de imágenes para identificar las grietas y medir los campos de desplazamientos, y con fibras ópticas en las barras de refuerzo para medir deformaciones en su largo.

En esta presentación se discutirán los resultados obtenidos y sus posibles implicancias normativas, así como las ventajas de metodologías avanzadas de ensayo, como la simulación híbrida, que pueden complementar los resultados de metodologías tradicionales.

CORTE ESPERADO EN EDIFICIOS DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO CON ACOPLAMIENTO FLEXURAL

Juan Grandón¹, Matías Hube¹, Leonardo Massone².

1 Pontificia Universidad Católica de Chile – 2 Universidad de Chile | e-mail: jcgrandon@uc.cl

RESUMEN

Los edificios de muros estructurales de hormigón armado han demostrado un desempeño eficiente y seguro frente a terremotos, debido a que proporcionan resistencia, rigidez y capacidad de deformación. A partir del año 2019, el código ACI 318 modificó los criterios de diseño sísmico de corte en muros, antes el corte de diseño era el corte último proveniente de combinaciones de carga, ahora se emplea el corte esperado. El corte esperado es el corte último proveniente de las combinaciones de carga incrementado por la sobrerresistencia a flexión en la sección crítica y por la amplificación dinámica por modos superiores. De manera similar, la nueva versión de la norma chilena NCh430 adoptará el uso del corte esperado para el diseño a corte.

Investigaciones han mostrado que la demanda de corte depende de factores como la intensidad sísmica, el periodo fundamental del edificio, la sobrerresistencia a flexión y la geometría de la sección del muro. Este estudio tiene como propósito evaluar el corte esperado en un edificio de muros estructurales de hormigón armado. El caso de estudio corresponde a un edificio de 25 pisos, representativo de un edificio chileno compuesto por muros y losas. Los muros fueron diseñados de acuerdo a la NCh430 y DS60. El edificio fue modelado en Opensees de forma tridimensional considerando el acoplamiento flexural de la losa. Los muros fueron modelados con MVLEM3D incluyendo el comportamiento no lineal de los materiales y las losas con el elemento ShellMITC4 elástico considerando rigidez reducida.

La demanda de corte se evaluó a partir de registros sísmos representativos de la amenaza sísmica para un periodo de retorno de 475 años, utilizando la componente longitudinal y transversal de cada registro. Los resultados permiten evaluar el corte esperado en un edificio de muros de hormigón armado sometido al periodo de retorno asociado al diseño.

DESARROLLO DE UN NUEVO SISTEMA ESTRUCTURAL HÍBRIDO MADERA-HORMIGÓN PARA ZONAS SÍSMICAS

Fernando Palacios^{1,2}, Pablo Guindos^{2,3}, Jorge Lagos², Gerardo Araya-Letelier^{4,5}.

Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: gerardo.araya@uc.cl

RESUMEN

La construcción con madera es cada vez más reconocida como un método sostenible y económico. Sin embargo, su adopción en regiones de alta sismicidad enfrenta un desafío crucial, especialmente para edificaciones de tipología marco-plataforma de varios pisos, cuya deriva resultante al aumentar la altura supera los límites impuestos en los códigos normativos (sistema flexible). Para superar este problema, este estudio propuso el desarrollo de un nuevo muro híbrido. Este sistema está compuesto por marcos de hormigón armado (HA) arriostrados con paneles OSB, y postula una doble aplicabilidad: (i) ser integrado como un sistema de rigidez para nuevas estructuras de madera; y también (ii) como un refuerzo para edificios de HA existentes que necesiten mejorar su rigidez lateral y resistencia.

Para validar el concepto, se construyeron dos grupos de muros híbridos a escala real: a) marco con panel OSB y conectores mecánicos, y b) marco con panel OSB encolado y conectores mecánicos. Se construyeron dos especímenes por grupo, junto con un marco adicional de referencia. Para evaluar su comportamiento sísmico, se realizaron ensayos cíclicos reversibles, monitoreando los marcos hasta su carga límite o de falla. Adicionalmente, se empleó la técnica de Correlación de Imágenes Digitales para analizar la evolución del daño en los muros.

Los resultados experimentales mostraron un significativo incremento en la rigidez y resistencia lateral en ambos sistemas híbridos. El sistema encolado demostró la mayor ganancia, aunque presentó un fallo abrupto por la rotura de la adhesión y el panel de OSB. En contraste, el sistema con conectores mecánicos mostró un fallo más progresivo por corte de los conectores, sin rotura del panel, evidenciando un comportamiento más dúctil.

Estos hallazgos confirman la validez de la técnica. El método no solo es eficaz, sino también práctico, ya que no requiere mano de obra especializada y utiliza materiales disponibles comercialmente.

1. Department of Structural and Geotechnical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
2. CENAMAD, National Center of Excellence for Timber Industry, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
3. Department of Civil Architectural and Aeronautical Structures, and Technological Innovation Centre in Building and Civil Engineering (CITEEC), Universidade da Coruña, Spain.
4. Concrete Innovation Hub (CIH UC), Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
5. School of Civil Construction, Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

HACIA EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO MÁS SEGUROS, SOSTENIBLES Y RESILIENTES: EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO SÍSMICO BASADA EN MÉTRICAS PROBABILÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Marco F. Gallegos^{1,2}, Gerardo Araya-Letelier², Diego López-García².

¹ Universidad del Bío-Bío - ² Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: mfgallegos@ubiobio.cl

RESUMEN

Este estudio evalúa de manera cuantitativa el impacto de diferentes estrategias de diseño en el desempeño sísmico de edificios de oficinas en hormigón armado de tipología dual muro-marco, considerando tanto las pérdidas económicas directas e indirectas debido a daños y tiempos de interrupción de la funcionalidad (downtime) a lo largo de su ciclo de vida.

Se analizaron edificios altos, emplazados en Viña del Mar y Santiago de Chile, fundados sobre suelos blandos y rígidos, y sometido a terremotos de subducción. Se exploraron estrategias de diseño orientadas a mejorar el desempeño respecto de un edificio convencional: (i) incorporación de amortiguadores de fluido viscoso (FVDs); (ii) sustitución de elementos no estructurales convencionales por componentes mejorados (ENCs); y (iii) una combinación de ambas estrategias.

La metodología se basó en el marco conceptual de la ingeniería sísmica basada en desempeño (PBEE), con la implementación de FEMA P-58 y recientes extensiones, para estimar las pérdidas anuales esperadas (EALs) en términos económicos y los tiempos de interrupción anuales esperados (EADs) asociados a estados de recuperación objetivo, tales como la reocupación (RO) y la recuperación funcional (FR).

Los resultados muestran que la incorporación de FVDs en edificios duales de hormigón armado incrementa de manera significativa la resiliencia, reduciendo pérdidas y downtime. Por ejemplo, un edificio alto mejorado con FVDs, emplazado en Santiago y fundado en suelo rígido, presentó un EAL de 0,093% y un EAD de 8,6 días para alcanzar FR, en comparación con el edificio base sin mejoras, que registró un EAL de 0,125% y un EAD de 9,5 días. En contraste, el impacto de los ENCs fue menor, alcanzando un EAL de 0,106% y un EAD de 9,1 días.

Este marco de análisis, que combina modelación detallada, métodos probabilísticos y consideración explícita de estados intermedios de recuperación, representa un avance significativo en el diseño sísmico de edificios de hormigón armado en Chile basado en sostenibilidad y resiliencia.

AMPLIFICACIÓN DINÁMICA DEL CORTE EN MUROS DE HORMIGÓN ARMADO INCLUYENDO EXPLÍCITAMENTE LA INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA

Tommy Fernández, Claudio Sepúlveda.

Universidad Técnica Federico Santa María | e-mail: tommy.fernandez@usm.cl

RESUMEN

La próxima actualización de la normativa chilena NCh430, basada en ACI318, incluirá expresiones para la determinación del corte esperado en muros de hormigón armado, lo cual introduce un factor de amplificación dinámica del corte (ω_v). Este factor incrementa las cargas de diseño, considerando la mayor influencia de los modos superiores tras la plastificación basal en un escenario sísmico severo. Las expresiones de ACI318-19 y ACI318-25 se basan en estudios que omiten la Interacción Suelo–Estructura (SSI), lo cual altera significativamente el contenido de frecuencias, impactando directamente la amplificación dinámica del corte. Este estudio caracteriza ω_v en muros de hormigón armado, considerando explícitamente la SSI mediante modelación no lineal del sistema completo a través del framework OpenSees + STKO. Se analizó un muro de 25 pisos sobre suelos tipos B, C y D, y base fija (omitiendo la modelación del suelo), bajo catorce registros sísmicos escalados a nivel de MCE.

Los resultados demuestran una sobreestimación significativa de ω_v (de hasta 21%) cuando se omiten los efectos de la SSI explícitamente, variando el impacto según las características del suelo y el contenido de frecuencias del input sísmico. Esta sobreestimación implica diseños más exigentes en términos de acero y hormigón, aumentando el costo de materialización y el impacto ambiental asociado. Lo anterior subraya la necesidad de evaluar cuidadosamente el factor de amplificación del corte reportado en la literatura para evitar sobreestimaciones innecesarias y así promover diseños de muros más eficientes, impactando en el sector productivo y en el desarrollo sostenible de la infraestructura en países sísmicos.

ENERGÍA DE FRACTURA A COMPRESIÓN Y SU ROL EN LA CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN LIVIANO Y LA PREDICCIÓN NUMÉRICA

Karla Patiño-Mora^{1,3}, Rosita Jünemann^{1,2,3}, Hernán Santa María^{1,3}.

Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: kdpatino@uc.cl

RESUMEN

La energía de fractura a compresión se plantea como un parámetro relevante para la caracterización no lineal del hormigón en procesos de regularización numérica.

El objetivo de la regularización es garantizar que las simulaciones del comportamiento no lineal sean independientes del tamaño de discretización de los modelos numéricos; aspecto fundamental cuando el material presenta ablandamiento post-peak, pérdida de resistencia después de alcanzar su máxima capacidad y las deformaciones tienden a concentrarse en una sola sección del elemento (localización de la deformación). En estas condiciones, la energía disipada en el post-peak (energía de fractura) permanece constante, asegurando que parámetros como la capacidad de deformación final reflejen adecuadamente las propiedades del material. Este fenómeno ha sido estudiado previamente en hormigones de peso normal; sin embargo, su aplicación y análisis en hormigones livianos no ha sido explorado.

El objetivo principal de este trabajo es proponer una ecuación generalizada que permita predecir la energía de fractura a compresión en hormigones de peso normal y liviano, a partir de datos experimentales de la literatura. Donde se evaluó su robustez mediante análisis numéricos de cilindros con distintos tamaños de discretización de los elementos. Los resultados mostraron una correcta predicción del comportamiento no-lineal de las muestras de hormigón de peso normal y liviano en las simulaciones numéricas sometidas a compresión. Este estudio contribuye a una mejor comprensión del comportamiento del hormigón liviano en condiciones de daño localizado a compresión, como ocurre en elementos estructurales después de un terremoto.

1. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, Pontificia Universidad Católica de Chile.
2. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN).
3. Centro de Innovación del Hormigón UC (CIH UC)

RELACIÓN COMPRESIÓN-RIGIDEZ EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS: EVIDENCIA CHILENA

Savdka Troncoso-Vásquez¹, Matías Hube^{1,2}, Iván Navarrete^{2,3}, Julián Carrillo⁴,
Gerardo Araya-Letelier^{2,5}.

Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: savdka.troncoso@uc.cl

RESUMEN

La resistencia característica a la compresión (f'_c) y el módulo de elasticidad (E_c) son dos propiedades fundamentales utilizadas en diseño de estructuras de hormigón. Si bien f'_c se obtiene experimentalmente, el valor de E_c casi siempre se obtiene de expresiones normativas, como la relación $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ del ACI 318. Esta expresión del ACI, ampliamente utilizada en Chile, fue calibrada con hormigones y áridos típicos de Estados Unidos (calizos, graníticos, y silíceos) y no considera hormigones con fibras. Estudios recientes en Colombia muestran desviaciones entre los valores experimentales de E_c y los estimados con la fórmula del ACI, principalmente debido al origen distinto de los áridos. En Chile predominan áridos aluviales y fluviales silíceos, además de agregados ígneos triturados, por lo que la expresión del ACI debe calibrarse regionalmente, considerando además la posible incorporación de fibras.

Este estudio propone una actualización experimental y analítica del parámetro k de la fórmula $E_c = k \sqrt{f'_c}$ para hormigones representativos del medio chileno, incorporando además mezclas con fibras para uso estructural. El programa considera mezclas: (i) control (sin fibras); (ii) A (acero trefilado); (iii) B (sintética 1); (iv) C (sintética 2); y (v) D (sintética 3). Los resultados indican que la formulación del ACI sobreestimó todos los valores promedio de E_c de cada tipo de mezcla, por lo que se optimizaron factores de calibración k para cada tipo de mezcla, los cuales son significativamente menores que $k = 4700$ del ACI (e.g., $k = 4347$), lo que puede generar una sobrestimación cercana al 10% del valor de E_c . Estos hallazgos sustentan la necesidad de calibraciones regionales de E_c , considerando explícitamente el tipo de árido y las fibras al definir el valor de k , para obtener estimaciones de rigidez más confiables en hormigones con y sin fibras.

1. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, Pontificia Universidad Católica de Chile.
2. Centro de Innovación del Hormigón, Pontificia Universidad Católica de Chile
3. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile.
4. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar de Nueva Granada.
5. Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.

AVANCES EN EL CONTROL PREDICTIVO DE LA COLOCACIÓN DE FIBRAS EN UHPC

Álvaro Paul¹, Juan Pablo Toro², Patricio Moreno¹.

Universidad de los Andes | e-mail: patriciomoreno@miuandes.cl

RESUMEN

El Ultra-High Performance Concrete (UHPC) se caracteriza por un desempeño mecánico muy superior al del hormigón tradicional, destacando en resistencia a flexión y compresión, junto con una alta durabilidad derivada de un uso eficiente de materiales. Estas propiedades se deben, en gran parte, a la incorporación de fibras de acero, que controlan la propagación de fisuras, y a su baja porosidad, producto de la reducida relación agua/cemento, que lo hace altamente resistente frente a agentes químicos, condiciones de pH extremo y ambientes costeros.

No obstante, el comportamiento final del UHPC depende críticamente de la orientación y dispersión de las fibras durante la colocación. En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo computacional avanzado, diseñado para predecir dichos patrones en función de la reología del UHPC en estado fresco, la geometría de los dispositivos de vertido y la concentración de fibras. Los resultados preliminares han sido contrastados mediante técnicas digitales avanzadas y no intrusivas de medición de flujos y materiales, que permiten observar con precisión el movimiento y la orientación de fibras durante el proceso de colocación.

Este avance constituye un primer paso hacia el control predictivo de la orientación y dispersión de fibras en obra, con el objetivo de lograr estructuras más seguras, con menor necesidad de mantención, prolongación de su vida útil y reducción de costos a largo plazo. Dada la relevancia del UHPC en sectores estratégicos de la economía chilena, como la minería y la infraestructura crítica, los resultados abren oportunidades concretas para optimizar procesos constructivos y garantizar la sostenibilidad de las obras.

1. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes, Chile.
2. Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Andrés Bello, Chile.

Módulo 3

Desarrollo de Hormigones Sustentables

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE ADITIVOS SOSTENIBLES A BASE DE CELULOSA Y ALGAS DE COCHAYUYO EN MEZCLAS DE HORMIGÓN

Matías Esparza, Ramón Mata, Felipe Vicencio.
Universidad San Sebastián | e-mail: mesparzas@correo.uss.cl

RESUMEN

El hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, pero su limitada capacidad de mitigar fisuras y la elevada huella de carbono asociada a su producción plantean desafíos de sostenibilidad y durabilidad. En este estudio se evaluó la incorporación de aditivos naturales a base de residuos de celulosa y algas de cochayuyo como sustitutos parciales del agregado fino en mezclas de hormigón.

El objetivo fue explorar su potencial para mejorar las propiedades mecánicas del material y conferir capacidad de autoreparación. Se diseñó una matriz experimental con cinco dosificaciones distintas, reemplazando un 10% de la masa de arena por combinaciones variables de celulosa y alga. Se fabricaron probetas cilíndricas y prismáticas, sometidas posteriormente a ensayos de compresión y tracción por flexión de acuerdo con normas chilenas. Los resultados mostraron que el contenido de celulosa aportó un ligero aumento relativo en la resistencia a tracción por flexión y contribuyó a desviar la propagación de grietas, actuando como una barrera fibrosa dentro de la matriz.

En contraste, las probetas con mayor proporción de alga presentaron un desempeño significativamente menor, asociado a su difícil integración y a la generación de porosidad en el material. Aunque no se evidenció una capacidad importante de autoreparación en las condiciones evaluadas, la investigación constituye una aproximación innovadora hacia el uso de residuos naturales en hormigón. Los hallazgos sugieren que la celulosa puede ser un insumo con potencial para mejorar la integridad estructural, mientras que el uso de algas requiere ajustes de tratamiento y dosificación. Esta investigación abre nuevas líneas de exploración para el desarrollo de materiales más sostenibles, aportando conocimientos relevantes en etapas tempranas de validación experimental.

CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS, ZARPA PREFABRICADAS CON HORMIGÓN DRENANTE

Humberto Delucchi Canales¹, Eduardo San Martín¹, Cristián Geadicke².

Duoc UC Escuela de Construcción - Alameda | e-mail: hdelucchi@duoc.cl

RESUMEN

¿Cuál es el motivo de la saturación en las calzadas vehiculares producto de aguas lluvias? Esto se debe a la falta de puntos de captación de aguas lluvias considerándose en la actualidad al inicio y al término de intersección de ejes vehiculares, cabe considerar que la mayoría de los puntos de captación mencionados se encuentran colapsados, siniestrados y tapados en los periodos pluviales (Tercera, 2024) a esto se asume una falta de mantención por parte de las entidades respectivas.

Por lo descrito anteriormente, se plantea una solución en base a un material llamado hormigón drenante. Este tipo de hormigón tiene sus primeros experimentos en el año 1937 “Este tipo de concreto fue utilizado inicialmente en Europa bajo el nombre de concreto sin finos (no-fines concrete) para facilidades de estacionamientos, muros de carga y residencias. (Patiño, 2013)

Como primera instancia se consideró utilizar este sistema constructivo en toda la calzada con el fin de lograr eliminar de forma efectiva la cantidad de agua, luego de realizar los análisis respectivos se constataron ciertas problemáticas del hormigón drenante debido a su irregularidad en el acabado superficial así también lo corrobora el Grupo de Hormigón Estructural, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay “La combinación de estos ingredientes produce un material rígido con poros interconectados el cual permite el pasaje de agua” (pág 8, 2021) por lo tanto, esto afecta la capacidad de conducción de los vehículos y además, genera un problema en la durabilidad del mismo material pues se disgrega de forma más rápida de un hormigón tradicional o impermeabilizado, esto infiere que “a mayor contenido de vacíos menor es la resistencia del material. El desafío al realizar dosificaciones de hormigón permeable radica en alcanzar un equilibrio entre la resistencia y la permeabilidad que satisfaga los requerimientos del proyecto en cuestión” (Spalvier A. y Cols, pág 8, 2021)

La solución es construir una franja drenante de 20 centímetros ubicada entre la solera y la calzada que abarque los puntos de inicio a fin de las captaciones existentes: denominándola zarpa, esto aumenta considerablemente la captación evitando los colapsos de aguas lluvias superficiales.

¿Cómo se puede agilizar el proceso constructivo del hormigón drenante? Para ello se propone la prefabricación de palmetas de hormigón drenante con el fin de controlar el proceso de elaboración respecto a su dosificación, incorporación de los materiales y aditivos, vibración, compactación y condiciones de curado entre otros (Manual de pavimentación de aguas lluvias, 2006) con el fin de estandarizar el sistema, y controlar otra complejidad del hormigón drenante que es el establecer parámetros de continuidad debido a la aplicación de aditivos, la forma de compactación y las alturas entre otras.

Finalmente, se busca con este proyecto de investigación elaborar un documento repositorio que se incorpore a la normativa vigente y que establezca procedimientos constructivos para la ejecución del material de forma prefabricada, mejorando la propuesta “del año 2008, en donde se produjo el estándar ACI 522.1-08 denominado Specification for Pervious Concrete Pavement, en el cual se adoptan normas de la ASTM para el control de calidad de los pavimentos de concreto permeable” (Patiño, 2013) construidos en el lugar.

1. Duoc UC Escuela de Construcción – Sede Alameda
2. Universidad Estatal de California del Este de la Bahía CSUEB.
3. Cementos Polpaico.
4. Ilustre Municipalidad de Algarrobo, Quinta Región, Chile.

HORMIGÓN AUTOCALEFACCIONABLE CON NEGRO DE HUMO: ESTUDIO PRELIMINAR EN ECONOMÍA CIRCULAR PARA ZONA FRÍA

Yasna Segura Sierpe, Constanza Segovia Gallardo, Berta Vivar Vivar, Iván Andrade
Agüero, Claudio Villarreal Cárdenas, Pedro Vidal Oyarzo.

Universidad de Magallanes | e-mail: yasna.segura@umag.cl

RESUMEN

La incorporación de negro de humo (NH), obtenido a partir de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante pirólisis, en mezclas de mortero como sustituto parcial del cemento. Una de las aplicaciones más prometedoras se vincula con pavimentos autodescongelantes, particularmente relevantes en la región de Magallanes, donde las bajas temperaturas favorecen la formación de ciclos de congelamiento y deshielo en calles y caminos.

El objetivo fue analizar las propiedades mecánicas y eléctricas de morteros modificados con NH, así como explorar su potencial de almacenamiento energético, en el marco de la economía circular y la valorización de residuos industriales. Para ello, se elaboraron morteros de control y mezclas con sustituciones del 2%, 4%, 6% y 8% de cemento por NH, empleando productos de los proveedores O'Higgins y Bio-Bío. Las probetas confeccionadas fueron sometidas a ensayos de compresión y flexión a los 7 y 28 días, junto con mediciones de conductividad eléctrica.

Los resultados indicaron que, a los 28 días, las mezclas con un 4% de negro de humo Bio-Bío incrementaron la resistencia a la compresión en un 54%. En contraste, sustituciones superiores (6% y 8%) provocaron disminuciones de hasta un 31%. Para el caso de O'Higgins, las mejores prestaciones se registraron en el rango de 2% a 4%, mientras que dosificaciones mayores redujeron significativamente las resistencias, alcanzando pérdidas del 29% en el 6%. Mediante los ensayos realizados se verificó que el NH efectivamente mejora la conductividad y la capacidad eléctrica.

En síntesis, se concluye que la sustitución óptima de cemento por NH se sitúa entre 2% y 4%, rango en el que se logra mantener o mejorar las propiedades mecánicas y, simultáneamente, favorecer la conductividad eléctrica del mortero. Este comportamiento abre la posibilidad de aplicaciones innovadoras en infraestructuras resilientes y sostenibles.

VALORIZACIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE DEPÓSITO A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS LIVIANOS MULTIFUNCIONALES

Antonia Gajardo Chichizola, Andrea Rubio Barbano, Iván Navarrete Leschot,
Álvaro Paul Quiroz.

Universidad de los Andes | e-mail: aigajardo@miuandes.cl

RESUMEN

La revalorización de subproductos industriales como materias primas para la construcción ha cobrado creciente interés en los últimos años, en particular dentro de sistemas cementicios. La ceniza volante recuperada de depósitos (RFA) constituye un recurso abundante y subutilizado, aunque su mayor variabilidad y, posiblemente, menor reactividad respecto de la ceniza volante regular (FA) ha limitado su aplicación. Esta presentación muestra los avances que se han realizado para producir agregados livianos artificiales (G-LWAs) mediante geopolimerización de cenizas, con el objetivo de generar adiciones multifuncionales para distintos sistemas cementicios.

Como parte de la presentación, se caracteriza la reactividad y estructura de ambas cenizas para determinar su potencial de formar geopolímeros capaces de absorber, retener y liberar agua. El proceso de síntesis se realizó únicamente con ceniza volante y una solución alcalina de NaOH en bajas concentraciones. A través de un diseño de experimentos de 4 variables (tipo de ceniza, concentración NaOH, tiempo y temperatura de curado) se determinó que bastan 5 días de curado a 60°C para producir los agregados con altas capacidades de absorción de agua ($\approx 30\%$) y que la fracción de desorción sobre absorción de agua fue mayor al 85%, en masa. Es relevante destacar que, pese a poseer menor reactividad, los agregados sintetizados a partir de RFA mostraron un desempeño comparable a los de FA, confirmando su viabilidad como materia prima para este propósito.

Estas propiedades posicionan a los G-LWAs como reservorios de agua capaces de reducir la retracción autógena y reducir el riesgo de agrietamiento en compuestos cementicios de razones w/c menores a 0,4. Entre las aplicaciones evaluadas se destaca el mejoramiento de la estructura reológica y la cohesión interlamina de morteros para impresión 3D, mientras que en compuestos cementicios avanzados como ECC, contribuyeron al desempeño mecánico en tracción y al sanado autógeno de microgrietas.

INVESTIGACIÓN DE CAMPO: EFECTIVIDAD DEL USO DE IMPREGNANTES PARA EL HORMIGÓN PARA REDUCIR EL DETERIORO POR EFECTO DE LOS CICLOS DE HIELO/DESHIELO

Luis Ebensperger M.

Construtechnik SpA - Puerto Montt | e-mail: luis.ebensperger@gmail.com

RESUMEN

Una de las formas más simples de mantener bajo control la ocurrencia de varios efectos adversos que afectan al hormigón, corresponde a aquellas acciones que logren disminuir el contenido de humedad al interior del hormigón. Es así, por ejemplo, que la corrosión electroquímica del acero requiere de la presencia de humedad, como también el deterioro que generan los ciclos de congelación y descongelación del agua en los poros.

Resultados obtenidos tanto en Laboratorio y en más de 30 años de experiencia práctica de la empresa Utech, confirman en Austria el buen desempeño de los productos impregnantes en base a vidrio soluble inorgánico en la reducción del deterioro por efecto de los ciclos de hielo/deshielo al generar una capa suficientemente impermeable que penetra en el hormigón logrando espesores de hasta 30mm.

Experiencias recientes realizadas en Chile a nivel de Laboratorio con una mezcla de prueba para un hormigón G30 mostraron un importante aumento de la resistencia al deterioro frente a distintas condiciones de agresividad, medida a través de ensayos de Desempeño, como es el caso de la Resistencia al Hielo/Deshielo en presencia de sales descongelantes (se reduce deterioro entre 50 a 75%), Penetración de Agua a Presión (se reduce de 20 a 0mm), Abrasión Bajo Agua, Absorción de Agua, Permeabilidad al Aire, y la medición de la Profundidad de Impregnación medida de acuerdo a la normativa europea UNE-EN 1504-2 (9 a 16,5mm), que impone un requisito de 5mm para ser considerado como producto impregnante.

En este trabajo se pretende confirmar este buen desempeño en condiciones de terreno reales, para lo cual se procedió a aplicar en el mes de Diciembre 2024 en un tramo de pavimento en construcción de la Ruta 9 al sur de Punta Arenas, producto impregnante en reemplazo de la habitual membrana de curado permitiendo una protección inmediata del hormigón a la evaporación temprana y a los ciclos de hielo/deshielos esperados para el período invernal.

En un trabajo en conjunto con el Laboratorio Regional de Vialidad de la Región de Magallanes, la Facultad de Ingeniería de la UMAG (desarrollo de Tesis de Pregrado), la empresa de hormigones Concremag, la empresa proveedora del producto CPS-Beton en Chile, RafaSur, se está realizando un seguimiento a los pavimentos, para lo cual se realizó un muestreo inicial más amplio y se han extraído testigos para la ejecución de ensayos de desempeño.

VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA DREGS Y LIGNINA COMO ADITIVOS PARA HORMIGONES SUSTENTABLES

Luis Merino, Gonzalo Lema, Iván Muñoz, Sebastián Calderón.

Universidad de Concepción | e-mail: luis.merino@udec.cl

RESUMEN

El dregs y la lignina son subproductos de la industria de la celulosa que se generan en grandes cantidades, por lo que su valorización para la confección de hormigones es gran interés para la descarbonización de la industria. El Dregs es un material particulado muy fino con potencial de filler y la lignina Kraft es un biopolímero que al ser modificado químicamente puede dispersar las partículas de cemento en la mezcla de hormigón, por lo que tiene el potencial de usarse como aditivo plastificante o reductor de agua.

Al incorporar el dregs como filler en mezclas de hormigón se registra un leve incremento de la resistencia a la compresión, una disminución de su fluidez y una disminución a la penetración de cloruros o aumento de la durabilidad. Por otro lado, al incorporar la lignina Kraft modificada en dosis de hasta 1% de la masa de cemento se advierte un incremento de la fluidez de hasta 30%. Por lo tanto, los resultados sobre la incorporación de estos subproductos de manera simultánea en mezclas de hormigón muestran el potencial que tienen estos dos subproductos de la industria de la celulosa.

EVALUACIÓN DEL USO DE BACILLUS SUBTILIS Y BACILLUS LICHENIFORMIS EN EL HORMIGÓN

Leonardo Brescia Norambuena^{1,4}, Ángela Plaza-Garrido¹, Camila Vásquez¹,
Jonathan Gallardo¹, José Luis Pizarro¹, Álvaro Paul^{2,4}, Iván Navarrete^{3,4}.

Universidad de Santiago de Chile | e-mail: leonardo.brescia@usach.cl

RESUMEN

El uso de bacterias en el hormigón ha surgido como una estrategia prometedora para mejorar su desempeño y durabilidad. Si bien su aplicación más común corresponde a la autorreparación de fisuras, el sellado de poros también resulta interesante como una alternativa para incrementar la resistencia sin aumentar el consumo de cemento. Una de las bacterias más utilizadas es *Bacillus subtilis* debido a su capacidad de precipitación de carbonato de calcio; sin embargo, *Bacillus licheniformis* también presenta potencial, especialmente por su ruta asimilativa de reducción de sulfatos. En este trabajo se evaluaron pastas y morteros con distintas relaciones agua/cemento en términos de resistencia a compresión, resistencia al ataque por sulfatos y el efecto del tipo de curado.

Los resultados muestran que el uso de bacterias puede incrementar la resistencia a compresión en más de un 20%, particularmente con *B. licheniformis* a edades tempranas. Además, *B. licheniformis* demostró ser altamente eficaz en el control de la expansión producida por el ataque de sulfatos, mientras que *B. subtilis* presentó un mejor desempeño en la resistencia a largo plazo. Por otra parte, se observó que el diseño del ciclo de curado influye significativamente en los efectos de las bacterias. Altas temperaturas de curado y ausencia de humedad reducen notablemente el impacto sobre la resistencia, aunque ayudan a disminuir la retracción. En contraste, largos periodos de curado en agua y dosis elevadas de bacterias también pueden afectar negativamente la resistencia, debido a que los ensayos de caracterización química mostraron aumento en la presencia de yeso y carbonato de calcio los cuales tienen mayor solubilidad.

En este contexto, periodos de curado de 7 a 28 días resultan más eficientes; sin embargo, la incorporación de bacterias en hormigones requiere un diseño cuidadoso que equilibre la relación agua/cemento, la dosificación de bacterias y el régimen de curado.

1. Departamento de Ingeniería en Obras Civiles – Universidad de Santiago de Chile
2. Departamento de Ingeniería en Obras Civiles – Universidad de los Andes
3. Departamento de Ingeniería y gestión de la construcción – Pontificia Universidad Católica de Chile
4. Centro de Innovación del Hormigón UC (CIH UC)

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ESCORIA DE COBRE COMO MATERIAL CEMENTICIO SUPLEMENTARIO EN PASTAS Y CONCRETOS

Claudia Burbano-García^{1,3}, Yimmy Silva Urrego^{2,3}, Gerardo Araya-Letelier^{2,3},
Marcelo González^{1,2}.

Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: cpburbano@uc.cl

RESUMEN

La creciente demanda de materiales de construcción sostenibles y de alto desempeño resalta la urgencia de reducir el impacto ambiental asociado a la producción de cemento. En este contexto, la escoria de cobre (EC), subproducto relevante de la industria minera a nivel mundial, surge como un material cementicio suplementario (MCS) alternativo. Este estudio integra investigaciones experimentales en pastas y concretos con EC en proporciones de reemplazo de 0 %, 10 %, 20 %, 30 % y 50 % en volumen. En pastas de cemento se evaluó la evolución de la hidratación mediante calorimetría isotérmica, difracción de rayos X (DRX), termogravimetría diferencial (DTG) y microscopía electrónica de barrido (SEM). En concretos se analizaron propiedades en estado fresco (fluidez) y endurecido (resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión, porosidad y succión capilar). Los resultados indicaron que reemplazos de hasta 20 % no comprometieron el desempeño mecánico a largo plazo (360 días de curado) cuando se compara con la mezcla de referencia, lo cual se evidencio con la actividad puzolánica estimada mediante la reducción del contenido de CH.

Adicionalmente, se desarrolló un modelo predictivo basado en técnicas de random forest y regresión polinómica que permitió estimar con alta precisión la resistencia a compresión en función del contenido de EC y el tiempo de curado en pastas. En conjunto, los hallazgos demuestran que la incorporación de un 10–20 % de EC como MCS constituye una estrategia viable para reducir el factor clínker, mitigar las emisiones de CO₂ y promover la producción de materiales cementicios más sostenibles sin comprometer su desempeño a largo plazo.

1. Department of Construction Engineering and Management, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile.
2. Concrete Innovation Hub (CIH UC), Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile.
3. School of Civil Construction, Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile.

PUENTE CHACAO: DESAFÍO TÉCNICO LOGÍSTICO EN CONDICIONES EXTREMAS

Paula Melo, Max Casas-Cordero

Cementos Bío Bío - CBB | e-mail: paula.melo@cbb.cl

RESUMEN

El suministro de hormigones en el Puente Chacao presenta altas exigencias logísticas y técnicas, debido a la complejidad de la obra y su ubicación en un entorno marino severo. En este contexto, Cbb (Cementos Bío Bío) implementa soluciones innovadoras tanto en la gestión del suministro como en el diseño de los productos, optimizando eficiencia y calidad.

El proyecto considera un esquema logístico avanzado, con plantas de hormigón en Parga, Chacao y Roca Remolino, esta última instalada en el mar a mitad del tramo del puente, lo que permite optimizar los tiempos de despacho y asegurar continuidad en el suministro.

Los hormigones fueron diseñados para garantizar una durabilidad de 100 años, capaces de resistir la exposición constante a condiciones marinas agresivas. Su desempeño se asegura mediante un control exhaustivo de calidad en planta y por el uso de cemento fabricado exclusivamente para la obra que mejora la resistencia del hormigón frente a la corrosión.

T2CM: DESARROLLO DE HORMIGONES SUSTENTABLES A PARTIR DE RELAVES MINEROS - DESARROLLO & ESCALAMIENTO

Álvaro Videla, Felipe Vargas, Iván Navarrete, Claudia Eugenin, Estefanía Loyola,
Victoria Romano, Luis Morales.

Departamento de Ingeniería de Minería, UC / T2CM - Tailings to Construction Materials | e-mail:
avidela@uc.cl

RESUMEN

El proyecto T2CM (Tailings to Construction Materials) nace como respuesta a dos desafíos urgentes en Chile: el manejo sostenible de los relaves mineros y la reducción del impacto ambiental en la construcción. Liderado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, T2CM busca transformar relaves en nuevos materiales de uso constructivo con baja huella de carbono, promoviendo una economía circular entre los sectores minero y de la construcción.

Durante tres años, el equipo ha trabajado en laboratorio en el diseño, validación y caracterización de tres tipos de productos:

- Material cementicio suplementario (SCM), como reemplazo parcial de cemento.
- Agregado artificial, mediante procesos de pelletización.
- Geopolímeros a partir de activación alcalina.

Estos materiales han sido evaluados bajo normas ASTM y NCh, obteniendo propiedades mecánicas comparables a productos tradicionales. Además, se ha estudiado la caracterización física y química de los relaves y productos, la lixiviabilidad de contaminantes, la durabilidad en medios agresivos, y la variabilidad del relave como insumo.

Actualmente, el proyecto se encuentra en la etapa de implementación de una planta piloto modular (1 tonelada/día), en colaboración con DICTUC y BHP. Esta planta permitirá escalar la producción, fabricar prototipos a escala real, y evaluar consumos, emisiones y costos operacionales en condiciones controladas pero cercanas a terreno.

La presentación abordará el desarrollo previo al piloto, incluyendo la estrategia de formulación, ensayos fisicoquímicos, aprendizajes clave y desafíos técnicos enfrentados hasta ahora. Además, se compartirán perspectivas para la implementación industrial y colaboraciones futuras.

SELF-HEALING EFFICIENCY IN CEMENTITIOUS MATERIALS BY INCORPORATING VOLCANIC-BASED AGGREGATE CAPSULES

Erik Alpizar-Reyes¹, Carlos Guamán-Marquines¹, Manuel Chávez-Delgado², José L. Concha³, José Norambuena-Contreras⁴.

Universidad del Bío-Bío | e-mail: ealpizar@ubiobio.cl

RESUMEN

Population growth demands continuous infrastructure development, with concrete being the most widely used material. The environmental exposure of concrete causes the formation of cracks that allow the ingress of aggressive agents, accelerating degradation. Self-healing materials offer viable alternatives to extend service life and reduce maintenance costs, with the global market exhibiting exponential growth driven by sustainable construction demands.

This work developed bioinspired capsules using porous volcanic aggregates (4–6 mm) as bio-based encapsulants for self-healing cementitious materials. Capsules were synthesised by vacuum saturation (120 mbar) with sodium silicate (Na_2SiO_3), followed by 6% polyvinyl alcohol (PVA) coating for controlled release. Characterisation included optical microscopy, scanning electron microscopy, encapsulation efficiency, and Fourier-transform infrared spectroscopy. Self-healing efficiency was assessed through three-point bending tests. Cement mortar specimens ($n=15$) with 4% capsules were cured at $20\pm 2^\circ\text{C}$ and 95% RH. Specimens were pre-loaded to 80% maximum flexural strength at 14 days to induce microcracking, then subjected to 7-day healing under identical conditions before testing flexural recovery.

Results showed average aggregate size of $5.93\pm 0.17\text{mm}$ and circularity of 0.74. SEM revealed interconnected porous structure with pore sphericity of 0.23 ± 0.03 . Water absorption was 120% by weight, with Na_2SiO_3 encapsulation efficiency of 44.85%. The FTIR-ATR showed the functional groups of the wall material (C–C, O–O, C–O) and the curing agent (Si–O–Na, Si–OH). The PVA coating on the capsules increased the compressive strength from 1.54 MPa (base aggregate) to 2.00 MPa. Flexural strength recovery of $22.5\pm 2.1\%$ was achieved, demonstrating effectiveness of the volcanic-based encapsulation system. These results indicate that the capsules can be integrated into cementitious materials in diverse applications to enhance structural durability, reduce long-term maintenance costs, and minimise cement manufacturing costs and CO_2 emissions, addressing key industry demands for sustainable and cost-effective infrastructure solutions.

1. Departamento de Ingeniería de Procesos y Bioproductos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile.
2. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Sede Concepción, Universidad Andrés Bello, Chile.
3. LabMAT, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile.
4. Advanced Bituminous Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Engineering, Swansea University, United Kingdom.

PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE CEMENTOS CON SUSTITUCIÓN DE OPC POR RELAVE DE ESCORIA DE COBRE

Juan Rodríguez¹, Paula Rojas¹, Danny Guzmán², Mario Santander², Carlos Hermosilla², Federico Antico¹.

Universidad Adolfo Ibáñez – Universidad de Atacama | e-mail: juanignacio.rodval@gmail.com

RESUMEN - Presentación formato impreso

La producción de cemento Portland convencional (OPC) es responsable de entre el 7% y 10 % de las emisiones globales de CO₂, lo que ha impulsado la búsqueda de estrategias para reducir su impacto ambiental a través del uso de materiales cementicios suplementarios y fillers. En Chile, esta estrategia se ve afectada por la reducción de ceniza volante y la escoria siderúrgica. En este contexto, los relaves de escoria de cobre (CST), un subproducto abundante del cobre, emergen como una alternativa local de interés por su composición química y su distribución de tamaño de partícula.

Este estudio evalúa el desempeño mecánico de pastas con reemplazo parcial de OPC por CST en proporciones de 0 % a 30 %, considerando distintas edades de curado. Se realizaron ensayos de compresión, flexotracción, resistividad eléctrica superficial y velocidad de pulso ultrasónico (UPV) entre 2 y 180 días. Adicionalmente, se hicieron análisis termogravimétricos (TGA) para distinguir entre efectos físicos y químicos del CST.

Los resultados revelan una reducción de la tasa de crecimiento de la resistencia mecánica a edades tempranas al aumentar el contenido de CST en la mezcla. La respuesta tiempo-dependiente de las mezclas cambia a partir de los 56 días aproximadamente donde las mezclas con hasta 20 % de reemplazo logran igualar la resistencia mecánica de la mezcla control. En conjunto, los ensayos realizados en este trabajo sugieren que el CST cumple principalmente una función como filler en el proceso de hidratación del OPC presente en la mezcla.

Estos resultados invitan a reconsiderar el uso exclusivo del estándar de 28 días como criterio normativo de evaluación de la resistencia mecánica de materiales cementicios, y abren la posibilidad de explorar el CST como un material con contribuciones considerables al desarrollo de productos más sostenibles.

1. Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile.
2. Departamento de Ingeniería en Metalurgia, Universidad de Atacama, Chile.

HORMIGÓN GEOPOLIMÉRICO A PARTIR DE ESCORIAS DE COBRE, LITIO Y RESIDUOS DE HORMIGÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Ángela Arriagada Cuadra¹, Yimmy Silva^{2,3}, Gerardo Araya-Letelier^{2,3}.

Pontificia Universidad Católica de Chile | e-mail: aarriagadac3@estudiante.uc.cl

RESUMEN – Presentación formato impreso

El desafío de la descarbonización y la reducción del consumo de combustibles fósiles ha impulsado la electromovilidad y energías sostenibles, aumentando la demanda de materias primas críticas como el cobre y el litio. Sin embargo, su extracción conlleva impactos ambientales significativos, incluyendo altas emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación atmosférica y de aguas, degradación de suelos y generación masiva de residuos, entre los cuales destacan la escoria de cobre (EC) y escoria de litio (EL). Estos subproductos suelen depositarse en vertederos, generando un problema ambiental creciente tanto a nivel nacional como global.

En paralelo, el sector de la construcción se posiciona como uno de los principales consumidores de recursos naturales, y al mismo tiempo genera cerca del 30% de desechos sólidos a nivel mundial (compuestos en mayoría por residuos de hormigón (RH)). Si bien los RH se han utilizado principalmente como árido reciclado, otra alternativa de valorización es como material cementicio suplementario y precursor.

La valorización conjunta de EC, EL, y RH, representa una oportunidad integral para reducir simultáneamente los impactos de la minería y la construcción. Gracias a sus composiciones químicas y mineralógicas, de estos tres subproductos pueden utilizarse como: i) materiales cementicios suplementarios (MCSs), ii) precursores en sistemas activados alcalinamente y iii) áridos reciclados. En este contexto, los hormigones geopoliméricos (HGP) emergen como alternativa de bajo carbono al cemento Portland, ofreciendo ventajas en términos de emisiones, resistencia y durabilidad, sin embargo, su investigación ha sido limitada y dispersa.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es presentar una revisión sistemática de la literatura sobre el uso EC, EL y RH en la producción de HGPs, evaluando su desempeño mecánico, durabilidad y contribución a soluciones constructivas sostenible. Esta revisión evidencio un uso consistente como árido, pero aún existen brechas existentes sobre su uso como precursor y dual.

1. Department of Construction Engineering and Management, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile.
2. Concrete Innovation Hub (CIH), Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile.
3. School of Civil Construction, Faculty of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, RM, Chile

Módulo 4

Arquitectura e Impresión 3D con Hormigón

RELAVES MINEROS COMO REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO PARA HORMIGÓN IMPRESO: EFECTOS REOLÓGICOS Y EN ESTADO ENDURECIDO

Claudia Eugenin, Iván Navarrete.

Pontificia Universidad Católica de Chile – DIGC UC – T2CM | e-mail: caeugenin@uc.cl

RESUMEN

La valorización de relaves mineros (RM) como reemplazo parcial de cemento en morteros imprimibles en 3D representa una estrategia con alto potencial para reducir la huella ambiental del hormigón y avanzar hacia una economía circular en minería y construcción. Este estudio explora el desempeño de morteros imprimibles con reemplazo de cemento por RM, incluyendo una campaña experimental en la University of Tokyo, utilizando muestras de relave provenientes de diferentes depósitos chilenos junto con cementos y áridos locales.

Los relaves fueron caracterizados mediante difracción láser para distribución de tamaño de partículas (PSD), fluorescencia y difracción de rayos X para composición química y mineralógica, además de análisis de superficie específica y densidad. Se fabricaron pastas y morteros con y sin RM, evaluados en estado fresco mediante ensayos de mesa de flujo, compresión uniaxial temprana y una completa campaña reológica (curvas de flujo y oscilación de baja amplitud) usando reometría de alta precisión. En estado endurecido, se analizaron resistencias a compresión y flexión, así como la anisotropía de elementos impresos.

Los resultados muestran que los RM tienden a aumentar el tiempo abierto y modificar la respuesta reológica, mientras que las resistencias mecánicas se reducen en comparación con morteros de referencia. Sin embargo, las diferencias entre probetas moldeadas e impresas no son significativas, indicando que la incorporación de RM no intensifica la anisotropía propia de la impresión 3D. Se identificó la PSD como factor dominante en la imprimibilidad, sobre todo en boquillas con reducción de área: fracciones $<75\ \mu\text{m}$ actúan como material cementicio suplementario, mientras que fracciones más gruesas se comportan como arena.

Finalmente, un análisis comparativo de literatura indicó que el reemplazo parcial de cemento con RM puede reducir emisiones de CO_2 y costos de material. Estos resultados constituyen una de las primeras evaluaciones sistemáticas con múltiples relaves chilenos en morteros imprimibles, y probado en Japón, entregando lineamientos generalizables para el diseño de materiales sostenibles en 3DCP.

ESTRATEGIA DE ENCLAVAMIENTO TOPOLÓGICO MEDIANTE INTERFACES SINUSOIDALES EN IMPRESIÓN 3D DE HORMIGÓN

Nicolás Urzúa, Federico Antico, Tomás Trehwela.

Universidad Adolfo Ibáñez | e-mail: nurzua@alumnos.uai.cl

RESUMEN

La impresión 3D de hormigón (3DCP) se ha consolidado como una tecnología disruptiva en la construcción, destacando por su rapidez y eficiencia en el uso de recursos. No obstante, la debilidad de las interfaces entre capas limita su aplicación estructural, especialmente en zonas sísmicas, al comprometer tanto la resistencia a tracción como la durabilidad. Este trabajo aborda dicho desafío mediante la implementación de patrones sinusoidales en las interfaces de morteros impresos, con el objetivo de generar un mecanismo de enclavamiento topológico que mejore la adherencia interlaminar sin afectar la resistencia a compresión.

El trabajo se estructuró en tres etapas: (i) modelación numérica de interfaces sinusoidales sometidas a fenómenos de retracción causadas por cambios de humedad interna de las mezclas, identificando las relaciones entre amplitud y longitud de onda que reducen tensiones de tracción en las interfases; (ii) diseño y fabricación de boquillas capaces de extruir geometrías sinusoidales a partir de los resultados numéricos; y (iii) desarrollo de mezclas de mortero bombeables y extruibles con distintos contenidos de agua y acelerante a base de sulfato de aluminio libre de álcalis, y la evaluación de la retención de forma de filamentos impresos y apilados con un prototipo de impresora 3D.

Los resultados muestran que ciertos patrones sinusoidales —particularmente aquellos con mayor amplitud relativa y longitudes de onda moderadas— reducen hasta en un 35,13% la concentración de tensiones en las interfaces respecto a configuraciones planas, mejorando su desempeño frente a la retracción por secado. Asimismo, se cuantificó la resistencia mecánica temprana y la retención de forma de los patrones sinusoidales del material impreso.

En conjunto, esta investigación demuestra que el empleo de interfaces sinusoidales constituye una estrategia prometedora para reforzar las uniones en elementos de hormigón impresos en 3D, aportando conocimiento fundamental al diseño de materiales y geometrías orientados a la construcción industrializada.

CASA SEMILLA: INNOVACIÓN Y DESAFÍOS TECNOLÓGICOS DEL HORMIGÓN IMPRESO EN 3D PARA VIVIENDAS SISMORRESISTENTES EN CHILE

Claudia Muñoz Sanguinetti, Rodrigo García Alvarado, Alexander Opazo Vega, Paula
Ulloa Aguayo, Paulina Wegertseder Martínez, Aracely Rocha Rubilar.
Universidad del Bío-Bío | e-mail: clmunoz@ubiobio.cl

RESUMEN

Frente a los desafíos actuales del sector de la construcción, la impresión 3D de hormigón (3DCP, por sus siglas en inglés 3D Concrete Printing) se ha consolidado como una tecnología disruptiva capaz de transformar los métodos constructivos tradicionales mediante la fabricación digital capa a capa. En este aspecto, se estima que este proceso permite reducir entre un 30-60% de residuos de obra al eliminar moldajes y optimizar el uso de materiales, además de favorecer el desarrollo de diseños más eficientes que mejoran el desempeño térmico y pueden reducir la demanda energética de los edificios.

A diferencia de otros países, en Chile el riesgo sísmico impone exigencias adicionales en el diseño y ejecución de edificaciones. Por ello, la aplicación de 3DCP en escala real requiere no solo de cumplir con los criterios de imprimibilidad y extrudabilidad, sino también garantizar un adecuado desempeño estructural y de confiabilidad constructiva. En este contexto, se presentan los desafíos técnicos de la primera vivienda sismorresistente impresa en el país, la Casa Semilla, desarrollada por la Universidad del Bío-Bío. Construida en 2024, integra un sistema estructural compuesto por muros portantes optimizados, que fueron impresos mediante el pórtico industrial en un tiempo total de 29 horas.

Los resultados de este proyecto evidencian la superación de barreras técnicas de la mezcla cementicia, especialmente relacionadas con la reología y los tiempos abiertos. Este hito confirma el potencial del hormigón impreso en 3D para avanzar hacia modelos constructivos más productivos y de menor impacto ambiental. Asimismo, la reducción de tiempos de construcción y el menor consumo de materiales respecto a los métodos tradicionales posicionan a la impresión 3D de hormigón como una alternativa viable para el desarrollo de viviendas industrializadas, alineadas con las demandas de sustentabilidad, innovación y productividad de la construcción en Chile.

RESUMEN

La mayoría de los sólidos prismáticos asociados al hormigón, no están necesariamente relacionados a la naturaleza propia del material, sino más bien a lo que nosotros utilizamos para construir sus matrices.

Este trabajo trata de re-visitarse el hormigón para mostrarlo ahora como un cuerpo sensible, frágil y dúctil, capaz de adaptarse a las texturas de sus moldes.

Preguntarnos así acerca de las formas que puede tomar el hormigón, dando cuenta de su condición plástica, nos abre a la posibilidad de entender al material como un puente de exploración. El moldaje entonces puede ser una membrana deformable que permite el desarrollo de geometrías complejas y dobles curvaturas, convirtiendo el peso del hormigón y su condición de fluido en una variable más del diseño. La relación con su encofrado ya no es pasiva, sino activa, en la que la plasticidad, la gravedad y el peso del concreto juegan un papel crucial para determinar su forma final.

El material entonces ya no lo podemos considerar un pasivo dentro del ecosistema de construcción, se vuelve determinante y hace parte del proceso de diseño.

Al recibir el concreto en moldajes flexibles, podemos crear superficies orgánicas que amplían nuestro imaginario, incorporando el trabajo de laboratorio y el movimiento entre los ensayos como un viaje de ida y vuelta, de validación permanente donde los cambios y transferencias se vuelven parte del proceso.

Al igual que nuestros cuerpos, los materiales son afectados por

el paso del tiempo, reflejan perspectivas de épocas volviéndose testigos de los procesos ambientales y sociales que nos acontecen.

Como sustantivo la palabra molde significa fijar o dejar fijo, sin embargo, como verbo significa modelar, moldear es decir adaptarse, cambiar.

¿Podríamos pensar hoy el hormigón desde su potencial transformador, sensible y experimental?

HORMIGÓN Y MODERNIDAD: LA PLANTA COMO TERRITORIO DE NEGOCIACIÓN ENTRE ARQUITECTURA E INGENIERÍA

Cristian Muñoz Díaz, Victoria Opazo Castro y Gabriel Cañete Guevara.

Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo | e-mail: cristianmd@uchile.cl

RESUMEN

El desarrollo de la arquitectura ha estado fuertemente ligado a las posibilidades que ofrecen los sistemas estructurales. Esto se evidencia en la composición de las plantas donde los elementos verticales portantes definen los límites espaciales, el orden y la configuración. En un contexto sísmico como el chileno, el uso del hormigón armado se posiciona como material dominante, tanto por sus cualidades mecánicas y constructivas, como por su volumen, continuidad y expresión material.

La presente ponencia busca visibilizar la tensión entre los ideales de la arquitectura moderna y las posibilidades tecnológicas del hormigón armado en el Chile desarrollista de mediados del siglo XX. Para ello, se revisan las premisas del movimiento moderno en contraste con los sistemas estructurales diseñados para resistir cargas sísmicas en edificios de mediana altura.

Desde las primeras normas sísmicas —basadas en proporciones y relaciones geométricas entre elementos estructurales—, el diseño arquitectónico se vio condicionado. La disposición y dimensión de estos elementos impactaron directamente en las posibilidades espaciales, generando fricciones con principios modernos como la planta y fachada libre.

Bajo esta mirada, se revisan casos icónicos de la arquitectura moderna chilena donde dicha tensión se manifiesta de manera concreta en el diseño. Esto se observa, por ejemplo, en el edificio Imperio Oriente, donde la planta del primer nivel intenta aplicar el principio de los *pilotis*, pero se ve restringida por la presencia de muros estructurales de gran sección, trabajados formalmente para resolver dicha tensión. En contraste, la Unidad Vecinal Providencia organiza la planta tipo alrededor de un núcleo central simétrico y resistente que concentra las circulaciones, liberando las fachadas e incorporando recursos modernos como la ventana corrida.

De este modo, la tensión entre las demandas estructurales y los ideales modernos se entiende como una oportunidad para el desarrollo de un lenguaje arquitectónico consciente de la condición sísmica local y del potencial del hormigón armado como asunto material.

FACHADA SOLAR TÉRMICA MASIVA DE HORMIGÓN PREFABRICADO: RESULTADOS PRELIMINARES

Claudio Vásquez Zaldívar, Alejandro Prieto Hoces, Renato D'Alencon Castrillón,
Camila Da Rocha Henzel.

Pontificia Universidad Católica de Chile - FADEU | e-mail: cvz@uc.cl

RESUMEN

Las Fachadas Solares (FS), son aquellas que utilizan el sol como fuente para generar energía útil para su operación, ya sea en forma de electricidad o calor. Existen diversos tipos y entre ellos las Fachadas Solares Térmicas (FST) gestionan el calor producido por el sol para su utilización en los sistemas de agua caliente sanitaria o de calefacción. Los sistemas más utilizados son los colectores solares planos que se aplican en cubiertas y fachadas livianas, sin embargo, también existen soluciones para aplicar en sistemas constructivos masivos, como el hormigón armado y se denominan Fachadas Solares Térmicas Masivas (FSTM). Las FSTM trabajan transmitiendo el calor absorbido en la masa del hormigón armado expuesto al sol para calentar un fluido con el objetivo de calentar agua, transformando una de sus principales desventajas, en una ventaja que además permite apuntar a un cambio del perfil de consumo energético de las construcciones que las integran, aun cuando la variación diaria y estacional de la energía solar es un desafío que las obliga desarrollar potenciales complementarios a su funcionamiento envolvente monolítica.

La solución tecnológica propuesta es el desarrollo de una Fachada Solar Térmica Masiva (FSTM) mejorada por medio de materiales de cambio de fase (PCM), integrando dos principios tecnológicos para la generación de un sistema de envolvente masivo modular que aproveche el potencial solar del país para el aumento de la eficiencia energética de viviendas industrializadas en Chile. Así, se busca integrar colectores solares masivos dentro de un sistema de envolvente con almacenamiento térmico, para (i) gestionar la transferencia de calor a través de componentes de muro, mejorando el desempeño térmico de muros masivos monolíticos, y (ii), aprovechar el calor almacenado en la masa del muro para otros procesos térmicos, como el agua caliente sanitaria o la calefacción.

En esta ponencia se presentará el concepto global de Fachada que se propone y los resultados de laboratorio preliminares que lo validan.

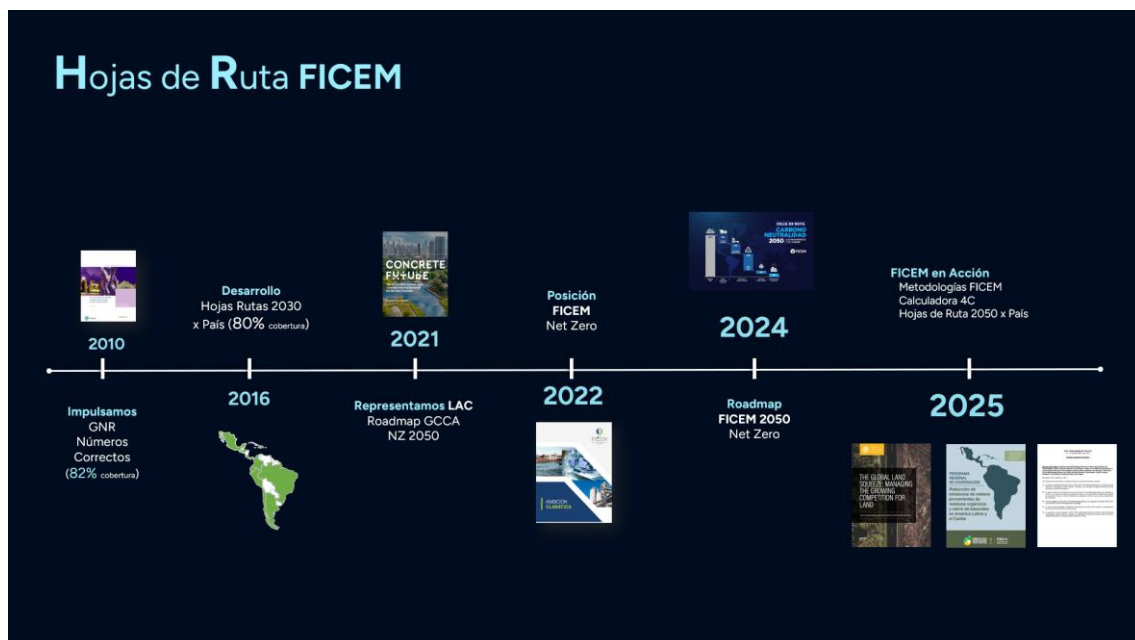
Charlas Plenarias

ESTRATEGIA Y AVANCES HACIA LA CARBONO NEUTRALIDAD EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Ricardo Pareja

Federación Interamericana del Cemento FICEM

RESUMEN



CASO PUENTE CHACAO: DURABILIDAD EN EL HORMIGÓN

Carlos Thomas Cabrera, Marcelo Márquez Marambio

Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas

e-mail: marcelo.marquez@mop.gov.cl - carlos.thomas.mop@gmail.com

RESUMEN

La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas lleva a cabo el contrato “Diseño y Construcción del Puente Chacao”, ubicado en la Región de Los Lagos. Se trata de un Puente Colgante Multivano que consta de tres torres principales, que alcanzan alturas aproximadas de 199 m, 175 m y 157 m sobre el nivel medio del mar, en el sector norte, centro y sur respectivamente.

La longitud total del Puente es de 2.754 metros entre macizos de anclaje, con dos vanos principales de 1.155 metros el norte y 1.055 metros el sur, además de un tramo de acceso norte y un viaducto sur, de 324 y 140 metros respectivamente, más 80 metros correspondientes a acceso sur. El volumen total de hormigón a colocar es de 135.447 m³, y en particular el macizo de anclaje norte considera 27.535 m³, el macizo de anclaje sur 25.298 m³, la pila norte 21.013 m³, la pila central 35.611 m³ y la pila sur 14.881 m³.

El proyecto aborda el concepto de durabilidad y vida útil del hormigón, para cumplir con el requisito contractual de una vida útil de diseño de 100 años, con especial atención a la corrosión inducida por cloruros. Durante las últimas décadas, el concepto de durabilidad y vida útil para las estructuras de hormigón ha tomado mayor preponderancia y su desarrollo ha tenido avances significativos, en gran medida debido al avance en distintas metodologías de análisis que consideran las distintas fuentes de agentes dañinos para el hormigón y su armadura embebida, provenientes de los materiales constituyentes del hormigón, o de fuentes externas asociadas al ambiente en el cual se encuentran expuestas las estructuras.

La presentación reseña los criterios normativos para la durabilidad según ACI y la norma chilena NCh 170:2016, destacándola como la capacidad del hormigón para resistir acciones físicas, químicas y ambientales sin deterioro prematuro. El proyecto adopta una estrategia de durabilidad basada en un enfoque probabilístico, donde el estado límite principal es evitar el inicio de la corrosión inducida por cloruros durante la vida útil, con un 90 % de confiabilidad. Para ello se emplean metodologías internacionales validadas, en particular el FIB Bulletin 34 y DuraCrete, priorizando parámetros cuantificables y ensayos reproducibles, como referencia a grandes obras de infraestructura diseñadas para vidas útiles extendidas.

El diseño por durabilidad considera la definición de zonas de exposición, los mecanismos de degradación y las variables críticas de control durante la construcción, especialmente la migración de cloruros y el recubrimiento del hormigón. El control de calidad se basa en ensayos normalizados según NT Build 492, aplicados tanto en precalificación como en producción. Ante eventuales incumplimientos, se establece un procedimiento escalonado de evaluación, verificación en obra y medidas correctivas. Como elemento clave de seguimiento, se exige la construcción de un monolito de control para ensayos a lo largo de la vida útil. Este enfoque reduce incertidumbre, costos de mantenimiento y protege la inversión, adaptándose a las exigentes condiciones geográficas y ambientales de Chile.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



1º CONGRESO NACIONAL^{del} HORMIGÓN

12 NOV | 2025
SANTIAGO - CHILE



Centro UC
Innovación del Hormigón