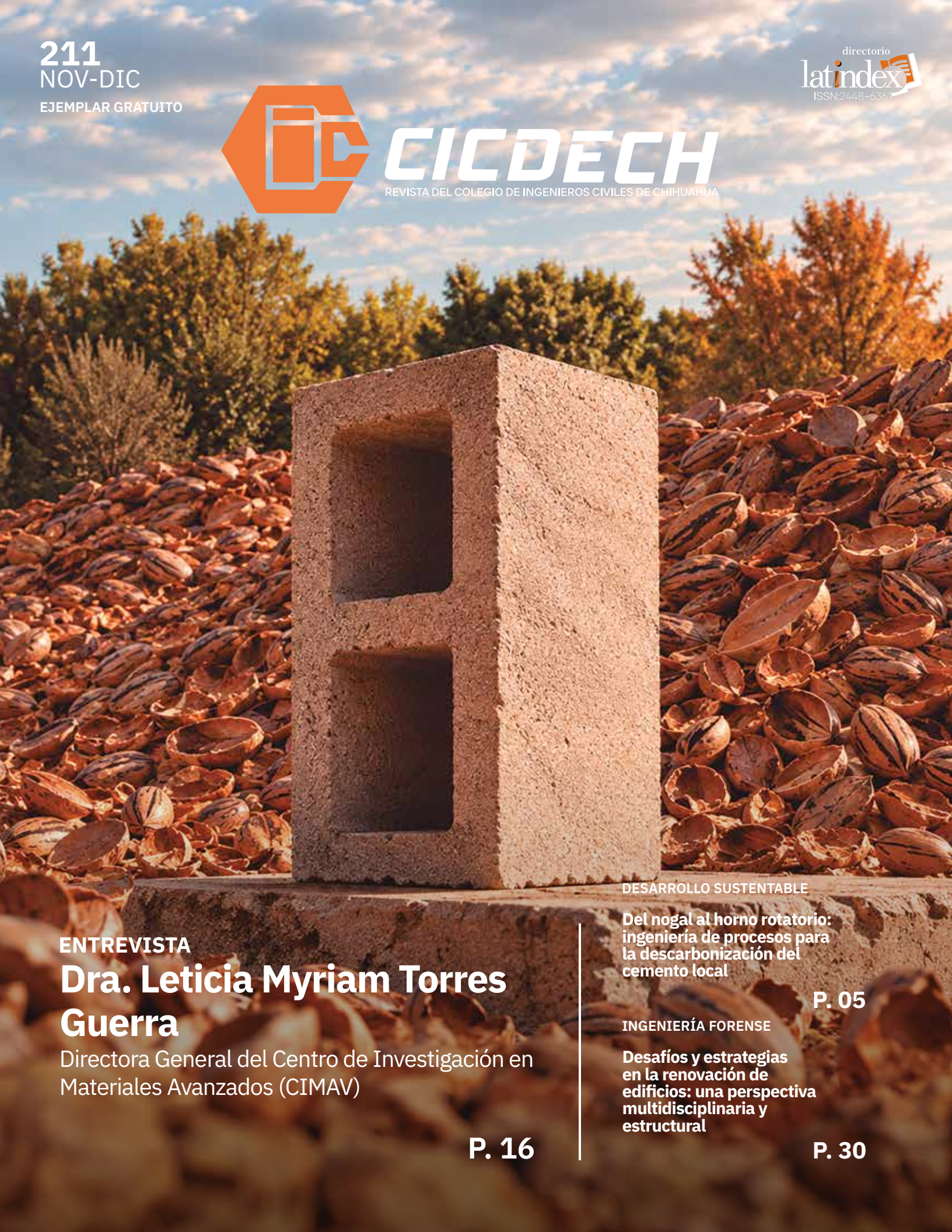
211
NOV-DIC
EJEMPLAR GRATUITO

directorio latindex
ISSN:2448-6361

CICDECH

REVISTA DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE CHIHUAHUA



ENTREVISTA

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra

Directora General del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)

P. 16

DESARROLLO SUSTENTABLE

Del nogal al horno rotatorio: ingeniería de procesos para la descarbonización del cemento local

P. 05

INGENIERÍA FORENSE

Desafíos y estrategias en la renovación de edificios: una perspectiva multidisciplinaria y estructural

P. 30

cuenta conmigo

Ahorra es cuando



100%
DE DESCUENTO
MULTAS Y RECARGOS

65%
DE DESCUENTO
EN ADEUDO DE AGUA, DRENAJE Y SANEAMIENTO COMERCIAL

DEL 15 DE NOVIEMBRE AL 31 DE DICIEMBRE 2026

REALIZA TU PAGO EN CAJEROS O EN LA JMAS MÁS CERCANA
SE APLICAN RESTRICCIONES

MÁS CHIHUAHUA
más de lo bueno
GOBIERNO DEL ESTADO

JMAS
JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE CHIHUAHUA

LOS AGUARDIANES

GRANDES, COMO EL ESTADO QUE NOS VIO CRECER

LARSSON ELEVATOR

Larsson Elevator es una empresa orgullosamente chihuahuense, dedicada a la fabricación e instalación de soluciones de elevación de alta calidad. Nos especializamos en una amplia gama de productos, incluyendo elevadores residenciales y comerciales, plataformas verticales, sistemas de parking lift y escaleras eléctricas. Nuestro compromiso con la innovación y la excelencia nos ha posicionado como líderes en el sector, brindando a nuestros clientes no solo productos, sino también servicios que cumplen con los más altos estándares de seguridad y eficiencia.






- Elevadores completamente personalizados a tu proyecto.
- La más alta calidad
- Tecnología de punta.
- Respuesta inmediata a emergencias 24/7.
- Empresa Chihuahuense
- Mayor cantidad de técnicos disponibles.
- Los costos mas bajos del mercado.
- Stock de refacciones.
- Atención personalizada

REALIZAMOS MANTENIMIENTOS A MULTIMARCAS DE ELEVADORES RESDENCIALES Y COMERCIALES

CONTÁCTANOS: +52 614-279-53-52 800 890 6557

LAT. PERIFERICO DE LA JUVENTUD 2816-B, COL. IGNACIO RODRGUEZ, C.P. 31128, CHIHUAHUA, CHIH.

WWW.LARSSONELEVATORS.COM **LARSSON ELEVATORS**

CICDECH

CARTA EDITORIAL



Estimadas colegiadas y colegiados:

Nos acercamos al cierre de 2026, un año que ha representado importantes retos, aprendizajes y oportunidades para nuestro Colegio. Es momento de hacer una pausa, reconocer el camino recorrido y agradecer a quienes, con su participación y compromiso, han contribuido al fortalecimiento de nuestra institución.

Al concluir este primer año de gestión del XXXVI Consejo Directivo, podemos decir con satisfacción que avanzamos en la dirección correcta. Hemos trabajado para fortalecer la unidad gremial, impulsar la actualización profesional y consolidar la presencia del Colegio en los espacios donde se toman decisiones importantes para el desarrollo de Chihuahua. Sabemos que todavía hay mucho por hacer, pero también tenemos claro que los cambios necesarios se construyen con diálogo, voluntad y trabajo en equipo.

Uno de nuestros principales objetivos ha sido mantener un Colegio cercano a sus socios, abierto a nuevas ideas y dispuesto a evolucionar. Las actividades técnicas, los encuentros gremiales y la vinculación con instituciones académicas y organismos públicos y privados nos han permitido ampliar oportunidades de colaboración y seguir posicionando a la ingeniería civil como una profesión fundamental para el futuro de nuestro estado.

En esta edición, agradecemos especialmente a la Dra. Leticia Myriam Torres Guerra, Directora General del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), por compartir su experiencia y visión con nuestros lectores. Su participación representa una valiosa oportunidad para acercar la investigación científica y la innovación tecnológica al ejercicio de nuestra profesión. Asimismo, reconocemos la colaboración institucional que hemos fortalecido con el CIMAV, convencidos de que la vinculación entre ciencia e ingeniería abre nuevas posibilidades para nuestro gremio.

Con la llegada de las fiestas decembrinas, quiero expresar mi agradecimiento a los integrantes del Consejo Directivo, comités, colaboradores y a cada uno de nuestros socios por la confianza y el respaldo brindados durante este primer año. Los logros de nuestro Colegio son resultado del esfuerzo colectivo y del compromiso de quienes creemos en nuestra institución.

Les deseo que esta Navidad sea una oportunidad para disfrutar en familia, compartir con nuestros seres queridos y renovar energías para los retos que vienen. Que el 2027 nos encuentre con salud, nuevos proyectos y, sobre todo, con la convicción de seguir trabajando unidos.

¡Felices fiestas y un próspero Año Nuevo!

I.C. José Antonio Montes Madrid
Presidente del
XXXVI Consejo Directivo del
Colegio de Ingenieros Civiles de
Chihuahua, Chih., A. C.

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES

MISIÓN

Integrar una asociación líder en el desarrollo y aprendizaje continuo de las competencias profesionales y éticas de los ingenieros civiles para contribuir en la construcción de una comunidad con calidad de vida.

REVISTA CICDECH

MISIÓN

Presentar un modelo de excelencia para proyectar la contribución del ingeniero civil en el desarrollo de la sociedad y promover la actualización técnica, desarrollo humano y ética profesional de los socios del Colegio.

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES
DE CHIHUAHUA, CHIH. A.C.

CONSEJO DIRECTIVO XXXVI

I.C. José Antonio Montes Madrid
PRESIDENTE

I.C. Javier González Cantú
SECRETARIO GENERAL

I.C. Juan Manuel Pando Romero
SRIO. DE SERVICIO SOCIAL

I.C. Alejandro Baranda Bernádez
VICEPRESIDENTE

I.C. Javier Cárdenas Morales
TESORERO

I.C. Ismael Omar Villalobos Portillo
SRIO. DE COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN

I.C. Alma Rosa Rodríguez Gutiérrez
SRIA. DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL, ACREDITACIÓN Y CERTIFICACIÓN PROFESIONAL

CICDECH

I.C. Fernando Ortega Rodríguez
FUNDADOR DE LA REVISTA

I.C. Ismael Omar Villalobos Portillo
EDITOR EN JEFE

EDITORES ASOCIADOS

M.D.A.S. Lorena Barrera González
M.I. Javier González Cantú
M.D.A.A. Pablo Hernández Quiñones
Dr. José Martín Herrera Ramírez
Dra. Cecilia Olague Caballero
(†) I.C. Benjamín Antonio Rascón Mesta

COLABORADORES

M.S.I. Raúl Arturo Acosta Chávez
M.I. Heber Elías Chávez Chávez
M.S.I. Perla Ivonne Cordero de los Ríos
Dr. Alberto Díaz Díaz
I.C. Ricardo Zeferino Díaz Morales
M.A. Alberto Domínguez Quintana
M.A.P. Gerardo Arturo Hernández Talamantes
M.C. José Ernesto Ledezma Sillas
Dr. Juan Luis Loredo Varela
Dr. Pedro Javier Martínez Ramos
Ph.D. Ginneth Patricia Millán Ramírez
Dra. Ofelia Rivera Sasso
M.C. Daniela Yenthile Rodríguez Hernández
I.C. Rodrigo Ruiz Santos
Dr. Humberto Silva Hidalgo

CICDECH, Año 34, Núm. 211, nov - dic 2026, es una publicación bimestral editada por el Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua, Chih., A. C., Av. Politécnico Nacional No. 2706, Col. Quintas del Sol, C.P. 31250, Chihuahua, Chih., Tel: (614) 4300559 y 4300865, www.cicchihuahua.org. Editor responsable: I.C. Ismael Omar Villalobos Portillo. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04–2015-072116021400-102, ISSN 2448-6361, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido con No. 16680, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Carmona impresores, Blvd. Paseo del Sol #115, Jardines del Sol, 27014 Torreón, Coah. Distribuida por el Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua, Chih., A. C., Av. Politécnico Nacional No. 2706, Col. Quintas del Sol, C.P. 31250, Chihuahua, Chih. Este número se terminó de imprimir el 6 de noviembre del 2026 con un tiraje de 1500 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua.

Los contenidos podrán ser utilizados con fines académicos previa cita de la fuente sin excepción.

Portada

Bloque de concreto rodeado de cáscara de nuez pecana.

Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua, Chih., A. C.
Av. Politécnico Nacional No. 2706,
Col. Quintas del Sol, C.P. 31250
Chihuahua, Chih., México
Tels. (614) 4300559 y 4300865

www.cicchihuahua.org

Tel. (614) 4139779
www.roodcomunicacion.com

Indexada en directorio latindex

Edición bimestral No. 211
Año 34, noviembre - diciembre
Chihuahua, Chih.

CONTENIDO

05 Del nogal al horno rotatorio: ingeniería de procesos para la descarbonización del cemento local

08 La responsabilidad social empresarial en la industria de la construcción

12 ¿Puede una ciudad cambiar sin traicionar a quienes ya viven en ella?

14 Modelar para comprender, simular para decidir

16 **Dra. Leticia Myriam Torres Guerra,** Directora General del Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV)

18 Cosechando energía en el desierto

22 Recubrimientos orgánicos para la protección del concreto: durabilidad, funcionalidad inteligente y sostenibilidad

26 Comportamiento de la precipitación anual en la ciudad de Chihuahua de 1980 al año 2025

30 Desafíos y estrategias en la renovación de edificios: una perspectiva multidisciplinaria y estructural



DIRECTORIO COMERCIAL

FORROS

JMAS
Larsson Elevator
Municipio
GCC

INTERIORES

07 BDM Group
10 Demsa Industrial
11 Altamateriales / HERINOX
13 Portillo & Young
15 Ingeniería Civil y Eléctrica
20 Jits / Olague Consultoría
21 Heraldo de Chihuahua
24 Grupo Building
25 Maplasa
28 Spec
29 ABITAT / DEVAL
32 Refaccionaria Octavio Vázquez

Del nogal al horno rotatorio: ingeniería de procesos para la descarbonización del cemento local

Dra. Ofelia Rivera Sasso[1]

Instituto Tecnológico de Chihuahua[1]

M.C. José Ernesto Ledezma Sillas[2] y Dr. José Martín Herrera Ramírez[2]

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)[2]

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

La sinergia entre el campo y la construcción en Chihuahua

El estado de Chihuahua consolida su liderazgo no solo en el ámbito industrial y manufacturero, sino también como la principal potencia productora de nuez pecana en México. Esta vocación agrícola genera anualmente volúmenes masivos de biomasa residual, particularmente la cáscara de nuez, la cual tradicionalmente ha representado un desafío logístico y ambiental. Paralelamente, la industria de la construcción y, en particular, la cementera, enfrentan el imperativo global de reducir su huella de carbono.

Es en la intersección de estos dos mundos donde emerge una solución de economía circular de alto impacto: el coprocesamiento. Mediante esta práctica, el residuo agrícola de la nuez, junto con otros materiales locales como llantas usadas (TDF - *Tire Derived Fuel*) y plásticos, deja de ser un pasivo ambiental para convertirse en el vector energético que alimenta los hornos cementeros. Así, la infraestructura del estado se transforma desde su propia raíz agrícola.



Figura 1. Acopio de cáscara de nuez pecana como biomasa residual, lista para ser alimentada al sistema precalcinador–horno rotatorio para la sustitución térmica.



El reto de la ingeniería de procesos

Integrar biomasa y residuos en la producción de clínker de cemento requiere un rigor excepcional en la ingeniería de procesos. A escala industrial, se ha logrado un hito técnico notable: alcanzar tasas de sustitución térmica de hasta el 55 %. Esto significa que más de la mitad de la energía calorífica requerida para calcinar la caliza ya no proviene de combustibles fósiles.

Para lograr esta hazaña, la termodinámica juega un papel crucial. La cáscara de nuez actúa como una biomasa neutra en carbono que, al combinarse con TDF y plásticos, garantiza las temperaturas extremas (alrededor de 1450 °C) que demanda la clinkerización. Sin embargo, la clave operativa radica en la distribución térmica y los puntos de inyección. Cerca del 60 % de la energía térmica del sistema se consume en el precalcinador —donde se produce la descarbonatación inicial y se toleran combustibles de mayor variabilidad—, mientras que el 40 % restante se suministra en el horno rotatorio, cuyo quemador principal requiere una llama corta, brillante y de alta energía.

Parámetro de proceso	Precalcinador	Quemador principal (horno)
Temperatura operativa	800 °C - 900 °C	1450 °C - 2000 °C (llama)
Combustible típico	Cáscara de nuez, biomasa, plásticos	TDF (llantas), carbón, plásticos de alto poder calorífico
Función principal	Descarbonatación de la cáliza ($CaCO_3 \rightarrow CaO$)	Clinkerización y formación de alita (C_3S)
Tolerancia a variabilidad	Alta (mayor tiempo de residencia)	Baja (requiere perfil de llama muy estable)

Tabla 1. Comparativa de parámetros de proceso entre el precalcinador y el quemador principal del horno.

Es importante desmitificar el impacto ambiental de este proceso. Análisis termogravimétricos acoplados a espectrometría de masas (TGA-MS) han demostrado que, bajo las condiciones oxidantes del horno cementero, estos residuos combustionan eficientemente liberando principalmente dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). No se generan trazas de gases corrosivos o altamente tóxicos, como dioxinas o furanos, garantizando la seguridad atmosférica.

Efectos en la matriz del cemento: lo que el ingeniero civil debe saber

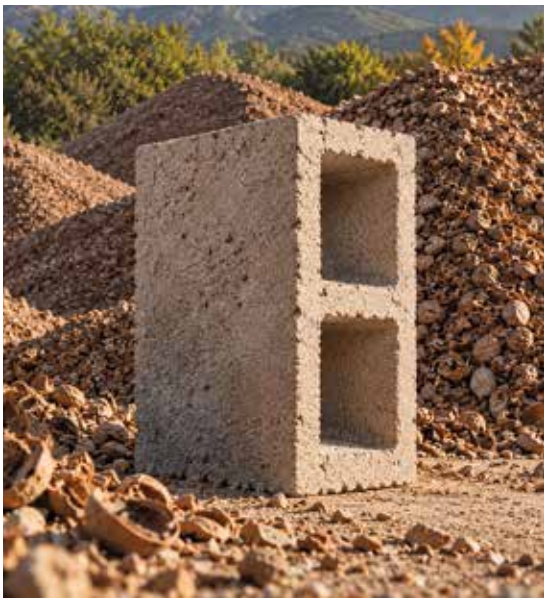
Desde la perspectiva de la ingeniería de materiales, el coprocesamiento altera la química del clínker de forma muy específica. El cambio más destacable, evidenciado en la literatura científica reciente, es la evolución mineralógica que eleva la fase alita (C_3S) hasta un ~70 %, superando los rangos convencionales del cemento Portland estándar. Esto ocurre porque los combustibles alternativos generan picos térmicos localizados en el sistema precalcinador–horno, acelerando la síntesis de C_3S. En la práctica, esta mayor presencia de alita se traduce directamente en un desarrollo más acelerado de la resistencia a la compresión inicial del cemento. Adicionalmente, las elevadas temperaturas registradas favorecen la estabilización de polimorfos de alta energía interna (C_3S-M3), lo que potencia tanto la cinética de hidratación como la reactividad hidráulica del clínker resultante.

Componente / fase	Clinker convencional	Clinker vía coprocesamiento (alta sustitución)
Fase alta (C_3S)	50 % - 65 %	Hasta 70 %
Polimorfo dominante	M1 / M3 estándar	Estabilización de C_3S-M3 de alta energía
Inclusión de elementos traza	Mínima	Incorporación de zinc (Zn) y ceniza en la red cristalina
Cinética de hidratación y resistencia	Desarrollo estándar de resistencia	Mayor reactividad inicial y resistencia a edades tempranas

Tabla 2. Efecto del coprocesamiento con combustibles alternativos en las características del clínker.

Las cenizas residuales de la cáscara de nuez y del TDF aportan componentes minerales y elementos traza —como el calcio y el zinc, este último proveniente de la vulcanización de las llantas— que se integran directamente en la red cristalina del clínker en estado fundido. Asimismo, la química de los gases y la volatilidad de los álcalis se monitorean de forma exhaustiva para prevenir patologías a largo plazo en el concreto, como la expansión por reacción álcali-sílice (RAS). Como resultado, se obtiene un producto que cumple estrictamente con las normativas de calidad, sin comprometer su integridad química ni su desempeño estructural.





Impacto en la práctica profesional del ingeniero civil

Para el estructurista, el residente de obra o el supervisor, estos cambios en el "ADN" del cemento tienen implicaciones prácticas ineludibles:

- **Desarrollo acelerado de resistencias tempranas.** El incremento en la fase alita optimiza los tiempos de cimbrado, descimbrado y los ciclos en plantas de prefabricados.
- **Optimización del diseño de mezclas.** Dado que los cementos con alta alita pueden presentar incrementos en el calor de hidratación y variaciones en la demanda de sulfatos, se exige una dosificación precisa en colados masivos o bajo las temperaturas extremas de Chihuahua.
- **Ventaja en certificaciones sustentables.** Proyectar con cemento descarbonizado facilita la obtención de créditos en certificaciones internacionales como LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) o EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*), elevando la plusvalía de proyectos inmobiliarios e infraestructura.

Conclusión: hacia una construcción resiliente y regional

El hito tecnológico de transformar la cáscara de nuez y los residuos industriales en el esqueleto estructural de nuestras ciudades es un triunfo de la ingeniería aplicada. Para el sector de la construcción, adoptar estos avances no solo representa una actualización técnica, sino asumir un rol ambientalmente proactivo.

La integración de esta sinergia genera un impacto multidimensional. Por un lado, la sustitución térmica mediante biomasa neutra y residuos industriales permite lograr una descarbonización cuantificable, reduciendo sustancialmente la huella de carbono del clínker al desplazar masivamente combustibles fósiles intensivos como el carbón bituminoso o el gas natural y evitar sus emisiones de CO_2 asociadas. Por otro lado, en términos de calidad, la mayor presencia de C_3S asegura un desempeño mecánico superior al garantizar un desarrollo acelerado de la resistencia a la compresión inicial.

Al formular concretos basados en cementos producidos con residuos coprocesados, la ingeniería civil chihuahuense garantiza el desempeño estructural de sus obras mientras se erige como el motor definitivo de la economía circular. De este modo, se demuestra que el progreso y la resiliencia del estado se cimientan, literalmente, en sus propias raíces.

Referencias:

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2025). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: Cierre de la producción de Nuez Pecana por entidad federativa (Chihuahua). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Gobierno de México.
Rivera Sasso, O., et al. (2025). Laboratory Quantification of Gaseous Emission from Alternative Fuel Combustion: Implications for Cement Industry Decarbonization. *Materials*, 18, 4859.
Rivera Sasso, O., et al. (2025). Thermal Behavior and Gas Emissions of Biomass and Industrial Wastes as Alternative Fuels in Cement Production: A TGA-DSC and TGA-MS Approach. *Energies*, 18, 2337.
Rivera Sasso, O., et al. (2024). Valorization of Biomass and Industrial Wastes as Alternative Fuels for Sustainable Cement Production. *Clean Technologies*, 6, 814.



BDM
ESTRUCTURAL
ARQUITECTURA

SERVICIOS
- DISEÑO ESTRUCTURAL
- REVISIÓN Y CONSULTORÍA
- CORRESPONSABLE ESTRUCTURAL
- PROYECTOS BIM
- INGENIERÍA DE DETALLE
- ESCANEO LÁSER (NUBE DE PUNTOS)
- PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS

A3NR Tekla

CONTÁCTANOS
+52 (614) 394 6479
+52 (614) 515 3083
CGOMEZ@BDMGROUP.MX
CTREVIZO@BDMGROUP.MX
BDM ESTRUCTURAL GROUP
WWW.BDMGROUP.MX
CALLE SEGUNDA #2016, COL. CENTRO
CP. 31000, CHIHUAHUA, CHIH. MÉX

La responsabilidad social empresarial en la industria de la construcción

Implicaciones para una obra segura sostenible y competitiva

Dr. Pedro Javier Martínez Ramos[1] y Dr. Juan Luis Loredo Varela[1]

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)[1]

M.C. Daniela Yenthile Rodríguez Hernández[2]

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas[2]

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

La construcción transforma el territorio y deja efectos que permanecen durante décadas. Cada vivienda, carretera, nave industrial o sistema hidráulico modifica el ambiente, moviliza empleo y proveeduría y condiciona la vida de una comunidad. Por ello, la responsabilidad social empresarial (RSE) en este sector no puede reducirse a donativos o campañas de imagen: se expresa en la seguridad de la obra, la calidad estructural, el trato a la mano de obra subcontratada, el uso de agua y materiales, la integridad de las contrataciones y la relación con vecinos y usuarios (Xia *et al*., 2018; Domínguez Díaz, 2020).

En la realidad operativa, la adopción de este enfoque sigue siendo desigual. En México, y de forma particular en regiones como Chihuahua, las pequeñas y medianas empresas constructoras muestran una clara conciencia ética y ambiental, pero suelen aplicarla de manera fragmentada (Martínez Méndez *et al*., 2015; Ontiveros-Gómez *et al*., 2024). Persisten barreras para convertir las buenas intenciones en un sistema estable de gestión. Ante la rápida expansión urbana e industrial y los severos desafíos de escasez hídrica en el estado, la RSE deja de ser una opción teórica para convertirse en una necesidad práctica que debe respaldarse con decisiones e indicadores verificables.

Bajo esta perspectiva, las dimensiones de la RSE: personas, ambiente, calidad, comunidad y competitividad; no constituyen programas separados, sino un engranaje continuo durante todo el ciclo de vida del proyecto. Las condiciones de contratación influyen en la seguridad del trabajador; las decisiones de diseño determinan el consumo de recursos; la trazabilidad de los materiales protege al usuario final; y el diálogo transparente con los vecinos previene litigios que afectan costo y plazo. En última instancia, la información social y ambiental adquiere verdadero valor cuando transforma las decisiones técnicas y comerciales desde la planeación, en lugar de quedarse confinada en un informe posterior (Zhao *et al*., 2012; Goh *et al*., 2020).

La RSE abarca toda la obra

La RSE comienza al definir la necesidad y el sitio del proyecto; continúa en el diseño, la contratación, la ejecución y la entrega; y permanece durante la operación, el mantenimiento y el fin de vida del activo. Esta perspectiva evita identificar sostenibilidad únicamente con eficiencia energética: un edificio puede consumir menos energía y, aun así, haber sido construido con pagos tardíos, condiciones laborales deficientes o impactos comunitarios no atendidos. Como cliente, proyectista, constructor, supervisor, subcontratistas y proveedores intervienen en momentos distintos, los compromisos deben traducirse en requisitos verificables que viajen con el presupuesto, el programa, las especificaciones y los contratos. En proyectos mexicanos, integrar derechos laborales, inclusión, anticorrupción y participación desde la planeación permite equilibrar mejor las dimensiones ambiental, social y económica (Arcila Novelo *et al*., 2021).

Seguridad, trabajo digno y cadena de suministro

La primera prueba de RSE es proteger a quienes ejecutan la obra, incluidos trabajadores propios, subcontratistas, operadores, visitantes y población expuesta. Además de accidentes, deben revisarse capacitación efectiva, observaciones preventivas, acciones correctivas, jornadas, pago oportuno, protección social, igualdad de oportunidades y mecanismos de queja. La equidad de género exige remuneraciones comparables, equipo de protección adecuado, instalaciones dignas y protocolos contra el hostigamiento. La empresa principal no puede exigir certificaciones o trazabilidad mientras fija precios y plazos incompatibles: la selección de proveedores debe considerar capacidad real, historial de seguridad, cumplimiento laboral y disposición para corregir. Los reportes internacionales todavía omiten información relevante sobre ocupaciones de alto riesgo y prácticas de seguridad en la cadena, mientras la compra social requiere metas y medición para producir empleo y valor local reales (Mavroulidis *et al*., 2022; Lou *et al*., 2023).

Desempeño ambiental y economía circular

La huella de una obra comienza con la extracción y fabricación de materiales y continúa con transporte, construcción, operación y fin de vida. En Chihuahua deben considerarse conjuntamente energía y agua: orientación, aislamiento y sombreado inciden en la demanda térmica, mientras captación pluvial, detección de fugas y paisajismo apropiado reducen la presión hídrica. La economía circular amplía el análisis al preguntar qué materiales pueden evitarse, conservarse, desmontarse, reutilizarse o reciclarse. Prevenir desperdicios suele generar más valor que disponer de ellos después, porque reduce compras, traslado y manejo. Para que estas decisiones sean comparables, convie-



ne medir consumo por unidad de obra, residuos generados y recuperados, emisiones e incidentes ambientales; la evidencia internacional confirma que el reúso requiere planear desmontaje, logística e información de materiales, no solo separar residuos al final (Ogunmakinde *et al*., 2022).

Calidad, integridad y protección de usuarios

Garantizar la calidad es un acto de RSE: omitir una prueba, aceptar un material fuera de especificación o autorizar un cambio sin trazabilidad compromete la seguridad y el patrimonio de las personas mucho tiempo después de entregada la obra. La gestión responsable conserva trazabilidad, controla modificaciones y entrega información para operar y mantener el activo; la presión por reducir costo o tiempo nunca justifica ocultar un riesgo. La integridad resulta igualmente decisiva por el valor de contratos, permisos, estimaciones y compras. Un código de ética es insuficiente sin criterios documentados de adjudicación, declaraciones de conflicto de interés, revisión de cambios y pagos, canales de denuncia y controles sobre intermediarios. El análisis de empresas constructoras muestra que la divulgación anticorrupción puede ser incompleta, por lo que reputación y rendición de cuentas deben apoyarse en evidencia del funcionamiento de los controles (Saenz y Brown, 2018).

Comunidades y licencia social para operar

Las comunidades experimentan tránsito pesado, cierres, polvo, ruido, vibraciones y cambios de acceso, de modo que un permiso legal no garantiza aceptación social. La confianza exige información oportuna, un responsable de enlace, registro de quejas, plazo de respuesta y verificación de compromisos; el mapa de actores debe actualizarse conforme cambia la fase del proyecto. La inversión comunitaria también debe relacionarse con los efectos de la obra: capacitación, empleo local, seguridad vial o recuperación de espacios suelen ser más pertinentes que una donación aislada. Participar no significa trasladar decisiones técnicas, sino explicar restricciones, escuchar conocimiento local y evaluar alternativas razonables. La literatura sobre proyectos de construcción subraya que reconocer poder, legitimidad y urgencia de los actores mejora la anticipación de conflictos y evita que las acciones sociales se conviertan en compensaciones simbólicas (Uribe Macías, 2017).

Competitividad basada en capacidades

La RSE puede fortalecer la competitividad, aunque no produce automáticamente mayor rentabilidad. Sus beneficios inmediatos aparecen como riesgos evitados y capacidades desarrolladas: menos accidentes y retrabajos, proveedores más confiables, mejor retención, información útil para licitaciones y relaciones estables con clientes y comunidades. En empresas constructoras, los beneficios percibidos se concentran en reputación, oportunidades de negocio y reducción del riesgo de suministro; en PyMEs mexicanas, la implantación gradual puede comenzar con diagnóstico, clima laboral, satisfacción del cliente, revisión de impactos y mejora continua. La ventaja surge cuando esa información corrige causas y mejora la estimación y la operación, no por obtener un distintivo. Por ello, la RSE funciona mejor como capacidad organizacional integrada con productividad y aprendizaje que como costo o programa paralelo (Loosemore y Lim, 2017; Zhang *et al*., 2022; Mendoza-González *et al*., 2023).

Una ruta práctica para las empresas de Chihuahua

La implementación puede comenzar con un proyecto piloto. Primero se identifican impactos según el tipo de obra y su ubicación. Después se contrastan con la experiencia de trabajadores, contratistas, clientes y comunidad. Con esa información se eligen pocas prioridades, se asignan responsables y se incorporan requisitos a presupuesto, programa y contratos. Mendoza-González *et al* (2023) propone para PyMEs una secuencia útil de diagnóstico, evaluación del clima laboral y satisfacción del cliente, revisión de impactos y mejora continua.

En la Tabla 1, se pueden observar los indicadores. Cada uno necesita fuente, periodo, responsable y regla de cálculo. La dirección debe revisarlos junto con costo, plazo y calidad, durante el proceso de planeación, no después. Al cierre conviene registrar qué funcionó, qué quejas persisten, qué materiales se recuperaron y qué proveedores requirieron apoyo. Compartir criterios básicos entre colegios, cámaras, clientes y universidades reduciría cargas duplicadas y facilitaría que el aprendizaje pase de una obra a la siguiente.

La escala puede ajustarse al tamaño de la organización. Una empresa pequeña puede utilizar una hoja mensual por obra; una firma con varios proyectos requerirá definiciones comunes y consolidación. Lo indispensable es mantener continuidad, explicar cambios de método y utilizar los resultados para decidir. Medir sin revisar ni corregir solo añade carga administrativa.

Dimensión	Evidencia e indicadores posibles
Personas	Acciones preventivas cerradas; cumplimiento de contratistas; clima laboral; pagos oportunos.
Ambiente	Agua y energía por unidad de obra; residuos generados y recuperados; incidentes ambientales.
Calidad - integridad	Pruebas aceptadas; retrabajos; cambios trazables; denuncias y pagos revisados.
Comunidad y cadena	Quejas cerradas; compras locales; empleo regional; desempeño de proveedores.

Tabla 1. Dimensiones básicas para una obra responsable. Fuente: elaboración propia.

Conclusión

La RSE en la construcción se reconoce en la manera de diseñar, contratar, ejecutar y aprender. Protege a trabajadores y usuarios, reduce presiones ambientales, ordena la relación con proveedores y comunidades y fortalece la integridad. No exige comenzar con un sistema complejo, sino identificar impactos materiales, asignar responsabilidades, extender criterios a la cadena y medir de forma consistente. En Chihuahua, cada decisión profesional ofrece un punto de aplicación: especificar un material, proteger una excavación, validar una estimación, informar a una comunidad o rechazar una práctica irregular. La obra socialmente responsable, se distingue por la evidencia de que fue realizada con cuidado hacia las personas, el ambiente y el patrimonio que permanecerá.



Referencias:

Arcila Novelo, R. A., Álvarez Romero, S. O., Corona Suárez, G. A. y Morales Ramírez, J. D. (2021). Social sustainability in the planning, design, and construction in developing countries: Guidelines and feasibility for México. *Civil Engineering and Architecture*, 9(4), 1075–1083. https://doi.org/10.13189/cea.2021.090410

Domínguez Díaz, A. M. (2020). Empresas constructoras y responsabilidad social corporativa: ¿es posible? Trascender, Contabilidad y Gestión, 15, 66–78. https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.89

Goh, C. S., Chong, H. Y., Jack, L. y Faris, A. F. M. (2020). Revisiting triple bottom line within the context of sustainable construction: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119884. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119884

Loosemore, M. y Lim, B. T. H. (2017). Linking corporate social responsibility and organizational performance in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 35(3), 90–105. https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1242762

Lou, C. X., Natoli, R., Goodwin, D., Bok, B., Zhao, F. y Zhang, P. (2023). A systematic literature review of research on social procurement in the construction and infrastructure sector. *Sustainability*, 15, 12964. https://doi.org/10.3390/su151712964

Martínez Méndez, R., Vera Muñoz, M. A. M. y Vera Muñoz, J. G. S. (2015). Responsabilidad social empresarial en las pequeñas empresas constructoras de Puebla, México. *Revista Global de Negocios*, 3(3), 31–41.

Mavroulidis, M., Vouros, P., Fotiadis, S., Konstantakopoulou, F., Fountoulakis, G., Nikolaou, I. y Evangelinos, K. (2022). Occupational health and safety of multinational construction companies through evaluation of corporate social responsibility reports. *Journal of Safety Research*, 81, 45–54. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.01.005

Mendoza-González, F., Córdova-Escobedo, J. F., Ocampo-Ramírez, A. y López-Liévano, A. (2023). Implementation of corporate social responsibility in commercial MSMEs of the construction industry, based on CEMEFI. *Journal of Microfinance Planning and Control*, 9(24), 1–7. https://doi.org/10.35429/JMPC.2023.24.9.1.7

Ogunmakinde, O. E., Sher, W. y Egbelakin, T. (2022). Contributions of the circular economy to the UN sustainable development goals through sustainable construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106023. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106023

Ontiveros-Gómez, S., Ortega-Montes, F. I., Sánchez-Bernal, J. A. y Rubio-Arias, H. O. (2024). Corporate social responsibility in two micro, small and medium-sized enterprises in Chihuahua, Mexico. *ECORFAN Journal-Mexico*, 15(32), 1–8. https://doi.org/10.35429/EJM.2024.32.15.1.8

Saenz, C. y Brown, H. (2018). The disclosure of anticorruption aspects in companies of the construction sector: Main companies worldwide and in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 196, 259–272. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.045

Uribe Macías, M. E. (2017). Análisis de stakeholders de proyectos de construcción desde la responsabilidad social empresarial. *Cuadernos de Administración*, 33(58), 58–76. https://doi.org/10.25100/cdea.v33i58.4517

Xia, B., Olanipekun, A., Chen, Q., Xie, L. y Liu, Y. (2018). Conceptualising the state of the art of corporate social responsibility in the construction industry and its nexus to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 195, 340–353. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.157

Zhang, Q., Oo, B. L. y Lim, B. T. H. (2022). Linking corporate social responsibility practices and organizational performance in the construction industry: A resource collaboration network. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106113. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106113

Zhao, Z. Y., Zhao, X. J., Davidson, K. y Zuo, J. (2012). A corporate social responsibility indicator system for construction enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 29–30, 277–289. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.036





614 410 1020 — Chihuahua · Cd. Juárez · Delicias — 614 167 0560

www.altamateriales.com.mx

HERINOX

ACEROS, METALES Y SERVICIOS

La materia prima de tu industria.

Venta directa en 9 sucursales y envíos foráneos.

¿No está en la lista?
Lo conseguimos.



01
Acero inoxidable
Resiste donde otros se oxidan.



02
Acero al carbón
Estructura al mejor costo.



03
Aluminio
Un tercio del peso del acero.



04
Acero grado maquinaria
Para piezas que trabajan duro.

herinox.com.mx

Escanea y visita nuestro sitio web.

ADEMÁS, CONTAMOS CON SERVICIOS

Corte láser · Doblez · Rolado

Recibe tu material listo para fabricar.





¿Puede una ciudad cambiar sin traicionar a quienes ya viven en ella?

M.D.A.A. Pablo Hernández Quiñones

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

Imaginemos una familia que hace treinta años compró una casa en una colonia tranquila. La eligió porque buscaba calles silenciosas, baja densidad, árboles, privacidad y un ritmo de vida muy distinto al del centro urbano. Con el paso de los años pagó su hipoteca, vio crecer a sus hijos, conoció a sus vecinos y construyó buena parte de su proyecto de vida alrededor de ese barrio. A fin de cuentas, no solo compró una casa, compró una manera de vivir.

Ahora imaginemos que, de un día para otro, esa misma colonia comienza a transformarse. Llegan nuevos edificios, aumenta el tránsito, cambian los usos del suelo y aparecen comercios donde antes solo había viviendas.

La ciudad evoluciona. Pero también cambia el entorno que esa familia eligió hace décadas para construir su vida. Y ahí aparece una pregunta que, desde mi perspectiva, pocas veces nos hacemos cuando hablamos de redensificación: ¿Hasta dónde tiene derecho una ciudad a cambiar sin romper el proyecto de vida de quienes apostaron por ella?

Con frecuencia, el debate urbano se centra en la altura de los edificios, la densidad permitida o las modificaciones a los reglamentos. Sin embargo, quizá el verdadero desafío sea otro.

¿Cómo transformamos nuestras ciudades sin hacer sentir a sus habitantes que perdieron el lugar que un día decidieron llamar hogar? Creo que esa es una de las preguntas más complejas —y al mismo tiempo más humanas— que enfrenta hoy el urbanismo.

El verdadero reto no son los edificios

Cuando hablamos de redensificar una ciudad solemos discutir alturas, densidades, cambios de uso de suelo o capacidad de la infraestructura. Todas esas variables son importantes, pero creo que ninguna representa el desafío más complejo.

El verdadero reto consiste en lograr que la ciudad evolucione sin romper el vínculo de confianza que las personas construyeron con el lugar donde decidieron vivir. Porque una vivienda no es solamente un patrimonio. Es una decisión de largo plazo.

Cuando una familia compra una casa, no solo adquiere un terreno o una construcción. También elige un entorno, una comunidad, una forma de relacionarse con sus vecinos y un ritmo cotidiano. En otras palabras, elige una manera de vivir la ciudad. Por eso, cuando un barrio cambia, no solo cambia su imagen urbana. También cambia parte del proyecto de vida de quienes confiaron en él.

Un contrato que nunca se firma

Me gusta pensar que, además del contrato legal mediante el cual una persona adquiere una vivienda, existe otro mucho menos visible. Podríamos llamarlo el contrato urbano. No aparece en una escritura pública. No está regulado por ninguna ley, y sin embargo, existe.

Cuando una familia decide establecerse en una colonia, deposita su confianza en ese lugar. Confía en la tranquilidad de sus calles, en la escala de sus construcciones, en la cercanía de un parque, en la relación con sus vecinos y, sobre todo, en una determinada forma de vivir.

Ese contrato nunca garantiza que la ciudad permanecerá exactamente igual. Sería imposible.

Las ciudades cambian. Siempre lo han hecho. Pero una cosa es evolucionar y otra muy distinta es transformar un barrio con tanta rapidez que quienes apostaron por él sientan que la ciudad dejó de cumplir aquello que les ofrecía cuando decidieron construir ahí su vida.

Quizá ahí se encuentre uno de los mayores desafíos del urbanismo contemporáneo. No solo planear el crecimiento. Sino hacerlo de tal manera que fortalezca —y no debilite— la confianza entre la ciudad y sus habitantes.

Evolucionar no siempre significa sustituir

Si aceptamos que las ciudades necesitan cambiar, entonces aparece una pregunta inevitable: ¿Cómo hacerlo sin romper ese contrato urbano?



Durante muchos años pareció que solo existían dos caminos: conservar los barrios exactamente como están o sustituirlos mediante grandes desarrollos inmobiliarios. Sin embargo, el urbanismo contemporáneo ha comenzado a explorar una tercera alternativa.

En *Soft City* (2019), el arquitecto danés David Sim propone que las ciudades pueden crecer de manera gradual, respetando la escala humana y la vida cotidiana de quienes ya las habitan. Esa visión coincide con el concepto de *gentle density*, ampliamente utilizado en Canadá y en diversas ciudades europeas para describir procesos de densificación compatibles con barrios consolidados.

La idea es sencilla, pero profundamente transformadora: redensificar no significa llenar una colonia de torres. Puede significar incorporar nuevos habitantes mediante dúplex, tríplex, pequeños edificios de tres o cuatro niveles, vivienda sobre comercios de proximidad o desarrollos de escala intermedia que dialoguen con el contexto existente.

No se trata únicamente de construir más viviendas. Se trata de integrarlas. Porque existe una diferencia enorme entre sustituir un barrio y permitir que evolucione. La primera rompe su identidad, la segunda la fortalece.

La velocidad también importa

Hay otro aspecto del que pocas veces hablamos: no solo importa cómo cambia una ciudad. También importa qué tan rápido cambia.

Un barrio que evoluciona gradualmente permite que sus habitantes se adapten, que las nuevas dinámicas se integren de manera natural y que la comunidad participe en esa transformación.

Por otro lado, cuando los cambios ocurren de forma abrupta, es fácil que aparezca la sensación de pérdida. No porque la ciudad esté cambiando. Sino porque el ritmo del cambio supera la capacidad de las personas para hacerlo suyo.

Quizá el urbanismo también deba aprender a planear los tiempos de la ciudad. No únicamente sus espacios.

Conclusión

Las ciudades no pueden permanecer inmóviles. Sería tanto como renunciar a responder a los desafíos del futuro. Pero tampoco deberían transformarse de espaldas a quienes les dieron identidad durante décadas.

Tal vez el verdadero éxito de una estrategia de redensificación no consista en cuántas viviendas nuevas logra incorporar, sino en su capacidad para integrar a nuevos habitantes sin expulsar, física o emocionalmente, a quienes ya forman parte de ese lugar.

Porque las ciudades más exitosas no son las que sustituyen constantemente su historia. Son aquellas que encuentran la manera de evolucionar sin romper la confianza de quienes decidieron construir su vida en ellas.

Y quizá esa sea la pregunta que debería acompañar cualquier proyecto urbano, por ambicioso que parezca.

¿Estamos construyendo una ciudad diferente... o una ciudad mejor para todos?

Referencias:

Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
Sim, D. (2019). *Soft city: Building density for everyday life*. Island Press.
Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1977). *A pattern language: Towns, buildings, construction*. Oxford University Press.



PORTILLO Y YOUNG. S.C.
INGENIEROS CONSULTORES
Ave. Independencia 514 - 300 Chihuahua, Chih., México C.P. 31000
Email : pyoung@pyysc.com.mx T: (614) 416-0272 (614) 416-6812
DISEÑO ESTRUCTURAL
CORRESPOSABLES ESTRUCTURALES
SUPERVISIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE OBRA
ASESORÍA



Dr. Alberto Díaz Díaz

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

Modelar para comprender, simular para decidir

En la ingeniería civil, la modelación y la simulación computacional se han convertido en herramientas habituales para analizar el comportamiento de estructuras, cimentaciones y otros sistemas sometidos a acciones complejas. Métodos numéricos, como el de elementos finitos, permiten estimar esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, así como predecir la respuesta estructural ante cargas de servicio, viento o sismos. Estas técnicas permiten explorar distintos escenarios, comparar alternativas y anticipar la respuesta de los sistemas antes de intervenir en la estructura real. El propósito de este artículo es presentar la modelación y la simulación como medios para representar, explorar y analizar sistemas de ingeniería, destacando tanto sus posibilidades como los criterios necesarios para utilizar sus resultados de manera confiable. Para ello, se describe brevemente el proceso que va desde el problema real hasta el modelo computacional, las posibilidades que ofrece la simulación y los elementos que deben considerarse al interpretar sus resultados.

Todo proceso de modelación comienza con una pregunta bien definida. Considérese, por ejemplo, una edificación de una planta, formada por una losa superior soportada por cuatro columnas idénticas, con un tinaco lleno y cerrado colocado sobre la losa, cuya cimentación está sometida a una vibración horizontal conocida: ¿cuál es el desplazamiento horizontal máximo que puede alcanzar la losa? La pregunta determina qué respuesta se busca y, al mismo tiempo, orienta qué aspectos del sistema deben representarse. No se trata de describir exhaustivamente la construcción, sino de identificar la información necesaria para responder una cuestión concreta. Esta es una diferencia importante entre modelar y simplemente reproducir una geometría: el modelo se construye con un propósito definido y su complejidad debe ser coherente con ese propósito.

El siguiente paso consiste en establecer hipótesis y construir un modelo físico. Para el ejemplo anterior, podría suponerse que la losa se comporta como un diafragma rígido, que las cuatro columnas presentan el mismo comportamiento lateral, que los desplazamientos son pequeños y que el comportamiento estructural es lineal-elástico. También puede suponerse que el tinaco está rígidamente unido a la losa y que el agua se mueve junto con el recipiente, por lo que su masa se suma a la masa equivalente de la estructura. Si la respuesta está dominada por un solo modo de vibración, las cuatro columnas pueden sustituirse por un único resorte cuya rigidez lateral equivalente es la suma de las rigideces en flexión de cada uno. El sistema real se idealiza mediante un modelo reológico de un grado de libertad: una masa *m*, que representa la masa equivalente de la losa, el tinaco y los elementos asociados, conectada a la base mediante un resorte de rigidez *k* y un amortiguador de coeficiente *c*, dispuestos en paralelo (Figura 1). La simplificación no es una deficiencia del modelo, sino una decisión consciente sobre qué conservar y qué omitir para responder la pregunta planteada. Todo modelo tiene, por lo tanto, un propósito y un rango de validez que deben reconocerse al interpretar sus resultados (Box, 1976).

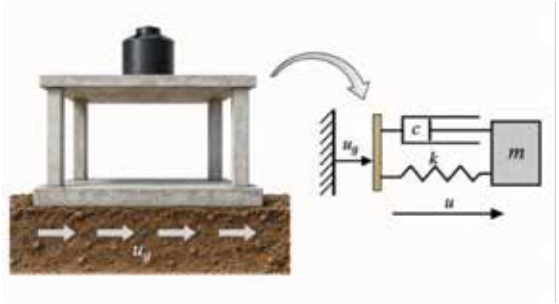


Figura 1. Del sistema real al modelo físico idealizado de un grado de libertad.

Una vez definido el modelo físico, sus relaciones deben expresarse matemáticamente. Las ecuaciones utilizadas en ingeniería suelen provenir de teorías físicas bien establecidas, de principios de conservación y de relaciones constitutivas. Para el sistema idealizado de la Figura 1, el equilibrio dinámico puede escribirse como:

$$m\,\ddot{u} + c\,\dot{u} + ku = -m\,\ddot{u}_g\,(t)$$

Donde $u\,(t)$ representa el desplazamiento horizontal de la masa respecto de la base y $\ddot{u}_g\,(t)$ la aceleración horizontal impuesta al terreno. Los parámetros *m, c* y *k*, junto con las condiciones iniciales, completan el modelo matemático. En particular, si cada columna tiene una rigidez lateral k_c, bajo las hipótesis adoptadas, la rigidez equivalente puede expresarse como $k = 4k_c$. La ecuación resume la relación entre la excitación y la respuesta de la estructura y constituye una representación matemática del problema físico planteado.



Aunque algunos modelos matemáticos admiten soluciones analíticas, en numerosos problemas de ingeniería las ecuaciones deben resolverse mediante métodos numéricos. Un modelo computacional es la representación numérica del modelo matemático, preparada para que sus ecuaciones puedan resolverse mediante algoritmos en una computadora. En el ejemplo, la ecuación de movimiento puede transformarse en un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden e integrarse paso a paso en el tiempo mediante un método como el de Runge-Kutta de segundo orden (RK2). En cada incremento temporal se obtienen aproximaciones del desplazamiento y la velocidad hasta construir la historia de respuesta *u (t)*, de la cual puede determinarse el desplazamiento máximo buscado (Figura 2). La elección del paso de tiempo, del algoritmo de solución y de los criterios de convergencia forma parte de la construcción del modelo computacional (Zienkiewicz *et al*., 2013). Es importante recordar que la computadora no reproduce directamente la realidad: resuelve el problema matemático que se le ha planteado.

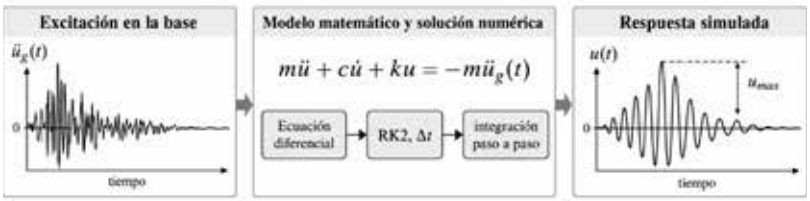


Figura 2. Esquema del proceso de simulación: excitación horizontal en la base, solución numérica del modelo matemático y obtención de la historia de desplazamiento relativo *u (t)* y de su valor máximo.

Antes de utilizar estos resultados para tomar decisiones, es necesario evaluar qué tan confiable es la simulación. La verificación numérica busca determinar si las ecuaciones del modelo matemático se han resuelto correctamente; en el ejemplo, podría comprobarse que, al reducir el paso de tiempo, el desplazamiento máximo converge a un valor estable o bien comparar el resultado numérico con una solución de referencia. La validación del modelo responde a una pregunta diferente: si las hipótesis, simplificaciones, ecuaciones y parámetros adoptados representan adecuadamente el comportamiento físico del sistema para los propósitos del estudio. Esta validación puede realizarse mediante la comparación directa con resultados experimentales o, cuando resulte apropiado, con resultados teóricos o con modelos de referencia previamente contrastados con evidencia experimental. Finalmente, el análisis de incertidumbre permite estudiar cómo las variaciones asociadas con las propiedades de los materiales, las cargas, las condiciones de frontera u otros datos de entrada afectan las predicciones obtenidas (Oberkampf & Roy, 2010). Estas comprobaciones son esenciales porque una solución numéricamente convergente no garantiza, por sí sola, que el modelo represente correctamente la realidad.

Una vez establecido un nivel de confianza adecuado, la simulación puede utilizarse como laboratorio virtual. En el ejemplo, sería posible estudiar cómo varía el desplazamiento máximo al modificar la masa del tinaco, la rigidez lateral de las columnas, el amortiguamiento o las características de la excitación; también podrían compararse distintas configuraciones estructurales antes de llevarlas a la práctica. De manera más general, una simulación permite describir relaciones entre variables, explicar mecanismos físicos, predecir comportamientos en condiciones no ensayadas y evaluar alternativas de diseño. También permite estimar variables cuya medición experimental puede resultar difícil o estar limitada a ciertos puntos. Su mayor utilidad no radica en producir más gráficos o datos, sino en permitir formular preguntas del tipo "¿qué ocurriría si...?" y analizar sistemáticamente las consecuencias de distintas hipótesis y decisiones de diseño.

La modelación y la simulación no sustituyen la experimentación ni el criterio del ingeniero; los complementan. Un modelo bien planteado obliga a formular con claridad la pregunta, a hacer explícitas las hipótesis, a identificar los mecanismos relevantes y a reconocer los límites dentro de los cuales sus predicciones resultan útiles. La simulación permite entonces explorar alternativas, anticipar respuestas y reducir la incertidumbre antes de intervenir en el sistema real, pero la decisión final exige interpretar los resultados a la luz del problema de ingeniería y de las limitaciones del modelo. Modelar, en este sentido, es una forma de comprender; simular, una herramienta para decidir.

Referencias:

Box, G. E. P. (1976). Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), 791–799.
Oberkampf, W. L., & Roy, C. J. (2010). Verification and validation in scientific computing. Cambridge University Press.
Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). The finite element method: Its basis and fundamentals (7th ed.). Butterworth-Heinemann.

INGENIERÍA CIVIL Y ELÉCTRICA
DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN
614 435 0135 aurora_bo@hotmail.com
DISEÑOS ESTRUCTURALES:
- PLANTAS MAQUILADORAS
- HOSPITALES
- COMPLEJOS INDUSTRIALES
- FRACCIONAMIENTOS RESIDENCIALES
- GESTIÓN DE TRÁMITES ANTE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA



El pasado 25 de octubre, el CIMAV conmemoró su XXXII aniversario, consolidado como un centro de investigación de clase mundial que contribuye al fortalecimiento de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación en los ámbitos regional y nacional, con especial énfasis en las áreas de materiales, energía y medio ambiente. En este marco se entrevistó a la Dra. Leticia Torres Guerra, Directora General del CIMAV, quien abordó la oferta académica de la institución y sus líneas de investigación, así como la importancia de la vinculación entre la ingeniería civil y la investigación científica.

La Doctora cuenta con una extensa trayectoria vinculada con la ciencia de materiales, la investigación científica y la búsqueda de soluciones tecnológicas a problemas concretos, respaldada por diversos reconocimientos a nivel nacional e internacional.

En diciembre de 2019 asumió la dirección del Centro de Investigación en Materiales Avanzados y en 2024 fue ratificada para continuar en el cargo durante el periodo 2024-2027.

"Dirigir el CIMAV representa una enorme responsabilidad, pero también un privilegio porque mi designación no fue una imposición, participamos cinco investigadores que fuimos calificados por la misma comunidad del CIMAV y posteriormente por las autoridades de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), quienes me eligieron. Así que hasta ahora han sido siete años con mucha ilusión y con mucha dedicación, porque soy una mujer muy comprometida profesional y personalmente".

"Estar al frente del Centro implica cuidar y fortalecer las capacidades que se han construido durante décadas, pero al mismo tiempo mirar hacia adelante", agregó.

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra

Directora General del Centro en Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV)

El CIMAV ofrece actualmente cinco programas de posgrado: *"Contamos con la Maestría en Ciencia de Materiales y la Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental; así como con el Doctorado en Ciencia de Materiales, el Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental y el Doctorado en Nanotecnología. Estos programas están estrechamente vinculados con nuestras capacidades de investigación. En Chihuahua contamos con líneas en física de materiales; ingeniería y química de materiales; metalurgia e integridad estructural; y medio ambiente y energía. Esto nos permite trabajar en temas como materiales metálicos, cerámicos, polímeros, materiales compuestos y nanoestructurados; energía y medio ambiente; caracterización de materiales; integridad estructural; nanotecnología, así como diferentes procesos de transformación y aplicación tecnológica".*

El Centro cuenta con presencia en Chihuahua, Monterrey y Durango, con capacidades y vocaciones científicas que se complementan y amplían las posibilidades de formación, investigación y colaboración: *"Cada centro trabaja en función de las necesidades específicas de su región, pues su creación tuvo como propósito contribuir al desarrollo económico y tecnológico del entorno. Aunque nuestra principal línea de especialización continúa siendo los materiales".*

Dirigir una institución de la relevancia científica y tecnológica del CIMAV implica enfrentar retos constantes en un entorno de permanente evolución: *"Uno de los principales retos es convertir nuestras capacidades científicas y tecnológicas en soluciones que tengan un impacto cada vez mayor; asimismo debemos fortalecer la vinculación con las empresas y con los sectores profesionales. Necesitamos que exista un diálogo permanente entre quienes generan conocimiento y quienes enfrentan diariamente los problemas en el campo, en la industria, en la construcción o en los servicios".*

En ese sentido, en julio de este año se llevó a cabo la firma de un convenio entre el CIMAV y el Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua: *"El convenio contempla actividades académicas, científicas, tecnológicas y de formación de capital humano, así como la promoción de la innovación y la transferencia de conocimiento, así que hay muchas cosas por hacer en conjunto. Algunas de ellas pueden ser cursos y diplomados de actualización para el gremio, acceso a servicios especializados para ensayos estandarizados, caracterización y análisis de fallas, asesoría técnica en casos específicos de obra, y la incorporación de nuevos talentos en proyectos que respondan a necesidades reales del sector".*

A lo largo de sus 32 años de trayectoria, el CIMAV ha sido cuna de destacadas investigadoras e investigadores cuyas contribuciones han impulsado el desarrollo científico y tecnológico del país: *"Desde la administración pasada hemos trabajado intensamente en semiconductores y en el desarrollo de la cadena de valor del litio, con énfasis en la creación de celdas y baterías vinculadas con la electromovilidad y la transición energética. Inicialmente, trabajamos en la extracción de litio de las arcillas, donde logramos ciertos avances; sin embargo, ahora centramos nuestros esfuerzos en el desarrollo de celdas y baterías, así como en su reciclaje. El CIMAV recibió la coordinación de este proyecto, uno de los más importantes de la institución, que lideramos a nivel nacional".*

En este contexto, la Doctora gestionó un Laboratorio de Celdas y Baterías, un proyecto de gran relevancia que será único en el norte del país. Asimismo mencionó que están en proceso de conseguir el recurso para un Laboratorio de Caracterización de Semiconductores.

Respecto al desarrollo de materiales y su aplicación en la ingeniería civil, comentó: *"La ingeniería civil se vincula profundamente con la ciencia de materiales. El comportamiento del concreto, acero, un recubrimiento, un material compuesto o un material cementante depende de su estructura, de su composición y de las condiciones a las que estará sometido. En el CIMAV podemos estudiar esas relaciones a diferentes escalas y utilizar ese conocimiento para desarrollar materiales con mejores propiedades mecánicas, mayor durabilidad o menor impacto ambiental".*

"Un ejemplo muy claro es nuestra capacidad para desarrollar y caracterizar cementos sustentables, materiales geopoliméricos y concretos reforzados con fibras recicladas. En algunos desarrollos se ha reportado una reducción de hasta 50 % de las emisiones de CO_2 respecto de un cemento ordinario. También contamos con capacidades de análisis de fallas, pruebas mecánicas, caracterización y evaluación de materiales, que son fundamentales para estudiar problemas de integridad estructural y durabilidad".

"Una línea que me parece especialmente valiosa es el aprovechamiento de residuos (naturales e industriales) para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Muchos subproductos industriales y agroindustriales, como las cenizas volantes, las escorias siderúrgicas, el vidrio reciclado, las cenizas de algunos alimentos o cáscaras o incluso el sargazo, tienen una composición química que les permite reaccionar con el cemento o incluso funcionar como precursores de nuevos cementos más sustentables y con una menor huella de carbono. Con un buen diseño e ingeniería de materiales, estos nuevos cementos pueden contribuir a densificar la matriz, reducir la porosidad y, con ello, aumentar la resistencia a la compresión y la durabilidad a largo plazo. La clave está en que no se trata simplemente de "meter residuos" a una mezcla, sino de entender su química, su tamaño de partícula y su interacción con la matriz cementante. Esa caracterización es justamente lo que hacemos en el CIMAV, y es lo que permite convertir un desecho, que antes representaba un problema ambiental, en un insumo con valor técnico".

Finalmente, aprovechó el espacio para compartir un mensaje con los estudiantes de ingeniería civil que buscan complementar su formación con investigación, posgrados o especialización en materiales: *"La ingeniería necesita cada vez más profesionistas capaces de entender no solamente cómo utilizar una tecnología existente, sino también cómo mejorarla, adaptarla y desarrollar nuevas soluciones. En el CIMAV pueden encontrar un ambiente en el que la ingeniería se combina con la física, la química, la nanotecnología, la ciencia ambiental y otras disciplinas. Y esa interdisciplinariedad es precisamente la que necesitamos para resolver los problemas actuales desde diferentes ópticas".*

"Necesitamos que exista un diálogo permanente entre quienes generan conocimiento y quienes enfrentan diariamente los problemas en el campo".



Dr. Pedro Martínez, I.C. José Montes, Dra. Leticia Torres, Arq. Lorena Barrera, I.C. Javier González e I.C. Omar Villalobos.



Cosechando energía en el desierto

I.C. Ricardo Zeferino Díaz Morales e I.C. Rodrigo Ruiz Santos.

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

Energía solar: la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos residenciales en la ciudad de Chihuahua, Chih.

La ciudad de Chihuahua, ubicada en una zona de alta irradiación solar global que supera los 5.5 kWh/m²/día, posee un potencial energético idóneo para la generación solar (Servicio Meteorológico Nacional, 2022). En un contexto urbano donde nos enfrentamos a un contraste climático severo, con veranos extremadamente cálidos y secos, e inviernos muy fríos, las temperaturas extremas incrementan drásticamente el consumo de energía eléctrica debido al uso prolongado de sistemas de aire acondicionado y refrigeración, o de calefacciones. Los sistemas fotovoltaicos residenciales se presentan como una solución clave para la transición energética local. La conversión del recurso solar en electricidad mediante módulos fotovoltaicos no solo reduce la presión sobre la red eléctrica centralizada, sino que redefine la relación entre el usuario y su consumo energético, para convertirse en una estrategia ecológica de eficiencia energética y economía doméstica para las familias chihuahuenses.



Energía Solar y economía residencial en México. Fuente: IMCO

Antecedentes históricos en la ciudad de Chihuahua

El desarrollo solar en el municipio de Chihuahua ha crecido de manera acelerada durante las últimas dos décadas. A principios de la década del 2000, la tecnología fotovoltaica en la región estaba restringida casi en su totalidad a aplicaciones rurales aisladas, sistemas de bombeo de agua para ganadería o proyectos piloto de electrificación básica (Secretaría de Energía, 2012).

El cambio de paradigma inició a partir de la Reforma Energética de 2013 y la consolidación de las disposiciones administrativas de carácter general publicadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en 2017 para la generación distribuida. Esto permitió el esquema de *Net Metering* (medición neta) con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), posibilitando que los usuarios residenciales en sectores urbanos como San Felipe, Panamericana, Del Valle, San Francisco y Haciendas, instalaran gran cantidad de Sistemas Fotovoltaicos (SFV) interconectados a la red, transformando la infraestructura doméstica local.

Tabla comparativa del consumo y tarifas (2004 - 2024)

En la zona norte del país, el servicio doméstico de la CFE opera en gran medida bajo la Tarifa 1B, la cual se aplica a regiones donde la temperatura media en verano alcanza los 30 °C. La siguiente tabla ilustra la evolución histórica estimada del costo medio del kWh en régimen excedentario y la penetración fotovoltaica en la ciudad.

Año	Tarifa 1B CFE / excedente (promedio MXN/kWh)*	Capacidad solar residencial instalada en Chihuahua (MW aprox.)	Tipo de acometida solar predominante
2004	$ 0.95	<0.1 MW	Sistemas aislados (Baterías)
2009	$ 1.40	≈0.5 MW	Pruebas piloto interconectadas
2014	$ 2.20	≈3.2 MW	Interconexión burocrática / Medición neta
2019	$ 2.95	≈18.5 MW	Micro inversores / Inversores centrales
2024	$ 3.60	>55.0 MW	Sistemas híbridos y paneles de alta eficiencia

Fuente de referencia: elaboración propia basada en históricos de las memorias de cálculo de la Tarifa 1B (CFE) y reportes de solicitudes de interconexión de la CRE.

La siguiente tabla refleja la evolución estimada del costo KWh en tarifa residencial doméstica con alto consumo, el costo promedio por Watt instalado y la capacidad fotovoltaica distribuida contratada en el municipio:

Año	Costo aproximado. kWh (residencial DAC/ bimestral)	Costo promedio por Watt instalado (USD)	Capacidad instalada estimada (G.D. Chihuahua)
2005	$ 2.10 MXN	$ 7.50 USD	< 50 kWp
2010	$ 3.20 MXN	$ 5.20 USD	~ 200 kWp
2015	$ 4.10 MXN	$ 2.30 USD	~ 2.5 MWp
2020	$ 5.30 MXN	$ 1.10 USD	~ 18.0 MWp
2025	$ 6.80 MXN	$ 0.75 USD	> 45.0 MWp

Nota: datos compilados y adaptados de CRE (2023), CFE (2024) y reportes de la Asociación Mexicana de Energía Solar (AMESOL, 2024).



Beneficios económicos al tener un sistema fotovoltaico en casa

El principal atractivo de implementar un SFV en el esquema de Tarifa 1B radica en evitar el escalón de "consumo excedente" o el ingreso a la Tarifa DAC (Doméstica de Alto Consumo), la cual carece de subsidio gubernamental. En un hogar promedio en Chihuahua durante la temporada estival, el uso de aire acondicionado evaporativo, *mini splits* o calentones eléctricos eleva la demanda a niveles críticos.

1.- Ahorro en la factura de CFE: un sistema bien dimensionado reduce la facturación mensual o bimestral al pago mínimo por concepto de conexión a la red.
2.- Retorno de inversión (RI): para consumos altos, el periodo de amortización del sistema fotovoltaico oscila actualmente entre los 3.5 y 5 años.
3.- Plusvalía del inmueble: la vivienda incrementa su valor patrimonial al ofrecer un costo de mantenimiento mensual sensiblemente inferior.

La instalación de un sistema fotovoltaico residencial en la capital del estado presenta matices económicos directos para las familias:

Beneficios

- **Ahorro sostenido:** reducción sustancial del pago bimestral al desplazar el consumo de la tarifa CFE a escalones básicos o mantenerlo en el límite subsidiado.
- **Protección contra la inflación:** aumento del valor patrimonial de la vivienda y blindaje financiero ante el incremento anual de las tarifas eléctricas.

Contras

- **Inversión inicial:** costo de capital elevado para la adquisición de inversores, paneles y mano de obra calificada (entre $ 45 000 a $ 90 000.0 MXN para SFV entre 2.0 Kwp a 4.0Kwp).
- **Mantenimiento y amortización:** gastos periódicos de limpieza de paneles (debido al polvo característico del entorno desértico de Chihuahua) y reemplazo del inversor central a mitad de su vida útil (10 a 12 años).

Beneficios en temas sustentables al planeta

A nivel medioambiental, la sustitución de energía producida por hidrocarburos (combustóleo y gas natural), por energía solar tiene un impacto directo e inmediato:

- **Mitigación de la huella de carbono:** un sistema residencial típico de 3 kWp en la ciudad de Chihuahua evita la emisión de aproximadamente 3.2 toneladas de CO_2 equivalentes al año.
- **Conservación de recursos hídricos:** a diferencia de las termoeléctricas tradicionales que requieren grandes volúmenes de agua para procesos de condensación y enfriamiento, la generación fotovoltaica no consume agua durante su operación.



Factible o no invertir en sistemas fotovoltaicos en casa-habitación

Ante un escenario de radiación solar idónea, un marco regulatorio que permite la medición neta y tarifas eléctricas en constante ascenso por la pérdida de subsidios en bloques de alto consumo, cabe preguntarse ¿es financieramente viable para una familia chihuahuense seguir postergando la transición hacia la energía solar residencial?



Referencias:

Comisión Federal de Electricidad. (2024). *Estructura tarifaria para el servicio doméstico: Tarifa 1B para la Zona Norte*. Gobierno de México. https://www.cfe.mx
Comisión Reguladora de Energía. (2023). *Reporte del estado de la generación distribuida en México*. CRE. https://www.gob.mx/cre
Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Estadísticas de energía y medio ambiente en el estado de Chihuahua*. INEGI.
Secretaría de Energía. (2023). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2023-2037*. SENER. https://www.gob.mx/sener
Asociación Mexicana de Energía Solar. (2024). *Informe anual del mercado fotovoltaico en México*. AMESOL.
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2023). *Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2022*. CONUEE.







¿YA TIENES TU APP OEM NOTICIAS?



OEM

EL HERALDO DE CHIHUAHUA

DESCARGA TU **APP AHORA!**

DISPONIBLE EN:

Ahora ya puedes acceder a todas las publicaciones de la OEM en un solo lugar y desde cualquier dispositivo.

Suscripciones | (614 432 38 28 Y 614 432 38 05

elheraldodechihuahua.com.mx | elheraldodechihuahua

Recubrimientos orgánicos para la protección del concreto: durabilidad, funcionalidad inteligente y sostenibilidad

Ph.D. Ginneth Patricia Millán Ramírez

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

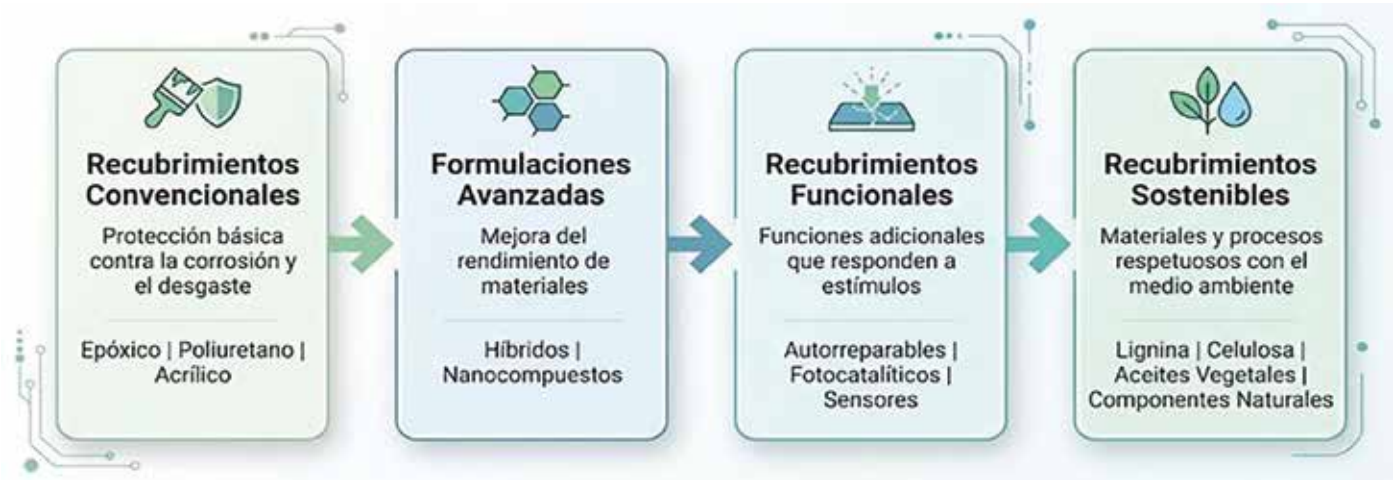


Figura 1. Evolución de los recubrimientos.

Las estructuras de concreto están expuestas durante su vida útil a diversos agentes ambientales capaces de modificar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. La penetración de humedad, cloruros, sulfatos y dióxido de carbono puede favorecer procesos como la corrosión del acero de refuerzo, la carbonatación y diferentes mecanismos de deterioro químico y físico. En consecuencia, los tratamientos superficiales y recubrimientos constituyen una estrategia importante para disminuir el ingreso de agentes agresivos y prolongar la vida útil de los elementos de concreto.

Entre las diferentes alternativas disponibles, los recubrimientos orgánicos presentan ventajas asociadas con su baja permeabilidad, adherencia y flexibilidad.

Sin embargo, la investigación reciente muestra una transición hacia recubrimientos que no solamente protegen al concreto, sino que incorporan funcionalidades adicionales. Entre ellas destacan la autorreparación, el monitoreo de daño, la actividad fotocatalítica, las propiedades antimicrobianas y el empleo de componentes de origen biológico. Esta evolución responde tanto a la necesidad de incrementar la durabilidad como a la creciente importancia de reducir el impacto ambiental de los materiales de construcción.

Un caso particularmente complejo corresponde a las estructuras enterradas o en contacto con suelos contaminados, donde pueden coexistir metales pesados, hidrocarburos, sulfatos, sales, variaciones de humedad y pH, así como actividad microbiológica. La acción simultánea de estos agentes puede provocar pérdida de adherencia, ampollamiento, aumento de la permeabilidad y degradación del recubrimiento. Por ello, los recubrimientos deben considerarse no solo como barreras protectoras, sino como materiales capaces de responder a condiciones ambientales complejas.

Evolución y desempeño de los recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos orgánicos han evolucionado desde sistemas convencionales, principalmente epóxicos, poliuretanos y acrílicos, hacia formulaciones híbridas, nanocompuestas e inteligentes. Los epóxicos destacan por su adherencia y resistencia mecánica; los poliuretanos por su flexibilidad; y los acrílicos por su comportamiento frente a la radiación UV y el intemperismo. Por su parte, los sistemas nanocompuestos e híbridos pueden mejorar la resistencia al transporte de iones y agua, mientras que los tratamientos con silanos y siloxanos reducen el ingreso de agua, aunque pueden presentar limitaciones en términos de resistencia me-

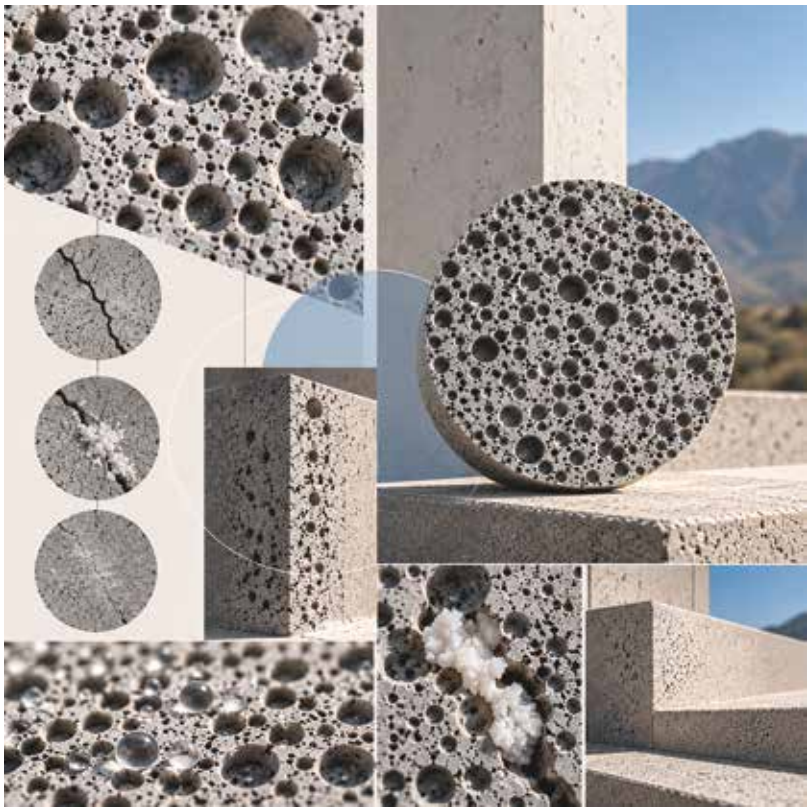


cánica. Al mismo tiempo, las preocupaciones ambientales han impulsado el desarrollo de formulaciones base agua, híbridas y de origen biológico, con menor contenido de compuestos orgánicos volátiles.

Esta evolución ha ampliado la función del recubrimiento, que deja de actuar únicamente como una barrera superficial para incorporar propiedades adicionales. Entre las tecnologías emergentes se encuentran los sistemas autorreparables, basados en microcápsulas o redes poliméricas reversibles, capaces de recuperar parcialmente su función protectora después de sufrir daño. También se han desarrollado superficies fotocatalíticas con TiO_2 y ZnO, que pueden favorecer procesos de autolimpieza y degradación de determinados contaminantes. Asímismo se han investigado recubrimientos con materiales conductores, como grafeno y nanotubos de carbono, capaces de detectar cambios asociados con humedad, corrosión o microfisuración. Desde una perspectiva de sostenibilidad, se investigan polímeros modificados con lignina, poliuretanos derivados de aceites vegetales, celulosa y componentes antimicrobianos de origen natural. Sin embargo, su aplicación todavía enfrenta desafíos relacionados con el costo, la variabilidad de las materias primas y la durabilidad a largo plazo.

Un escenario particularmente complejo corresponde a las estructuras de concreto en contacto con suelos contaminados, donde pueden coexistir metales pesados, hidrocarburos, sulfatos, ácidos, sales, variaciones de humedad y pH, además de actividad microbiológica. La acción simultánea de estos agentes puede provocar pérdida de adherencia, ampollamiento, delaminación, aumento de la permeabilidad y degradación química o microbiológica del recubrimiento. Entre las estrategias estudiadas se encuentran el uso de nanorrellenos, inhibidores, formulaciones resistentes a ambientes químicos agresivos, aditivos antimicrobianos y materiales de origen biológico. No obstante, los estudios disponibles suelen analizar contaminantes individuales o exposiciones de duración limitada, mientras que las condiciones reales pueden involucrar múltiples agentes actuando de manera simultánea.

Los métodos ASTM, ISO y EN permiten evaluar propiedades como adherencia, permeabilidad, absorción de agua y resistencia química; sin embargo, generalmente se basan en condiciones específicas que no reproducen por completo la interacción de los distintos agentes presentes en un suelo contaminado. En consecuencia, existe la necesidad de desarrollar procedimientos de evaluación que consideren de manera conjunta factores como contaminantes, humedad, pH y actividad microbiológica. De forma complementaria, los modelos multifísicos y las técnicas de aprendizaje automático ofrecen posibilidades para estimar la vida útil de los recubrimientos, aunque su aplicación en ambientes reales todavía presenta limitaciones.



Perspectivas y conclusiones

Los recubrimientos orgánicos han pasado de desempeñar principalmente una función de barrera a incorporar capacidades de autorreparación, monitoreo y actividad antimicrobiana. Esta evolución abre nuevas posibilidades para la protección del concreto, particularmente en ambientes donde la exposición combina diferentes mecanismos de deterioro, como ocurre en los suelos contaminados.

Uno de los principales retos es establecer métodos de evaluación que representen de manera más realista estas condiciones de exposición. Aunque los métodos normalizados ASTM, ISO y EN permiten caracterizar propiedades fundamentales del recubrimiento, su aplicación aislada no reproduce completamente la interacción entre contaminantes, humedad, temperatura, pH y actividad microbiológica. Por ello, se requieren procedimientos de ensayo que incorporen condiciones de exposición más representativas, complementados con estudios de campo de mayor duración.

La predicción de la vida útil constituye otro aspecto que requiere mayor desarrollo. Los modelos de difusión y multifísicos, pueden contribuir a relacionar las características del recubrimiento con las condiciones de exposición y la pérdida de desempeño. Sin embargo, la variabilidad propia de los ambientes contaminados continúa siendo un desafío para obtener predicciones confiables bajo condiciones reales.

Finalmente, el desarrollo de materiales de origen biológico, sensores y mecanismos de autorreparación plantea una transición hacia recubrimientos con funciones que van más allá de la protección pasiva. Estos sistemas podrían contribuir no solo a limitar el ingreso de agentes agresivos, sino también a proporcionar información sobre su estado y responder, dentro de ciertos límites, a las condiciones de exposición. Para avanzar en esta dirección será necesario integrar conocimientos de ciencia de materiales, durabilidad, monitoreo y modelación, considerando simultáneamente el desempeño del material y sus implicaciones ambientales.

Referencias:

W. Zhang, D. Shi, Z. Shen, X. Wang, L. Gan, W. Shao, P. Tang, H. Zhang, S. Yu, Effect of calcium leaching on the fracture properties of concrete, *Constr Build Mater 365* (2023) 130018. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130018.

G.J. Yin, X.B. Zuo, Y.J. Tang, O. Ayinde, J.L. Wang, Numerical simulation on time-dependent mechanical behavior of concrete under coupled axial loading and sulfate attack, *Ocean Engineering 142* (2017) 115–124. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.07.016.

M. Ibrahim, A.S. Al-Gahtani, M. Maslehuddin, F.H. Dakhil, Use of Surface Treatment Materials to Improve Concrete Durability, *Journal of Materials in Civil Engineering 11* (1999) 36–40. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:1(36).

E.M. Elnaggar, T.M. Elsokkary, M.A. Shohide, B.A. El-Sabbagh, H.A. Abdel-Gawwad, Surface protection of concrete by new protective coating, Constr Build Mater 220 (2019) 245–252. https://doi.org/10.1016/j.*conbuildmat*.2019.06.026.

G.P. Millán Ramírez, H. Byliński, M. Niedostatkiewicz, Deterioration and Protection of Concrete Elements Embedded in Contaminated Soil: A Review, Materials 14 (2021) 3253. https://doi.org/10.3390/ma14123253.

G.P. Millán Ramírez, H. Byliński, M. Niedostatkiewicz, Mechanical and physical assessment of epoxy, mineral, solvent-based, and water-soluble coating materials, *Sci Rep 12* (2022) 13647. https://doi.org/10.1038/s41598-022-18022-0.

P. Thissen, A. Bogner, F. Dehn, Surface treatments on concrete: an overview on organic, inorganic and nano-based coatings and an outlook about surface modification by rare-earth oxides, RSC Sustainability 2 (2024) 2092–2124. https://doi.org/10.1039/D3SU00482A.

A. Sarcinella, M. Frigione, Sustainable and Bio-Based Coatings as Actual or Potential Treatments to Protect and Preserve Concrete, Coatings 13 (2022) 44. https://doi.org/10.3390/coatings13010044.

M. Beach, T. Davey, P. Subramanian, G. Such, Self-healing organic coatings – Fundamental chemistry to commercial application, Prog Org Coat 183 (2023) 107759. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107759.

K. Yılmaz, F.İ. Şahin, N. Acaralı, Transformative Nanosized Organic Coatings with Euphorbia Condylocarpa/Poplar Tree Bark/Zircon Silicate Hybrid System for Enhanced Industrial Resilience, *Periodica Polytechnica Chemical Engineering 68* (2024) 398–408. https://doi.org/10.3311/PPch.36797.

J.D. Bersch, I. Flores-Colen, A.B. Masuero, D.C.C. Dal Molin, Photocatalytic TiO2-Based Coatings for Mortars on Facades: A Review of Efficiency, Durability, and Sustainability, *Buildings 13* (2023) 186. https://doi.org/10.3390/buildings13010186.

Z. Wu, J. Wei, R. Dong, H. Chen, Epoxy Composites with Reduced Graphene Oxide–Cellulose Nanofiber Hybrid Filler and Their Application in Concrete Strain and Crack Monitoring, *Sensors 19* (2019) 3963. https://doi.org/10.3390/s19183963.

D. Wang, F. Guan, C. Feng, K. Mathivanan, R. Zhang, W. Sand, Review on Microbially Influenced Concrete Corrosion, Microorganisms 11 (2023) 2076. https://doi.org/10.3390/microorganisms11082076.

Y. Gao, X. Chang, Y. Shi, Study on Antibacterial Durability of Waterproof Coatings with Different Base Materials, Construction Materials 4 (2024) 493–505. https://doi.org/10.3390/constrmater4030026.



MAPLASA
Manufacturas Plásticas

DOMOS
FABRICACIÓN

Domos para techos de alta calidad, hechos a la medida que necesite para la azotea de su hogar u oficina

MALLA SOMBRA
CONFECCIÓN

Dale sombra y frescura a tus espacios. Diseñados a la medida. Perfectas para patios, albercas, estacionamientos y más.

PODIUMS

Nuestros podiums de acrílico combinan elegancia, funcionalidad y presencia. Perfectos para eventos,



TODO PARA TUS ***PROYECTOS***

Contamos con **soluciones** pensadas para crear proyectos funcionales, resistentes y con una excelente presentación. Materiales y productos de calidad para llevar cada idea a un **mejor resultado**.

614-410-5822 | https://maplasa.com.mx | contacto@maplasa.com

Dr. Humberto Silva Hidalgo,
M.S.I. Perla Ivonne Cordero de los Ríos y
M.S.I. Raúl Arturo Acosta Chávez

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

Comportamiento de la precipitación anual en la ciudad de Chihuahua de 1980 al año 2025



La precipitación es fundamental en el planeta, ya que recarga tanto los sistemas hidrológicos subterráneos (acuíferos) como los superficiales (cuencas con sus ríos, lagos, lagunas y presas). El abastecimiento de agua para todos los usos en el mundo se obtiene mayoritariamente (cerca del 70 %) de fuentes de agua superficiales, seguido (alrededor del 23 %) de fuentes subterráneas (UN, 2025), proviniendo la porción restante (aproximadamente el 8 %), de otras fuentes como la desalación o el reúso del líquido.

Por lo tanto, la escasez de precipitación o la alteración de su patrón natural causa preocupación para las instituciones gubernamentales que se relacionan con la gestión del agua; en diferentes usuarios del líquido, principalmente los del sector primario, así como en la sociedad en general, ante la incertidumbre de poder satisfacer las necesidades de suministro en condiciones climáticas cambiantes.

Es posible que la precipitación media mundial haya incrementado desde la década de 1950, pero con mayor certeza se ha incrementado la frecuencia de tormentas de gran intensidad, debido al cambio climático (IPCC, 2021).

Aunque la precipitación anual se ha incrementado en algunas regiones del este y centro de América del Norte en el periodo de 1960 a 2015, parece haber disminuido en algunas zonas del suroeste de Estados Unidos y noroeste de México (Arias *et al*., 2021). Esta dualidad en la que la precipitación media anual se puede ver disminuida y que la frecuencia de tormentas de alta intensidad se incremente, puede afectar sensiblemente el volumen de escurrimiento superficial medio anual, el almacenamiento en embalses, la recarga de agua subterránea, la disponibilidad media de agua en la región, así como la ocurrencia de eventos extremos como son sequías e inundaciones. Considerando la importancia de la precipitación en la ciudad de Chihuahua, en este artículo se analiza el comportamiento de la serie de tiempo de precipitación anual en una estación climatológica representativa del centro de población y sus alrededores.

Localización geográfica de la ciudad de Chihuahua

La ciudad de Chihuahua se ubica en la porción central del estado, en la región noroeste de la república mexicana, entre los paralelos 28°05' y 29°48' de latitud norte y los meridianos 105°41' y 106°38' de longitud oeste (INEGI, 2010), como se muestra en la Figura 1. El clima es semiseco templado, característico de zonas semiáridas, con una temperatura media anual de 19.3 °C y una precipitación media anual de 389.4 mm (Conagua-DLCh, 2026), tomando el periodo de 1982 al año 2025 para la primera variable y de 1980 al 2025 para la segunda.

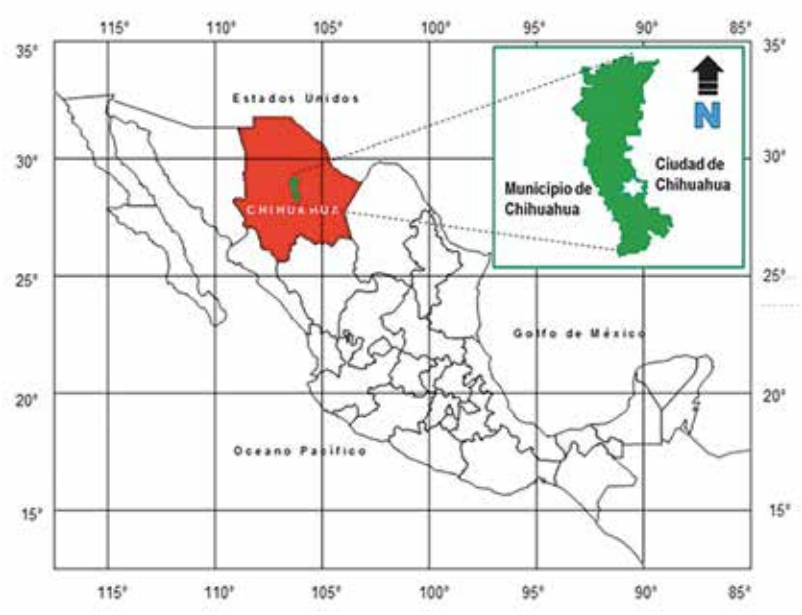


Figura 1. Ubicación de la ciudad de Chihuahua.

La ciudad de Chihuahua contaba con poco más de 925 760 habitantes, según los resultados del último censo de población publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). El abastecimiento de agua potable al centro de la población, así como para la mayor parte de las actividades socioeconómicas que en él se realizan, proviene principalmente de los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Sauz-Encinillas y Tabalaopa-Aldama, los cuales se encuentren en situación de déficit hídrico (DOF, 2023) y otro volumen muy limitado proviene de la presa Chihuahua, que se encuentra en la cuenca RH-24, la cual también se



encuentra en déficit (DOF, 2023a). Adicionalmente, la ciudad presenta problemas de inundaciones (Infobae, 2026), recurrentes en temporada de lluvias, observándose tormentas de alta intensidad, que han sido previstas como posibles efectos del cambio climático en la región. Por lo antes expuesto, se hace evidente que las alteraciones en el régimen de precipitaciones, pueden afectar de manera importante las condiciones de vida en la ciudad de Chihuahua.

Comportamiento de la precipitación anual

Para este análisis se dispuso de la serie temporal de precipitación anual (PA) correspondiente a la estación Chihuahua-León (Conagua-DLCh, 2026a). La serie inició en 1980 y presentó ausencia de valores en dos meses de 1982 y un mes de 1985, mismos que fueron completados empleando un método estadístico estándar, con lo que la series continúan hasta el año 2025.



En la Figura 2 se presenta el comportamiento de la serie temporal, nótese que la PA de 1980 al año 2016 es del orden de 410.2 mm, disminuyendo a 303.9 mm para el periodo de 2017 al 2025. También se puede observar que, en el último periodo de nueve años, sólo el año 2021 presentó una precipitación anual de apenas 0.4 mm superior a la media del primer periodo y los ocho años restantes estuvieron por debajo de ese umbral. El decremento en la media entre el primer periodo y el segundo es del orden de 106.2 mm, lo que tiene el potencial de impactar en la disponibilidad de agua de las fuentes que abastecen a la ciudad en el futuro.

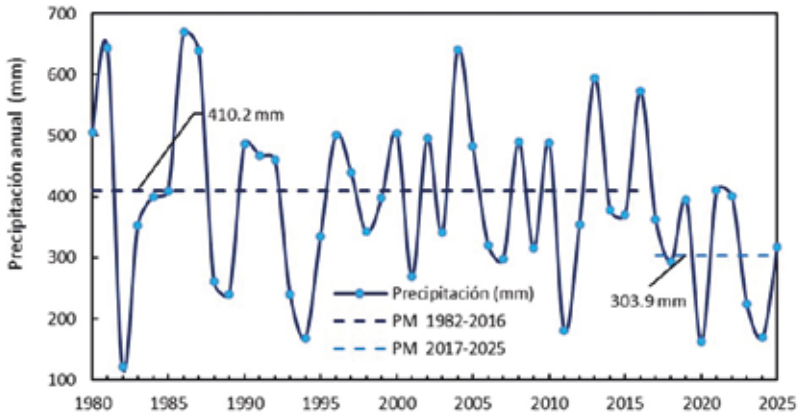


Figura 2. Serie temporal de PA de la ciudad de Chihuahua de 1980 al año 2025.

Posibles implicaciones de una posible disminución en la precipitación anual en Chihuahua

Una disminución en la precipitación anual en la zona en la que se ubica la ciudad de Chihuahua, afecta la generación de los volúmenes de escurrimiento superficial que se producen a lo largo del año, sin embargo, menos volumen anual no impide que las tormentas que se generen en el año puedan causar inundaciones que permitan que la percepción social sea de un año con mucha humedad, aún y cuando no sea así. La ocurrencia de menor precipitación en el año también afecta la recarga de agua subterránea, ya que la oportunidad de infiltración profunda (hasta el nivel freático) disminuye con el déficit de humedad en el suelo y la evapotranspiración real se aproxima a los eventos de precipitación aislados; limitando la infiltración a mayor profundidad a tormentas de moderada intensidad y larga duración.

La disminución en la precipitación afecta la densidad de la cubierta vegetal y con la disminución de vegetación natural se potencia la erosión y con ello la pérdida de suelo que puede alterar aún más el comportamiento hidrológico de la región

y la disponibilidad de agua en el futuro, con posibles afectaciones sociales y económicas.

De continuar con esta tendencia, las actividades agrícolas, especialmente de temporal y otras del sector primario en la zona rural alrededor de la ciudad de Chihuahua, se podrían ver afectadas en su sostenimiento y productividad, con lo cual su continuidad puede requerir del suministro de agua de las fuentes superficiales o subterráneas actuales que ya presentan déficit.

Conclusiones:

La serie temporal de precipitación anual observada en la estación Chihuahua-León presenta una disminución en la media anual a partir del año 2017 (últimos 9 años); aunque podría tratarse de algo temporal, este comportamiento no se había observado en los datos antecedentes. Considerando lo anterior, resulta impostergable tomar medidas de adaptación y mitigación como son el incremento de la eficiencia en el uso del agua; control de la demanda mediante un sistema tarifario estratificado que fomente el bajo consumo y desaliente los consumos altos; continuar con el desarrollo de proyectos de reúso del agua, incluyendo su intercambio por agua de primer uso; establecer un control de áreas verdes con vegetación no endémica e instrumentar sistemas de riego de alta eficiencia en caso de que se decida su conservación; difundir el uso de dispositivos y equipos ahorradores de agua de forma masiva en la ciudad, en cualquier tipo de edificación; difundir el uso de materiales aislantes en la construcción y desarrollar e instrumentar un programa integral de cuidado del medio ambiente, cuidado del agua y adaptación al cambio climático.

Por otro lado, es importante continuar con la observación del comportamiento de las tormentas de alta intensidad en la región, ya que las afectaciones por inundaciones parecen ser más frecuentes, aún en años que no son de gran humedad. La actualización de los instrumentos de planeación en materia de drenaje pluvial son un gran acierto en aras de proteger a la población y sus actividades sociales y económicas.



Referencias:

Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestvedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutiérrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, (2021), Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33144. doi:10.1017/9781009157896.002.

Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Chihuahua (Conagua-DLCh), (2026), Series de tiempo de temperaturas medias mensuales y de precipitación acumulada mensual (1982 a 2025), de la Estación Chihuahua León, de la ciudad de Chihuahua, Chih., Mx.

Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Chihuahua (Conagua-DLCh), (2026a), Serie de tiempo de precipitación acumulada mensual (1980 a 2025), de la Estación Chihuahua León, de la ciudad de Chihuahua, Chih., Mx.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones Hidrológico-Administrativas que se indican. Publicado el 9 de noviembre del 2023 Sitio Web: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/pdf/DMA_DOF_09112023.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2023a). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Publicado el 21 de septiembre del 2020. Sitio Web: https://www.diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5712948&fecha=28/12/2023#gsc.tab=0

Infobae, (2026), Lluvias en Chihuahua dejan un muerto, viviendas inundadas y decenas de rescates tras desbordamiento de arroyo. Las intensas lluvias provocaron el desbordamiento de tres arroyos. 17 de julio de 2026. Consultado en: https://www.infobae.com/mexico/2026/07/17/lluvias-en-chihuahua-dejan-un-muerto-viviendas-inundadas-y-decenas-de-rescates-tras-desbordamiento-de-arroyos/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Chihuahua, Chihuahua. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/08/08019.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Descargado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos

IPCC, (2021), Resumen para responsables de políticas. En: Climate Change (2021), The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (editores)]. Cambridge University Press.

United Nations (UN), (2025), UN News. Global perspective Human stories. UN sounds alarm over rising demands on water resources as scarcity increases. December 12, 2025. Downloaded from: https://news.un.org/en/story/2025/12/1166582

SPEC INGENIERIA
Proyectos Estructurales
Revisión y Peritaje
Asesoría y Consultoría
www.spec.mx
Heróico Colegio Militar 4709 Col. Nombre de Dios C.P. 31150
Chihuahua, Chih. Tel (614) 421.79.60 ventas@spec.mx

40 ABITAT
ANIVERSARIO

Especialistas en construcción Industrial y Comercial

abitat.com.mx



Deval

Implota
INNOVANDO EL FUTURO



CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA

¿Y SI TU PLANTA DE TRATAMIENTO PUDIERA HACER MÁS CON MENOS?

Una tecnología para transformar aguas residuales complejas en agua tratable, reutilizable y en cumplimiento con los parámetros requeridos.



REDUZCA

DBO • DQO
Metales pesados
Conductividad
Acidez

OPTIMICE

El desempeño de su sistema actual y reduzca costos asociados al tratamiento.

REUTILICE

Genere condiciones para recuperar el agua y disminuir la dependencia de fuentes externas, cuando el proceso y la regulación lo permitan.

NO NECESITA REEMPLAZAR SU PLANTA ACTUAL

La Cavitación Hidrodinámica puede incorporarse como proceso primario o de pretratamiento, trabajando con la infraestructura que ya tiene instalada.

Deval

Ricardo Flores Magón No. 5021, Cuarteles,
C. P. 31020 Chihuahua, Chih., México

(614) 411 2765

grupodeval.mx

SOMOS
TU SOLUCIÓN
EN INFRAESTRUCTURA DE AGUA

Desafíos y estrategias en la renovación de edificios: una perspectiva multidisciplinaria y estructural

M.A. Alberto Domínguez Quintana, M.A.P. Gerardo Arturo Hernández Talamantes y M.I. Heber Elías Chávez Chávez

Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería

CICDECH, AÑO 34, NÚM. 211 / NOV-DIC 2026

La intervención en edificaciones existentes constituye un campo de creciente relevancia en la ingeniería estructural, particularmente en entornos urbanos consolidados donde la sustitución total del parque edificado no resulta técnica ni ambientalmente viable. A diferencia del diseño de estructuras nuevas, la evaluación de sistemas existentes implica enfrentar incertidumbres relacionadas con la calidad real de los materiales, el nivel de deterioro acumulado, los detalles constructivos originales y las modificaciones realizadas a lo largo del tiempo.

La renovación estructural puede definirse como el conjunto de acciones técnicas orientadas a restituir, mejorar o adaptar la capacidad resistente y funcional de una estructura existente. En contraste, la rehabilitación se enfoca en la adecuación a nuevos requerimientos normativos o funcionales; la restauración privilegia la conservación de características originales en edificaciones de valor histórico; la reparación atiende daños localizados; y la remodelación responde principalmente a necesidades espaciales o arquitectónicas.

La necesidad de intervenir surge por cambios de uso, incremento de cargas gravitacionales, exigencias sísmicas más estrictas, deterioro por corrosión o carbonatación, asentamientos diferenciales o deficiencias de diseño propias de reglamentos anteriores. En este contexto, la evaluación estructural rigurosa constituye el eje central de cualquier estrategia de renovación.

Marco teórico y fundamentos de evaluación

La ingeniería de edificaciones existentes se sustenta en principios de mecánica estructural y diseño por estados límite, adaptados a condiciones de incertidumbre superiores a las consideradas en el diseño convencional. Normativas como ASCE/SEI 41-23 establecen procedimientos específicos para la evaluación y rehabilita-





ción sísmica de estructuras existentes, incorporando niveles de desempeño asociados a distintos estados de daño aceptable. De manera complementaria, el *International Existing Building Code* proporciona lineamientos para intervenciones parciales o integrales en edificios en servicio.

En edificaciones construidas antes de la consolidación de reglamentos sísmicos modernos es frecuente identificar deficiencias tales como baja cuantía de refuerzo transversal en columnas, conexiones metálicas con capacidad limitada, ausencia de diafragmas rígidos adecuados o irregularidades geométricas que afectan la distribución de esfuerzos. La literatura técnica especializada en dinámica estructural y evaluación sísmica documenta ampliamente estas problemáticas.

La evaluación estructural contemporánea integra criterios de desempeño que permiten estimar el comportamiento esperado ante distintos niveles de solicitación, considerando deformaciones inelásticas, redistribución de esfuerzos y posibles mecanismos de falla. Asimismo, la confiabilidad estructural introduce un enfoque probabilístico en el cual la seguridad se evalúa considerando la variabilidad estadística de resistencia y solicitación.

El deterioro de materiales constituye otro factor crítico. La corrosión del acero de refuerzo, ampliamente estudiada en la literatura científica, puede reducir significativamente la capacidad resistente y la ductilidad de elementos de concreto reforzado. En estructuras metálicas, la pérdida de sección transversal y la degradación de soldaduras influyen directamente en la capacidad de carga y en la respuesta frente a acciones cíclicas.

Metodología de evaluación e intervención

La metodología propuesta para la renovación estructural se compone de seis etapas principales:

1.- Análisis de viabilidad técnica y económica, considerando vida útil remanente, costos comparativos frente a demolición y reconstrucción, restricciones normativas y valor patrimonial.
2.- Levantamiento multidisciplinario, que integre revisión arquitectónica, mecánica, eléctrica y estructural. En el ámbito estructural, se incluyen inspección visual sistemática, ensayos no destructivos, extracción de núcleos de concreto y evaluación del estado de corrosión del acero.
3.- Caracterización mecánica de materiales, mediante ensayos que permitan determinar propiedades resistentes y deformacionales reales.
4.- Modelado estructural representativo, incorporando reducción de rigideces por fisuración o deterioro y considerando configuraciones geométricas reales.
5.- Evaluación de desempeño estructural, comparando la demanda inducida por acciones gravitacionales y laterales con la capacidad resistente disponible, conforme a criterios establecidos en normativa vigente.
6.- Selección de estrategia de reforzamiento, atendiendo a eficiencia estructural, compatibilidad constructiva, interferencias arquitectónicas, impacto económico y viabilidad técnica.

Estrategias de reforzamiento

Las técnicas de intervención estructural varían según la naturaleza de la deficiencia identificada. Entre las más empleadas se encuentran el encamisado de elementos de concreto reforzado para incrementar capacidad axial y flexional, la incorporación de nuevos muros estructurales para mejorar la rigidez lateral, el refuerzo con polímeros reforzados con fibra para incrementar resistencia a cortante y confinamiento, y la instalación de sistemas de disipación de energía o aislamiento sísmico para reducir la demanda estructural.

En estructuras metálicas, el reforzamiento mediante placas o perfiles adicionales constituye una alternativa eficiente cuando la pérdida de sección o la insuficiencia de capacidad se concentran en elementos específicos. La selección de la técnica debe basarse en análisis detallados del comportamiento global de la estructura y en criterios de desempeño previamente definidos.

Discusión

El análisis de intervenciones en edificaciones existentes evidencia que los mayores riesgos técnicos se derivan de diagnósticos preliminares incompletos. La falta de caracterización adecuada de materiales o la omisión de irregularidades estructurales puede generar modificaciones sustanciales durante la fase constructiva, con impactos económicos y programáticos significativos.

Existe además una tensión técnica entre la preservación del sistema estructural original y el cumplimiento de requisitos normativos actuales. En edificaciones con valor histórico, las soluciones deben equilibrar seguridad estructural y conservación patrimonial, lo cual exige coordinación estrecha entre ingenieros, arquitectos y autoridades regulatorias.

Desde una perspectiva ambiental, la renovación estructural ofrece ventajas significativas frente a la reconstrucción total. Investigaciones recientes sobre carbono incorporado en el entorno construido demuestran que la reutilización de sistemas estructurales existentes puede reducir de manera sustancial las emisiones asociadas a la producción de cemento y acero. En consecuencia, la ingeniería estructural desempeña un papel estratégico en la transición hacia modelos de desarrollo urbano más sostenibles.

Conclusiones

La renovación estructural de edificaciones existentes constituye un proceso técnico complejo que requiere un enfoque sistemático, interdisciplinario y fundamentado en principios sólidos de mecánica estructural y confiabilidad. La intervención en estructuras en servicio implica enfrentar incertidumbres superiores a las del diseño convencional, lo que demanda metodologías de evaluación rigurosas y criterios de desempeño claramente definidos.

El estudio confirma que la identificación temprana de deficiencias estructurales, mediante levantamientos exhaustivos y caracterización adecuada



de materiales, reduce significativamente riesgos técnicos y sobrecostos durante la ejecución. La modelación estructural representativa y la evaluación conforme a normativa específica para edificaciones existentes resultan esenciales para garantizar niveles aceptables de seguridad y servicio.

Las técnicas contemporáneas de reforzamiento permiten adaptar estructuras pre-normativas a exigencias actuales sin recurrir necesariamente a la demolición. La selección de la estrategia de intervención debe sustentarse en análisis técnico detallados, considerando desempeño esperado, compatibilidad constructiva y viabilidad económica.

Asimismo, la incorporación de criterios de confiabilidad estructural fortalece la toma de decisiones bajo incertidumbre, permitiendo priorizar intervenciones y establecer niveles de riesgo aceptables. Desde el punto de vista ambiental, la renovación estructural representa una alternativa estratégica para reducir el impacto asociado al ciclo de vida de los materiales de construcción y prolongar la vida útil del parque edificado.

En conjunto, la renovación estructural debe entenderse como un proceso integral de optimización del desempeño estructural, orientado a garantizar seguridad, funcionalidad y sostenibilidad en el entorno construido contemporáneo.



Referencias:

ASCE/SEI 41-23, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, 2023. http://doi.org/10.1061/9780784416350
International Code Council, International Existing Building Code, 2021.
FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, 2000.
Fib Bulletin 90, Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, Fédération Internationale du Béton, 2019.
C. Christopoulos and A. Filiatrault, Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation, IUSS Press, 2006.
M. Pomponi and A. Moncaster, "Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 305, 2021. http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127141
A. K. Chopra, Dynamics of Structures, 5th ed., Pearson, 2017.
ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 2019.
ASCE 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 2022.
C. Andrade and J. A. González, "Quantitative measurements of corrosion rate of reinforcing steels embedded in concrete," Materials and Corrosion, vol. 29, 1978.
M. Melchers, *Structural Reliability Analysis and Prediction*, 2nd ed., Wiley, 1999.



El Gobierno Municipal de Chihuahua a través
del Instituto de Cultura del Municipio te invita a participar en:

Pech 2027

PROGRAMA EDITORIAL CHIHUAHUA



CONVOCATORIA ABIERTA

Bit.ly/PECH2027

CIERRE **11 DE DICIEMBRE**
19:00 HRS.

Chihuahua Capital de Trabajo y Resultados

ICM

Chihuahua CAPITAL

YA LO PESADO, PASADOOOO

YA NO ME PESA... YA NO SUFRÍ NI LLORÉ
BATALLAR QUEDÓ EN EL AYER...

SACO DE 25KG IDEAL PARA TI Y TU OBRA



800
1111 422

www.gcc.com